

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUACAO EM GEOGRAFIA
CURSO DE MESTRADO

DIEGO GARCIA PAIVA

ANÁLISE DO ÍNDICE DE RELAÇÃO ENTRE FLUXO DE BASE E
DESFLORESTAMENTO POR MEIO DE IMAGENS ORBITAIS E ANÁLISE
HIDROLÓGICA: BAIXO CURSO DO RIO IVAÍ - PR

Maringá - PR

2008

DIEGO GARCIA PAIVA

ANÁLISE DO ÍNDICE DE RELAÇÃO ENTRE FLUXO DE BASE E
DESFLORESTAMENTO POR MEIO DE IMAGENS ORBITAIS E ANÁLISE
HIDROLÓGICA: BAIXO CURSO DO RIO IVAÍ - PR

Dissertação submetida ao Programa de Pós-
Graduação em Geografia como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de
concentração: Análise Regional e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho

Maringá - PR

2008

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Catalogado na fonte pelo próprio autor, São Paulo, SP., Brasil)

Paiva, Diego Garcia
P553 Análise do índice de relação entre fluxo de base e desflorestamento por meio de imagens orbitais e análise hidrológica: Baixo curso do Rio Ivaí - PR / Diego Garcia Paiva. -- Maringá : [s.n.], 2008

65 fls. il. figs., tabs.

Orientador : Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos
Co-orientador : Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2008.

1. Bacia do Ivaí. 2. Uso do solo. 3. Fluxo de base. 4. Desflorestamento. I. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia. II. Título.

CDD 21.ed. 551.483

Dedico este trabalho

A meus pais, Rosenmager Garcia Paiva e Célia Helena Garcia Paiva

“Os efeitos do acaso se reduzem nos cálculos na medida em que as observações e o número de dados aumentam”.
(Jacques Bernoulli)

RESUMO

A bacia do Ivaí acompanhou a evolução do desflorestamento do Estado do Paraná, a redução da cobertura florestal pode provocar alterações na dinâmica no comportamento da bacia hidrográfica, na capacidade de armazenamento, por exemplo. A partir dessa hipótese esse trabalho teve como objetivo analisar a relação entre o desmatamento e a alteração da descarga fluvial por meio de imagens orbitais dos satélites LANDSAT e dados de vazão. A metodologia consistiu na quantificação da cobertura florestal por meio de imagens dos satélites LANDSAT 1, 2 e 3, no período entre 1973 a 1987 e identificação do tempo de permanência do fluxo de base por meio da classificação das vazões diárias da estação fluviométrica Novo porto Taquara, no período de 1974 a 1987. A bacia que serviu de estudos para o trabalho situa-se entre as estações fluviométricas Novo Porto Taquara e Porto Primavera e representa 15,73% da área total da bacia do Ivaí. De 1973 a 1987 a cobertura florestal foi reduzida nessa área passando de 10,2% a 3,55%, houve nesse período, portanto, desflorestamento de 65,19%. Considerando as vazões ocorridas na classe que apresentou os menores valores que demonstraram ter uma contribuição do lençol freático, constatamos que a redução do fluxo de base de 1974 a 1988 foi de 6,97%, passou de 18,46% para 11,49%, uma vez que a área de estudos representa 15,73% da bacia do Ivaí, então numa relação direta a área contribuiu com cerca de 1% na redução do tempo de permanência do fluxo de base, portanto o desflorestamento não demonstrou por meio dessa correlação ser o fator determinante na alteração da descarga fluvial nesse período. No entanto, o trabalho permitiu verificar a aplicação da correlação dos dados de sensoriamento remoto e de vazão, entretanto, percebeu-se a difícil identificação do fluxo de base e a necessidade de acrescentar dados de outros elementos do sistema hidrográfico, como a análise rítmica da precipitação diária para alcançar resultados mais coerentes.

Palavras-chave: Bacia do Ivaí, uso do solo, fluxo de base, desflorestamento.

ABSTRACT

The basin of the Ivaí followed the evolution of the deforestation of the State of the Paraná, the reduction of the forest covering can provoke alterations in the dynamics in the behavior of the hidrografic basin, in the storage capacity, for example. From this hypothesis this work had as objective to analyze the relation between the deforestation and the alteration of the fluvial discharge by means of orbital images of satellites LANDSAT and data of outflow. The methodology consisted of the quantification of the forest covering by means of images of satellites LANDSAT 1, 2 and 3, in the period between 1973 the 1987 and identification of the time of permanence of the flow of base by means of the classification of the daily outflows of the fluviométrica station Novo Porto Taquara, in the period of 1974 the 1987. The basin that served of studies for the work is placed enters the fluviométricas stations Novo Porto Taquara and Porto Primavera and represents 15.73% of the total area of the basin of the Ivaí. Of 1973 the 1987 the forest covering was reduced in this area having passed of 10,2% 3.55%, had in this period, therefore, deforestation of 65,19%. Considering the occurred outflows in the classroom that presented the lesser values that had demonstrated to have a contribution of the base flow, evidences that the reduction of the base flow between 1974 and 1988 was of 6,97%, passed of 18,46% for 11,49%, a time that the area of studies represents 15.73% of the basin of the Ivaí, then in a direct relation the area contributed with about 1% in the reduction of the time of permanence of the base flow, therefore the deforestation did not demonstrate by means of this correlation to be the determinative factor in the alteration of the fluvial discharge in this period. However, the work allowed to verify the application of the correlation of the data of remote sensing and of outflow, however, it was perceived difficult identification of the base flow and the necessity to add given of other elements of the hidrografic system, as the rítmica analysis of the daily precipitation to reach resulted more coherent.

Key works: Basin of the Ivaí, use of the ground, base flow, deforestation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes do modelo hidrológico para as bacias de drenagem	04
Figura 2 – Comparação do comportamento da vazão entre bacias permeáveis e impermeáveis	05
Figura 3 – Seção com as possíveis rotas de escoamento geradas em bacias	06
Figura 4 – Resultado de 94 experiências de monitoramento de bacias hidrográficas	07
Figura 5 – Localização da Bacia Hidrográfica do Ivaí	09
Figura 6 – Mapa hipsométrico da bacia do rio Ivaí	11
Figura 7 – Confluência do rio Ivaí com o rio dos Patos e o rio São João da Boa Esperança	12
Figura 8 – Confluência entre o Rio Paraná e o Rio Ivaí	12
Figura 9 – Mapa de declividades da bacia do rio Ivaí	13
Figura 10 – Fitogeografia da bacia do Ivaí	16
Figura 11 – Perfil esquemático destacando a estrutura de um segmento de Savana no município de Jaguariaíva PR, com predominância de Stryphnodendron, Anadenanthera, Couepia, Tabebuia, Annona, Caryocar e Qualea	17
Figura 12 – Perfil esquemático destacando a estrutura de um segmento de Floresta Ombrófila Mista no município de Irati - PR, com predominância de Araucaria, Ocotea, Cedrela, Casearia, Sloanea, Podocarpus, Campomanesia, Ilex e Capsicodendron	17
Figura 13 - Perfil esquemático destacando a estrutura de um segmento de Floresta Estacional Semidecidual no município de Maringá - PR, com predominância de Aspidosperma, Peltophorum, Enterolobium, Parapiptadenia, Cordia, Galesia, Balfourodendron, Holocalyx e Cedrela	17
Figura 14 – Evolução da instalação dos municípios da Bacia do Ivaí	18
Figura 15 – Bacia do Ivaí Mesorregiões	19
Figura 16 – Microrregiões do IBGE na bacia do rio Ivaí	20
Figura 17 – Divisão da Bacia do Ivaí em sub-bacias	24
Figura 18 – Localização das cenas dos satélites LANDSAT com sensor MSS na bacia do Ivaí	25
Figura 19 – Localização das cenas dos satélites LANDSAT com sensor TM e ETM na bacia do Ivaí	26

Figura 20 – Imagem com composição colorida RGB Novo Porto Taquara (1973-1987)	30
Figura 21 – Identificação de formação florestal nas cartas do IBGE	31
Figura 22 – Identificação de formação florestal pelas imagens do Google Earth	31
Figura 23 – Comparação entre as imagens na composição RGB e a razão de bandas a partir de imagens dos Satélites LANDSAT/MSS-3 órbita e ponto 240/76. Data de passagem 28/02/1979; LANDSAT/TM-5 órbita e ponto 223/76. Data de passagem 14/03/1987 e CBERS CCD órbita e ponto 162/126. Data de passagem 24/03/2004	32
Figura 24 – Imagem gerada pelo Modelo Digital de Elevação – SRTM e aplicação da matriz Kernel do Filtro Convolução Direcional de 90°	33
Figura 25 – Comparação entre a imagem CBERS e MDT (SRTM) com filtro de convolução direcional de 90°	33
Figura 26 – Curva de duração	36
Figura 27 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1974 – 1978)	37
Figura 28 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1979 – 1983)	38
Figura 29 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1984 – 1988)	38
Figura 30 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1974 – 1975)	39
Figura 31 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1979 – 1980)	39
Figura 32 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1984 – 1985)	39
Figura 33 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1974 – 1975)	40
Figura 34 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1974 – 1975)	40
Figura 35 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1974 – 1975)	40
Figura 36 - Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1974)	41

Figura 37 - Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1979)	41
Figura 38 - Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1984)	41
Figura 39 – Curva de permanência do fluxo de base 1974-1978	43
Figura 40 – Curva de permanência do fluxo de base 1979-1983	43
Figura 41 – Curva de permanência do fluxo de base 1984-1988	43
Figura 42 – Mapeamento da cobertura florestal da bacia Novo Porto Taquara (1973-1987)	46
Figura 43 – Curva de permanência do fluxo de base com linha de tendência linear – (1974-1978)	47
Figura 44 – Curva de permanência do fluxo de base com linha de tendência linear – (1979-1983)	47
Figura 45 – Curva de permanência do fluxo de base com linha de tendência linear – (1984-1988)	48
Figura 46 – Comparação entre os dois períodos do tempo de permanência em dias	53
Figura 47 – Comparação entre os dois períodos do tempo de permanência em dias	54
Figura 48 – Comparação da vazão entre os dois períodos em (m ³ /s)	55
Figura 49 – Comparação da vazão entre os dois períodos em porcentagem	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das imagens escolhidas para classificação – Novo Porto Taquara	28
Tabela 2 – Disposição dos dados de vazão na série histórica – exemplo	42
Tabela 3 – Organização dos dados de vazão para elaborar a curva de permanência – exemplo	42
Tabela 4 – Resultado da classificação de formação florestal na Bacia do Ivaí – unidade Novo	45
Tabela 5 – Tempo total e diário das curvas de permanência	49
Tabela 6 – Vazão total e média das curvas de permanência	49
Tabela 7 – Tempo de Permanência e redução das vazões – 1ª classificação	50
Tabela 8 – 2ª classificação das vazões da curva de permanência (1974 – 1978 / 1984 – 1 988)	51
Tabela 9 – 3ª classificação das vazões da curva de permanência (1974 – 1978 / 1984 – 1988)	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. A hipótese de trabalho	2
1.2. Objetivos	7
2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IVAÍ	9
2.1. Localização	9
2.2. Cobertura florestal	14
2.3. Ocupação	18
2.4. Clima e regime hidrológico	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1. Monitoramento como suporte nas análises ambientais	23
3.2. Sensoriamento remoto como suporte no monitoramento ambiental	26
3.3. Composição do banco de imagens georreferenciadas	28
3.4. Técnicas de classificação digital para cartografar a formação florestal	31
3.5. Análise hidrológica da vazão	34
3.6. Elaboração das curvas de duração do fluxo de base	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Resultados do monitoramento por sensoriamento remoto	44
4.2. Resultado das análises hidrológicas	47
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
6. REFERÊNCIAS	59

1 – Introdução

A bacia do Rio Ivaí é a segunda maior bacia hidrográfica do Estado do Paraná e teve uma ocupação que se iniciou no período pré-colonial. Sua posição no Estado possibilitou o encontro de três frentes pioneiras, representadas pelos mineiros e paulistas, entrando no norte e noroeste com a expansão cafeeira, pelos paranaenses que vieram do “Paraná Tradicional” a partir do Primeiro Planalto, e por fim pela chegada dos gaúchos e catarinenses, que adentraram pelo sul do estado, todos em busca de novas terras.

Essa apropriação do território gerou um mosaico composto por mais de cem municípios com distintas formas de ocupação, seja pelas condições geográficas, geológicas, pedológicas, climáticas, culturais entre outras, seja pelas decisões políticas, que podem influenciar na ocupação do espaço. Esses municípios apresentam áreas totalmente ou parcialmente inseridas na bacia, utilizam e exploram seus recursos naturais, seja para o cultivo de café, ou para a formação de pastagens, ou ainda de erva mate, seja para a exploração de madeira, além de outras atividades.

A bacia de drenagem foi também ocupada para a urbanização, expressa pela instalação das sedes municipais, e pela abertura de rodovias ligando as cidades, e ainda estradas secundárias como via de acesso, inclusive, aos loteamentos rurais.

No entanto, para que essa paisagem se constituísse houve a derrubada das florestas existentes na época, como relata Bigg-Wither (1974 p. 159), que numa expedição pelo Paraná realizada entre 1872 e 1875 ao adentrar o Vale do Ivaí até Colônia Teresa percorreu uma região coberta por uma floresta densa, com características mais tropicais na medida em que diminuía as altitudes. Todavia, essa paisagem após a efetiva ocupação do território paranaense a partir da década de 1940, já demonstrava outra realidade, principalmente no norte e noroeste do Estado. Dessa forma, a cobertura florestal do Estado ocupava pouco mais de 8% em 1995, embora em 1500 cobrisse 85% de seu território (IAP, 2005).

Essa redução aconteceu sem muita preocupação ambiental quanto aos recursos naturais. A bacia hidrográfica do Rio Ivaí acompanhou essa evolução sendo aos poucos desflorestada para dar lugar às novas formas de ocupação, tendo o desenvolvimento e o progresso econômico como principal objetivo.

A área da bacia compreendida entre as estações fluviométricas Novo Porto Taquara e Porto Paraíso do Norte, com aproximadamente 575.706 hectares, apresentava apenas 10,2% de cobertura florestal em 1973, e em 1978 já havia menos da metade desse valor. Em 1987 restaram menos de 4% da área com cobertura florestal, ou seja, apenas 21.000 hectares.

A preocupação com o meio ambiente e com as florestas deveria existir desde a sua efetiva colonização, pelo menos à luz da legislação, como a criação de reserva com 20% dos lotes para florestas. Mas isso não impediu a devastação motivada pela demanda do café, na época impulsionada pela política nacional, que não preocupou muito os agricultores e muito menos o governo. A necessidade de gerar receitas superava qualquer medida que comprometesse a rentabilidade das terras de forma sustentável.

Embora a importância dos estudos ambientais tenha se mostrado mais forte a partir da Conferência de Estocolmo, em 1972, é evidente que mesmo desde a Antigüidade havia uma sensibilidade com a natureza, porém o pensamento predominante, principalmente depois do Discurso sobre o Método, de Descartes, era o do uso da natureza como recurso para trazer o bem estar ao homem (GIANSANTI, 1998).

A Conferência Rio-92 fortaleceu a preocupação com o ambiente natural. Mas, como afirma Tauk-Tornisielo et al (1995, p.11), essa preocupação é “motivada muito mais pela necessidade de racionalizar custos do que desenvolver possíveis cuidados com o ambiente”. Para Leff (2002) “a problemática ambiental gerou mudanças globais em sistemas socioambientais complexos que afetam as condições de sustentabilidade do planeta”. Os efeitos dessas devastações podem, às vezes, não serem sentidos pelos envolvidos no contexto, mas pressupõem que qualquer modificação no meio ambiente gera reações que podem alterar o equilíbrio do sistema como todo.

Dentre as reações causadas pelas modificações no uso do solo podemos destacar o comprometimento do volume de água retido na bacia, provavelmente perdido pelo aumento do escoamento superficial.

1.1 – A Hipótese de Trabalho

A Teoria Geral dos Sistemas considera que um sistema aberto é composto por três componentes, sendo eles a entrada, o processamento e a saída, (PORTO e AZEVEDO, 1997). Por sua vez, Dooge (1973, apud Tucci, 1998) considera que um sistema é “[...] qualquer estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que, num dado tempo de referência, se inter-relaciona com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação”.

Por outro lado, Bertrand (1971) define a paisagem como uma porção do espaço, resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem dela um conjunto único e indissociável em perpétua evolução.

Por sua vez, Brailovsky (1978 apud Orellana, 1985), considera o meio ambiente como "um sistema de interações entre fatores físicos, químicos, biológicos e sociais susceptíveis de terem um efeito direto ou indireto, imediato ou em longo prazo, sobre os seres vivos e atividades humanas".

Estendendo o uso do adjetivo ambiental para categorizar os componentes e as características funcionais e dinâmicas dos sistemas que suportam a existência dos seres vivos (CHRISTOFOLETTI, 1999), podemos considerar a bacia hidrográfica como uma unidade da paisagem, e com as características de um sistema aberto. Segundo este autor, a bacia é considerada como um sistema não isolado aberto, onde ocorrem entrada e saída de energia (*input e output*), com constantes ajustes nos elementos das formas e nos processos associados, em função de mudanças no fluxo de energia.

Sob a perspectiva hidrológica as bacias hidrográficas apresentam cinco componentes, entre eles, a geometria do sistema, envolvendo as características e os processos da bacia; os *inputs*; as leis governantes ou equações controlantes; as condições iniciais e limitantes, e o *output* como na figura 1.

Portanto se pensarmos numa bacia hidrográfica como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída (sua exutória), de acordo com Silveira (1993). Ou então, uma “[...] área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial”, conforme Christofolletti (1980), e ainda segundo Cunha e Guerra (2000), que definem bacia hidrográfica como sendo a unidade que integra os setores sociais e naturais, podemos então, considerá-la como um sistema que recebe determinada energia por uma entrada, transporta, processa e armazena essa energia eliminando-a por uma saída.

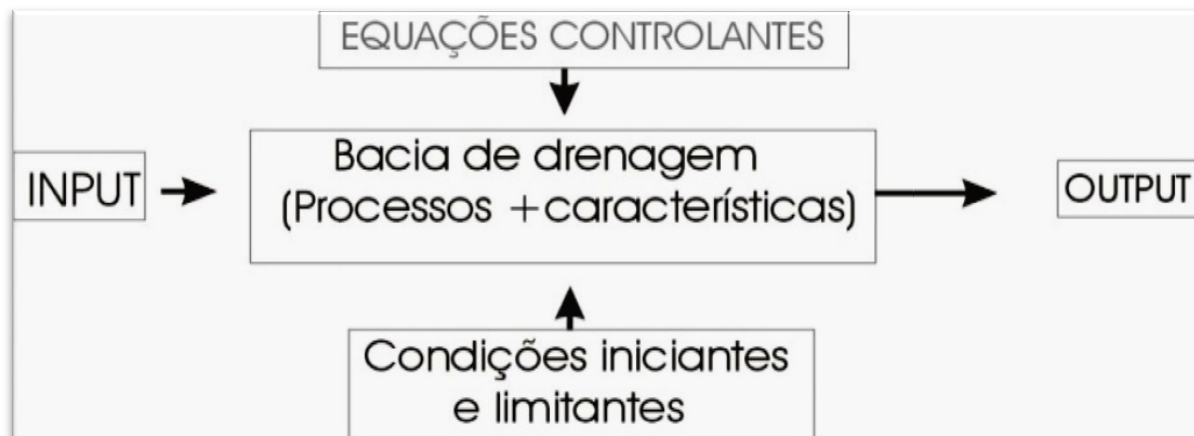


Figura 1 – Componentes do modelo hidrológico para as bacias de drenagem. Adaptado de Singh, 1995 (apud Christofolletti 1999).

Nessas considerações, o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado pela energia solar, pela gravidade e pela rotação da Terra. Ele pode ser interpretado também como o ciclo formado pelo armazenamento e movimentação da água na atmosfera, no solo e nos corpos d'água e sua interação com os seres vivos (SILVEIRA, 1993). Ou ainda, pode ser considerado conforme a proposta de Tucci (1998) como um processo que produz uma alteração de estado no sistema, e a variável como um valor que descreve quantitativamente um fenômeno, variando no espaço e no tempo, e ainda o parâmetro como o valor que caracteriza o comportamento de um sistema, podendo também variar no tempo e no espaço, como é o caso da vazão.

Dessa forma, os registros de vazão comportam-se, então como variável multidimensional que contêm as informações relevantes sobre o passado do sistema, necessárias para o conhecimento do seu comportamento futuro quando sujeito a uma dada entrada (O'CONNEL, 1980).

De acordo com Christofolletti (1981), “o escoamento fluvial é parte integrante do ciclo hidrológico e a sua alimentação se processa através das águas superficiais e subterrâneas”. A retirada da cobertura vegetal, no entanto, dificulta a entrada da água no subsolo, podendo diminuir a capacidade de armazenamento hídrico de uma bacia.

Portanto, qualquer mudança significativa nas variáveis da bacia de drenagem possui reflexo nas variáveis hidrológicas, alterando, por exemplo, a descarga fluvial. Ou seja, a água que escorre na superfície pode vir a percorrer em menor tempo a extensão da vertente, e chegar ao canal fluvial antes de infiltrar no solo para abastecer o lençol freático. Caso isso ocorra, a água que entra no sistema permanece menor tempo sendo processada, e escoar-se para fora do sistema. Nesse caso a descarga

durante as chuvas é elevada, mas diminui rapidamente após o fim da precipitação pluvial.

A bacia hidrográfica do Rio Ivaí é caracterizada por apresentar rápida subida das vazões logo no início da precipitação, alcançando picos de altas magnitudes, muitas vezes superiores aos valores médios (DESTEFANI, 2005). Isso é provocado principalmente pela sua forma, pela declividade das vertentes, pela geologia do substrato, e pela espessura e características das coberturas inconsolidadas. Tal comportamento é típico de bacias impermeáveis, conforme pode ser observado na figura 2.

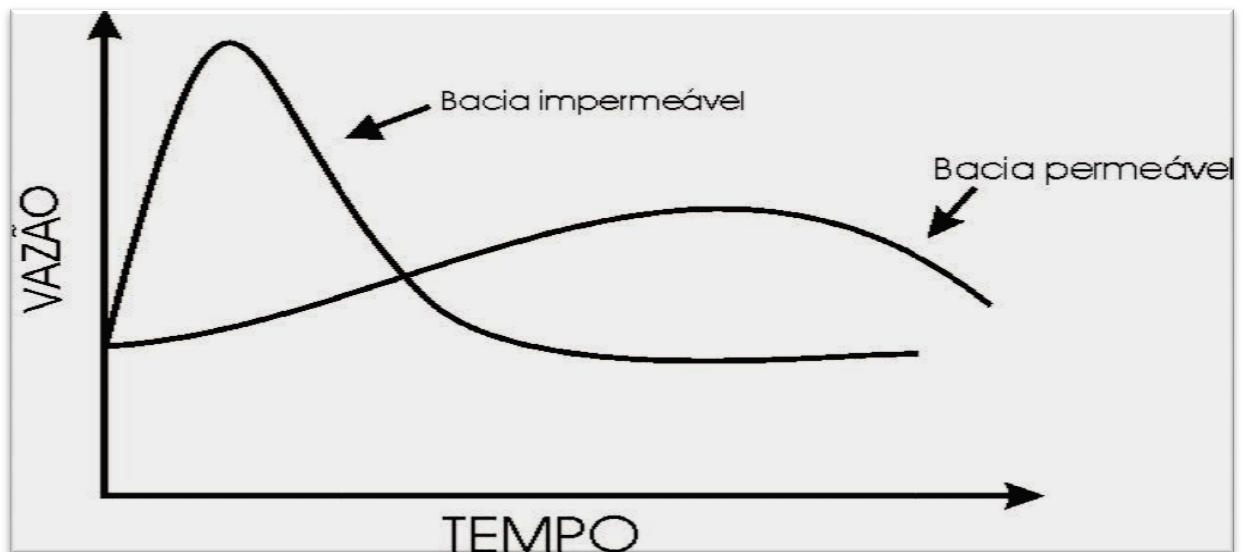


Figura 02 – Comparação do comportamento da vazão entre bacias permeáveis e impermeáveis.

Fonte: Villela e Mattos (1975).

A descarga fluvial é mantida pela água proveniente da precipitação pluvial e pelo fornecimento do lençol freático (fluxo de base), conforme a figura 3. A alimentação da descarga fluvial a partir do momento em que cessa a chuva acontece pelos fluxos sub-superficial (FSS) e subterrâneo (FSub). Segundo Smakhtin (2001 apud Bacellar 2005), o escoamento básico dos rios é composto pelos fluxos sub-superficiais mais lentos e o fluxo subterrâneo, que formam o fluxo de base. A separação da vazão ou fluxo total de um rio em fluxos de chuva e de base é tradicionalmente feita por análise de séries de dados hidrológicos e hidroquímicos que permitem maior compreensão das possíveis rotas de escoamento hídrico numa bacia.

Uma das técnicas que podem ser utilizadas para a obtenção do fluxo de base é a separação de séries com valores decrescentes com duração igual ou maior que dez dias, uma vez que a diminuição constante dos valores de descarga indica a falta de

aporte de água por meio da precipitação, ou seja, a descarga estaria sido mantida apenas pelo fluxo de base.

Contudo, diversos pesquisadores observaram que a redução da cobertura vegetal propicia um aumento da descarga fluvial, como é o caso de Bosch e Hewlett (1982), apud Bacellar (2005), figura 4, de Silva (2005), e de Grizzo (2008), entre outros.

O aumento da descarga fluvial decorrente da retirada da vegetação natural pode ser explicado pela redução da evapotranspiração, conforme o fez Grizzo (2008). Contudo, a relação entre o escoamento superficial e a infiltração é também modificada, uma vez que o uso agrícola tende a diminuir a rugosidade superficial do terreno, tornando o escoamento da água mais eficiente.

No caso da bacia do rio Ivaí, o intenso grau de ocupação pode ter ocasionado a modificação das condições de infiltração e de escoamento superficial, que por sua vez podem ter modificado o fluxo de base necessário para a manutenção da descarga fluvial em períodos de estiagem.

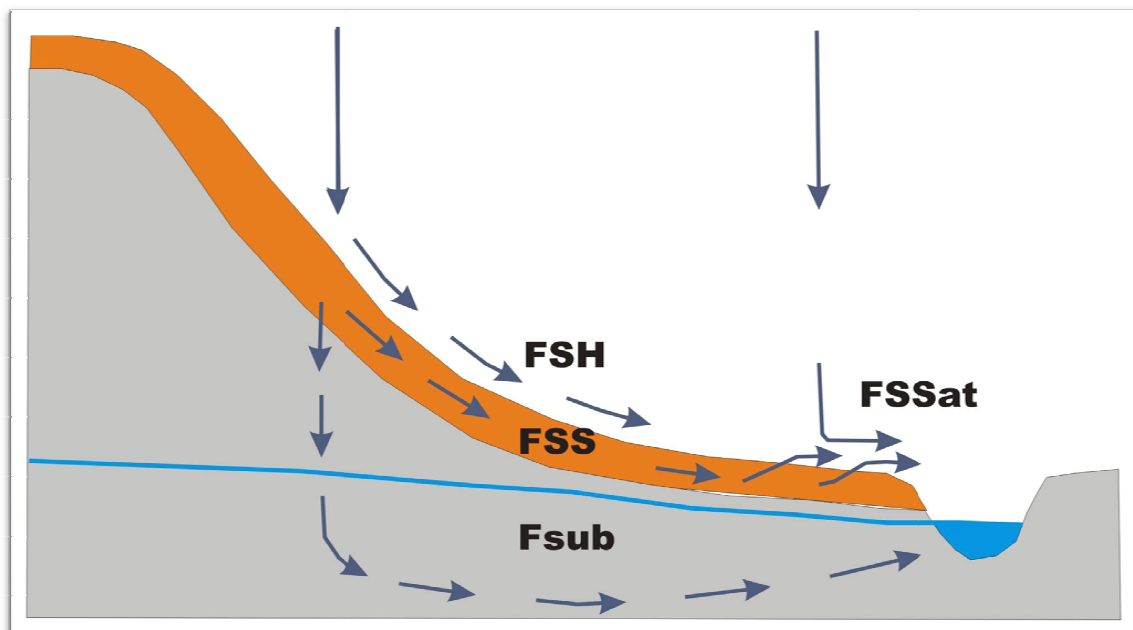


Figura 3 - Seção com as possíveis rotas de escoamento geradas em bacias. FSH = fluxo superficial hortoniano; FSSat = fluxo superficial de saturação; FSS = fluxo subsuperficial; FSub = fluxo subterrâneo

Fonte: Dunne e Leopold (1978 apud Bacellar 2005).

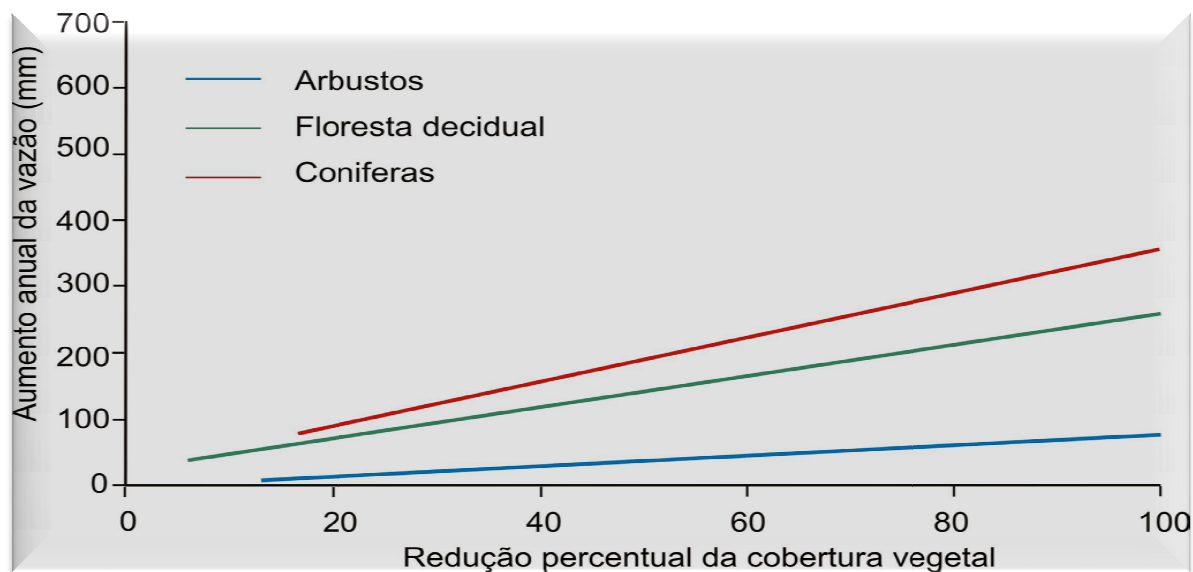


Figura 4 - Resultado de 94 experiências de monitoramento de bacias hidrográficas. Fonte: Bosch e Hewlett (1982), apud Bacellar 2005).

Conforme mencionado, Destefani (2005) caracterizou o regime de vazões do rio Ivaí. Contudo, as respostas rápidas à precipitação, e a recessão da vazão após o encerramento da chuva não foram analisadas à luz dos dados de desflorestamento.

Portanto, este trabalho adota a hipótese de que a redução da cobertura vegetal aumentou a eficiência do escoamento superficial. Tal aumento promoveu a diminuição da quantidade de água infiltrada no subsolo, e, portanto o armazenamento subterrâneo foi diminuído.

Uma forma de testar a referida hipótese é verificar a relação entre o grau de cobertura vegetal e o comportamento da curva de recessão da vazão em períodos diferentes.

A análise dessa relação pode contribuir para o avanço dos estudos de entendimento do funcionamento de uma bacia hidrográfica, uma vez que, quanto maior a presença da cobertura vegetal natural melhor será o equilíbrio ambiental

1.2 – Objetivos

O objetivo deste trabalho é verificar a relação existente entre a curva de recessão da vazão e a área de cobertura vegetal arbórea da bacia do rio Ivaí, na área compreendida entre as estações fluviométricas de Novo Porto Taquara e de Porto Paraíso do Norte.

Os objetivos específicos são:

- a) Elaborar os mapas de cobertura vegetal arbórea da referida área nas datas de 1973 a 1987.
- b) Elaborar a curva de recessão da vazão dos valores de nível da água registrados na estação fluviométrica Novo porto Taquara para os períodos de 1974 a 1978 e 1984 a 1988.
- c) Verificar a existência ou não de uma relação causal entre as modificações encontradas nas curvas de recessão da vazão dos diferentes períodos e a variação de área da cobertura vegetal.

2 – Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí

2.1 – Localização

A bacia hidrográfica do Rio Ivaí está localizada no sul do Brasil, no Estado do Paraná. Ela integra o sistema da Bacia do Paraná, situa-se entre as coordenadas geográficas 22°56'17" a 25°35'27" de latitude sul e de 50°44'17" a 53°41'43" de longitude oeste e sua área compreende uma extensão de 36.587 Km², disposta de SE para NW, figura 5.

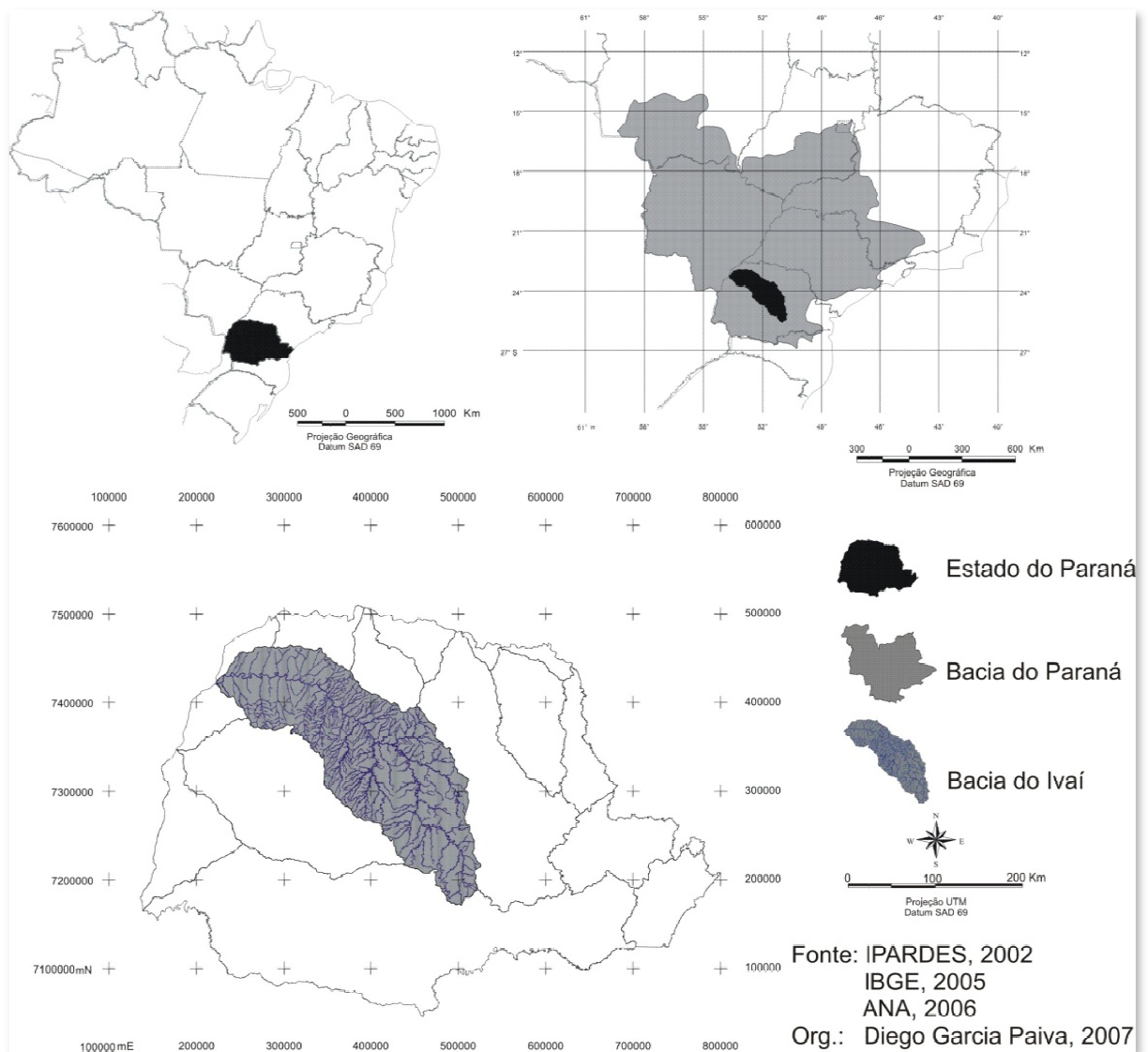


Figura 5 – Localização da Bacia Hidrográfica do Ivaí.

O rio Ivaí recebe esse nome a partir da junção do rio dos Patos com o rio São João da Boa Esperança no Terceiro Planalto. Seus formadores nascem na Serra da Esperança e na Serra da Ribeira, na região centro-sul do estado, em cotas superiores a mil metros de altitude, figura 6, e o rio Ivaí deságua no rio Paraná, próximo à parte montante da ilha dos Bandeirantes, a 230 metros de altitude, figuras 7 e 8.

A altitude na alta bacia do Ivaí chega está na média de 800 metros, com pontos de até 1250 metros, onde predominam temperaturas médias anuais de 18°C, na média bacia a altitude média é de 500m, as médias térmicas são de 20°C, e na baixa bacia chegam a 22°C (ICHIBA, 2006), onde as cotas altimétricas possuem 250m de altitude média.

Na alta bacia o regime hídrico de pluviosidade é de 1800mm de precipitação pluvial anual para a alta bacia, na média bacia 1600mm, e na baixa bacia 1400mm (SOUZA, 2006).

O relevo na alta bacia possui as maiores declividades, podendo chegar a 60%, em média, de declividades, em cotas altimétricas correspondentes à 800m, chegando a 1250m. Na média bacia a declividade se atenua, juntamente a parte correspondente das altitudes médias de 400 a 600 metros. Na baixa bacia o relevo é mais tênue, formando planícies de inundação do rio Ivaí, e confluência com o rio Paraná, figura 9.

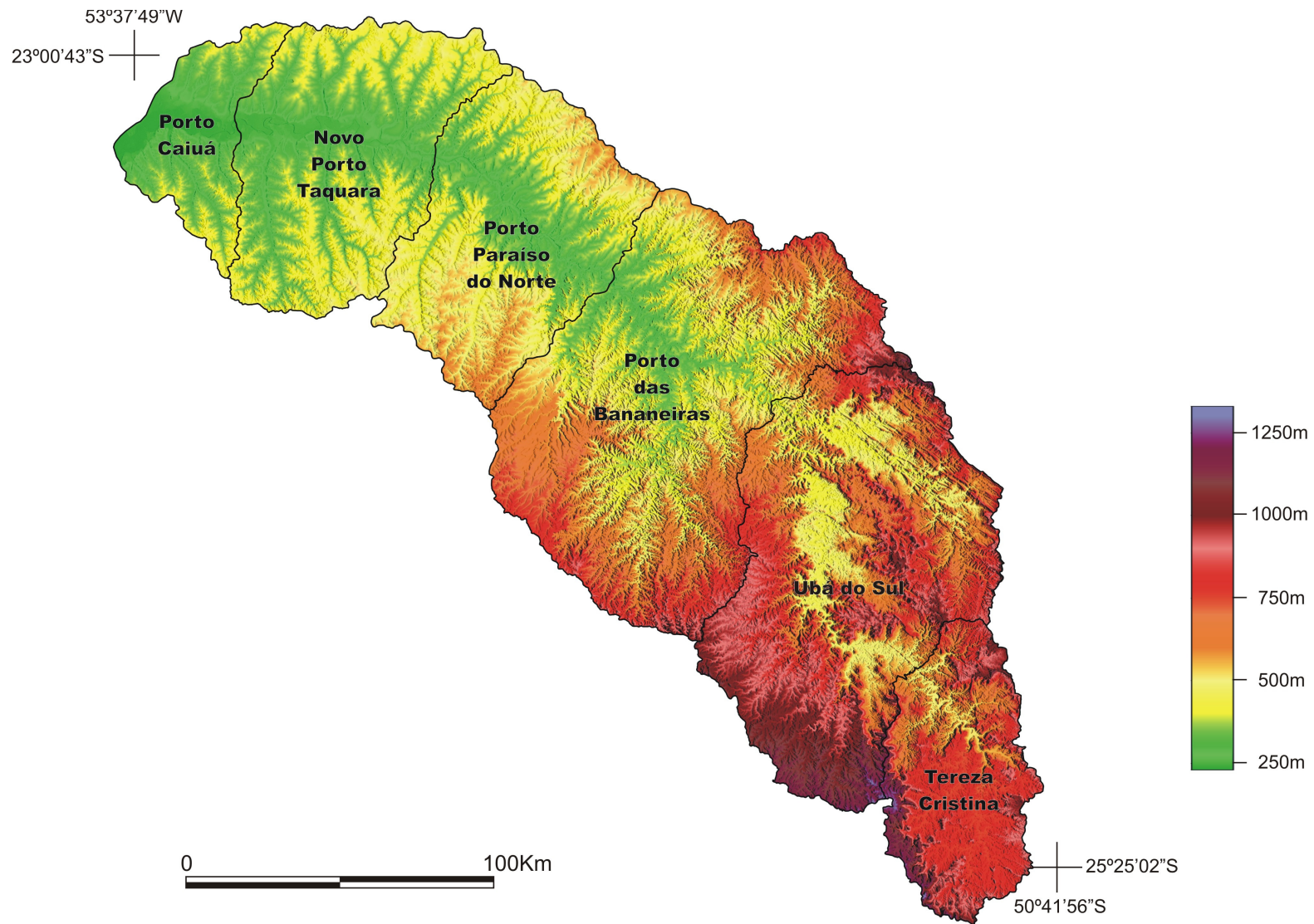


Figura 6 - Mapa hipsométrico da bacia do rio Ivaí.

Organizado por Raniere Garcia Paiva
FONTE: SRTM (Shuttle Topography Mission), 2000.



Figura 7 - Confluência do rio Ivaí com o rio dos Patos e o rio São João da Boa Esperança.
Fonte: Google Earth, 2007.



Figura 8 - Confluência entre o Rio Paraná e o Rio Ivaí.
Fonte: Google Earth, 2007.

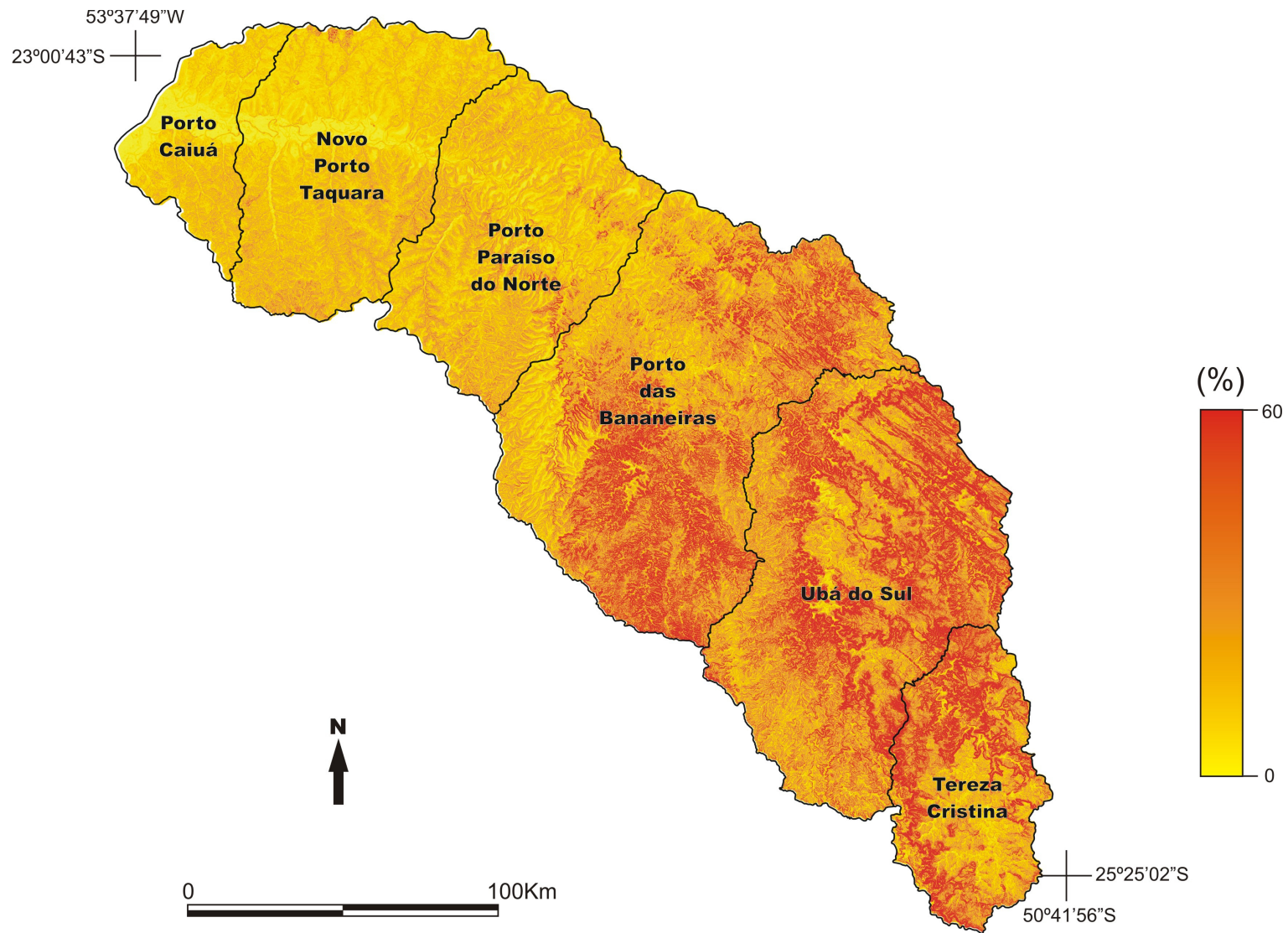


Figura 9 - Mapa clinográfico da bacia do rio Ivaí.

Organizado por Raniere Garcia Paiva
 FONTE: SRTM (Shuttle Topography Mission), 2000.

2.2 – Cobertura Florestal

Na Bacia do Ivaí nas partes planálticas entre 800 e 1200 m de altitude, situa-se a região da Floresta Ombrófila Mista, que possui sua composição florística influenciada por distribuição de chuva ao longo do ano, pelas baixas temperaturas e com geadas regulares no inverno. Abaixo de 800 m de altitude, define-se a região da Floresta Estacional Semidecidual com eventuais geadas, sua flora está condicionada a um período de baixa precipitação pluviométrica, quando as árvores do dossel da floresta perdem suas folhas, modificando a fisionomia da vegetação e ainda encontram-se relictos de Savana (cerrado), localizados nas regiões norte e nordeste, figura 10.

Caracterizado por uma diversidade fitogeográfica considerável, no Paraná, ocorre diferentes tipos de florestas entremeadas por formações herbáceas e arbustivas, resultantes de peculiaridades distintas geomorfológicas, pedológicas e climáticas. A partir da intensificação das atividades humanas, iniciada no final do século dezenove, restaram menos de 9% de cobertura vegetal em bom estado de conservação, sendo cerca de 2% em áreas protegidas (RODERJAN et al, 2002).

As áreas relictuais de cerrado têm origem semelhante às estepes e ocorrem nas regiões nordeste e centro-norte do Estado, com fisionomia e florística semelhantes àquelas dos planaltos do Brasil central, sua principal área de ocorrência. No cerrado são encontradas diferentes faciações, desde campestres até florestadas, todas predominantemente sobre Latossolos (em geral sobre areias quartzozas). A vegetação arbórea raramente ultrapassa 10 metros de altura. As espécies herbáceas e arbustivas, bem distribuídas, formam comunidades puras ou associadas às arbóreas. Uhlmann (1996, apud Roderjan et al, 2002), figura 11.

A Floresta Ombrófila-Mista é uma unidade fitoecológica onde coexistem representantes das floras tropicais (afro-brasileira) e temperadas (austro-brasileira), com domínio da *Araucaria angustifolia*, IBGE (1992; Leite, 1994 apud Roderjan et al, 2002). Ela encontra-se predominantemente entre 800 e 1200 m, podendo eventualmente ocorrer acima desses limites, figura 12.

Como principal característica fisionômica a Floresta Estacional Semidecidual apresenta a semidecidualidade, na estação desfavorável, que ocorre praticamente nos estratos superiores e parece ter correlação principalmente com os parâmetros climáticos, históricos ou atuais, conforme Leite (1994 apud Roderjan et al, 2002). Ela

caracteriza as formações florestais das regiões norte e oeste do Estado, entre 800 m e 200 m de altitude, com florística diferenciada e mais empobrecida em relação às formações ombrófilas, figura 13.

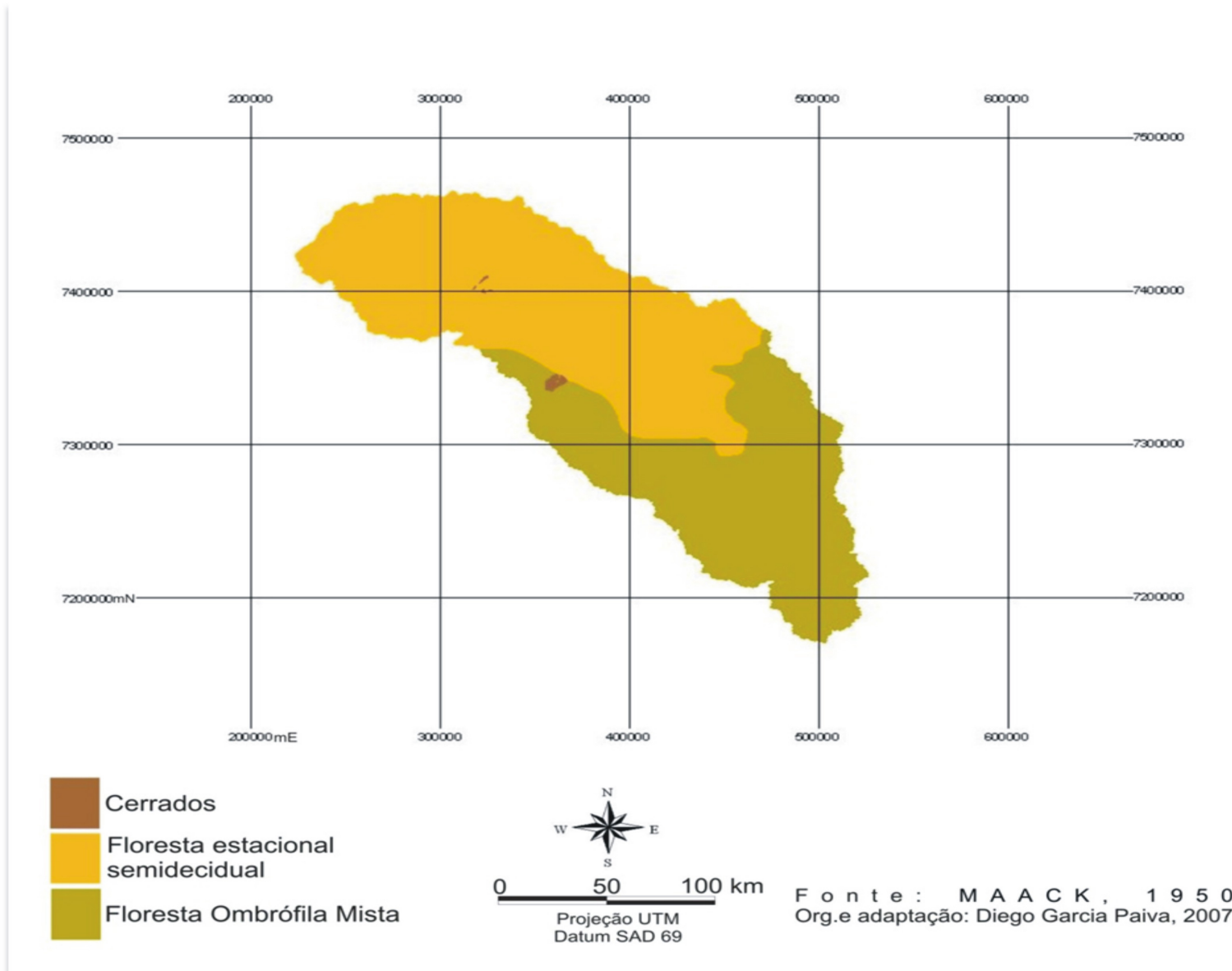


Figura 10 - Fitogeografia da bacia do Ivaí.

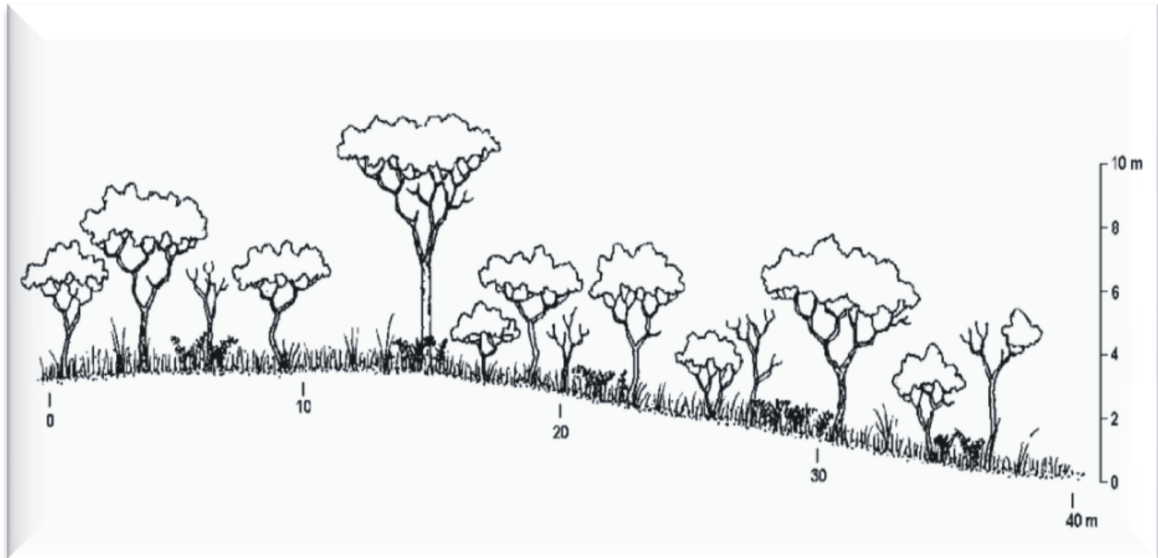


Figura 11 - Perfil esquemático destacando a estrutura de um segmento de Savana no município de Jaguariaíva - PR, com predominância de *Stryphnodendron*, *Anadenanthera*, *Couepia*, *Tabebuia*, *Annona*, *Caryocar* e *Qualea*.
 Fonte: Roderjan et al, 2002.

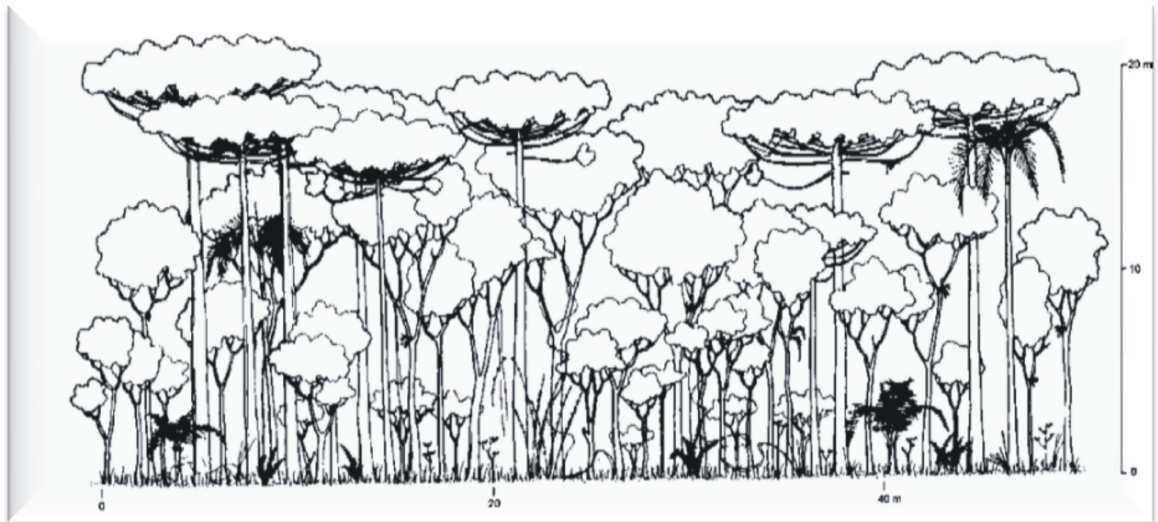


Figura 12 - Perfil esquemático destacando a estrutura de um segmento de Floresta Ombrófila Mista no município de Irati - PR, com predominância de *Araucaria*, *Ocotea*, *Cedrela*, *Casearia*, *Sloanea*, *Podocarpus*, *Campomanesia*, *Ilex* e *Capsicodendron*.
 Fonte: Roderjan et al, 2002



Figura 13 Perfil esquemático destacando a estrutura de um segmento de Floresta Estacional Semidecidual no município de Maringá - PR, com predominância de *Aspidosperma*, *Peltophorum*, *Enterolobium*, *Parapiptadenia*, *Cordia*, *Gallesia*, *Balfourodendron*, *Holocalyx* e *Cedrela*.
 Fonte: Roderjan et al, 2002.

2.3 – Ocupação

Na bacia hidrográfica do Ivaí existe mais de cem municípios com área total ou parcialmente inserida em sua extensão, a maioria deles foram instalados até a década de 1970, figura 14. Segundo IBGE (2005) eles estão divididos em seis Mesorregiões: Centro-Occidental, Centro Oriental, Centro-Sul, Noroeste, Norte e Sudeste Paranaense, figura 14, e dezesseis Microrregiões: Apucarana, Astorga, Campo Mourão, Cianorte, Faxinal, Floraí, Guarapuava, Irati, Ivaiporã, Maringá, Paranavaí, Pitanga, Prudentópolis, Telêmaco Borba e Umuarama, figura 15.

As Mesorregiões Centro Oriental, Centro-Sul, e Sudeste que integram o chamado “Paraná Tradicional”, foram ocupadas desde o século XVII, elas passaram pelos ciclos econômicos do ouro, do tropeirismo, da erva-mate e da madeira.

A Mesorregião Centro Oriental era composta por grandes fazendas com mão-de-obra escrava e trabalho familiar. Sua estrutura era tradicional, patriarcal e latifundiária, e foi constituída sobre bases econômicas reduzidas e pouco dinâmicas.

A Mesorregião Centro Sul, sustentada a princípio pela criação de muares e de gado para comercialização, e posteriormente ao pouso e engorda do gado transportado pelos tropeiros, a extração da erva-mate e, depois, da madeira.

A Mesorregião Sudeste teve parte importante do seu povoamento originado de incursões militares, do tráfego de tropeiros e de estratégias governamentais de dinamização da navegação no vale médio do Iguaçu, direcionando para a região a instalação de colônias de imigrantes estrangeiros.

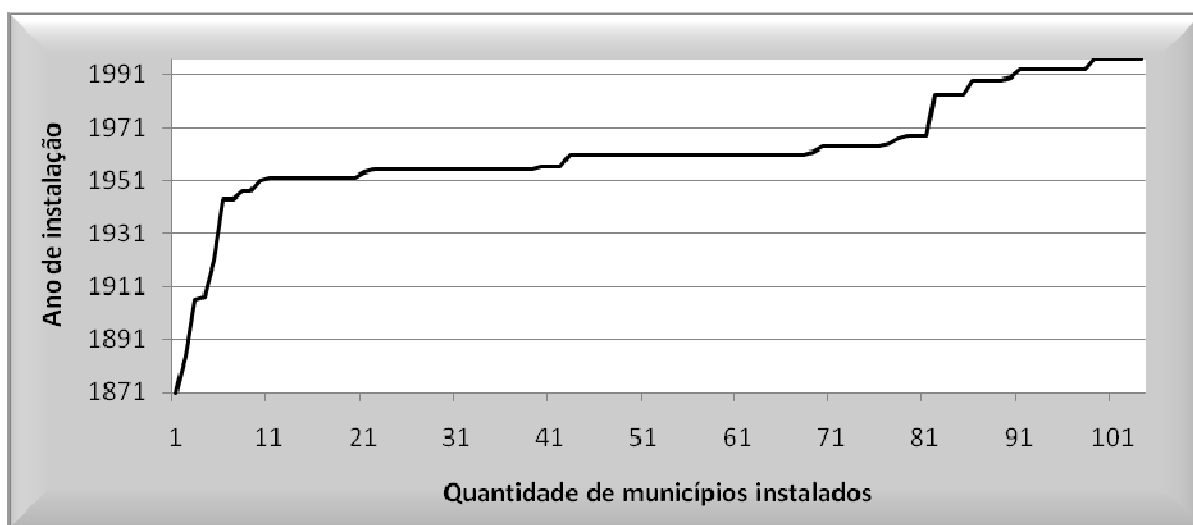


Figura 14– Evolução da instalação dos municípios da Bacia do Ivaí.
Fonte: IBGE, 2005.

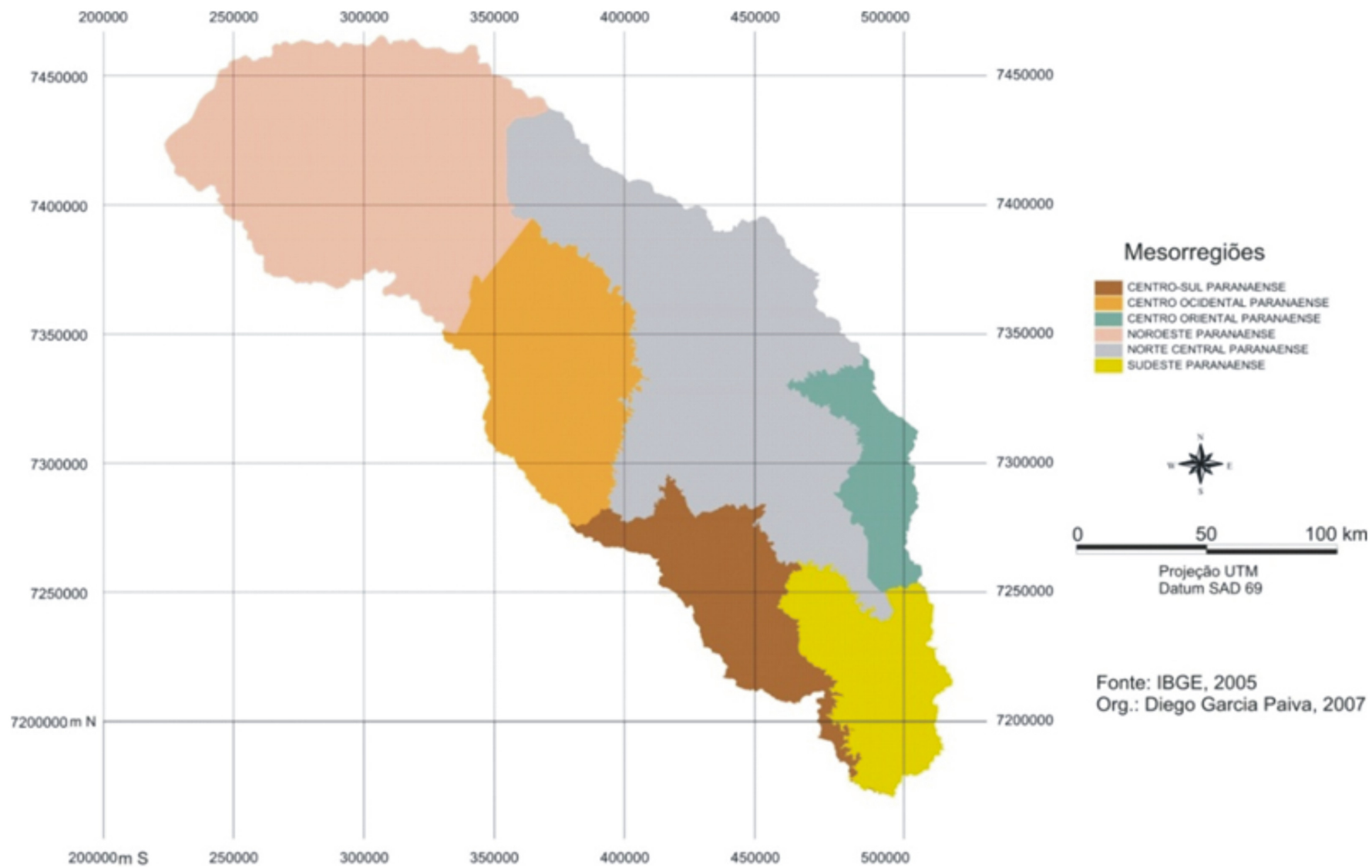


Figura 15 - Bacia do Ivaí Mesorregiões.

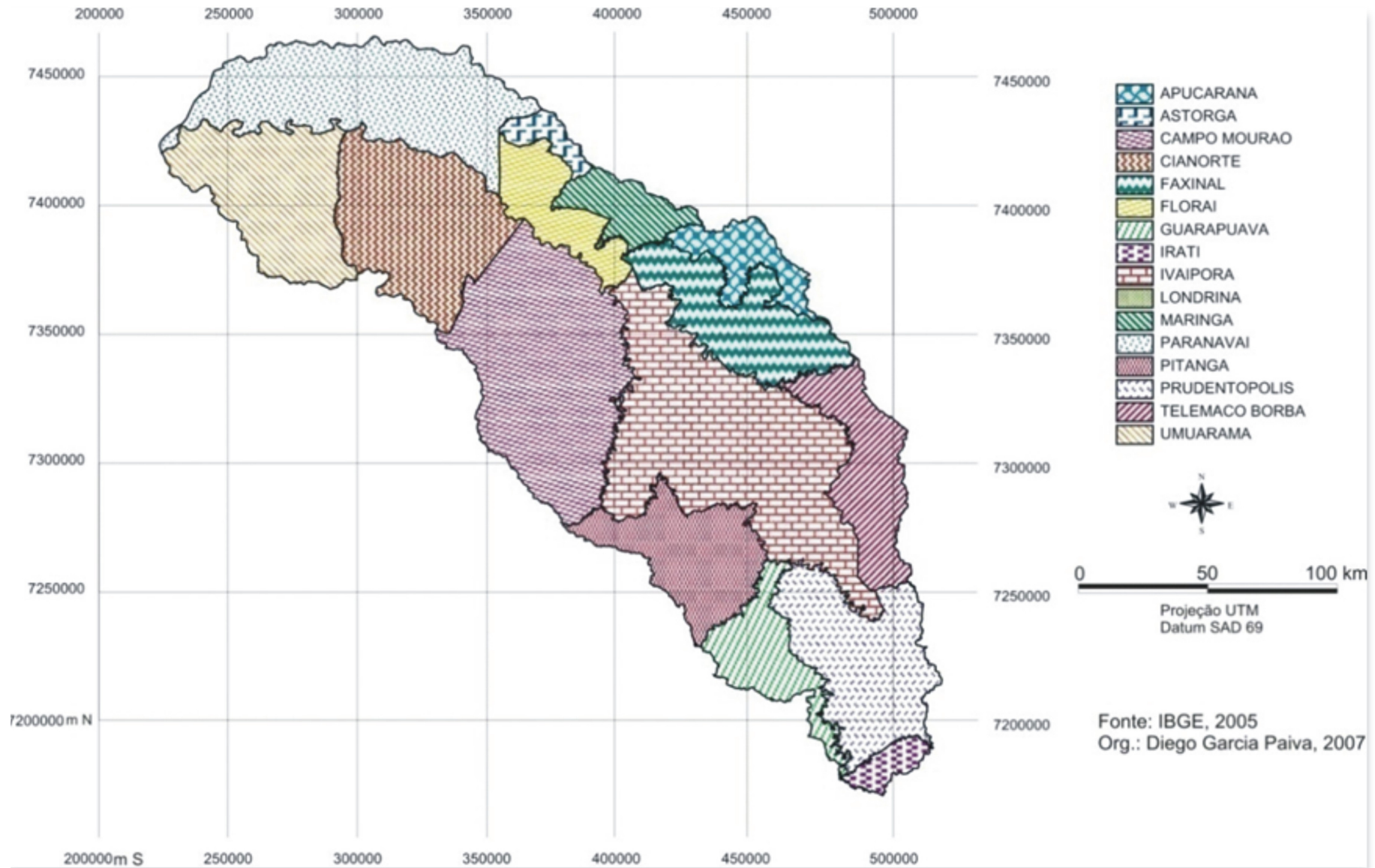


Figura 16 - Microrregiões do IBGE na bacia do rio Ivaí.

Essas mesorregiões, no entanto, possuem em comum um histórico de organização do espaço sempre vinculada a atividades econômicas tradicionais, de cunhos extensivos e extrativos. Portanto, destaca-se que, de maneira geral, no início o desenvolvimento dessas regiões está associado à exploração de algum recurso da natureza, de forma predatória e rudimentar.

A mesorregião Centro-Ocidental já registrava ocupação com a presença de exploradores espanhóis e de bandeirantes. Mas, no entanto, sua ocupação efetiva-se a partir dos anos 40 com a expansão da fronteira agrícola paranaense, e as colônias de povoamento implantadas tanto pelas companhias privadas quanto pelo poder público estadual (HESPANHOL, 1993). Esse tipo de ocupação foi similar a do norte do Estado, realizada por meio do loteamento das terras para venda em pequenas parcelas. No entanto, diferentemente do que ocorreu no norte, o café não se instalou nessa área com a mesma força, dividindo sua produção com outras culturas (milho, arroz, feijão, etc.), suinocultura e a exploração madeireira.

No Norte e Noroeste Paranaense o processo de ocupação, tendo a terra enquanto capital aconteceu principalmente a partir da chegada da expansão cafeeira, na década de 1940, com o avanço da fronteira agrícola, que trouxeram também problemas aliados mais pela falta de gerenciamento do que de planejamento da bacia.

Inicialmente, as florestas foram devastadas para dar lugar às plantações de café nas décadas de 1940 e 1950 até aproximadamente a década de 1970 (BRAY, 1987), e depois para implantação de culturas temporárias, como a soja cana-de-açúcar, pastagens, entre outras. No norte do Paraná existia uma densa e extensa mata, preservada até as últimas décadas do século XIX, (ANDRADE, 1973) (CARDOSO; WESTPHALEN, 1986) (IAP, 2005). Na medida em que os municípios foram instalando e se urbanizando a paisagem foi modificada pela exploração de seus recursos naturais, acompanhando o desflorestamento no estado.

2.4 – Clima e regime hidrológico

O clima na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí apresenta uma definição de períodos úmidos e secos, com chuvas mais freqüentes de Dezembro a Fevereiro e mais escassas de Junho a Agosto. Na sua parte mais alta, as chuvas apresentam distribuição regular ao longo do ano, haja vista a precipitação pluviométrica ser homogênea quanto à distribuição interanual, ocorrendo variabilidade significativa em anos considerados anômalos, quando da ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña. Os anos de 1982, 1983 e 1998 foram excepcionalmente chuvosos e os de 1978, 1985 e 1988 foram excepcionalmente secos (Nery et al, 2007).

O regime hidrológico do rio Ivaí, segundo Destefani (2005) é caracterizado como de baixa periodicidade, isto é, sem períodos sazonais definidos de cheia e estiagem. Isso porque a bacia não possui grande capacidade de armazenamento, fazendo com que as maiores vazões ocorram no período de chuva, e os valores de descarga diminuam assim que a precipitação cesse. Outra causa dessa resposta rápida é a forma da bacia, cuja área de captação é pequena em relação ao comprimento do canal, e a existência de vertentes íngremes na parte superior e média da bacia, que facilitam o escoamento superficial. Dessa mesma forma, as vertentes mais íngremes em geral possuem solos e mantos de alteração mais rasos, dificultando a possibilidade de reservar água para manter um fluxo de base elevado.

A vazão, medida pela quantidade de água que passa através de uma seção transversal por uma unidade de tempo é o principal parâmetro para caracterizar um rio, geralmente medida em metros cúbicos por segundo (m^3/s), segundo Villela e Mattos (1975). É também denominada como descarga fluvial, que é o volume de água que passa em um canal fluvial em uma determinada unidade de tempo (UNB, 2007).

Segundo Tucci (2002), as vazões são consideradas estocásticas, uma vez que elas podem variar no tempo e no espaço. Essa variabilidade representada pela subida e descida das águas consideradas no decorrer de um ano civil (de Janeiro a Dezembro) ou um ano hidrológico (ciclo de vazante-cheia-vazante) corresponde ao regime fluvial ou regime hidrológico. No entanto, a variabilidade do regime hidrológico é controlada por diversos elementos que formam a bacia hidrográfica como: geologia; geomorfologia; solos; cobertura vegetal; uso do solo e ações antrópicas e ainda pelas condições sejam elas climáticas; de precipitação; de evapotranspiração e de radiação

solar. Portanto são esses elementos e condições que caracterizam o regime hidrológico do rio Ivaí como de baixa periodicidade.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Monitoramento como suporte nas análises ambientais

O ato de monitorar tem como objetivo determinar as condições ambientais atuais e tendências para entender os fenômenos geodinâmicos e ecológicos, validar ou calibrar os modelos ambientais, prever, analisar, estabelecer controles e regulamentos ambientais. Os sistemas de monitoramento podem ser operados em várias escalas, de acordo com o tipo de questão ambiental e da jurisdição que corresponde à agência de monitoramento. As escalas podem ser locais, regionais, continentais e globais.

De acordo com a conferência de Estocolmo em 1972, monitoramento, é "um sistema contínuo de observação, de medidas e avaliações para propósitos definidos". Sendo ele ferramenta essencial no conhecimento e aprimoramento do meio ambiente. Ao poder Público Federal é atribuída geração (obtenção) e a comunicação (divulgação, transparência, publicidade) de dados ambientais, o que só é possível através da construção e manutenção de sistemas de monitoramento, e o mesmo pode ser dividido em monitoramento de objetivos, de um ou vários tecidos do organismo, de organismos individuais, da população de uma espécie, amostra de um ecossistema e, o ecossistema total, e também monitoramento de fatores, entre eles, de emissões, ambiental, interno, de tendências, ecológico, especulativo, por associação, de trajetória, de exposição e biológico de exposição humana (ROHDE, 1991).

Portanto, para o monitoramento espacial das mudanças da paisagem (no caso a evolução do desflorestamento), foram utilizadas imagens orbitais dos satélites LANDSAT. Para o monitoramento dos fluxos de base, foram utilizados os dados coletados pelas estações fluviométricas localizadas no rio Ivaí.

Nos dois casos foi de grande valia a ajuda de órgãos governamentais que disponibilizam informações na internet, a ANA – Agência Nacional das Águas, com os dados diários de vazões das estações fluviométricas e bases cartográficas, o INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, com as imagens de satélite. Além de órgãos não-governamentais para complementar o banco de imagens, sempre priorizando sites que disponibilizassem de forma gratuita.

A bacia do Ivaí foi dividida em sub-bacias, considerando como exutória as estações fluviométricas, onde o input de uma é o output de outra. Para delimitá-las foram utilizados os dados altimétricos oriundos da NASA (National Aeronautics and Space Administration), da missão SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). Dessa forma foram obtidas seis sub-bacias denominadas pelo nome da estação correspondente, conforme a figura 17.

Essa separação em unidades serviu para facilitar a composição do banco de imagens, porque para compor um mosaico da bacia inteira seriam necessárias várias cenas de cada satélite. No caso, para as imagens do sensor MSS, são necessárias oito cenas e outras oito para as imagens dos sensores TM e ETM, figuras 17 e 18.

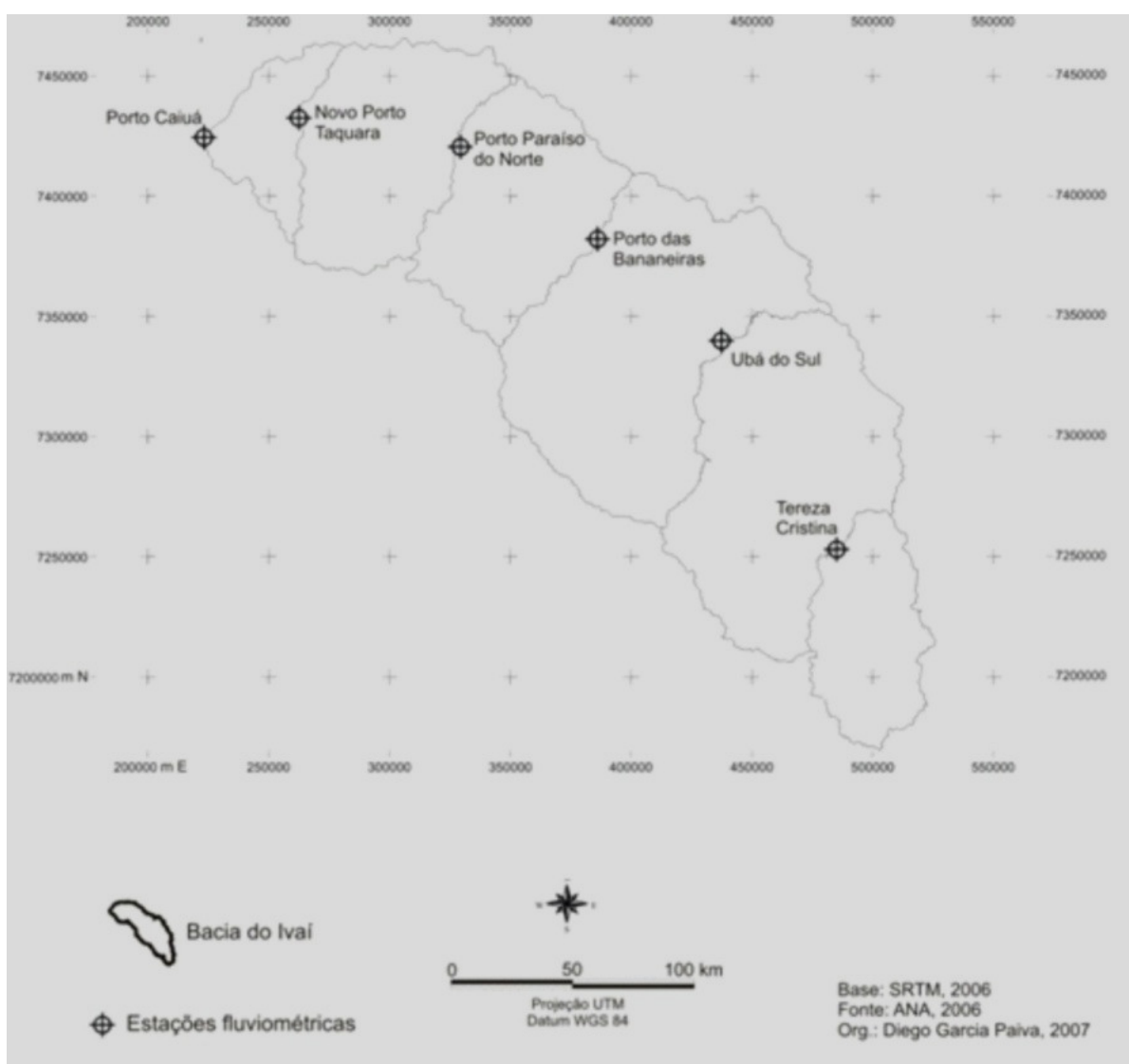


Figura 17 – Divisão da Bacia do Ivaí em sub-bacias.

A divisão em unidades ajudou na escolha das imagens disponíveis para aquisição, e permitiu a comparação com os dados de recessão da vazão das estações fluviométricas. A comparação entre os dados de desmatamento e os dados de recessão da vazão foi realizada apenas na sub-bacia compreendida entre as estações fluviométricas de Novo Porto Taquara e de Porto Paraíso do Norte, uma vez que a composição do banco de imagens para as outras unidades foi comprometida pela falta de imagens disponíveis.

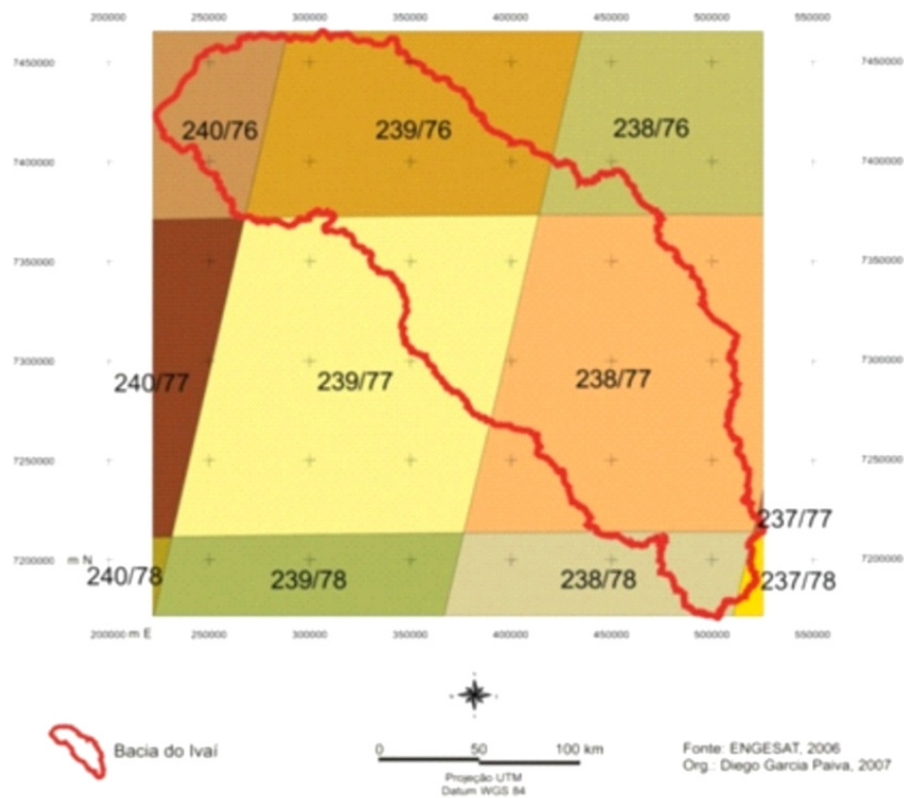


Figura 18 – Localização das cenas dos satélites LANDSAT com sensor MSS na bacia do Ivaí.

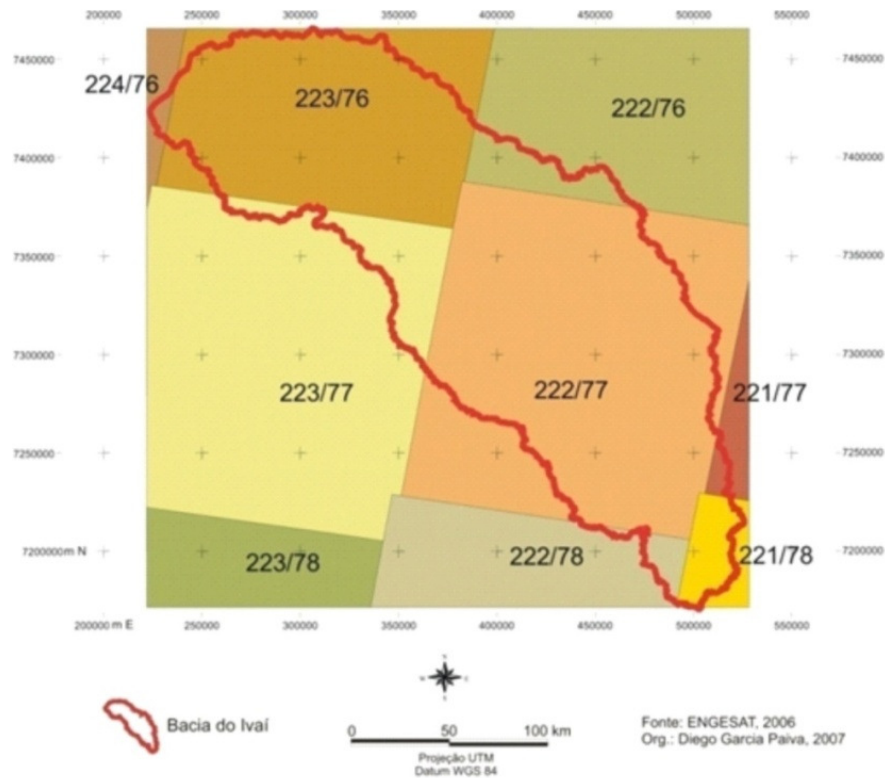


Figura 19 – Localização das cenas dos satélites LANDSAT com sensor TM e ETM na bacia do Ivaí.

3.2 – Sensoriamento Remoto como suporte no monitoramento espacial

As informações provenientes de sensoriamento remoto, principalmente com imagens de previsão do tempo e dados de desmatamento estão sendo expostas na mídia com grande frequência. Além dessas utilidades, elas podem, conforme Hayakawa (2006), e de acordo com os interesses, “ter caráter estratégico, de planejamento, militar, educacional, etc., o que pode desencadear processos positivos e negativos tanto a sociedade quanto ao meio”.

As informações produzidas pelos sensores remotos evoluíram juntamente com a tecnologia, principalmente após a Primeira e Segunda Guerra Mundial. O sensoriamento remoto supre diversas carências informacionais se considerarmos a dimensão da Terra e em especial as dimensões continentais do Brasil, uma vez que elas são utilizadas para diversas finalidades e áreas, como na oceanografia, meteorologia, geografia, geologia, cartografia, entre outras, como uma importante ferramenta no levantamento de informações sobre os recursos naturais auxiliando posteriormente em possíveis projetos de monitoramento e análise ambiental (HAYAKAWA, 2006).

Isto fica evidente na vasta bibliografia encontrada em estudos que contemplam a utilização de imagens orbitais e sua correlação com os elementos da superfície terrestre, destacando a importância do sensoriamento remoto como ferramenta para análise espacial, utilizando as imagens orbitais como uma das poucas formas de se monitorar a Terra tanto em escala global como o local. Outra vantagem refere-se à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam (CRÓSTA, 1993).

De acordo com Novo (1988), o sensoriamento remoto consiste da utilização de modernos equipamentos, entre eles os sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves e espaçonave etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a energia da radiação eletromagnética e os elementos componentes da superfície terrestre e suas várias manifestações. Por sua vez, Lillesand (1994) define o Sensoriamento remoto como a ciência e a arte de obter informações de um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por meio de um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno que está sob investigação.

O sensoriamento remoto permite, portanto a obtenção de uma grande quantidade de informações a respeito de registros da terra em curto espaço de tempo (LOCH, 1984) (ROSA, 1990) (PESSOA, 1992) (FALKNER, 2000). Aliado as técnicas de processamento digital de imagens orbitais que permite analisar a cobertura da superfície terrestre, uma vez que os sensores orbitais registram a intensidade de energia refletida ou emitida pelos diferentes materiais presentes na superfície para o pixel, (CRÓSTA 1993).

Os sensores que os satélites orbitais transportam possibilitam detectar mudanças no uso do solo, identificadas por padrões específicos de cada alvo, como resposta espectral, forma, tamanho e textura, muitos pesquisadores fazem uso dessa ferramenta como suporte em trabalhos de monitoramento ambiental. Isso só é possível graças à facilidade de obtenção de dados quali-quantitativos gerados por meio de imageamento orbital, e porque as técnicas de geoprocessamento podem proporcionar a análise de uma grande quantidade de informações provenientes do sensoriamento remoto, (SILVA, 1992) (INPE, 2002) (CENTENO, 2003).

O sensoriamento remoto está fundamentado na interação entre a radiação eletromagnética e os objetos da superfície terrestre que absorvem, refletem e emitem a radiação solar, uma vez que toda matéria com temperatura acima de zero grau absoluto

(0 Kelvin) emite energia, tornando-se assim fonte de energia eletromagnética, sendo o Sol e a Terra as duas principais fontes de energia.

Em face do problema relacionado com o desmatamento e a possibilidade de utilizar imagens orbitais para a análise da vegetação, este trabalho realizou um dos seus objetivos, a quantificação da evolução do processo de desflorestamento na bacia do rio Ivaí, especificamente da unidade escolhida para estudos, Novo Porto Taquara desde 1973 a 1987, por meio da utilização de imagens dos satélites LANDSAT (1, 3 e 5).

3.3 – Composição do Banco de Imagens Georreferenciadas

O trabalho foi iniciado pela seleção e download das imagens a serem utilizadas por meio site brasileiro do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e do site americano GLCF (Global Land Cover Facility). Uma vez escolhidas, as imagens foram registradas e incorporadas ao banco de dados georreferenciado compondo um Sistema de Informações Geográficas.

O intervalo de tempo analisado e a disponibilidade de imagens exigiram o uso de imagens oriundas de dois diferentes sensores, e três satélites LANDSAT (1, 3 e 5), com diferentes características quanto à resolução espacial e espectral. Para utilizarmos as imagens nos limitamos as suas possibilidades de uso desde que não tivessem falhas ou defeitos e ainda nuvens. O período total foi de 14 anos, intercalado por períodos de cinco e nove anos. As características das imagens escolhidas encontram-se na tabela 1.

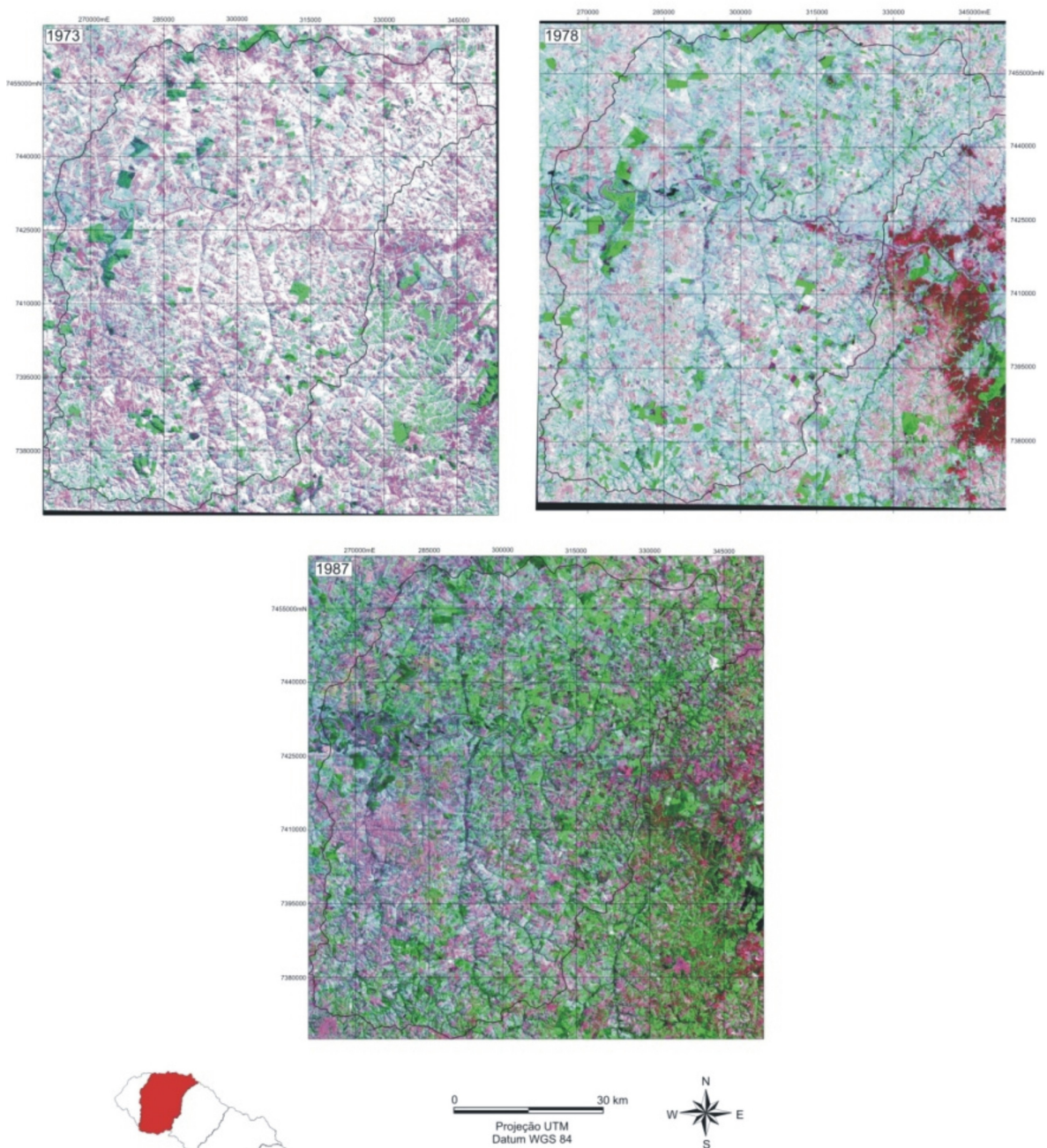
Tabela 1 – Características das imagens escolhidas para classificação – Novo Porto Taquara.

Ano	Satélite	Sensor	Data de passagem	Órbita e ponto	Resolução espacial e espectral
1973	Landsat 1	MSS	28/6/1973_8/9/1973	239_76/239_77	79m/4 bandas
1978	Landsat 3	MSS	24/10/1978	239_76/239_77	79m/4 bandas
1987	Landsat 5	TM	14/3/1987	223_76/223_77	30m/7 bandas

Com o banco de imagens integradas num SIG (Sistema de Informação Geográfica), foi elaborada a composição colorida RGB (red, green e blue): R4 G7 B5 para as imagens dos satélites Landsat 1 e 3 e R4 G3 B1 para as imagens do satélite Landsat 5. Por meio dessas composições, as imagens foram visualizadas com

coloração próxima do real, e com isso foi possível fazer a identificação da vegetação arbórea de grande porte sem muito esforço, principalmente, pela cor, forma, tamanho.

Os resultados da composição colorida das imagens da sub-bacia Novo Porto Taquara para o período entre 1973 e 1987 encontra-se na figura 20.



Bacia Novo Porto Taquara

Fonte: Landsat 1, órbita 239, ponto 76, de 28/06/1973 e órbita 239 ponto 77, de 08/09/1973.
Landsat 3, órbita 239, pontos 76 e 77, de 24/10/1978 -
Composição colorida RGB (R banda 5, G banda 7 e B banda 4).
Landsat 5, órbita 223, pontos 76 e 77, de 14/03/1987 -
Composição colorida RGB (R banda 4, G banda 3 e B banda 1).

Organização: Diego Garcia Paiva, 2007

Figura 20 - Imagem com composição colorida RGB
Novo Porto Taquara (1973-1987).

3.4 – Técnicas de classificação digital para cartografar a formação florestal

Para extrair as informações necessárias de uma imagem orbital as técnicas de classificação oferecem algumas possibilidades, dentre elas, o fatiamento ou segmentação, ou seja, selecionar na imagem um limiar de pixels atribuído à classe escolhida. Foram utilizadas bases cartográficas do IBGE, por meio do tema “mata”, representada na cor verde, figura 21. E também imagens do Google Earth, figura 22, como instrumento de identificação das classes para ajudar a selecionar o limiar de fatiamento.

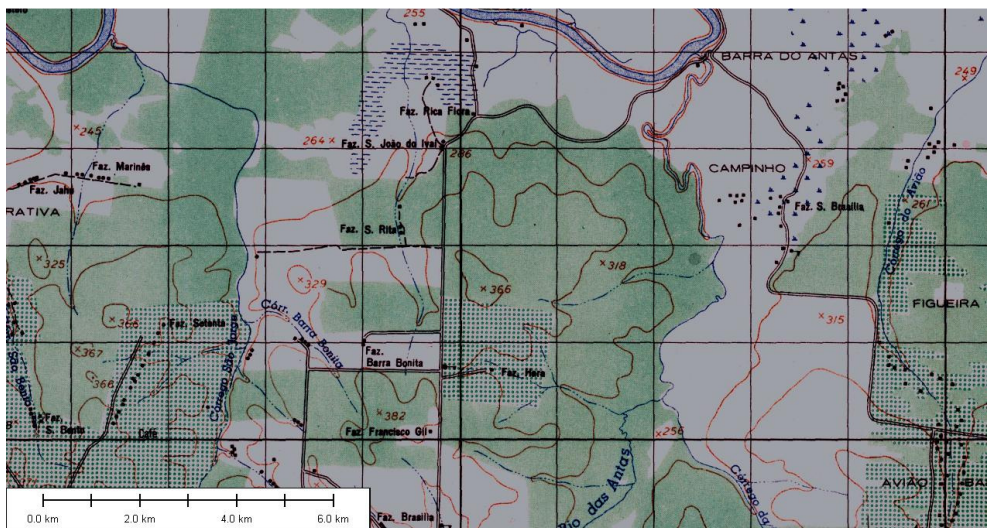


Figura 21 – Identificação de formação florestal nas cartas do IBGE.



Figura 22 – Identificação de formação florestal pelas imagens do Google Earth.

Depois da identificação, essas áreas foram localizadas nas imagens e constituíram as regiões de interesse para a determinação do limiar de fatiamento. Nas imagens em que não foi possível a determinação das regiões de interesse, o limiar para a vegetação arbórea foi definido por meio da razão entre as bandas R (infravermelho-próximo) e G (verde).

Essa operação possibilitou o destaque das áreas de vegetação arbórea na cor branca, pois ela divide os valores obtidos no infravermelho-próximo e no verde, aumentando o contraste da imagem, destacando as áreas de interesse com tons claros. Nesse caso foi utilizada a composição RGB invertendo as bandas R e G, destacando as áreas de interesse em vermelho, às vezes com imagens de outras datas fora do banco de imagens, como no exemplo da figura 23.

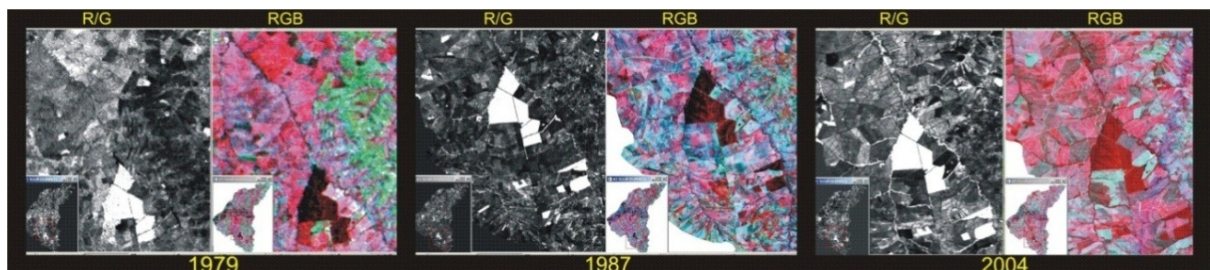


Figura 23 – Comparação entre as imagens na composição RGB e a razão de bandas a partir de imagens dos Satélites LANDSAT/MSS-3 órbita e ponto 240/76. Data de passagem 28/02/1979; LANDSAT/TM-5 órbita e ponto 223/76. Data de passagem 14/03/1987 e CBERS CCD órbita e ponto 162/126. Data de passagem 24/03/2004.

Mesmo depois desses procedimentos para acrescentar uma opção de identificação de formação florestal foi elaborado um modelo digital de elevação com os dados altimétricos da SRTM, e aplicado um filtro de convolução direcional de 90° na imagem gerada para destacar possíveis áreas de vegetação. Esse filtro basicamente altera o contraste do MDT produzido pelos dados da SRTM e produz um relevo sombreado, definido pela matriz Kernel 3 X 3, resultando em 0, figura 24.

Aplicado o filtro, foi verificada a presença de áreas “rugosas” no modelo digital de elevação, o que corresponde à cobertura vegetal. Com esse filtro e comparações entre a imagem de 2004 do satélite CBERS, foram identificadas as áreas com vegetação de formação florestal, figura 25.

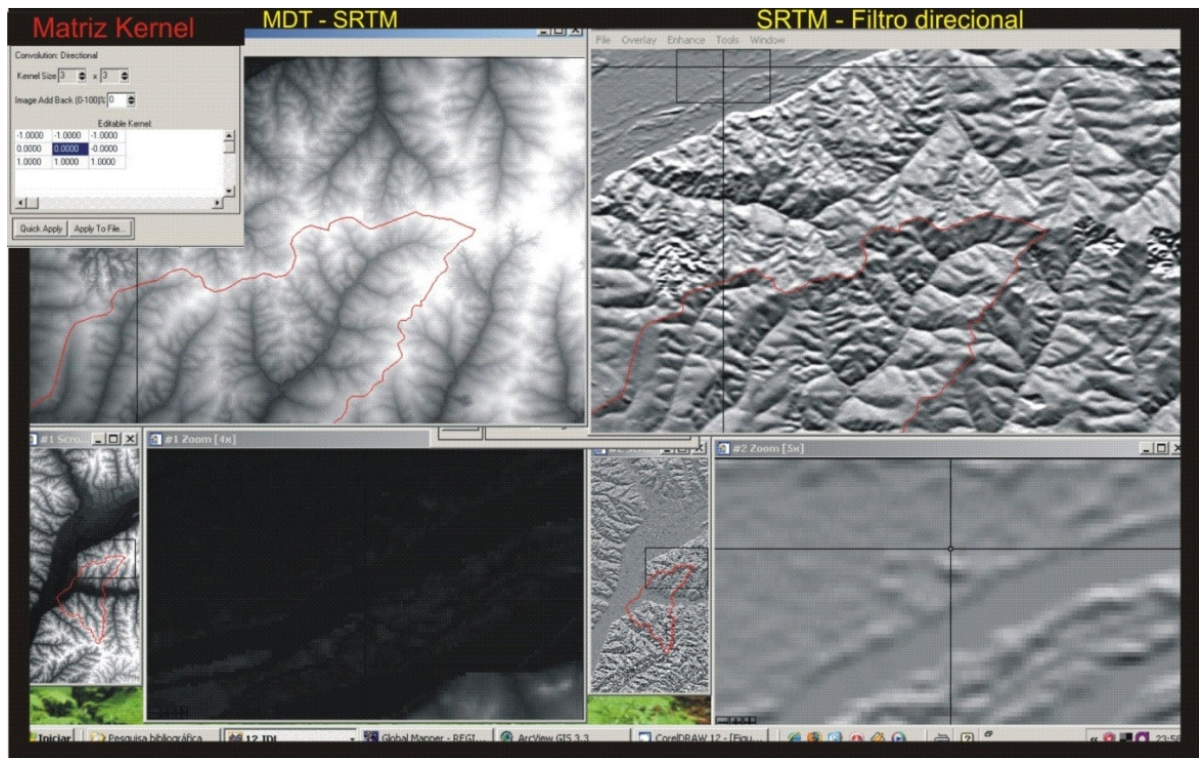


Figura 24 - Imagem gerada pelo Modelo Digital de Elevação – SRTM e aplicação da matriz Kernel do Filtro Convolução Direcional de 90°.

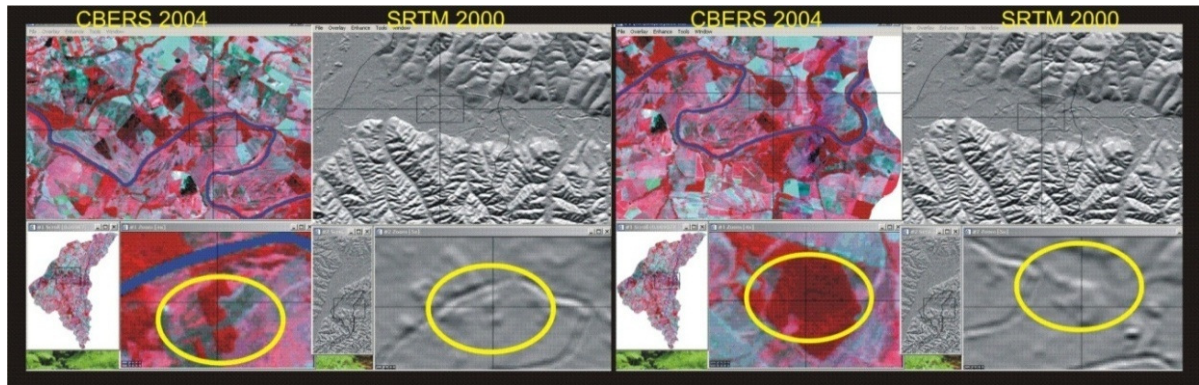


Figura 25 - Comparação entre a imagem CBERS e MDT (SRTM) com filtro de convolução direcional de 90°

Esse tipo de classificação também pode ser considerado como supervisionada porque a participação do operador no processo é essencial, sendo ele quem define as classes por meio de regiões de interesse, ou de treinamento. Nesse caso foi definida apenas uma classe, vegetação arbórea, conforme o reconhecimento na imagem de características que puderam ajudar na escolha das regiões, tais como, forma, textura, tamanho e conhecimento da área.

O fato de “fatiar” a imagem não quer dizer que a classificação se encerra, isso porque pode existir algum pixel no conjunto selecionado dentro desse limiar que não

corresponde à realidade, devido às interferências que um alvo imageado pode causar ou sofrer de um alvo vizinho. Por exemplo, um pixel registra uma informação semelhante à de vegetação arbórea, mas esse pixel pode não ser puro e transmitir informações da área vizinha com outro uso.

Com o limiar definido foi realizado o fatiamento das imagens e a seguir aplicado uma generalização por meio da pós-classificação Majoritária (Majority Analysis), que elimina os pixels falsos dentro das classes. Terminado esses procedimentos de interpretação visual e digital, foram elaborados os mapas de vegetação da bacia para cada imagem.

3.5 – Análise hidrológica da vazão

De acordo com Destefani (2005) o regime hidrológico do rio Ivaí é caracterizado como de baixa periodicidade, isto é, sem períodos sazonais definidos de cheia e estiagem. Essa característica permite dizer que a bacia está sujeita a precipitação pluvial em qualquer parte do ano, e que não possui grande capacidade de armazenamento hídrico, as maiores vazões ocorram no período de chuva, e os valores de descarga diminuam assim que cessa a precipitação.

A vazão é o principal parâmetro para caracterizar um rio, de acordo com Villela e Mattos (1975). Também denominada como descarga fluvial, ou ainda deflúvio, é o volume total de água que passa, em determinado período, pela secção transversal de um curso d' água. (BRASIL, 1984). O deflúvio pode ser anual, mensal, semanal, diário, etc. e ele pode expressar a capacidade de armazenamento de uma bacia hidrográfica.

Os valores de vazão considerados nesse trabalho foram as descargas médias diárias, que correspondem ao valor calculado a partir da média de duas leituras de nível da água realizadas às seis e às dezoito horas nas estações fluviométricas utilizadas. Esses valores refletem todos os fatores hidrológicos atuantes na bacia de drenagem até a estação de referência.

O deflúvio numa bacia hidrográfica é influenciado por três fatores: clima, relevo e uso do solo. Os fatores climáticos contribuem com a entrada de água no sistema, via precipitação, e, em conjunto com a cobertura vegetal, influencia também uma parte da saída, por meio da evapotranspiração.

Em relação à precipitação, essa influência não está relacionada apenas a quantidade de chuva, mas também ao padrão da chuva, sua intensidade, duração e a distribuição temporal e espacial em relação à bacia. Quanto à evapotranspiração, ela é influenciada pela temperatura do ar, ventos, pressão barométrica, radiação solar, umidade relativa, e está diretamente relacionada com a vegetação e com o uso do solo.

O relevo da bacia influencia a formação do deflúvio de várias maneiras, por meio da altitude, da declividade, orientação e tamanho das vertentes, da área e forma da bacia, pela densidade da drenagem, e por meio das características do substrato. O papel da altitude está relacionado à sua influência na precipitação, temperatura e evapotranspiração, mas é mais importante nas bacias em que as diferenças altimétricas são grandes.

A declividade é uma importante variável para o controle do escoamento superficial, pois a velocidade de fluxo é diretamente proporcional ao ângulo de inclinação da vertente. Dessa forma, a declividade da vertente influencia também a infiltração, pois quanto menor for o tempo de permanência da água na superfície, menor será a infiltração, e menor será a quantidade de água em sub-superfície. A orientação da vertente pode influenciar a intensidade da precipitação e o grau de insolação, mas tais efeitos tornam-se mais importantes quanto maior for a movimentação do relevo. Por fim, o tamanho das vertentes influencia o tempo de permanência do fluxo superficial, uma vez que quanto menor ela for, menor será o trajeto da água até o canal fluvial.

A área da bacia representa a área de captação da água pluvial, a quantidade de água que entra no sistema é diretamente proporcional ao seu valor. Por outro lado, quanto maior for a área da bacia, maior a possibilidade da existência de diferentes condições climáticas dentro dela. A forma da bacia está relacionada ao comprimento das vertentes, assim como a densidade de drenagem. Quanto mais alongada a bacia e quanto mais densa a rede de drenagem, menores serão as vertentes.

As características do substrato além de ter importante papel no que diz respeito às demais variáveis mencionadas, também influencia o deflúvio porque a tipologia e espessura dos solos e das coberturas detriticas são responsáveis pela permeabilidade e pela capacidade de armazenamento das vertentes.

O uso do solo (com a cobertura vegetal incluída) participa do processo hidrológico, pois interfere na rugosidade superficial da vertente, na permeabilidade e na evapotranspiração.

Na observação das séries históricas de vazões diárias das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Ivaí, pode ser observado uma considerável variabilidade entre a vazão máxima e mínima. A amplitude verificada nas curvas de recessão do fluxo de base demonstrou que a água permanece por pouco tempo no sistema, isso ocorre porque o sistema é de resposta rápida, ou seja, o escoamento é feito principalmente em superfície. A elaboração das curvas de recessão, através das séries históricas de vazão, e sua análise, permitem a interpretação da relação entre a retirada da cobertura vegetal e a alteração na descarga fluvial. Uma vez que se existe mudanças no fluxo de energia do sistema, haverá então, mudanças na hidrodinâmica do canal. A curva de duração ou de permanência de vazões é a representação gráfica da equação da distribuição da vazão num intervalo de tempo, sendo a duração expressa em porcentagem (Villela 1975), figura 26

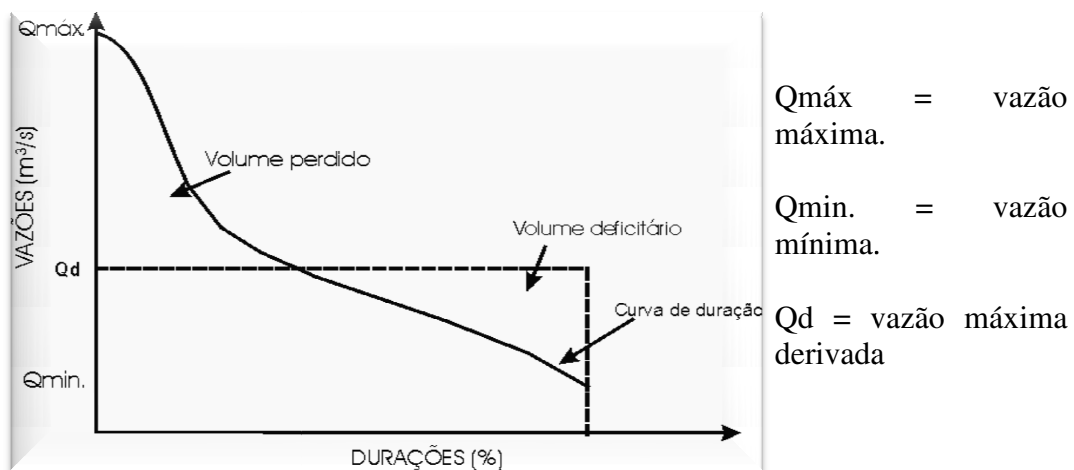


Figura 26 – Curva de duração
 Fonte: Villela (1975)

3.6 – Elaboração das curvas de duração do fluxo de base

A análise da relação entre o desflorestamento e os dados de vazão foi realizada a partir da adoção de alguns procedimentos para a elaboração da curva de duração do fluxo de base das séries históricas de vazão. Os procedimentos adotados seguiram três etapas: obtenção dos dados; seleção dos períodos escolhidos para análise; elaboração da curva de permanência nesses períodos. A correlação entre as curvas de permanência e retirada da vegetação de formação florestal foi a última etapa do trabalho.

A estação fluviométrica de Novo Porto Taquara foi escolhida para a elaboração das curvas de recessão da vazão. Os dados históricos de descarga média diária foram utilizados para compor um banco de informações hidrológicas, compreendendo o período entre 18/07/1974 a 31/12/1988. Esse período foi subdividido em três intervalos, a saber: de 1974 a 1978, com 1630 dias analisados, de 1979 a 1983, com 1720 dias de registro, e de 1984 a 1988, com 1827 dias. De posse dessas informações, foi analisado o comportamento do hidrograma de cada período, identificando os picos de descidas, figuras 27, 28 e 29.

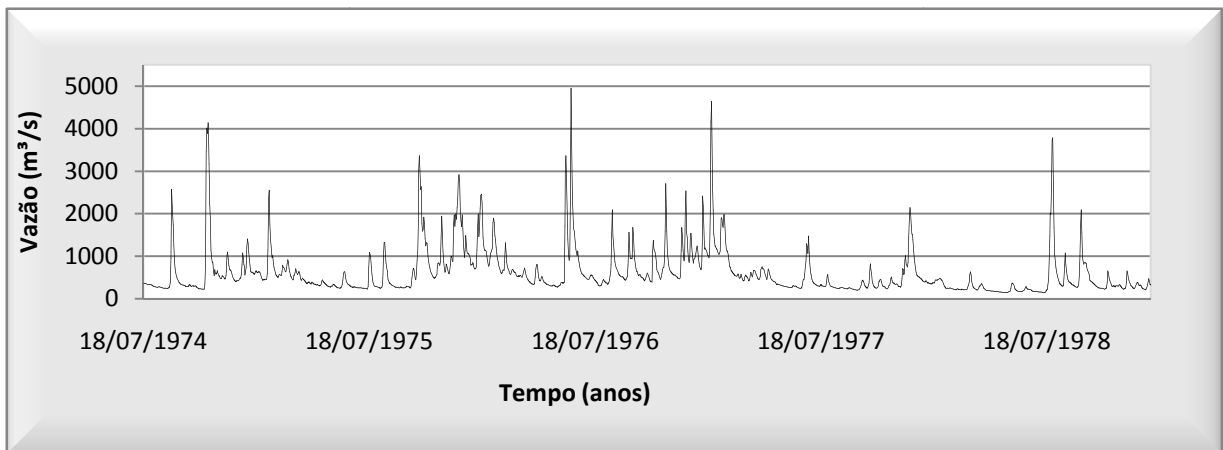


Figura 27 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo porto Taquara (1974 – 1978).

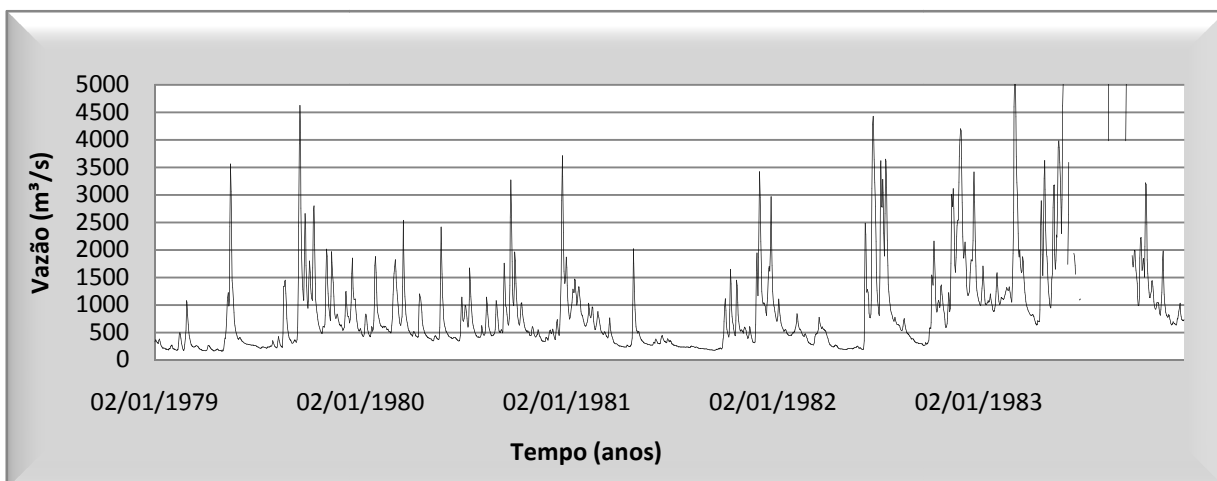


Figura 28 - Vazão diária da estação fluviométrica Novo porto Taquara (1979 – 1983).

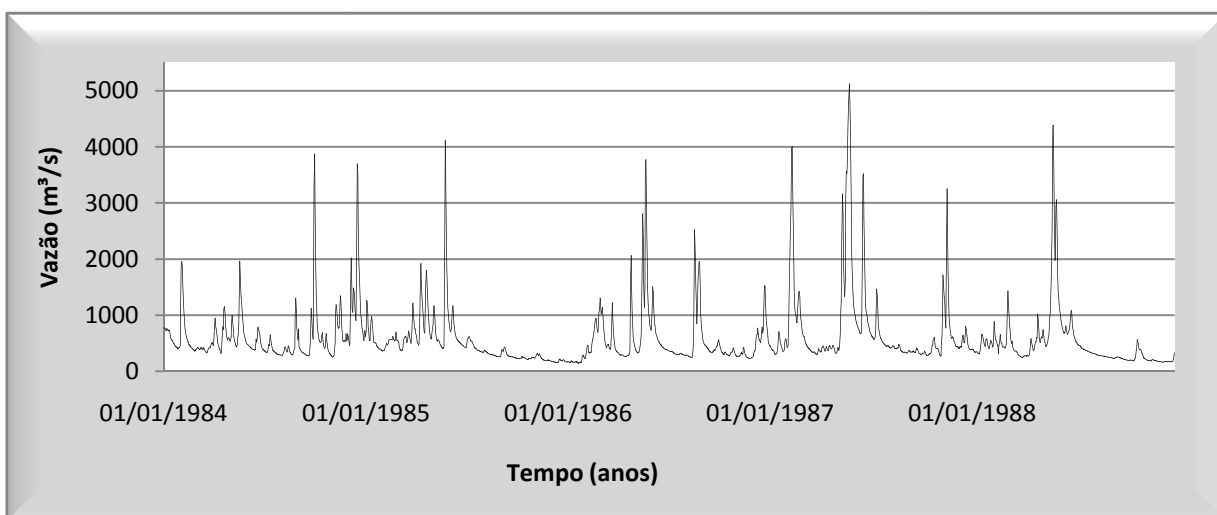


Figura 29 - Vazão diária da estação fluviométrica Novo porto Taquara (1984 – 1988)

As séries históricas de vazões nos períodos seleccionados mostram as mudanças no comportamento dos hidrogramas, principalmente nos picos de subidas de grande magnitude. Esse comportamento mostra que o regime hidrológico do rio Ivaí comporta-se como de uma bacia impermeável, conforme mencionado anteriormente, e é essa característica que proporcionou a aplicação da metodologia escolhida, uma vez que em bacias permeáveis seria mais difícil identificar a participação do fluxo de base. No entanto, para identificação desse fluxo, subsuperficial e subterrâneo, a escala de análise foi aumentada, por meio da seleção de períodos mais curtos, figuras 30, 31 e 32.

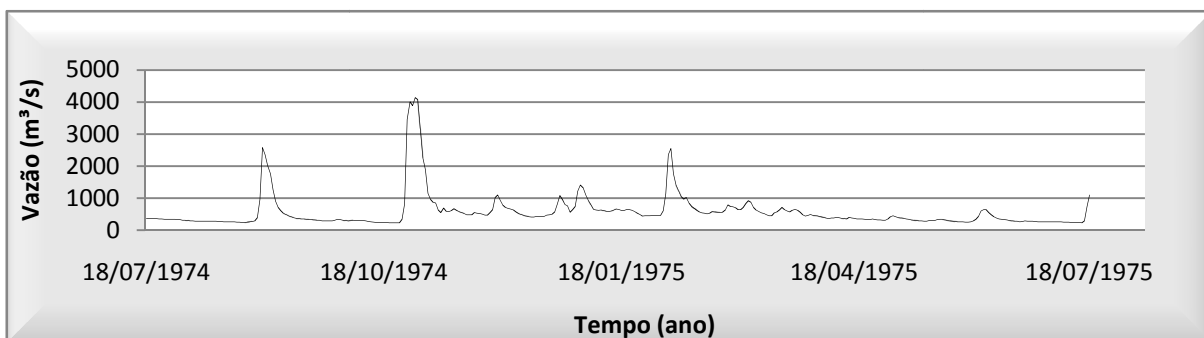


Figura 30 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1974 – 1975).

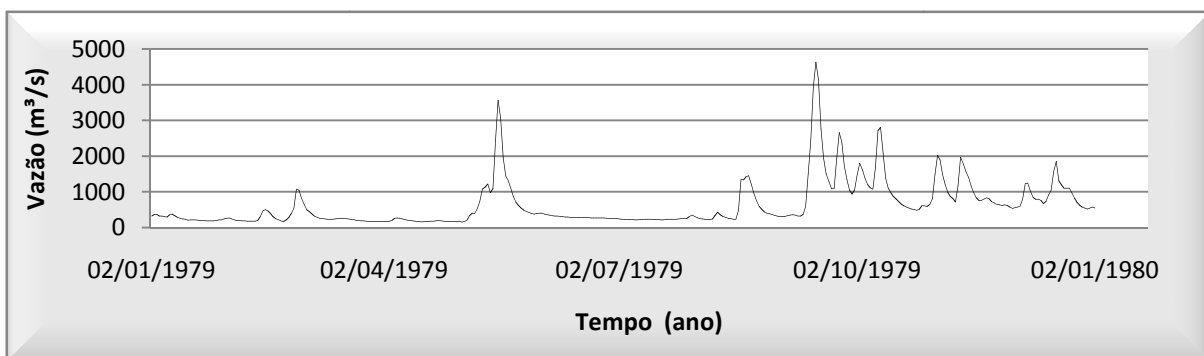


Figura 31 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo porto Taquara (1979 – 1980).

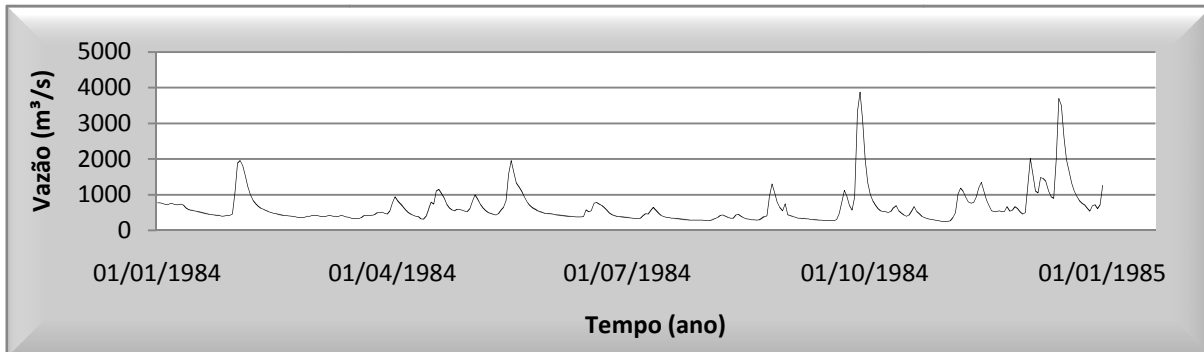


Figura 32 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo porto Taquara (1984 – 1985).

Nos períodos anuais foi possível verificar que os picos de subida de vazão acontecem diversas vezes no ano, praticamente em todos os meses, apesar da variação da à magnitude da vazão. Alguns desses picos de vazão foram separados em períodos mais curtos ainda, figuras 33, 34 e 35.

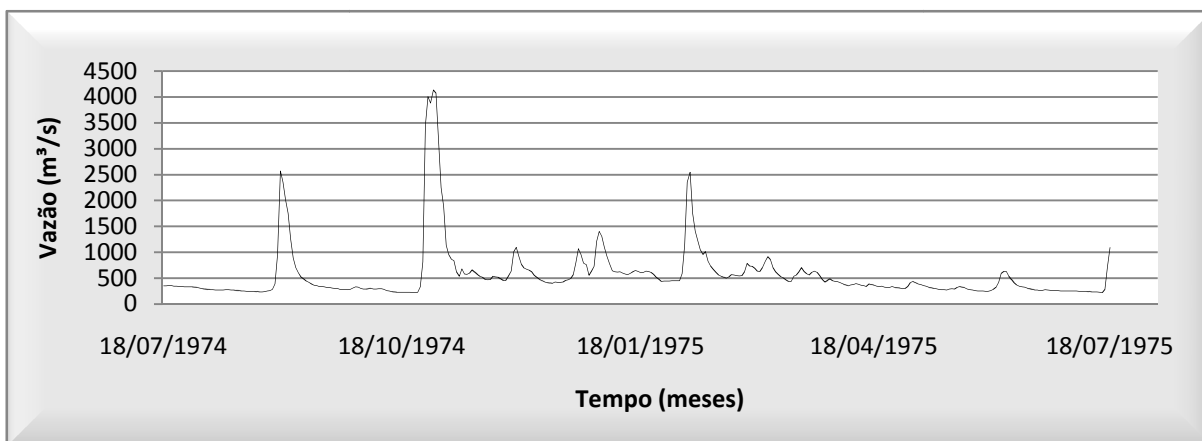


Figura 33 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo porto Taquara (1974 – 1975).

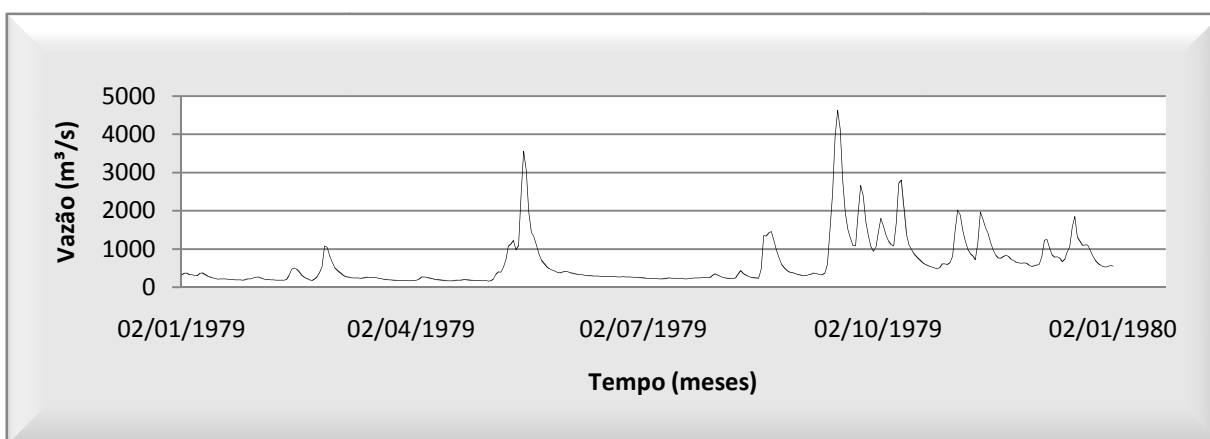


Figura 34 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo porto Taquara (1974 – 1975).

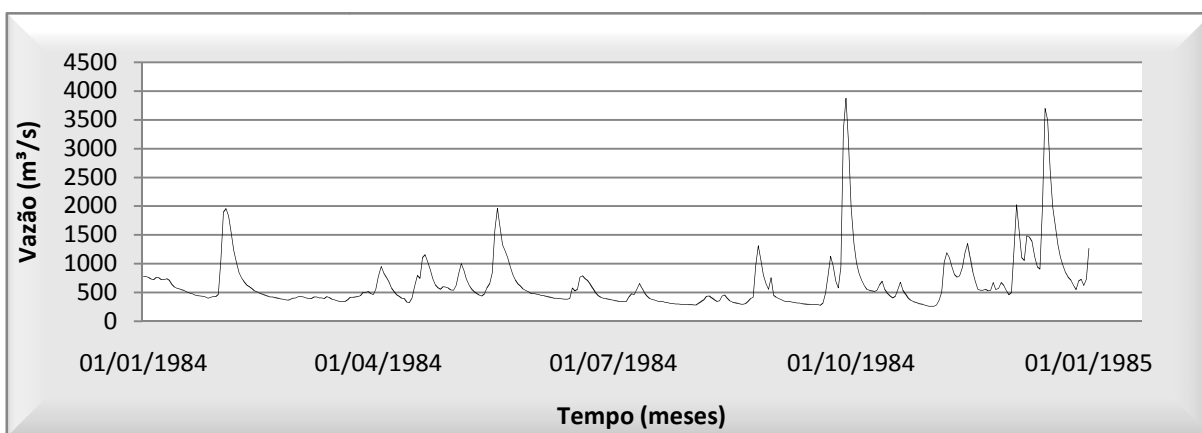


Figura 35 – Vazão diária da estação fluviométrica Novo porto Taquara (1974 – 1975).

Depois disso foi realizada uma nova seleção, aumentando a escala mais uma vez, para que os períodos iguais ou maiores que dez dias de descida de vazão fossem selecionados. Dessa forma, os períodos que apresentaram o referido comportamento

foram selecionados, como nas figuras 36, 37 e 38, e organizados em tabelas, como mostrado na tabela 2.

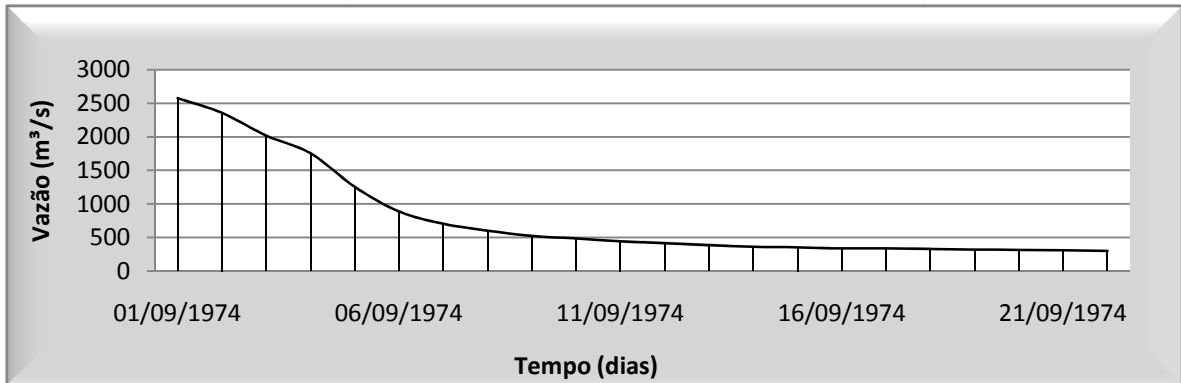


Figura 36 - Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1974)

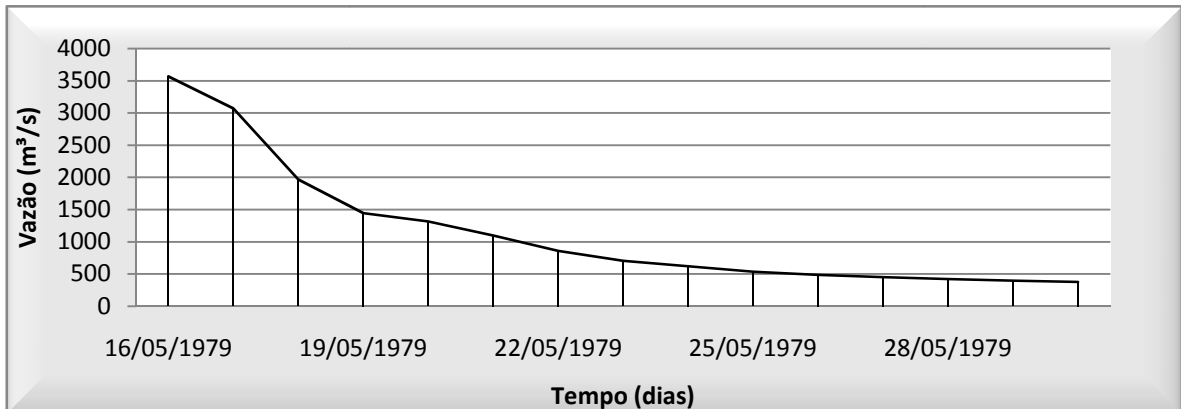


Figura 37 - Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1979).

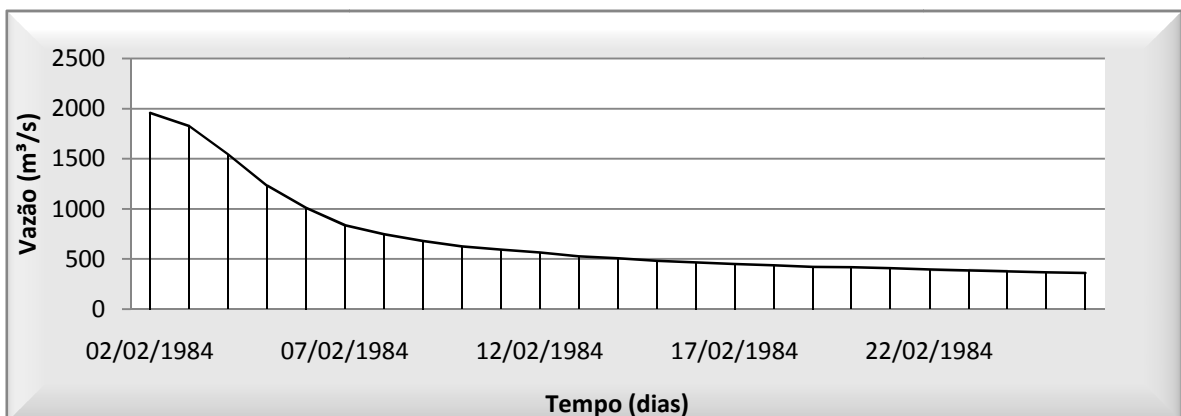


Figura 38 - Vazão diária da estação fluviométrica Novo Porto Taquara (1984)

A seleção da serie de descidas maiores ou iguais a dez dias escolhidas seguiram o exemplo da tabela 2.

Tabela 2 – Disposição dos dados de vazão na série histórica - exemplo.

Data	Vazão (m ³ /s)	Data	Vazão (m ³ /s)
26/10/1974	814	08/11/1974	627
27/10/1974	3459	09/11/1974	539
28/10/1974	4009	10/11/1974	679
29/10/1974	3886	11/11/1974	583
30/10/1974	4138	12/11/1974	578
31/10/1974	4077	13/11/1974	601
01/11/1974	3165	14/11/1974	662
02/11/1974	2251	15/11/1974	618
03/11/1974	1884	16/11/1974	573
04/11/1974	1141	17/11/1974	541
05/11/1974	955	18/11/1974	518
06/11/1974	866	19/11/1974	476
07/11/1974	839	20/11/1974	469

Fonte: ANA, 2006.

Após a seleção dos dados, foi realizada a organização deles em ordem cronológica considerando como unidade de tempo, os dias, iniciando com os maiores registros nos primeiros dias e terminando com o menor registro no último dia, em ordem decrescente. Essa metodologia permitiu unir todas as descidas selecionadas numa só tabela para cada período de cinco em cinco anos, conforme anexos e de acordo com a tabela 3. Esse método permitiu elaborar a curva de permanência das vazões selecionadas para análise. Essa curva representa quanto tempo em dias cada vazão permaneceu no sistema.

Tabela 3 – Organização dos dados de vazão para elaborar a curva de permanência - exemplo.

Data	Vazão (m ³ /s)	Tempo (dias)	Data	Vazão (m ³ /s)	Tempo (dias)
30/10/1974	4138	1	06/11/1974	866	8
31/10/1974	4077	2	07/11/1974	839	9
01/11/1974	3165	3	08/11/1974	627	10
02/11/1974	2251	4	09/11/1974	539	11
03/11/1974	1884	5	10/11/1974	679	12
04/11/1974	1141	6	11/11/1974	583	13
05/11/1974	955	7	12/11/1974	578	14

Fonte: ANA, 2006.

Depois de realizado o procedimento de organização dos registros de vazão em ordem cronológica por dias, foi elaborado a curva de permanência para cada um dos

períodos, conforme a figura 39 (1974-1978), figura 40 (1979-1983) e figura 41 (1984-1988).

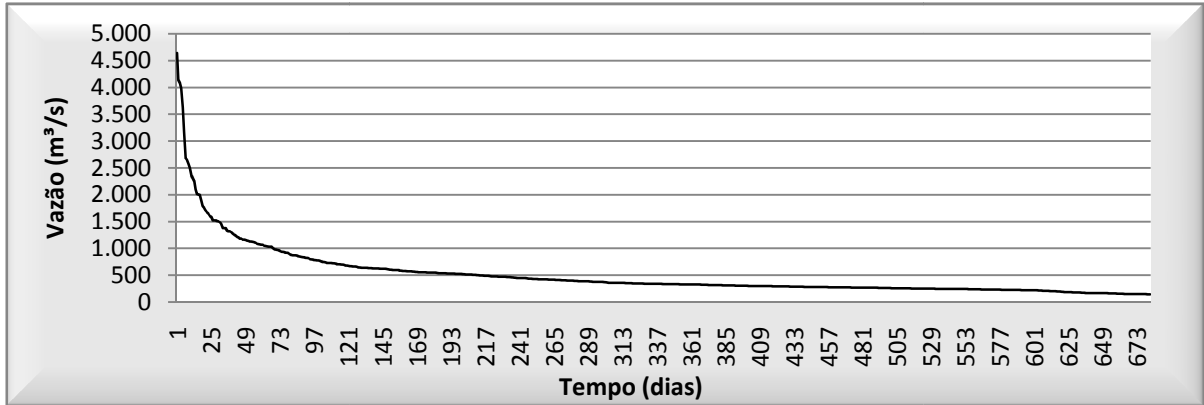


Figura 39 – Curva de permanência do fluxo de base 1974-1978.

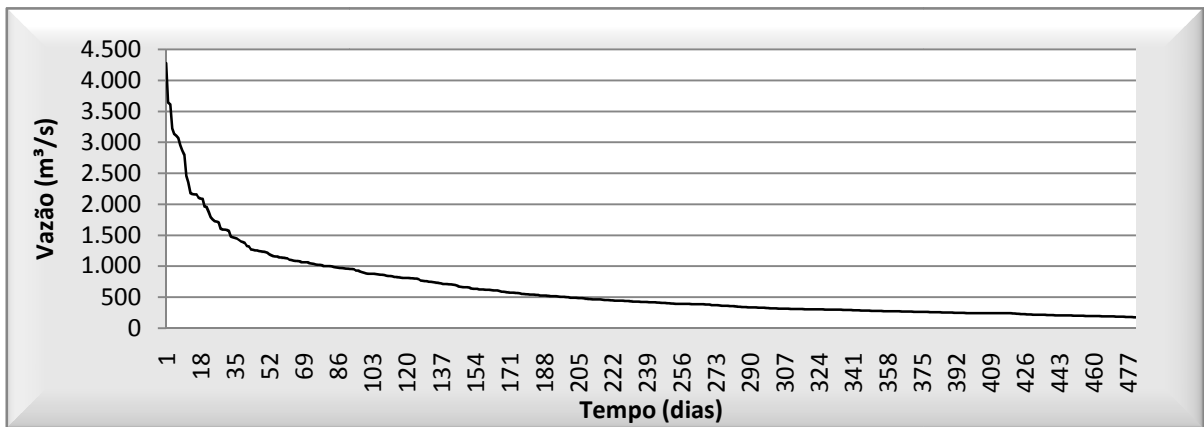


Figura 40 – Curva de permanência do fluxo de base 1979-1983.

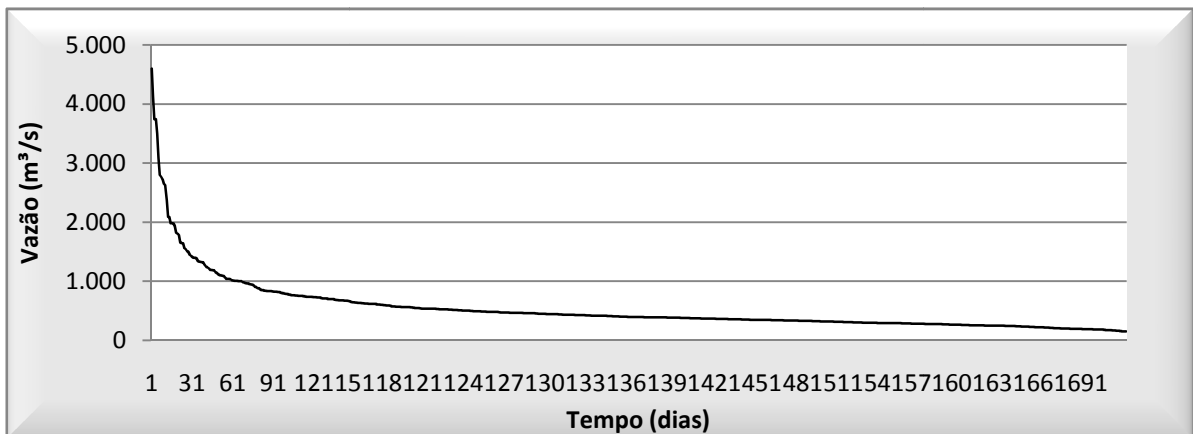


Figura 41 – Curva de permanência do fluxo de base 1984-1988.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Resultados do monitoramento por sensoriamento remoto

A análise que compreendeu a parte do monitoramento por meio de sensoriamento remoto utilizando imagens orbitais dos satélites LANDSAT envolveu a interpretação das imagens e identificação do tema escolhido para classificar, que foi a cobertura florestal de grande porte. Uma vez identificadas, sua ocorrência foi mapeada e foi realizada uma análise das modificações ocorridas entre as diferentes datas. A seguir são apresentados os resultados alcançados com a interpretação e classificação de imagens da bacia Novo Porto Taquara.

- A área da bacia é de 575.706 hectares, e em 1973 possuía apenas 10,2% de sua área coberta por vegetação florestal, quase 59.000 hectares. Em 1978 apresentava 5,78%, reduzidas em cinco anos a pouco mais de 27.000 hectares, evolução do desmatamento em 53,13% e em 1987 a cobertura florestal não passava de 4% totalizando pouco mais de 21.000 hectares, de 1978 a 1987 a retirada foi de quase 26%, portanto, o desflorestamento no período de 1973 a 1987, em 14 anos foi de 65,19%.
- Em 1973 existiam 7.687 áreas com cobertura florestal, que foram reduzidas em quase quatro vezes restando em 1978 um total de 2.134, número que permaneceu até 1987.
- A mediana das áreas com vegetação arbórea era de 7,63 hectares em 1973, passou para 12,88 hectares em 1978, e diminuiu para a 9,59 hectares em 1987.

A escolha dos atributos: soma das áreas; número total de áreas; mediana; participação e evolução do desflorestamento permitiram caracterizar a situação da cobertura de formação florestal e constatar algumas mudanças ocorridas indicadas no resultados de classificação.

A modificação da mediana indica que a diminuição da área vegetada no intervalo entre 1973 e 1978 ocorreu por meio da remoção dos fragmentos de vegetação de com menor superfície.

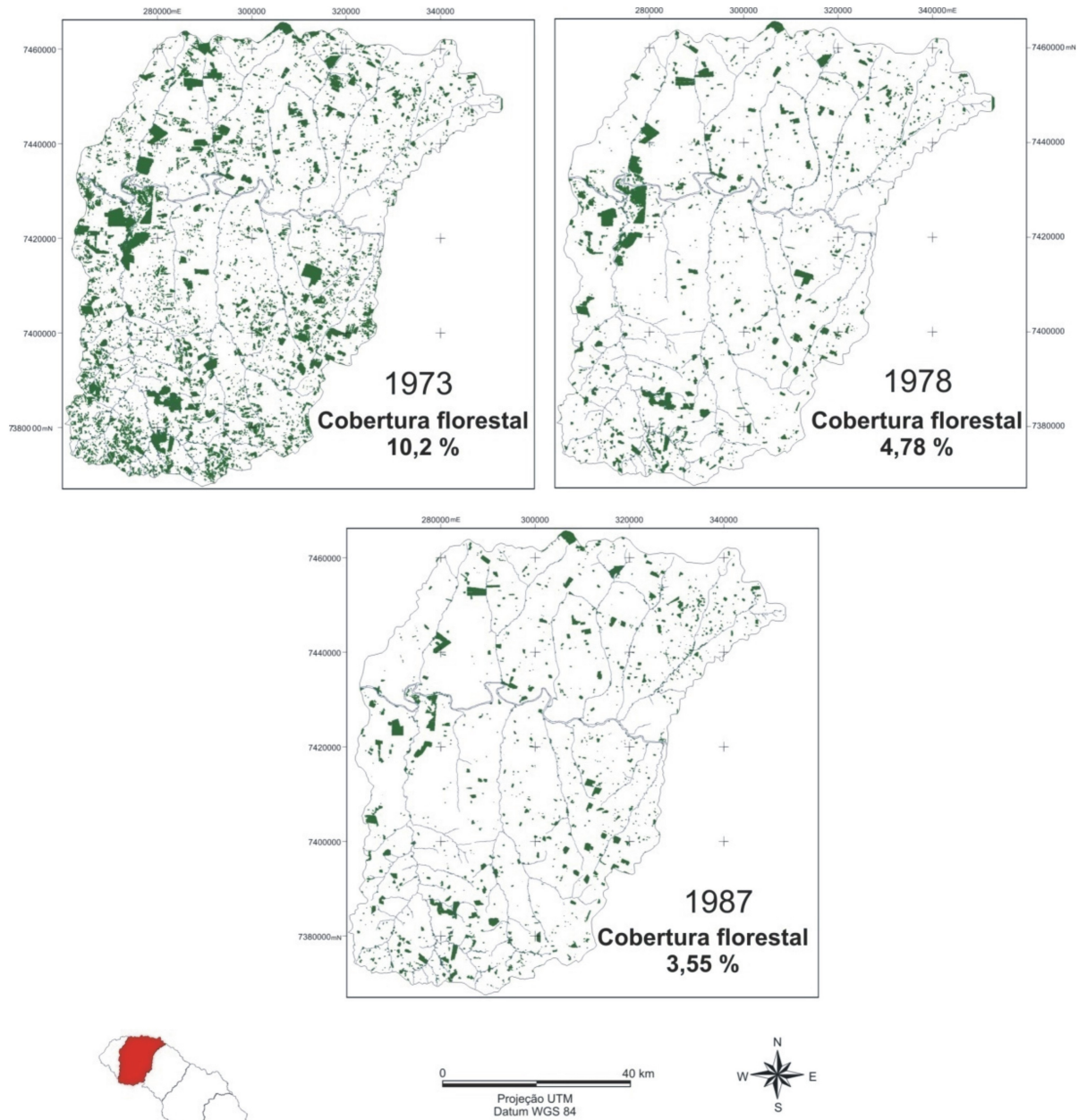
Os resultados e os mapeamentos da classificação da cobertura florestal encontram-se na tabela 4, e na figura 42.

Tabela 4 – Resultado da classificação de formação florestal na Bacia do Ivaí – unidade Novo

Ano	Soma das áreas (ha)	Nº total de áreas	Mediana (ha)	Participação (%)	Evolução do desflorestamento (%)
1973	58.712,89	7.687	7,63	10,2	
1978	27.507,14	2.134	12,88	4,78	- 53,13
1987	20.470,51	2.134	9,59	3,55	- 25,73
Total					- 65,19

Porto Taquara (1973-1987).

Fonte: Landsat 1, órbita 239, ponto 76, de 28 de Junho de 1973 e órbita 239 ponto 77, de 8 de Setembro de 1973. Landsat 3, órbita 239, pontos 76 e 77, de 24 de Outubro de 1978 - Composição colorida RGB (R banda 5, G banda 7 e B banda 4). Landsat 5, órbita 223, pontos 76 e 77, de 14 de Março de 1987.



Fonte: Landsat 1, órbita 239, ponto 76, de 28/06/1973 e órbita 239 ponto 77, de 08/09/1973 - banda 5.
 Landsat 3, órbita 239, pontos 76 e 77, de 24/10/1978 - banda 5.
 Landsat 5, órbita 223, pontos 76 e 77, de 14/03/1987 - banda 4.

Organização: Diego Garcia Paiva, 2007

Figura 42 - Mapeamento da cobertura florestal da bacia Novo Porto taquara (1973 1987).

4.2 – Resultados das análises hidrológicas

Após elaborarmos a curva de permanência das vazões selecionadas para análise, sendo os períodos que apresentaram descidas da vazão iguais ou maiores que dez dias, traçamos uma linha de tendência linear para cada período, apresentados nas figuras 43, 44 e 45 a seguir.

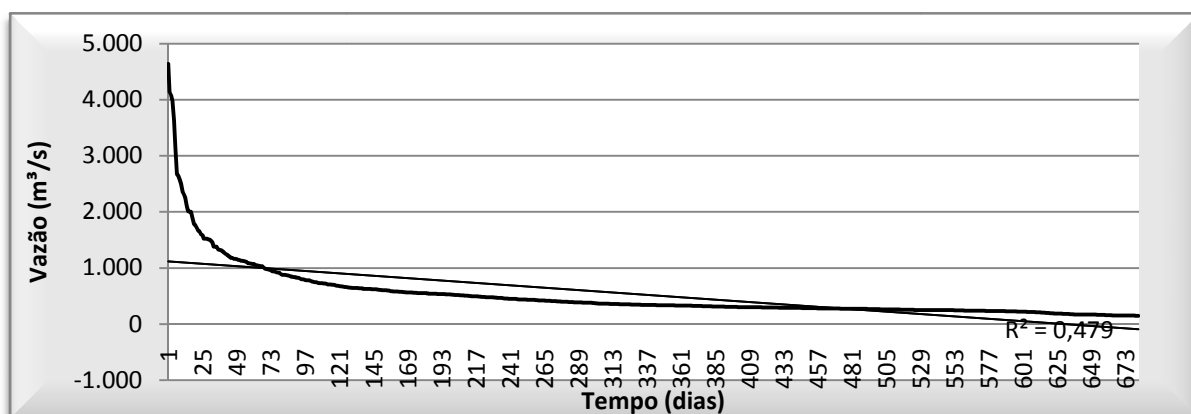


Figura 43 – Curva de permanência do fluxo de base com linha de tendência linear – (1974-1978).

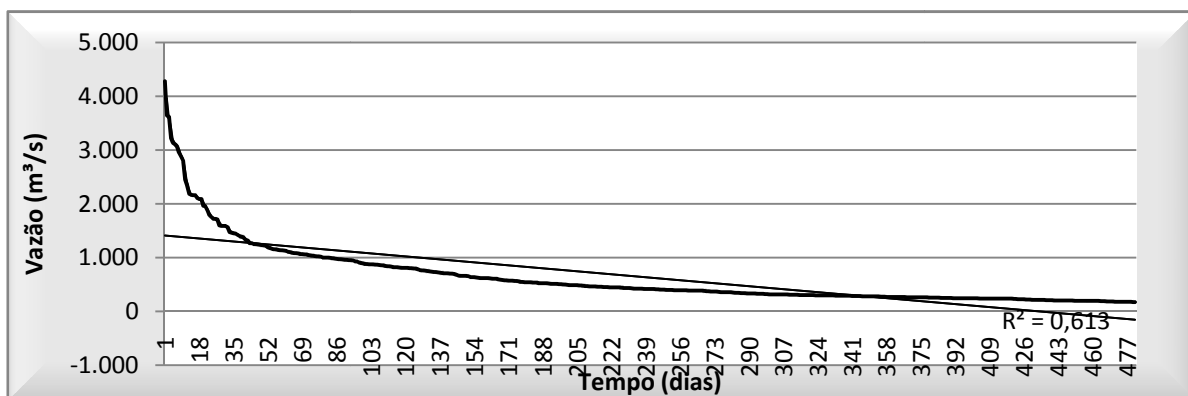


Figura 44 – Curva de permanência do fluxo de base com linha de tendência linear – (1979-1983).

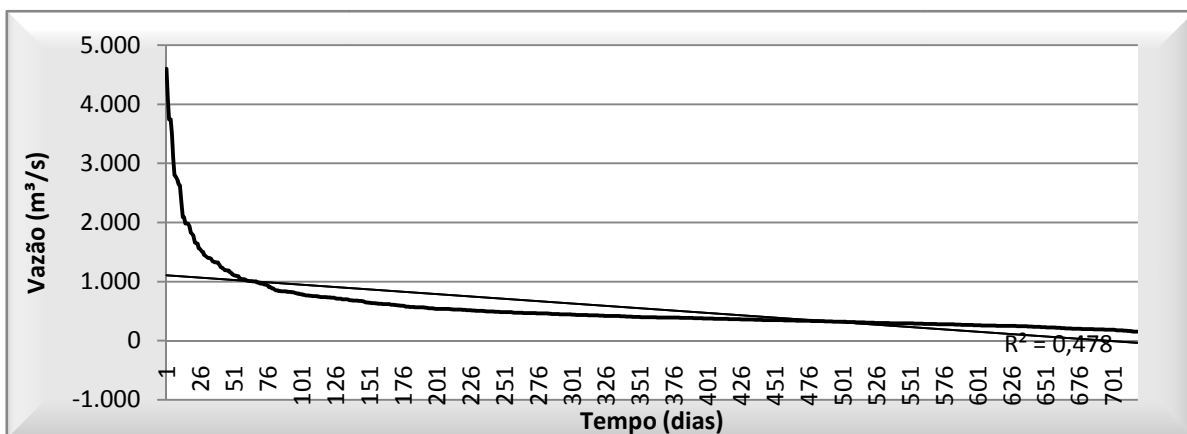


Figura 45 – Curva de permanência do fluxo de base com linha de tendência linear – (1984-1988).

No entanto, verificamos por meio da linha de tendência linear que o período entre 1979 e 1983 poderia comprometer os resultados da pesquisa, uma vez que nessa série histórica de vazões existem 105 dias sem registros. Para o período de 1974 a 1978 foram analisados 1630 dias, e no período entre 1984 a 1988, analisamos 1827 dias. O resultado da função da linha de tendência (R^2) mostrou uma diferença considerável de 1979 a 1983 em comparação com os demais períodos, portanto, para correlação dos dados hidrológicos com os registros de sensoriamento remoto determinamos que apenas o período de 1974 a 1978 e de 1984 a 1988 seriam suficientes para análise sem comprometer a pesquisa. De 1974 a 1978 ocorreram descidas maiores ou iguais a dez dias 39 vezes, enquanto que entre 1984 e 1988 a ocorrência foi de 32 vezes.

Embora a curva de permanência demonstre uma razão entre vazão e tempo em dias, somente com essas informações a correlação ainda não foi possível, transformamos os dias em porcentagem de tempo. Para alcançarmos esse resultado consideramos a soma total dos dias de cada período das curvas de permanência utilizadas como 100% e dividimos pelo número de dias para identificarmos qual a contribuição de cada dia em porcentagem e chegamos aos seguintes resultados:

- Para o período de 1974 a 1978 compreendido entre 18/07/1974 a 01/01/1979 totalizaram 1630 dias analisados, e de 01/01/1984 a 31/12/1988, 1827 dias. De 1974 a 1978, dos 1630 dias analisados, 682 foram descidas maiores ou iguais a dez dias, representando aproximadamente 42% do tempo total. De 1984 a 1988, dos 1827 dias analisados, 719 representaram aproximadamente 40% do

tempo total. No primeiro período, o tempo diário da curva de permanência foi de 0,147% do total e no segundo 0,139%, apresentou uma diferença de 0,08%.

- A vazão total da série de 1974 a 1978 foi de 1.003.313 m³/s e média de 616 m³/s, e no período de 1984 a 1988 a vazão total foi de 1.096.928 e média de 600 m³/s. De um período para outro houve um aumento de quase 10% da descarga fluvial, no entanto, a média praticamente não foi alterada, passando de 512 m³/s para 538 m³/s.
- A vazão total da curva de permanência selecionada para análise de 1974 a 1978 foi de 349.343 m³/s, aproximadamente 35% da vazão total e a média foi de 512 m³/s, aproximadamente 17% menor que a média da série completa. Enquanto que a vazão da curva de permanência do período de 1984 a 1988 foi de 387.050 m³/s, também, aproximadamente 35% da série completa, e média de 538 m³/s, pouco mais de 10% menor que a média da série. O aumento da vazão apenas das curvas de permanência foi de aproximadamente 11% de um período para outro e da média aproximadamente 5%. Esses resultados encontram-se na tabela 5 e 6.

Tabela 5 – Tempo total e diário das curvas de permanência.

	Total (dias/%)	Diário (%)
1974-1978	682/100	0,147
1984-1988	719/100	0,139

Tabela 6 – Vazão total e média das curvas de permanência.

	Total m ³ /s	Média m ³ /s
1974-1978	349.343	512
1984-1988	387.050	538

Partindo desses resultados realizamos o procedimento de classificação das vazões, inicialmente dividimos as vazões em 5 classes que representassem a curva de permanência desde o pico da vazão superficial, com o maior registro até o menor registro, a partir do maior registro e sua redução em 50% três vezes consecutivas e por último a redução até as menores vazões, que mostrou uma diferença passando de 61% para 41 % de um período para outro, tabela 7.

Tabela 7 – Tempo de Permanência e redução das vazões – 1ª classificação.

1974-1978		1984-1988	
Permanência / Redução (%)	Vazão (m ³ /s)	Permanência / Redução (%)	Vazão (m ³ /s)
2,06	2308-4640	2,08	2.091-4.600
2,35 / 50	1504-2308	6,12 / 50	1.037-2.091
10,7 / 50	750-1.504	22,94 / 50	518-1.037
28,96 / 50	373-750	54,07 / 50	258-518
56,15 / 61	146-373	14,73 / 41	154-258

Depois dessa divisão, mesmo assim foi difícil a identificação das vazões correspondentes ao fluxo de base, dividimos então as vazões em classes de 100 m³/s em 100 m³/s. Essa nova classificação resultou em 30 classes para o primeiro período e 28 para o segundo, porém nessa classificação a menor classe, de 100 a 200 m³/s, apresentou valores muito abaixo da classe de 200 a 300 m³/s, consideramos uma única classe de 100 a 299 m³/s, tabela 8.

Partimos então para uma nova classificação, na tentativa de separar em classes mais representativas o comportamento da curva de permanência, uma vez que as classes de maiores magnitudes podem refletir influência da precipitação. Nessa reorganização definimos 7 classes de vazões, sendo as três últimas (5, 6 e 7), as mais representativas do fluxo de base, as classes 1, 2, e 3 demonstraram serem parte do fluxo superficial logo após precipitação, já a classe 4 apresenta valores próximos a média de vazão das curvas de permanência, tabela 9.

Tabela 8 – 2ª classificação das vazões da curva de permanência (1974-1978/10984-1988).

Classes	1974-1978	1984-1988
1	4640	4.600
2	4138	4.121
3	4077	3744
4	3982	3501
5	3627	3090
6	3165	2800
7	2678-2649	2766-2727
8	2573-2500	2648-2624
9	2355-2308	2372
10	2251	2091-2087
11	2100	1986-1933
12	2016-2003	1829-1804
13	1999	1.780
14	1884	1661-1641
15	1792-1714	1563-1504
16	1673-1602	1448-1411
17	1586-1504	1397-1326
18	1485-1455	1285-1221
19	1382-1300	1196-1102
20	1276-1204	1095-1003
21	1182-1108	998-905
22	1085-1011	883-800
23	988-915	792-700
24	889-803	692-601
25	798-700	596-502
26	698-601	497-400
27	598-500	397-301
28	497-400	299-154
29	397-301	
30	299-146	

Tabela 9 – 3ª classificação das vazões da curva de permanência (1974-1978/1984-1988).

Classes	1974-1978	1984-1988
1	4640-803	4600-800
2	798-700	792-700
3	698-601	692-601
4	598-500	596-502
5	497-400	497-400
6	397-301	397-301
7	299-146	299-154

A partir dessa classificação, observamos as modificações ocorridas de um período para outro, e em relação ao tempo das vazões das séries selecionadas representado em porcentagem do tempo total da curva de permanência, que foi de um dia equivalente a 0,147% de 1974 a 1978 e 0,139% de 1984 a 1988 e também as comparações do tempo de permanência em dias, verificamos o seguinte:

- Classes 1, 2 e 3 – Representaram as vazões de maiores magnitudes e apresentou os seguintes resultados, classe 1 – durou 4 dias a mais no segundo período, passando de 94 dias para 98 dias, o tempo de permanência em porcentagem passou de 13,78% para 13,63% apesar de mais dias a participação foi 0,15% menor; classe 2 – aumento de 15 dias no segundo período, passando de 22 dias para 37 dias, e o tempo de permanência em porcentagem passou de 3,22% para 5,15%; e classe 3 – redução de 2 dias, passando de 38 para 36 dias e o tempo de permanência em porcentagem passou de 8,65% para 9,18%, no entanto, na soma dessas três classes o resultado foi de 22,58% no primeiro período e 23,78% no segundo período, cerca de 1,2% a mais;
- Classe 4 – Representa valores próximos à média das curvas de permanência, que foi de 512 m³/s, no primeiro período e 538 m³/s, no segundo período, houve um aumento de 7 dias no segundo período e o tempo de permanência em porcentagem passou de 8,65% para 9,18%;
- Classe 5 – Representa o terceiro nível do fluxo de base, considerando como fluxo de base os menores valores de vazão, uma vez que esse fluxo não apresenta valores fixos, podendo variar conforme a entrada de água no sistema e sua permanência, e uma vez que na bacia do Ivaí essa variação pode ocorrer em qualquer época do ano, e em algumas das séries consideradas para análise, que foram as descidas de vazão maiores ou iguais a dez dias, essa classe apresentou os menores valores de vazão, nessa classe houve um aumento significativo em relação a permanência em dias, de um período para outro, passou de 65 dias para 118 dias, esse aumento foi de 53 dias e o tempo de permanência em porcentagem passou de 9,53% para 16,51%, ou seja, permaneceu 6,88% a mais em relação ao período anterior;

- Classe 6 – Representa o segundo nível do fluxo de base, houve um aumento de 48 dias, passando de 131 dias para 179, e o tempo em porcentagem de 19,2% passou para 24,9%, resultando em 5,7% a mais no segundo período;
- Classe 7 – Representa o menor nível do fluxo de base, nessa classe houve um decréscimo, esse resultado foi contrário a hipótese adotada no início do trabalho, que foi a diminuição da capacidade de armazenamento e aumento do tempo de permanência do fluxo de base, nessa classe o tempo em dias passou de 273 para 185, 88 dias a menos e o tempo de permanência em porcentagem passou de 40,02% para 25, 73, ou seja, redução de 14,29%, esse resultado pode significar aumento na capacidade de armazenamento;

O resultado do tempo de permanência em dias encontra-se na figura 46 e o resultado do tempo de permanência em porcentagem encontra-se na figura 47.

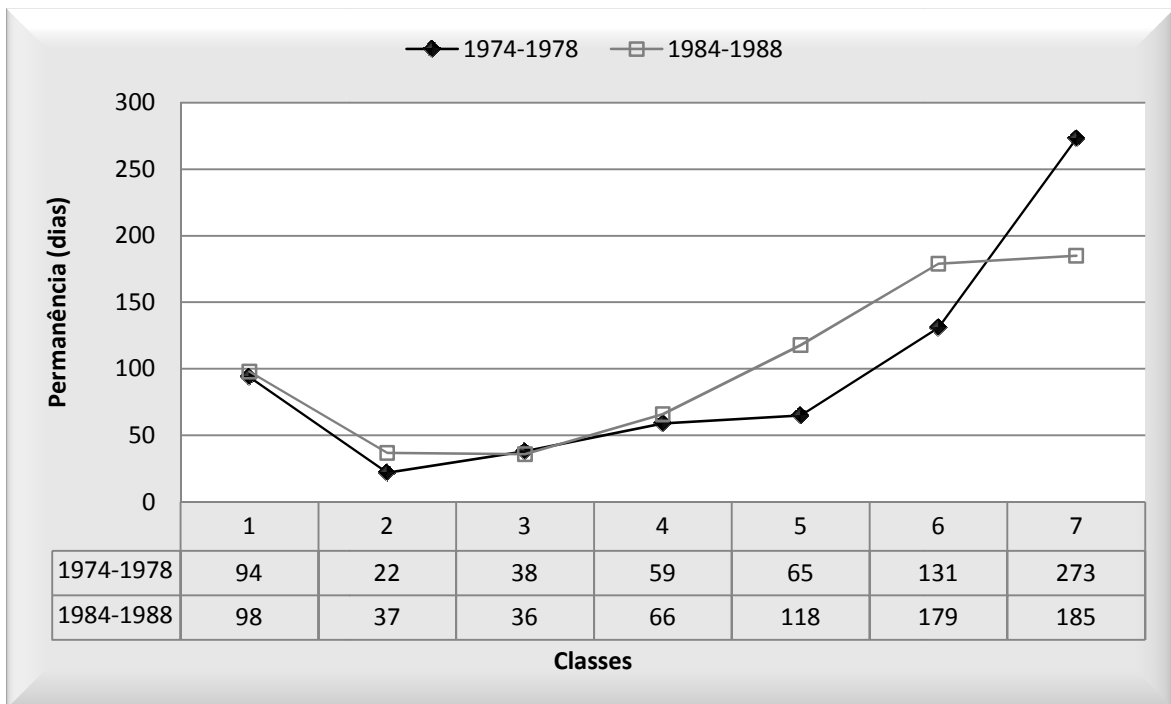


Figura 46 – Comparação entre os dois períodos do tempo de permanência em dias.

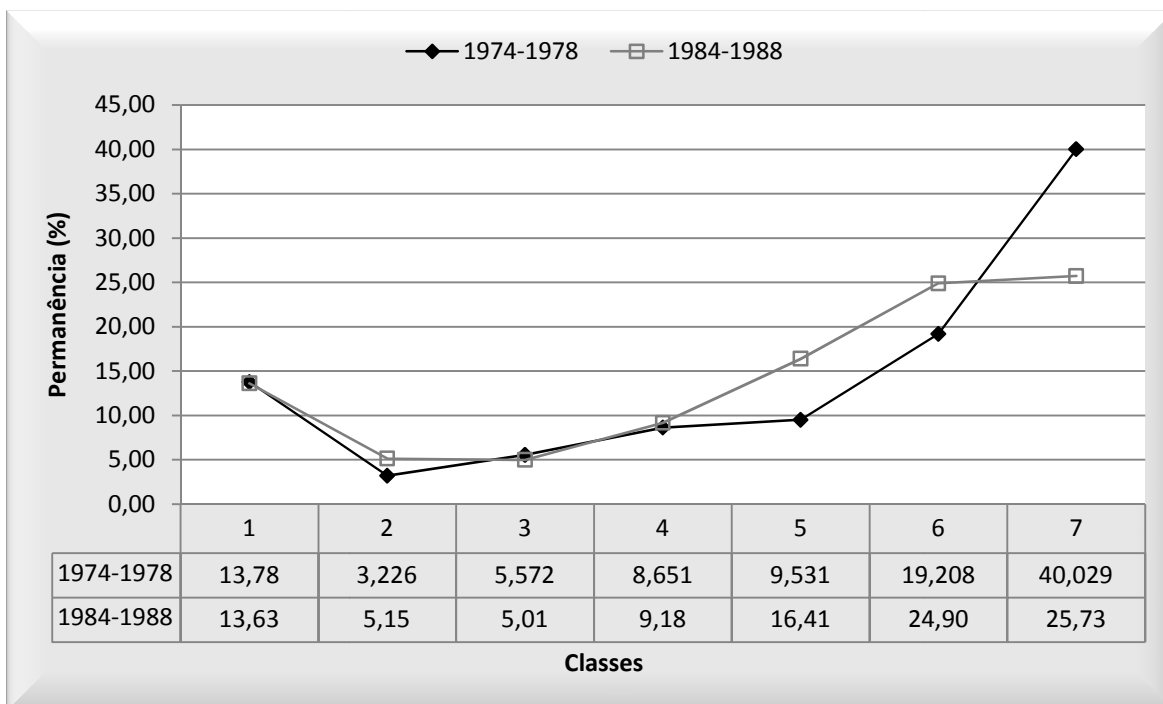


Figura 47 – Comparação entre os dois períodos do tempo de permanência em dias.

Depois de analisar o tempo de permanência em dias e em porcentagem, realizamos a comparação entre os dois períodos considerando os valores de vazão em (m^3/s) e a participação em porcentagem de cada classe na soma total das vazões das séries selecionadas, sendo que no primeiro período o total registrado de vazão foi de $349.343m^3/s$ e cada $1.000m^3/s$ equivalem aproximadamente a $0,29\%$ dessa soma, e no segundo período cada $1.000m^3/s$ equivalem aproximadamente a $0,25\%$ dos $387.05m^3/s$ registrados. O resultado dessa comparação mostrou o seguinte:

- Classe 1, 2 e 3 – Vazões consideradas com influência da precipitação, classe 1- no primeiro período a soma das vazões foi de $138.407m^3/s$ e no segundo período $140.518m^3/s$, representou $39,62\%$ no primeiro período e reduziu a $36,30\%$ no segundo período; classe 2 – a soma das vazões passou de $16.338m^3/s$ ou $4,69\%$ no primeiro período para $27.404m^3/s$ ou $7,08\%$ no segundo período, aumento foi de $2,39\%$; classe 3 – a soma das vazões passou de $24.314m^3/s$ ou $6,96\%$ para $23.166m^3/s$ ou $5,99\%$, redução de quase 1% ;
- Classe 4 – Para o primeiro período a soma das vazões foi de $32.150m^3/s$ ou $9,2\%$ e no segundo período passou para $35.830m^3/s$ ou $9,26\%$, aumento de $0,06\%$;

- Classe 5 – A soma no primeiro período foi de 28.965m³/s ou 8,29% e no segundo período 52.709m³/s ou 13,62%, portanto aumento de 5,33%;
- Classe 6 – No primeiro período apresentou soma de 44.633m³/s ou 12,78% passando no segundo período a apresentar 62.945m³/s ou 16,26%, aumento de 3,48%;
- Classe 7 – Na classe que consideramos a mais representativa do fluxo de base a soma das vazões no primeiro período foi de 64.486m³/s ou 18,46% passando a 44.478m³/s ou 11,49%, redução de 6,97%, portanto, com esses resultados verificamos que realmente o tempo de permanência do fluxo de base pode ter diminuído de um período para outro, ao contrário do que imaginávamos houve provavelmente aumento na capacidade de armazenamento na bacia do Ivaí. Os resultados dessas verificações encontram-se na figura 48, em (m³/s) e na figura 49, em porcentagem.

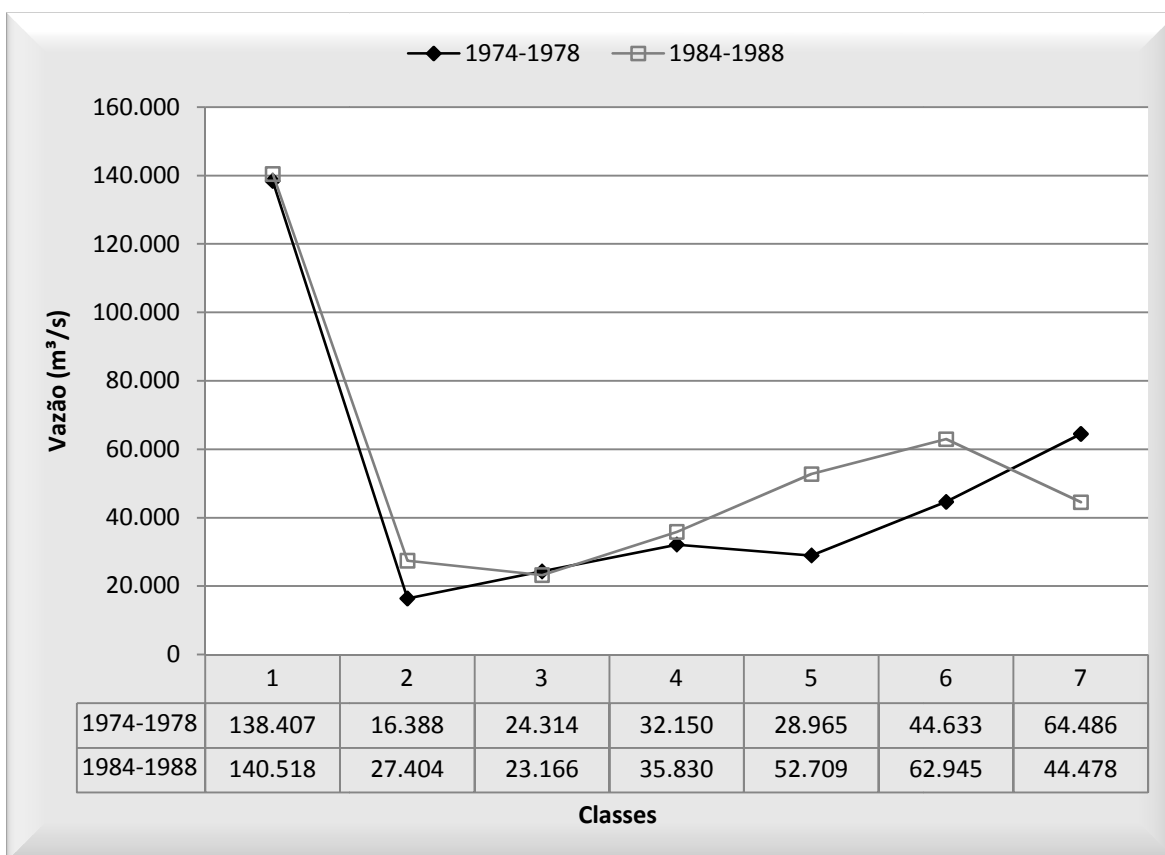


Figura 48 – Comparação da vazão entre os dois períodos em (m³/s).

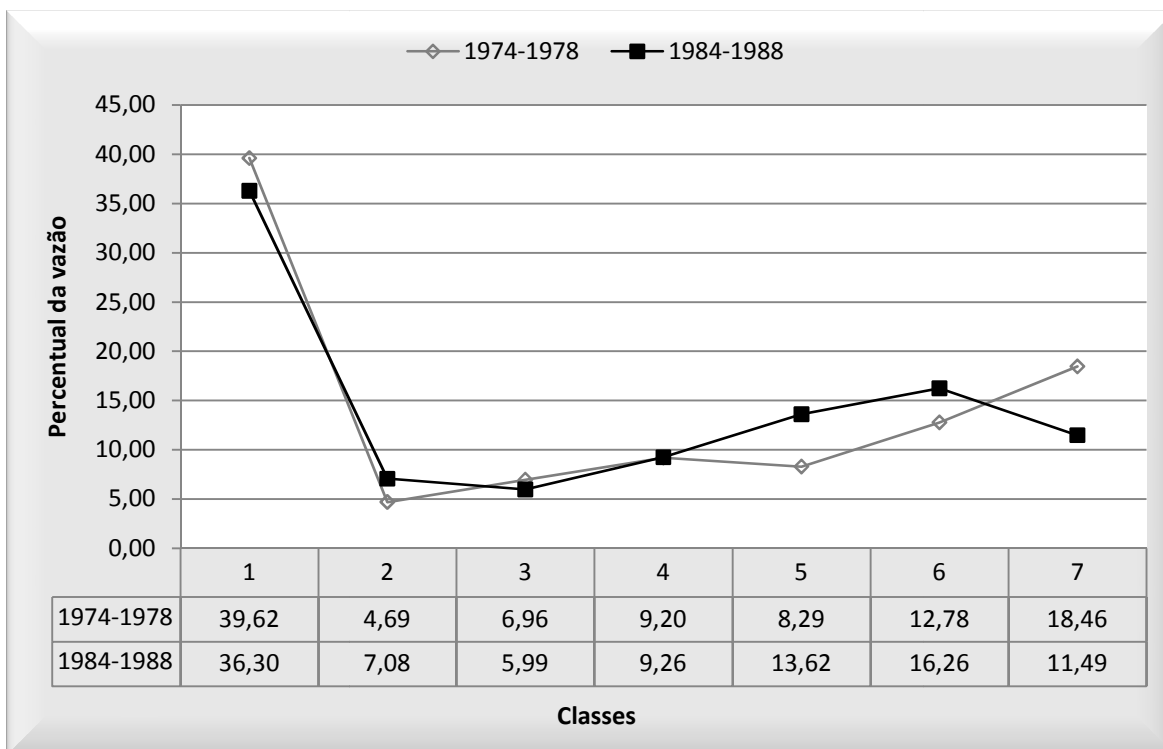


Figura 49 – Comparação da vazão entre os dois períodos em porcentagem.

A bacia que serviu de estudos para o trabalho situa-se entre as estações fluviométricas Novo Porto Taquara e Porto Primavera e possui 575.706 ha de área, que representa 15,73% da área total da bacia do Ivaí, que é de aproximadamente 36.587 km². De 1973 a 1987 a cobertura florestal foi reduzida nessa área passando de 10,2% a 3,55%, houve nesse período, portanto, desflorestamento de 65,19%. Conforme o tempo de permanência da última classe (7), considerada como o fluxo de base principal, ou seja, as vazões ocorridas nessa classe demonstraram ter uma contribuição do lençol freático, a redução do fluxo de base de 1974 a 1988 foi de 6,97%, uma vez que a área de estudos representa 15,73% da bacia do Ivaí, então numa relação direta a área contribuiu com cerca de 1% na redução do tempo de permanência do fluxo de base, portanto o desflorestamento não demonstrou por meio dessa correlação ser o fator determinante na alteração da descarga fluvial nesse período. Entretanto, a ocupação da bacia ocorreu antes da década de 1970 e houve no período inicial um desmatamento muito maior, haja vista em 1973 essa área apresentar pouco mais de 10% de cobertura florestal, portanto não foi possível constatar se o desmatamento anterior provocou a alteração do armazenamento.

Embora os resultados demonstrassem uma idéia contrária à hipótese inicial, no entanto, eles não indicam que a retirada da cobertura florestal não foi significativa no

armazenamento hídrico da bacia. Haja vista que, em relação às modificações percebidas, podemos também considerar outros fatores que provavelmente influenciaram no aumento do armazenamento, como por exemplo, as medidas conservacionistas adotadas na década de 1980, com implantação de terraceamentos acompanhando a evolução da substituição de culturas permanentes por culturas temporárias. Em 1975, o governo paranaense lançou o Programa Integrado de Conservação de Solos (PROICS), com o objetivo de implantar medidas para o controle da erosão em áreas sob agricultura intensiva, e uma das medidas incluía o controle da erosão hídrica por meio de práticas mecânicas fundamentadas no terraceamento que teve continuidade em 1984 com o lançamento pelo governo do Paraná do Programa de Manejo Integrado do Solo e Água (PMISA), que também incluía além do terraceamento, a readequação de estradas, entre outras medidas conservacionistas de solos e água. Essas medidas, portanto, associadas a outros fatores como o aumento da urbanização, que ao mesmo tempo em que aumenta a velocidade de escoamento superficial em bacias urbanas por outro lado aumenta também o armazenamento de água para consumo humano, deve ter contribuído de certa forma, com algum percentual para uma permanência maior da água no sistema.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os objetivos desse trabalho, a quantificação da cobertura de formação florestal foi um deles, alcançado com os resultados obtidos pela classificação das imagens. Não pretendemos, portanto, com essas conclusões esgotar o tema relacionado ao desflorestamento nessas áreas. Foram feitas algumas sugestões de possíveis causas relacionadas às áreas classificadas e diferenças nas variáveis adotadas, com base nas informações de sua ocupação e, principalmente, pela interpretação das imagens orbitais.

É claro que nesse contexto existam diversas variáveis passíveis de análise relacionadas à retirada da cobertura vegetal, mas nos restringimos apenas quantificação, uma vez que a busca da relação entre o desflorestamento e a modificação do fluxo de base na Bacia do Ivaí foi o tema central da pesquisa. Cabe ressaltar, que a bacia já estava desmatada antes do período escolhido para análise.

As técnicas aplicadas para determinar o limiar dos *pixels* escolhidos para o fatiamento da classe escolhida com a comparação entre diferentes produtos de sensoriamento remoto na identificação e interpretação visual e digital demonstraram satisfatórias na quantificação, apesar de diferentes sensores e a escala de análise adotada.

Portanto, para alcançar o objetivo de identificar qual a contribuição da retirada da cobertura florestal na alteração da descarga fluvial por meio da observação do comportamento do fluxo de base do rio Ivaí, recomenda-se a análise rítmica da precipitação diária e correlação com o fluxo de base por meio da vazão diária, aconselha-se também a identificação da participação dos outros elementos componentes da bacia hidrográfica, sobretudo, aprimoramento na correlação dos dados de precipitação, em escalas de mais detalhe, assim, identificar a entrada e saída de energia.

6 – REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. R. **Variabilidade da Precipitação Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Ivaí - Paraná**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual de Maringá – Programa de Pós-Graduação em geografias, Maringá, 2003.

ANA. Agência Nacional das Águas. Dados georreferenciados da bacia hidrográfica do Paraná: estações fluviométricas. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/>> Acesso em: 22 abr. 2006.

BACELLAR, L. A.P. **O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas**. Revista eletrônica Geo.BR, V.1, 2005.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: esboços metodológicos**. São Paulo, IGEOG - Universidade de São Paulo, 27p., 1971. (Cadernos de Ciências da Terra, 13).

Bigg-Wither, Thomas Plantagenet. **Novo caminho no Brasil meridional: a província do Paraná, três anos de vida em suas florestas e campos – 1872/1875**. Tradução de Temistócles Linhares. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1974 (Documentos Brasileiros) v. 162, 420 p. il.

BRASIL. DNAEE. Divisão de Controle de Recursos Hídricos. **Bacias dos rios Ivaí, Piquiri e Paraná: dados atualizados até 1984**. Brasília, 1985.

BRAY, S. C. Os primeiros povoadores e a posse da terra no vale do Paranapanema. Maringá, UEM/DGE – **Boletim de Geografia**, ano 05, nº 01, p.05-24, mar. 1987.

CARDOSO, J.; WESTPHALEN, C. M. **Atlas Histórico do Paraná**. Curitiba: [s.n.], 1986. Ocupação do território paranaense.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2003. 205p. Fundamentos e metodologias aplicadas em Sensoriamento Remoto.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1ªed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher, 1999.

CRÓSTA, Á.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campina: Unicamp, 1993. Fundamentos e metodologias aplicadas em Sensoriamento Remoto.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. 337-379.

DESTEFANI, E.D. **Regime Hidrológico do Rio Ivaí**. 2005. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

DURIEUX, L.; MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H. The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation. *Remote Sensing of Environment* 86 (132–140), 2003. Disponível em www.elsevier.com/locate/rse. Consultado em 25 go 2006.

ENGESAT. ENGESAT IMAGENS DE SATÉLITES. **Grade das cenas dos satélites LANDSAT, sensor MSS, TM e ETM. 2006.** Disponível em http://www.engesat.com.br/produtos/grade_landsats/grade_landsats.htm. Consultado em 19/05/2006.

FALKNER, E. **Aerial mapping: methods and applications**. Boca Raton, Flórida, EUA: CRC Press. 2000. Fundamentos e metodologias aplicadas em Sensoriamento Remoto.

GIANSANTI, R. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Atual, 1998.

Google Earth. *Software Google Earth Beta (v4.0.2722)*. Disponível em <http://earth.google.com>. Consultado em 23 mar 2007.

GRIZZIO, E. D. *Regime de Descarga do Rio Paraguai*. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual de Maringá – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, 2008.

HAYAKAWA, E. H. *Análise da variabilidade espacial e temporal dos sedimentos suspensos do alto rio Paraná via imagens orbitais: Região de Porto São José-PR*. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual de Maringá – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, 2007.

HESPANHOL, Antonio Nivaldo. A formação sócio-espacial da região de Campo Mourão e dos municípios de Ubatã, Campina da Lagoa e Nova Cantu – PR. **Boletim de Geografia**, Maringá: UEM, v. 11, n. 1, p. 17-28, dez. 1993.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. Disponível em: <<http://www.pr.gpv.br/iap>>. Acesso em 10 de set. 2005. Informações sobre desflorestamento no Paraná.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas municipais: Paraná. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/>> Acesso em: 20 mai. 2007.

ICHIBA, S. H. K. *Estudo das temperaturas do ar no Estado do Paraná*. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual de Maringá – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, 2006.

INPE. **Spring: geoprocessamento ao alcance de todos**. Apostila teórica, [S.l.: s.n.], 2002. Fundamentos e metodologias aplicadas em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

IPARDES – INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Base de dados, versão digital, 2002.

LEFF, E. **Epistemologia Ambiental**. Traduzido por Sandra Valenzuela. 2ª ed. São Paulo: Cortez, 2002.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Digital Image Processing**. In: Remote Sensing and Image Interpretation. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1979. Fundamentos e metodologias aplicadas em Sensoriamento Remoto.

LOCH, Carlos. **Noções básicas para a interpretação de imagens aéreas, bem como algumas de suas aplicações nos campos profissionais**. Florianópolis: Ed. da Universidade Federal de Santa Catarina, 1984. Fundamentos e metodologias aplicadas em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

MAACK, R. **Mapa fitogeográfico do Estado do Paraná**. Curitiba: IBPT-SAIC/INP. Um mapa 115 x 80 cm. 1:750.000. 1950.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 1989.

ORELLANA, M. M. P. **Metodologia integrada no estudo do meio ambiente**. Belo Horizonte, UFMG/ Depto de Geografia - Geografia, 10(20) p.125 - 148, out. 1985.

O'CONNEL, P. E. (org) et alli **Proceedings of the INTERNATIONAL WORKSHOP ON REAL-TIME HYDROLOGICAL FORECASTING AND CONTROL**. Wallingford: Institute of Hydrology. (1980).

PESSOA, M, de L. et al. **Telemetria e sensoriamento remoto com aplicações em hidrologia e meteorologia**. Curitiba, FINEP, 1992. 276p. Fundamentos e metodologias aplicadas em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. Sistemas de suporte à decisão aplicados a problemas de recursos hídricos. In: PORTO, R. L. L. (org.) et alli (1997). **Técnicas quantitativas para gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH-UFR.

RODERJAN, C. et al. **As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná, Brasil**. Revista Ciência & Ambiente – Fitogeografia da América Santa Maria – RS, UFSM N° 24, v.1 (jan/jun) p. 75-92, 2002.

ROHDE, Geraldo Mário. **Sistemas de Monitoramento Ambiental: Conceitos Básicos e Propostas para o Geossistema**. Porto Alegre: CIENTEC, 1991. 21 p. (Boletim Técnico; 22)

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 1990. Fundamentos e metodologias aplicadas em Sensoriamento Remoto.

SILVA, A. *Padrões de Canal do rio Paraguai Na região de Cáceres-MT*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual de Maringá – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, 2006.

SILVA, X. da. **Geoprocessamento e análise ambiental**. Revista Brasileira de Geografia, 1992. Fundamentos e metodologias aplicadas em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (org.) et alli. **Hidrologia**. São Paulo: ABRH-USP, 1993.

SOUZA, P. *Estudo da variabilidade da precipitação no Estado do Paraná associado à anomalia da TSM no oceano Pacífico*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual de Maringá – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, 2006.

TAUK-TORNISIELO, S. M. et al. **Análise Ambiental: estratégias e ações**. São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf / CEA – UNESP, 1995.

TUCCI, C. E. M. (1998). **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH-UFRGS.

UNB. Universidade de Brasília. Glossário Geológico Ilustrado. Disponível em <http://www.unb.br/ig/glossario/verbete/download_fluvial.htm>. Acesso em 23 mar 2006.

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