



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DOUTORADO EM GEOGRAFIA

EDINÉIA VILANOVA GRIZIO-ORITA

**OS EFEITOS DA OCUPAÇÃO ANTRÓPICA SOBRE O SISTEMA FLUVIAL DO  
RIO PARAGUAI SUPERIOR**

MARINGÁ  
2012

EDINÉIA VILANOVA GRIZIO-ORITA

**OS EFEITOS DA OCUPAÇÃO ANTRÓPICA SOBRE O SISTEMA FLUVIAL DO  
RIO PARAGUAI SUPERIOR**

Tese apresentada à Universidade Estadual  
de Maringá, como requisito parcial para  
obtenção do título de Doutora em  
Geografia

Orientador:  
Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho

MARINGÁ  
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

G872e Grizio-Orita, Edinéia Vilanova  
Os efeitos da ocupação antrópica sobre o sistema fluvial do rio Paraguai Superior / Edinéia Vilanova Grizio-Orita. - Maringá, 2012.

119 f. : il. (algumas col.), figs., quadros

Orientador: Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho.  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012.

1. Solo - Uso e ocupação. 2. Evapotranspiração. 3. Disponibilidade hídrica. 4. Condições hidrossedimentológicas. 5. Rio Paraguai Superior - Uso e ocupação do solo. 6. Rio Paraguai Superior - Evapotranspiração. 7. Rio Paraguai Superior - Disponibilidade hídrica. 8. Rio Paraguai Superior - Condições hidrossedimentológicas. I. Souza Filho, Edvard Elias de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 21.ed. 551.483

AMMA-00357

OS EFEITOS DA OCUPAÇÃO ANTRÓPICA SOBRE O SISTEMA FLUVIAL DO RIO  
PARAGUAI SUPERIOR

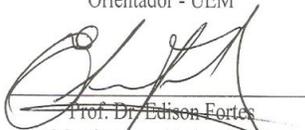
Tese de Doutorado apresentada a Universidade Estadual de  
Maringá, para obtenção do grau de Doutor em Geografia,  
área de concentração: Análise Regional, linha de pesquisa  
Análise Ambiental.

Aprovada em 23 de abril de 2012.

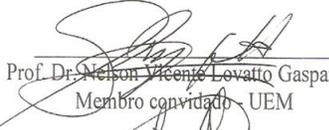
BANCA EXAMINADORA



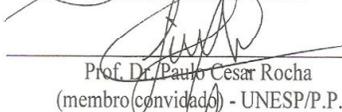
Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho  
Orientador - UEM



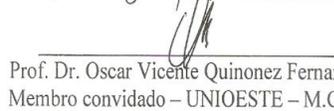
Prof. Dr. Edison Fortes  
Membro convidado - UEM



Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto  
Membro convidado - UEM



Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha  
(membro convidado) - UNESP/P.P.



Prof. Dr. Oscar Vicente Quinonez Fernandez  
Membro convidado - UNIOESTE - M.C. R.

Dedico este trabalho aos meus pais, Antônio e Helena, por serem responsáveis por esta realização. Que sempre acreditaram nos meus objetivos e que por muitas vezes se sacrificaram para que eu pudesse conquistá-los e nunca me deixaram desistir. Obrigada por todo apoio, amor, incentivo e ensinamentos que foram essenciais para a minha formação. Obrigada por compartilharem mais essa etapa da minha vida, mais este objetivo conquistado.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por conceder-me a vida em um lar onde me deram os ensinamentos necessários à sobrevivência digna e às superações.

Ao Professor Dr. Edvard, pela orientação para o desenvolvimento desta pesquisa. Obrigada por ser paciente e me mostrar o caminho correto.

À Fundação Araucária, pela concessão de bolsa nos três primeiros anos de doutorado (Período: de 01/09/2008 a 30/09/2011- Convênio nº 229/2008 - Protocolo nº 13013 ).

À instituição – Universidade Estadual de Maringá –, por favorecer meu aperfeiçoamento e o meu conhecimento científico.

Ao INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais), pela disponibilidade de imagens.

Ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em especial ao funcionário Sérgio, que gentilmente atendeu minhas solicitações de dados.

À ANA (Agência Nacional de Águas), pela disposição em ceder todos os dados solicitados.

Ao GEMA (Grupo de Estudos Multidisciplinares do Meio Ambiente), pela utilização das instalações e equipamentos.

Aos professores do departamento de Geografia e do programa de pós-graduação da Universidade Estadual de Maringá, pelas contribuições no decorrer do doutorado.

À Miriam, secretaria da pós-graduação, pela disposição em sempre ajudar sem medir esforços.

Ao Silvio Evangelista, Adriano Franzoni Otaviano e Eduardo Speranza ambos funcionários da EMBRAPA, pelo fornecimento de dados e por todas as informações solicitadas.

Ao professor Américo, o meu apreço pela sua maestria em tecnologias de geoprocessamento, executando mapeamentos, muitíssimo obrigada pela grande ajuda.

Ao professor Airton Marco Polidório do Departamento de Informática, pela sua acessibilidade.

Ao Edivando, Eduardo Moraes e Bruno Rigon, por sanarem minhas dúvidas e meus questionamentos quanto as minhas imagens.

À Taíse (aluna de pós-graduação do Nupélia), pela prontidão em me ajudar sem medir esforços.

Aos meus amigos e colegas do GEMA, Priscila, Harume, Bruno Camolezi, Carina, Karine, Thalita, Fernanda, Fábio, Everton, Diego, Estela, Pedro, Marta Sala, Ericson, Vanderlei, pelos momentos de discussões de diversos assuntos para o crescimento acadêmico e também pelos momentos de lazer e descontração.

Aos meus pais, pelos ensinamentos de fé, responsabilidade e trabalho.

Ao meu irmão e meu sobrinho (amor incondicional), pelos momentos de lazer, fazendo me esquecer nem que fosse por alguns instantes minhas preocupações com minha pesquisa.

À minha família, que em todos os momentos de dedicação a esta pesquisa, sempre me incentivaram, apoiaram e apostaram no meu potencial, minha eterna gratidão.

Ao meu esposo Helder, pelo amor e paciência necessários para a concretização deste trabalho.

Aos demais colegas e amigos, que passaram junto comigo esta importante fase da minha vida, pela convivência e troca de experiências, além de todas as outras pessoas que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Obrigada a todos aqueles que, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização desta pesquisa, sem dúvida foram fundamentais para o meu amadurecimento pessoal e profissional.

“A vida é como um rio. Enquanto nos movimenta entre a nossa nascente (o nascimento) e o nosso destino (a morte), as paisagens sempre serão novas. Um rio não deixa de correr jamais. Quando tudo a nossa volta fica mais fácil, as águas se acalmam nos tornamos mais amplos, mais generosos. De repente o rio entra em uma espécie de buraco, e pára de correr com a alegria de antes. Nestes momentos, a única maneira de sair é contar com a ajuda do tempo. Quanto chegar o momento certo, a depressão se enche, e a água pode seguir adiante. No lugar do buraco feio e sem vida, agora existe um lago que outros podem contemplar com alegria. Embora sejamos únicos, em breve seremos muitos. À medida que caminhamos, as águas de outras nascentes se aproximam, porque aquele é o melhor caminho a seguir. Somos um meio de transporte, como o rio, de folhas, de barcos e de idéias. E que nossas águas sejam, sempre generosas...”

*Paulo Coelho*

Ser como um rio que flui (revista Época, janeiro 2006)

## RESUMO

A crescente pressão sobre os recursos hídricos requer cada vez mais o conhecimento de onde, quando e como a água está sendo utilizada. Por essa e por outras razões, este trabalho tem como objetivos analisar a evolução do uso e ocupação do solo da área estudada; verificar a existência de modificação da evapotranspiração; avaliar a disponibilidade hídrica no sistema; avaliar as mudanças da capacidade e da competência do rio Paraguai Superior, originárias das variações da disponibilidade hídrica e, por fim, verificar a evolução do transporte de sedimentos. A análise da evolução do uso e ocupação do solo foi realizada a partir de referências bibliográficas e análise multitemporal de imagens de satélite; a verificação das modificações da evapotranspiração, através de dados meteorológicos e simulação dos dados de uso do solo e a disponibilidade hídrica foi avaliada a partir dos dados de precipitação e dos dados de evapotranspiração, enquanto as mudanças das condições hidrossedimentológicas (potência da corrente e carga sedimentar) fizeram uso dos dados fluviométricos disponíveis. A abordagem efetuada permitiu analisar os anos de 1977, 1981, 1987, 1990, 1992, 1997, 2005 e 2007 evidenciando os valores de todas as classes (vegetação, pastagem, culturas, solo exposto, água e área não classificada) nesses períodos. Foi observado que a área de vegetação já era menos da metade da bacia e diminuiu para menos de um terço em 2007. As áreas de pastagem ocupavam um quarto da área e passaram a um décimo dela ao longo dos trinta anos estudados, enquanto as áreas de agricultura aumentaram de um décimo para quase um terço da área estudada. Os valores de evapotranspiração diminuíram ao longo da série, enquanto a precipitação aumentou nos primeiros 20 anos e reduziu na última década. Apesar dessa diminuição, a disponibilidade de água no sistema aumentou, proporcionando o aumento da descarga fluvial que, por sua vez, proporcionou a elevação da potência de corrente em descarga mínima e máxima. O transporte de sedimentos em suspensão era alto em 1977, mas sofreu progressiva redução a partir de 1979 e, nos últimos anos da década passada, vem sendo bastante baixo. Tais informações comprovam a hipótese inicial de que a retirada da vegetação teria diminuído a evapotranspiração, aumentando a oferta de água e a competência e capacidade do canal. Porém, a hipótese de que a retirada da vegetação teria proporcionado o aumento da perda de solo somente é válida para a década de 1970, uma vez que nas décadas seguintes a perda de solo diminuiu, mesmo sob condições de desmatamento. O canal fluvial encontra-se em um novo processo de ajuste, proporcionado pelo aumento da potência de corrente e pela diminuição da oferta de sedimentos.

Palavras-chave: uso e ocupação do solo, evapotranspiração, disponibilidade hídrica, condições hidrossedimentológicas, rio Paraguai

## ABSTRACT

The increasing pressure on the water resources requires each time more the knowledge of where, when and how the water she is being used. For this and other reasons, this examination has as objective to analyze the evolution of the use and occupation of the ground of the studied area; to verify the existence of modification of the evapotranspiration; to evaluate the water availability in the system; to evaluate the changes of the capacity and the ability of the originary river Superior Paraguay of the variations of the water availability, and finally to verify the evolution of the transport of sediments. The analysis of the evolution of the land use and land cover was carried through from bibliographical references and multitemporal analysis of satellite images, the verification of the modifications of the evapotranspiration through meteorological data and simulation of the data of land use and the water availability was evaluated from the precipitation's data and the data of evapotranspiration, while the changes of the hydrosedimentologic conditions (stream power and load sedimentary) had made use of the available fluvimetric data. The effected boarding allowed to analyze the years of 1977, 1981, 1987, 1990, 1992, 1997, 2005 and 2007 evidencing the values of all the classrooms (vegetation, pasture, cultures, ground displayed, water and area not classified) in these periods. It was observed that the vegetation area already was less of the half of the basin and diminished for less of one third in 2007. The pasture areas occupied a quarter of the area and had passed to one tenth of it throughout the thirty studied years, while the agriculture areas had increased almost of one tenth for one third of the studied area. The values of evapotranspiration had diminished throughout the series while the precipitation increased in first the 20 years and reduced in the last decade. Although this reduction, the water availability in the system increased, providing the increase of the fluvial discharge, that in turn, provided the rise of the chain power in minimum and maximum discharge. The transport of sediments in suspension was high in 1977, but it suffered gradual reduction from 1979, and in recent years of the last decade it comes being sufficiently low. Such information prove the initial hypothesis of that the withdrawal of the vegetation would have diminished the evapotranspiration, increased it offers of water and the ability and capacity of the canal. However, the hypothesis of that the withdrawal of the vegetation would only have proportionate the increase of the loss of ground is valid for the decade of 1970, a time that in the following decades the loss of ground diminished, exactly under deforestation conditions. The fluvial canal meets in a new process of adjustment, proportionate for the increase of the stream power and for the reduction of it offers of sediments.

Key-words: land use and land cover, evapotranspiration, water availability, hydrossedimentologics conditions, Paraguay River

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Mapa das sub-bacias que formam a Bacia do Prata.....	19
Figura 02	Bacia do Alto Paraguai e Paraguai Superior.....	21
Figura 03	Unidades geomorfológicas da Bacia do Alto Paraguai e do Paraguai.....	22
Figura 04	– Principais rios da bacia do rio Paraguai Superior.....	23
Figura 05	Localização da área de estudo.....	24
Figura 06	– Relevo da área de estudo.....	26
Figura 07	Evolução da população do Município de Barra do Bugres a partir de 1970.....	33
Figura 08	Evolução da População em Cáceres a partir de 1970.....	38
Figura 09	Habitantes em Barra do Bugre e Cáceres a partir da década de 1970.....	40
Figura 10	Tabela de cores RGB utilizada nos mapas de uso e ocupação do solo.....	46
Figura 11	Evapotranspiração real diária (mm/dia).....	50
Figura 12	Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 1977....	58
Figura 13	Gráfico do Uso e Ocupação do Solo – 1977.....	59
Figura 14	Diagrama do Uso e Ocupação do Solo – 1977.....	59
Figura 15	Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 1981.....	60
Figura 16	Gráfico do Uso e Ocupação do Solo – 1981.....	61
Figura 17	Diagrama do Uso e Ocupação do Solo – 1981.....	61
Figura 18	Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 1987.....	62
Figura 19	Gráfico do Uso e Ocupação do Solo – 1987.....	63
Figura 20	Diagrama do Uso e Ocupação do Solo – 1987.....	63
Figura 21	Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 1990.....	64
Figura 22	Gráfico do Uso e ocupação do solo – 1990.....	65
Figura 23	Diagrama do Uso e ocupação do solo – 1990.....	65
Figura 24	Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 1992.....	66
Figura 25	Gráfico do Uso e ocupação do solo – 1992.....	67
Figura 26	Diagrama do Uso e ocupação do solo – 1992.....	67
Figura 27	Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 1997.....	68
Figura 28	Gráfico do Uso e ocupação do solo – 1997.....	69
Figura 29	Diagrama do Uso e ocupação do solo – 1997.....	69
Figura 30	Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 2005.....	70
Figura 31	Gráfico do Uso e ocupação do solo – 2005.....	71
Figura 32	Diagrama do Uso e ocupação do solo – 2005.....	71

Figura 33	Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 2007.....	72
Figura 34	Gráfico do Uso e ocupação do solo – 2007.....	73
Figura 35	Diagrama do Uso e ocupação do solo – 2007.....	73
Figura 36	Variação temporal em km <sup>2</sup> das classes de uso e ocupação do solo em cada ano	74
Figura 37	Variação temporal em porcentagem das classes de uso e ocupação do solo em cada ano.....	75
Figura 38	Valores anuais de Evapotranspiração Potencial e Real na estação de Cáceres...	78
Figura 39	Variação temporal dos dados de evapotranspiração potencial e real na Estação Pluviométrica de Cáceres.....	78
Figura 40	Variação temporal da disponibilidade hídrica anual (potencial e real) na Esta- ção Pluviométrica de Cáceres.....	80
Figura 41	Valores de vazão média anual e disponibilidade hídrica em Cáceres.....	82
Figura 42	Precipitação anual na Estação Pluviométrica de Cáceres, nos anos com dados de Evapotranspiração.....	82
Figura 43	Precipitação anual na Estação Pluviométrica de Barra do Bugres, nos anos com dados de evapotranspiração.....	83
Figura 44	Relação entre precipitação e a vazão em Cáceres no período entre 1972 e 2005	83
Figura 45	Relação entre precipitação e a vazão em Barra do Bugres no período entre 1969 e 2005.....	84
Figura 46	Valores de evapotranspiração na região do Pantanal.....	85
Figura 47	Resultado da análise de regressão linear entre tempo e os valores de EVT cal- culados para a área de estudo.....	86
Figura 48	Representação gráfica dos valores de evapotranspiração calculada, precipita- ção ponderada, disponibilidade hídrica na bacia e descarga fluvial em Cace- res.....	87
Figura 49	Variação temporal da razão entre precipitação ponderada e evapotranspiração calculada.....	88
Figura 50	Variação temporal da razão entre a precipitação ponderada e a disponibilidade hídrica do sistema.....	89
Figura 51	Variação temporal da razão entre a disponibilidade hídrica do sistema e a des- carga fluvial em Cáceres.....	89
Figura 52	Variação temporal da razão entre a precipitação ponderada na bacia e a des- carga fluvial em Cáceres.....	90

Figura 53	Variação da disponibilidade hídrica do sistema e da descarga máxima anual na estação de Cáceres.....	91
Figura 54	Variação da disponibilidade hídrica do sistema e da descarga mínima anual na estação de Cáceres.....	91
Figura 55	Valores do comprimento do segmento fluvial.....	93
Figura 56	Valores de sinuosidade nos anos estudados.....	93
Figura 57	Variação dos valores do gradiente hidráulico em margens plenas.....	94
Figura 58	Variação dos valores do gradiente hidráulico em vazão mínima.....	95
Figura 59	Variação dos valores do gradiente hidráulico em vazão máxima.....	96
Figura 60	Valores do gradiente hidráulico em diferentes condições de descarga fluvial....	97
Figura 61	Precipitação média mensal e descarga média mensal na estação de Barra do Bugres.....	98
Figura 62	Precipitação média mensal e descarga média mensal na estação de Cáceres...	99
Figura 63	Representação gráfica da variação dos valores de potência específica em vazão de margens plenas na seção de Cáceres.....	100
Figura 64	Representação gráfica da variação dos valores de potência específica em vazão mínima anual na seção de Cáceres.....	101
Figura 65	Representação gráfica da variação dos valores de potência específica em vazão mínima anual na seção de Cáceres.....	102
Figura 66	Representação gráfica dos dados de concentração de sedimentos em suspensão da estação de Cáceres no período entre 1977 e 2010.....	103
Figura 67	Variação dos valores da concentração de sedimentos em suspensão ao longo do tempo e tendência da série da estação de Cáceres no período entre 1977 e 2010.....	104
Figura 68	Representação gráfica dos dados de transporte de sedimentos em suspensão da estação de Cáceres no período entre 1977 e 2010.....	104
Figura 69	Variação dos valores do transporte de sedimentos em suspensão ao longo do tempo e tendência da série da estação de Cáceres no período entre 1977 e 2010.....	105
Figura 70	Análise de regressão linear dos dados de descarga fluvial e de transporte da estação de Cáceres.....	106
Figura 71	Variação temporal do transporte médio anual no rio Paraguai, na estação de Cáceres, calculado a partir das equações obtidas por análise de regressão.....	108
Figura 72	Variação dos valores de precipitação, evapotranspiração, disponibilidade hí-	

drica, vazão e transporte fluvial nos anos com dados de uso e ocupação dos solos.....	108
Figura 73 Representação gráfica da variação do transporte (máximo e mínimo) e da porcentagem ocupada pelas áreas de vegetação, pastagem cultura e solo exposto	109
Figura 74 Representação gráfica dos valores de potência específica de corrente e de transporte fluvial.....	110

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01	Principais informações das Estações Fluviométricas.....	30
Quadro 02	Números de habitantes em Barra do Bugres.....	33
Quadro 03	Comparativo da Distribuição Populacional em %.....	34
Quadro 04	Números de habitantes em Cáceres.....	38
Quadro 05	Comparativo da Distribuição Populacional em %.....	39
Quadro 06	Números de habitantes em Barra do Bugres e Cáceres.....	40
Quadro 07	Descrição das bandas utilizadas do satélite 2 MSS órbita ponto 244/70 (Barra do Bugres) e 244/71 (Cáceres) e no satélite Landsat 5 TM órbita ponto 227/70 (Barra do Bugres) e 227/71 (Cáceres).....	43
Quadro 08	Valores em Km <sup>2</sup> ocupados no terreno pelas classes em cada ano.....	74
Quadro 09	Valores em porcentagem ocupados no terreno pelas classes em cada ano.....	75
Quadro 10	Valores anuais de evapotranspiração na estação de Cáceres.....	77
Quadro 11	Valor de precipitação anual na estação de Cáceres, nos anos em que há dados de evapotranspiração disponíveis.....	79
Quadro 12	Disponibilidade hídrica em Cáceres nos anos com dados de evapotranspiração e precipitação.....	80
Quadro 13	Descarga média anual e disponibilidade hídrica do sistema em Cáceres, nos anos com dados de evapotranspiração e precipitação.....	81
Quadro 14	Resultado da ponderação da área de cada classe pelos respectivos valores de EVT obtidos por Andrade et al. (2009).....	86
Quadro 15	Valores de EVT calculados para a bacia e valores de EVT potencial e real obtidos na estação de Cáceres.....	86
Quadro 16	Evapotranspiração calculada, precipitação ponderada, disponibilidade hídrica na bacia e descarga fluvial em Cáceres.....	87
Quadro 17	Evolução dos valores do comprimento do segmento fluvial e da sinuosidade do rio Paraguai na área estudada.....	92
Quadro 18	Variação temporal da diferença de nível da água e do gradiente hidráulico em margens plenas.....	94
Quadro 19	Variação temporal da diferença de nível e do gradiente hidráulico em vazão mínima.....	95
Quadro 20	Variação temporal da diferença de nível e do gradiente hidráulico em vazão máxima.....	96

Quadro 21	Variação dos valores do gradiente hidráulico entre Cáceres e Descalvados.....	97
Quadro 22	Evolução dos valores de potência de corrente e potência específica em vazão de margens plenas em Cáceres.....	100
Quadro 23	Variação da potência de corrente em vazão mínima anual em Cáceres.....	101
Quadro 24	Variação da potência de corrente em vazão máxima anual em Cáceres.....	102
Quadro 25	Equações obtidas a partir da análise de regressão (descarga/transporte), seus respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), e os valores de transporte médio anual.....	107
Quadro 26	Valores do coeficiente de determinação obtidos por meio de análise de regressão entre as variáveis.....	109

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2. HIPÓTESES DE TRABALHO.....</b>	<b>17</b>
<b>3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>19</b>
3.1 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DE BARRA DO BUGRES E CÁCERES.....	30
3.1.1 HISTÓRICO DE BARRA DO BUGRES.....	32
3.1.2 HISTÓRICO DE CÁCERES.....	34
<b>4. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>41</b>
4.1 Uso e Ocupação do Solo e Sensoriamento Remoto.....	41
4.2 Evapotranspiração e disponibilidade hídrica no sistema.....	47
4.3 Avaliação das condições hidrossedimentológicas.....	51
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>57</b>
5.1. As Variações do uso do solo.....	57
5.2 A variação da evapotranspiração, a disponibilidade hídrica do sistema e a descarga fluvial.....	77
5.3 O Gradiente Hidráulico e a Potência de Corrente.....	92
5.4 Transporte de Sedimentos.....	103
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>111</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>113</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A importância de entender o sistema fluvial faz com que pesquisadores desenvolvam estudos sobre os rios para compreender seus complexos sis

temas morfológicos e dinâmicos. Por essa razão, esta pesquisa aborda o sistema fluvial do rio Paraguai Superior.

O Paraguai Superior é o segmento compreendido entre as suas nascentes e a foz do rio Jaurú. O Alto Paraguai compreende o segmento entre o rio Jaurú e a foz do rio Apa, que abrange toda a área do Pantanal Mato-grossense. O Médio Paraguai desenvolve-se a partir da foz do rio Apa até Ita-Pirú. Por fim, o Paraguai Inferior corresponde ao segmento entre Ita-Pirú e sua foz, no rio Paraná (IBGE, 1977).

A disposição da bacia do rio Paraguai Superior é condicionada pelo substrato geológico. E a bacia de drenagem tem forma assimétrica, sendo a planície fluvial marcada por um conjunto de lagoas alongadas e canais ativos e sub-ativos que permitem caracterizar o segmento como multicanal, cujo aspecto em imagem orbital assemelha-se ao exibido por canais anastomosados, conforme Silva *et al.* (2007).

O rio Paraguai tem suas nascentes em terras altas da Província Serrana e, ao atingir os terrenos da depressão, apresenta grande número de afluentes pela margem direita, com padrão de drenagem paralelo e que promovem fraca dissecação no relevo. Assim, observam-se interflúvios razoavelmente amplos, com topos planos e drenagem de primeira ordem pouco profunda. A topografia bastante plana está frequentemente sujeita a inundações, cuja rede de drenagem é comandada pelo rio Paraguai (BRASIL, 1982).

A bacia de drenagem do rio Paraguai no seu segmento Superior sofreu forte ação antrópica, a partir da década de 1970, graças à ocupação de áreas de vegetação natural para a implantação de pastagens e de agricultura. A retirada da vegetação natural aparentemente resultou em uma sensível modificação das características do rio, em especial no que diz respeito ao regime de débitos e ao transporte de sedimentos (SILVA, 2006; GRIZIO, 2008).

São vários os efeitos que a retirada da vegetação pode causar dentro de uma bacia hidrográfica, dentre eles a diminuição da rugosidade superficial, que leva ao aumento da velocidade de fluxo na vertente, da competência das águas, da intensidade dos processos erosivos e da magnitude das vazões máximas. A remoção da vegetação, ao mesmo tempo em

pode reduzir a capacidade de infiltração e retenção de água, pode aumentar o escoamento superficial, o que pode aumentar a erosão dos solos.

A substituição das matas por vegetais agricultáveis pode contribuir para a diminuição da evapotranspiração e pode causar o aumento do armazenamento subterrâneo e da descarga fluvial. No caso de bacias com baixa declividade, solos permeáveis e alta capacidade de armazenamento, o rio acaba tendo aumento da descarga, da capacidade e da competência, transportando mais sedimentos com maiores tamanhos de grãos. No caso de bacias com alta declividade solos pouco permeáveis e baixa capacidade de armazenamento, o rio terá as vazões de cheia aumentadas e as vazões de seca diminuídas. Terá alta capacidade e alta competência nas cheias e baixa capacidade e competência na seca.

Por esses motivos, esta pesquisa tem como objetivo geral verificar as modificações que o sistema fluvial do rio Paraguai Superior vem sofrendo a partir de 1970, em decorrência da retirada da vegetação, especialmente no que diz respeito à evapotranspiração, à relação precipitação-vazão, ao transporte de sedimentos e à hidrodinâmica do rio, para uma melhor compreensão do processo ocorrido neste espaço geográfico.

A escassez de informações a respeito das características do rio, as modificações que a bacia vem sofrendo e a importância ambiental do sistema, justificam a necessidade da realização de estudos que permitam um adequado conhecimento da região, para subsidiar o planejamento para um desenvolvimento sustentado, podendo dar subsídios para trabalhos futuro.

## **2. HIPÓTESES DE TRABALHO**

As formas e os processos geomorfológicos de um sistema fluvial apresentam relações de dependência entre si. Dessa maneira, a modificação de uma variável pode ter como consequência a alteração de formas e processos, dependendo da variável, do grau de dependência entre elas e da intensidade da modificação.

No caso do sistema do rio Paraguai Superior, a retirada da cobertura vegetal se intensificou a partir da década de 1970, quando o Governo Federal passou a estimular a implantação de projetos agropecuários. A substituição da vegetação natural por pastagens e por agricultura pode ter causado dois efeitos: a diminuição da evapotranspiração e o aumento do suprimento de sedimentos.

A diminuição da evapotranspiração poderia levar a um aumento do escoamento superficial, ou um aumento do armazenamento subterrâneo. Nesse caso, os dados históricos das Estações Fluviométricas de Barra dos Bugres e de Cáceres demonstram que a descarga média anual aumentou desde 1967, assim como as descargas máximas e as descargas mínimas. Tal aumento pode ser justificado por uma modificação das condições de precipitação, mas os dados das Estações Meteorológicas de ambas as localidades não mostram tal incremento (GRIZIO, 2008). Nesse caso, tais dados indicam que houve aumento do escoamento superficial e do armazenamento subterrâneo.

A presença de solos expostos, durante a implantação das pastagens e das áreas de agricultura, e o aumento do escoamento superficial pode ter propiciado um aumento da erosão das vertentes. Por sua vez, esse aumento geraria um maior aporte de sedimentos na rede hidrográfica.

A rede hidrográfica, tendo maior descarga, passou a ter maior potência de corrente e maior carga sedimentar, o que teria provocado modificações na dinâmica dos canais e em seu padrão. Por essa razão, toda a dinâmica do sistema estaria modificada.

Diante desse contexto, o objetivo geral deste trabalho é verificar as modificações que o sistema fluvial do rio Paraguai Superior vem sofrendo a partir de 1970 em decorrência da retirada da vegetação, especialmente no que diz respeito à evapotranspiração, à relação precipitação-vazão, ao transporte de sedimentos e à hidrodinâmica do rio.

Os objetivos específicos são:

- 1) Analisar a evolução do uso e ocupação do solo da área estudada, para verificar a história e a intensidade da retirada da vegetação.
- 2) Verificar a existência de modificação da evapotranspiração, para comprovar a hipótese de que a retirada da cobertura vegetal proporciona a diminuição da intensidade da variável.
- 3) Avaliar a disponibilidade hídrica no sistema, para verificar se as alterações da evapotranspiração provocaram mudanças significativas na quantidade de água em circulação no sistema.
- 4) Avaliar as mudanças da capacidade e da competência do rio Paraguai Superior originárias das variações da disponibilidade hídrica.
- 5) Verificar a evolução do transporte de sedimentos face às modificações das vertentes e mudanças hidráulicas do canal.

### 3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para uma melhor compreensão da área de estudo, faz-se necessário uma rápida explanação da localização do geral até o particular, ou seja, da bacia do Prata até a bacia do Paraguai Superior.

É possível descrever que a bacia hidrográfica do Prata (Figura 01) está entre as maiores do mundo. Quase metade dela está em território brasileiro, mas possui também porções nas áreas argentinas, bolivianas, paraguaias e uruguaias. É a segunda maior bacia hidrográfica do planeta, com 1.397.905 km<sup>2</sup>, sua extensão é de 4.500 quilômetros.

As nascentes dos principais rios pertencem ao Brasil e as três sub-bacias que compõem a Bacia Platina no território brasileiro são: Paraguai, Uruguai e Paraná e seus respectivos afluentes. Os nomes das bacias correspondem aos três principais rios que a formam.

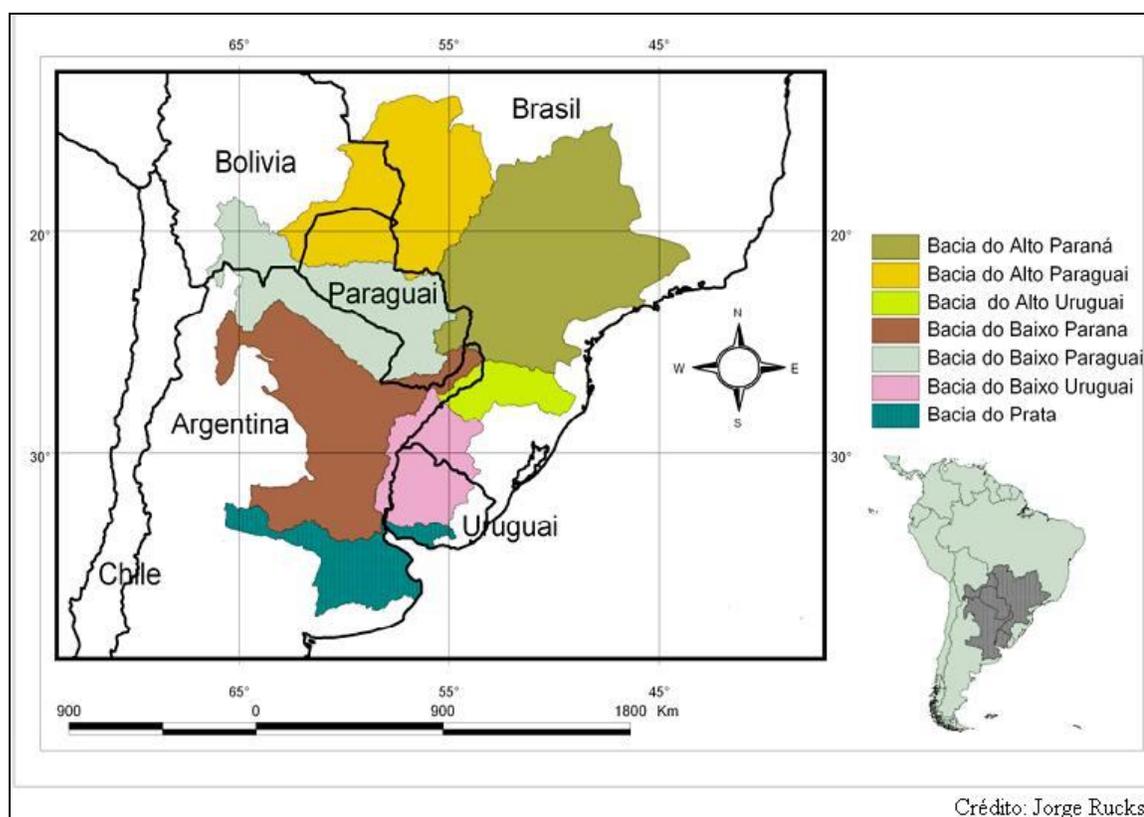


Figura 01: Mapa das sub-bacias hidrográficas que formam a Bacia do Prata

Fonte: <http://www.riosvivos.org.br/Noticia/Veja+imagens+de+satelite++mapas++fotos+e+textos+sobre+a+bacia+do+rio+da+Prata/16637>

Por apresentar grande potencial hidráulico e produzir a maior parte da energia consumida no Brasil, ela é intensamente utilizada para geração de energia elétrica, por meio de muitas hidrelétricas instaladas em seu curso, principalmente no território brasileiro e tende a transformar-se em importante meio de comunicação e de transporte, entre os outros países do Mercosul que dividem as suas águas.

Segundo dados do Fundo Mundial para a Natureza (WWF), a bacia do Prata consta na lista das dez bacias mais ameaçadas do planeta, devido à grande quantidade de barragens, à intensa ocupação agrícola, à utilização dos seus rios como hidrovias e à existência de grandes centros urbanos e industriais, situados as margens de seus rios. Essas atividades colocam em risco a rica biodiversidade da bacia e dos rios que a compõem, além de ameaçar importantes ecossistemas, dentre eles o do Pantanal, um reservatório de uma enorme riqueza biológica que atua como regulador do sistema hidrológico na bacia do Prata.

Essa bacia serve de moradia a dezenas de milhões de habitantes, entretanto, a interação do ser humano com ela, ao longo do tempo e de forma incontrolada, provocou mudanças significativas, tanto para a bacia como também para a qualidade de vida de seus habitantes.

A bacia hidrográfica do rio Paraguai abrange uma área de 1.095.000km<sup>2</sup> no Brasil, Argentina, Bolívia e no Paraguai (ANA, 2004). O rio Paraguai que nasce em território brasileiro percorre 2.612km, sendo 1.683km nesse território, até sua confluência com o rio Paraná na altura da cidade de Corrientes, na Argentina, com alguns trechos compartilhados com a Bolívia e o Paraguai (INNOCENCIO, 1977). Seu curso pode ser dividido em quatro segmentos distintos: Paraguai Superior, Alto Paraguai, Médio Paraguai e Paraguai Inferior, de acordo com o IBGE (1977).

A bacia do Alto Paraguai e Paraguai Superior ocupa 345.000 km<sup>2</sup> (Figura 02) e abrange não apenas os estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul, como também outros países vizinhos do Brasil, como a Argentina, Paraguai e a Bolívia.



Figura 02: Bacia do Alto Paraguai e Paraguai Superior

Fonte: <http://sosriosdobrasil.blogspot.com/2011/11/sos-rio-paraguai-criado-o-pre-comite.html>

Ela possui relevo diferente, tais como terras acima de 200m de altitude caracterizando o planalto e terras com menos de 200m de altitude (Pantanal). A área baixa está sujeita a inundações periódicas, funcionando como um grande reservatório regularizador das vazões dos rios da bacia.

Os biomas predominantes na bacia são o Cerrado e o Pantanal. Em virtude de algumas atividades desenvolvidas, entre elas agro-industriais e mineração, os desmatamentos vêm acentuando os processos de erosão, contribuindo para o assoreamento dos rios da região.

Os principais centros urbanos localizados na região hidrográfica do Paraguai são: Aquidauana, Cáceres, Corumbá, Coxim, Cuiabá e Poconé.

A bacia do Paraguai Superior compreende a área situada entre as suas nascentes e a foz do rio Jaurú (Figura 03 e 04) e possui cerca de 497 quilômetros de extensão. Ocupa o Planalto dos Parecis, parte da Província Serrana, a Depressão do Alto Paraguai e o Pantanal de Cáceres.

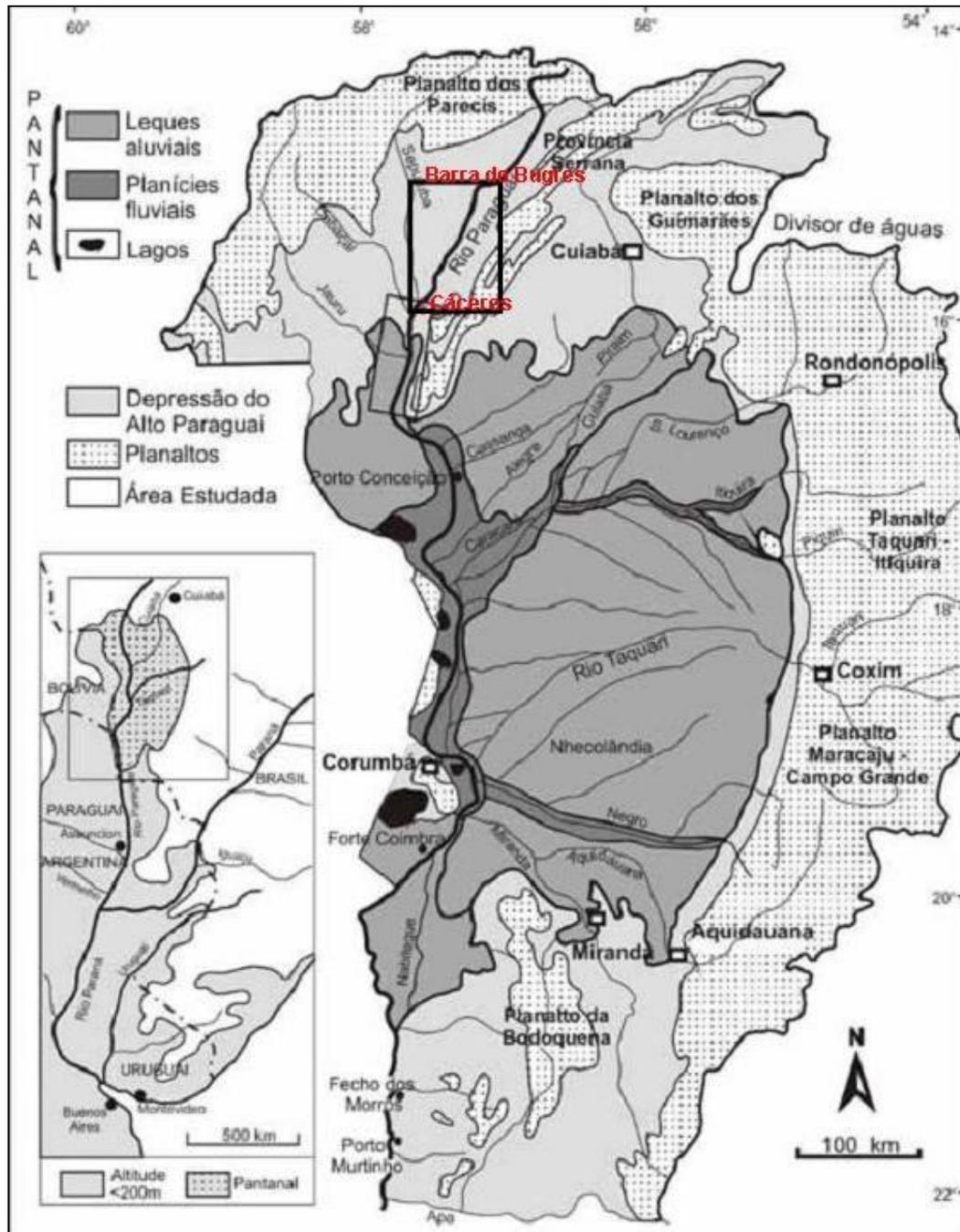


Figura 03: Unidades geomorfológicas da Bacia do Alto Paraguai e do Paraguai Superior (Área de estudo evidenciada pelo retângulo)  
Adaptado de (Silva et al., 2006)



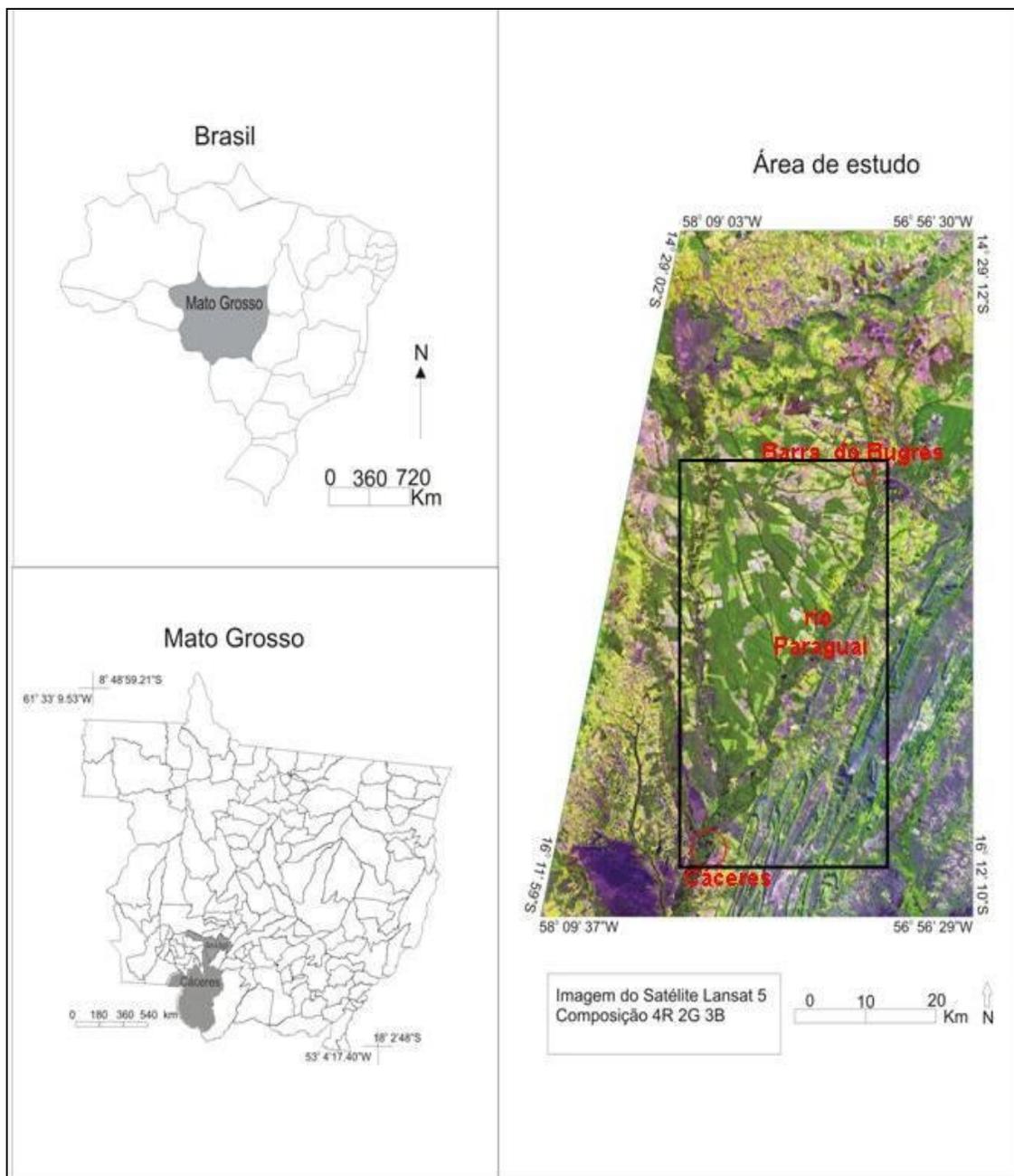


Figura 05: Localização da área de estudo (mosaico de imagens TM/LANDSAT 5, cenas 227/70 e 227/71, obtidas em 02/06/2006, composição colorida 4R2G3B)

A ausência de pesquisas realizadas na bacia do Paraguai Superior, principalmente no que concerne ao meio físico, dificulta a realização de leituras complementares dessa área. A maior parte dos trabalhos realizados apresentam abordagem regional, como é o caso dos levantamentos das folhas Cuiabá (SD.21) e Corumbá (SE.21) realizados pelo RADAMBRASIL (BRASIL 1982).

O segmento fluvial situado entre Barra do Bugres e Cáceres, municípios que se encontram dentro da área de estudo possui 275 km de extensão, com largura média de 122 metros e sinuosidade de 2,2. A bacia de drenagem tem forma assimétrica e a planície fluvial é marcada por um conjunto de lagoas alongadas e canais ativos e sub-ativos que permitem caracterizar o segmento como multicanal, cujo aspecto em imagem orbital assemelha-se ao exibido por canais anastomosados (SILVA et al., 2007).

A disposição da bacia do rio Paraguai Superior é condicionada pelo substrato geológico. As nascentes do rio estão situadas em área cratônica do Complexo Xingu (Pré-Cambriano Médio a Inferior), o curso principal está situado sobre o limite entre a Zona Externa e a Zona de Plataforma da faixa Paraguai, e ocupa a parte mais baixa de um amplo sinclinal assimétrico, com flancos com mergulhos suaves para leste em sua margem direita e com mergulhos acentuados para oeste em sua margem esquerda (ALMEIDA, 1964; ALVARENGA; TROMPETTE, 1993).

Além disso, o rio Paraguai tem suas nascentes em terras altas da Província Serrana e ao atingir os terrenos da depressão apresenta grande número de afluentes pela margem direita. Entre os rios que se destacam estão: Cabaçal, Sepotuba, entre outros (Figura 4). Apresentam padrão de drenagem paralelo e promovem fraca dissecação no relevo. Assim, observam-se interflúvios razoavelmente amplos, com topos planos e drenagem de primeira ordem pouco profunda.

Nos rios Paraguai, Sepotuba e Cabaçal, onde a declividade é ainda menor e as litologias subjacentes são os sedimentos aluviais mais antigos da Formação Pantanal, as faixas de planícies (Apf) e terraços (Atf) são mais amplas. As planícies chegam a apresentar, em alguns trechos, largura que atinge 5 km, onde ocorrem lagos de barragem, lagos de meandros abandonados, canais colmatados e cursos meândricos. Os terraços fluviais são, por vezes, bem individualizados. É o caso daqueles encontrados no baixo curso do rio Cabaçal, Sepotuba e trechos do Paraguai, próximos às confluências dos rios supracitados.

Os terrenos menos úmidos e levemente dissecados em formas tabulares do tipo t41 correspondem aos aluviões mais antigos, os terraços fluviais (Atf) dos rios Cabaçal, Sepotuba e Paraguai constituem os aluviões mais recentes. Os aluviões mais antigos correspondem as areias finas e inconsolidadas, que são encontradas nos atuais interflúvios, enquanto nos terraços e planícies fluviais há variações nos tipos de materiais (BRASIL, 1982).

A maior parte da área é coberta por sedimentos inconsolidados da Formação Pantanal, constituída principalmente por areia inconsolidada. A bacia está instalada na Depressão do Alto Paraguai e ao longo de todos os rios principais ocorrem áreas de acumulação que

constituem a Planície do rio Paraguai. A topografia bastante plana (Figura 06) está frequentemente sujeita às inundações, cuja rede de drenagem é comandada pelo rio Paraguai (BRASIL, 1982). Segundo Galvanin (2010), as inundações da área decorrem mais do volume de água trazido pela rede de afluentes do rio Paraguai, aliado à fraca declividade do terreno e tipo de solo, do que pela pluviosidade em si.

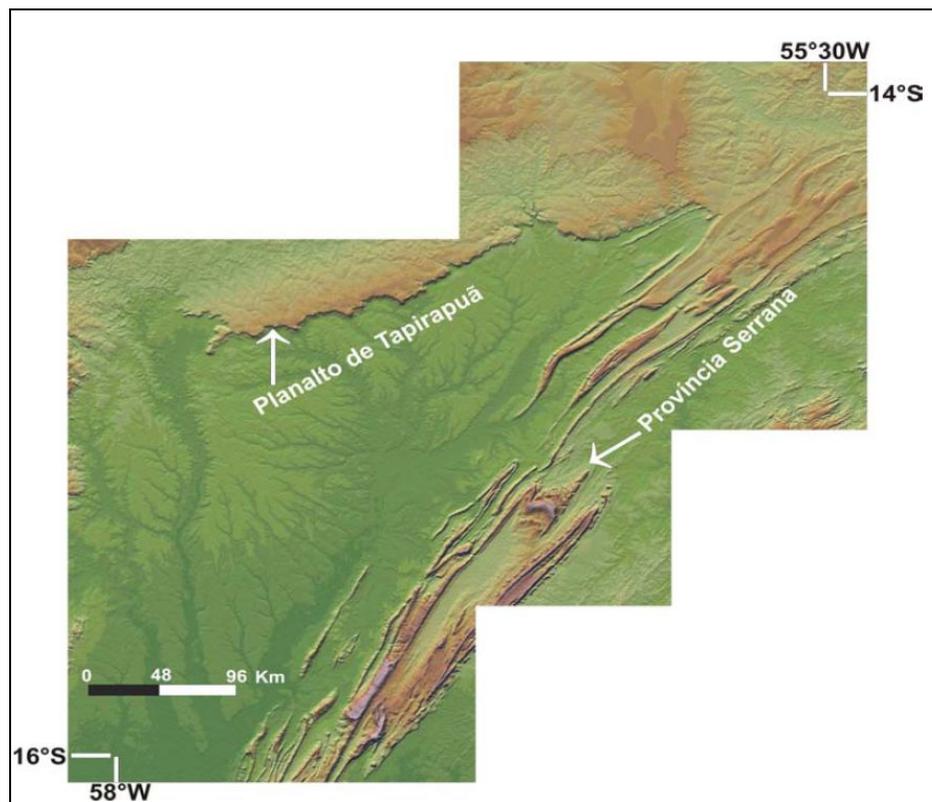


Figura 06 – Relevo da área de estudo (SILVA, 2006)

A baixa declividade da região favorece as inundações, que se propagam de norte para sul e de leste para oeste, ao longo do rio Paraguai e seus afluentes. Além disso, as enchentes são consequências da contribuição da água do subsolo e do escoamento superficial local. Assim, o Pantanal Matogrossense, pode ser inundado não só por águas dos principais rios, que transbordam de seus respectivos leitos, mas, também, pela elevação do nível d'água subterrânea, no período chuvoso.

Nas cabeceiras do rio Paraguai ocorrem solos concrecionários distróficos e cambissolos, desenvolvidos sobre os metassedimentos e cobertos por savana arbórea aberta

com mata galeria e na parte norte da área ocorre latossolos. O restante dela está coberta por neossolos, havendo também a presença de nitossolos. A cobertura do solo é feita por floresta submontana, com dossel emergente em sua parte norte e por savana arbórea densa em sua porção central e sul.

O clima caracteriza-se como Tropical com duas estações bem definidas (seca no inverno e úmida no verão), com temperatura média anual de 25° C. A precipitação média anual é de 1.300mm. O período de janeiro a março é o mais úmido, com média histórica de 220mm e o período entre setembro e outubro é o de maior índice de radiação solar, de temperaturas médias de 25,1C e 27,1 C e média histórica de 80mm e a menor precipitação possui média histórica de 50mm.

Toda a área da bacia do rio Paraguai Superior era relativamente pouco ocupada no início da década de 1970. Havia presença de floresta submontana, floresta semidecidual, arbórea densa, parque sem floresta de galeria e arbórea aberta também sem floresta de galeria. A savana (Cerrado) era a vegetação natural predominante, embora próximo do rio Paraguai ocorram formações pioneiras, que sofrem influência fluvial e áreas de contato florístico do tipo ecótono, predominando a mistura das formações pioneiras com o Cerrado, devido ao alagamento sazonal.

A Floresta Estacional Semidecidual Aluvial e Decidual de Terras Baixas ocorrem nas áreas de acumulação inundáveis, principalmente ao longo da drenagem, no caso acompanhando os rios Paraguai, Sepotuba, Cabaçal, Padre Inácio e Jauru. Na primeira, a decidualidade é apenas parcial nas espécies arbóreas mais altas (em que 20 a 50% das árvores perdem as folhas), embora a maioria apresente folhagem sempre verde; enquanto na segunda mais de 50% das árvores perdem folhas no período seco (BRASIL, 1982).

De acordo com Veloso (1991), a formação pioneira refere-se às comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas ou, então, das depressões alagáveis todos os anos. Nesses terrenos aluviais, a quantidade e o tempo de permanência da água na área influenciam na variedade das comunidades vegetais. No Pantanal de Cáceres pode-se citar a fazenda São Sebastião (16° 42' 42" e 57° 58' 11") como um exemplo correspondente à área de deposição, sendo essa área pedologicamente instável devido ao contínuo aporte de material oriundo das deposições aluviais anuais do rio Paraguai.

As principais áreas de ocupação daquela época estavam situadas entre Barra dos Bugres e Nortelândia, nas proximidades de Cáceres, Tangará da Serra, Rio Branco, Araputanga e Indivaí. Na maior parte delas a ocupação ocorreu para a implantação de

pastagens e apenas nas proximidades de Mirassol do Oeste havia ocupação significativa para agricultura.

A remoção da vegetação natural vem sendo substituída pela pecuária e por plantações de soja, algodão herbáceo, milho, arroz e sorgo. É possível verificar esses dados em detalhes no site do IBGE (<http://www.ibge.gov.br/home/>). Grande parte da agricultura é efetuada por meio de plantio direto.

Nos últimos vinte anos, a perda da vegetação nativa para implementação de lavouras e de pastagens, além da destruição do “*habitat*”, acelerou os processos erosivos nas margens do rio Paraguai e, conseqüentemente, tem ocorrido o assoreamento, o qual tem intensificado as inundações com sérios prejuízos a fauna, a flora e a economia (GRIZIO et al., 2006).

De acordo com Leonel (1998), há necessidade e urgência da adoção de uma agricultura mais responsável social e ambientalmente, pois “o uso adequado dos recursos naturais é uma exigência social decorrente da atualidade do desafio planetário da sustentabilidade”.

Manejo de pastos, melhoria de variedade de gramíneas, práticas modernas de recuperação de pastagens degradadas são medidas que, se fomentadas, podem influenciar na mudança de atitude dos agentes em relação a manutenção ou não de áreas florestadas.

Na região do entorno do Parque Nacional do Xingu (Mato Grosso) impactos ambientais causados pela pecuária e agricultura, fortemente representada pela sojicultura, foram detectados por uma expedição do Instituto Socioambiental (ISA) realizada em julho de 2003. Foram detectados erosão e assoreamento nos principais rios que têm suas nascentes fora do parque (SANCHEZ, 2003).

Algumas práticas podem minimizar os impactos causados pela sojicultura no ambiente, como o Sistema Plantio Direto e a Rotação de Culturas (HERNANI, 2002). De acordo com Freitas (2002) a adoção do Sistema Plantio Direto está crescendo no cerrado, e na safra 2001/2002 a área total de adoção chegou a mais de 5 milhões de hectares. Porém, Caporal (2003a) alerta que somente o Plantio Direto realizado sem o uso de herbicidas é considerado uma prática conservacionista.

Boas práticas de manejo para sistemas de pastagens, como o plantio de leguminosas em consórcio com gramíneas, rotação de pastos e o não uso do fogo, são benéficas para o controle da erosão.

A rotação do pasto permite seu corte mais homogêneo, facilitando uma rebrota uniforme da gramínea e uma melhor cobertura do solo. Nas áreas de pastagens, na época de

reforma ou implantação, é aconselhável construir terraços, para disciplinar o escoamento da água da chuva.

As práticas conservacionistas mais recomendadas são o plantio direto na palha, plantio em nível e a construção de terraços para áreas agrícolas cultivadas com espécies de ciclo curto que exigem constante preparo do solo.

A adoção de práticas conservacionistas evita a degradação das áreas de produção e a perda de áreas produtivas, o que é considerado um modelo de desenvolvimento sustentável e ambientalmente correto.

De acordo com Grizio (2008), a superposição das imagens, dos anos de 1977 e 1981 do rio Paraguai, mostrou o aumento da área do canal e de sua largura média, o que indica que nesse intervalo de quatro anos houve domínio de erosão sobre a deposição, sendo que, em alguns trechos, foi possível observar a redução da área do canal, sendo explicada pela diminuição de seu comprimento.

Essa mesma autora mostra que o índice de sinuosidade do canal diminuiu de 2,22 para 2,12. A redução do comprimento do canal e de sua sinuosidade é explicada por meio da ocorrência de avulsões, ou seja, a criação de um novo canal por meio do corte dos meandros mais desenvolvidos. No período entre 1977 e 1981 tais processos foram comuns ao longo de todo o segmento estudado.

Os valores obtidos, a ocorrência das avulsões e da migração lateral mostram que o canal teve uma considerável mobilidade no período, apresentando processos típicos de rios meandrantos e não de rios anastomosados.

Ainda nesse mesmo estudo, foi realizada a superposição dos dados obtidos por meio das imagens de satélites dos anos de 2004 e de 2006, que revelou um quadro distinto do apresentado pelo canal fluvial no período anterior, uma vez que não foram observadas áreas com avulsão, e a tendência ao alargamento do canal cessou.

Silva (2006) também realizou vários estudos no canal do rio Paraguai, tais como velocidade de fluxo, potência da corrente, transporte de sedimentos, sinuosidade do canal entre outros, porém em local diferente.

Os principais resultados obtidos por esse autor mostrou que a modificação verificada no regime hidrológico e no transporte de sedimentos indica que o uso do solo foi responsável pelo aumento dos valores de vazão máxima e mínima no sistema, e que em um primeiro momento causou o aumento de produção de sedimentos na bacia.

Nesse mesmo estudo, também, foi verificado que a elevação dos débitos mínimos indicou que o sistema passou a ter maior armazenamento de água. E o cálculo de potência de

corrente comprovou que os valores obtidos estão em desacordo com a dinâmica exibida pelo rio. Uma vez que foi calculado para o intervalo entre Cáceres e Descalvados, pode indicar que cada segmento tenha potência de corrente mais elevada, graças aos gradientes de leito locais.

Na área de estudo há duas estações fluviométricas disponíveis (Quadro 01). A de Barra do Bugres está situada na parte montante do segmento, e a de Cáceres está situada 220 quilômetros rio abaixo.

Quadro 01: Principais informações das Estações Fluviométricas

Fonte: ANA – Agência Nacional de Água

	<b>Barra do Bugres</b>	<b>Cáceres</b>
<b>Código da Estação</b>	66010000	66070004
<b>Latitude</b>	15° 04' 36" S	16° 03' 47" S
<b>Longitude</b>	57° 10' 57" W	57° 41' 16" W
<b>Altitude do Zero</b>	140m	109,34 m
<b>Data de Início da Série</b>	01/01/1966	01/01/1966
<b>Data de Término da Série</b>	08/2005	09/2005
<b>Vazão Média Histórica</b>	135m <sup>3</sup> /s	537 m <sup>3</sup> /s
<b>Cota Média Histórica</b>	187,5 cm	308,5 cm
<b>Vazão Mínima e Máxima</b>	4,72m <sup>3</sup> /s - 1.334m <sup>3</sup> /s	133 m <sup>3</sup> /s - 2.659 m <sup>3</sup> /s
<b>Cota Mínima e Máxima</b>	28 cm – 778 cm	75 cm - 640 cm

### 3.1 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DE BARRA DO BUGRES E CÁCERES

A ocupação da região Centro-Oeste teve início no século XVIII, através das incursões dos bandeirantes à região, em busca de ouro e na captura e aprisionamento de mão-de-obra indígena. Os séculos XVIII e XIX foram marcados pela procura de ouro e pedras preciosas, plantações de cana-de-açúcar, pecuária extensiva e exploração da borracha.

Observa-se que no século XIX houve um desenvolvimento da criação de gado, destinado à produção de charque e, também, da exploração de produtos vegetais, como a erva-mate.

Na década de 1930, além de incentivar o desenvolvimento do setor industrial e estimular a diversificação da produção agrícola, o governo Vargas procurou incrementar o processo de ocupação das zonas de fronteira agrícola do centro do país, através da chamada “Marcha para Oeste”, proclamada em 1938, que tinha por objetivo ocupar e explorar o potencial econômico do despovoado interior do país (HESPANHOL, 2000).

Até o início da década de 1970, o povoamento estava concentrado em Cuiabá e arredores, ou seja, no chamado "Mato Grosso Velho". A partir da década de 1970, surgiram 83 novos municípios, a maioria fruto da colonização privada. Isso significa que até o início de 1970 existiam apenas 34 municípios. Terminada a década de 1980, o número de municípios salta para 95, chegando a 117 no início da década de 1990 e totalizando 139 municípios no início do século XXI (TEIXEIRA, 2006).

A partir da década de 1970, ocorreu uma mudança radical nas atividades agrícolas, motivada, sobretudo pelo desenvolvimento das pesquisas de culturas agrícolas adaptadas aos solos de Cerrado e, em especial, à criação de cultivares de soja adaptados às condições climáticas do Estado.

Em meados da década de 1970, o Governo Federal passou a estimular a implantação de projetos agropecuários e agrominerais na região, através da concessão de incentivos fiscais e creditícios a grandes empresas nacionais e multinacionais. Ou seja, a expansão se revigorou nessa região, por força dos incentivos à ocupação de terras e estímulos ao desenvolvimento regional.

Enquanto a agricultura capitalista/mecanizada dirigiu-se para os chapadões areníticos revestidos de cerrado, os pecuaristas e agricultores dirigiram-se às áreas de floresta. Em pouco tempo, as áreas desmatadas para a agricultura eram transformadas em pastagens.

Para os pequenos agricultores, que não tinham condições de repor os nutrientes do solo, o desmatamento da área e a substituição da mata por pastagem foram as alternativas mais rápidas para valorizar suas terras. Para o latifundiário, o desmatamento e a implantação da pecuária extensiva foi a forma encontrada para garantir a legitimação jurídica da propriedade (TEIXEIRA, 2006).

A partir de meados da década de 1970 até meados da década de 1980, era possível com o valor da venda de 1 hectare de minifúndio no Sul do Brasil comprar-se até 300 hectares de terras no Centro-Oeste (PASSOS, 1995). Terras baratas e disponíveis em condições favoráveis à pecuária extensiva somaram-se ao isolamento geográfico e ao processo histórico do início da ocupação do Mato Grosso. Esse é um dos motivos que explica o surgimento de novos municípios no Mato Grosso a partir dessa década.

### 3.1.1 HISTÓRICO DE BARRA DO BUGRES

A história do povoamento de Barra do Bugres está intimamente ligada a do município de Cáceres, que teve início com as penetrações no rio Paraguai. Se Cáceres evoluiu rapidamente, o mesmo não aconteceu com a região que hoje compreende o município de Barra do Bugres, que ficou isolada, sem mesmo ter estrada de acesso.

Somente em 1878, chegaram os primeiros povoadores da zona onde se plantariam os fundamentos da atual cidade de Barra do Bugres. Naquele ano, ergueram ranchos, iniciaram o cultivo de produtos de subsistência e cuidaram de explorar as proximidades do local em busca da preciosa poaia (planta da família rubiácea possuidora de propriedades eméticas que ocorria em ambientes da Floresta Estacional, entre os rios Paraguai e Guaporé), com resultados satisfatórios, que determinaram a fixação no local escolhido para o primeiro rancho.

Portanto, a exploração econômica da poaia deu suporte à criação do povoado de Barra do Bugres, situado às margens do rio Paraguai, na foz do rio dos Bugres. A intensa procura da poaia transformou, em pouco tempo, o vilarejo em adensado urbano, sempre acrescido por novos forasteiros que ali vinham buscar fixação.

Em 1879, chegavam ali muitos poaieiros e assim continuou o povoamento de Barra do Bugres. Apoiaram-se na Barra onde há o cruzamento das águas do rio dos Bugres com a correnteza turvosa do rio Paraguai. Mais tarde, outros exploradores adentraram a região e descobriram outras potencialidades que existiam além da ipecacuanha, como madeiras de lei, borracha nativa, diamante e ouro.

O fim era um só, encontrar a ipecacuanha que, já naquela época, alcançava bom preço no comércio consumidor. Assim, os ranchos erguidos apressadamente foram melhorados e com a desvalorização dos preços da ipeca e da borracha, decaiu a produção e iniciou-se um novo ciclo, caracterizado na extração de madeiras. Isso levou à instalação de serrarias e à instalação do núcleo urbano inicial. Em 1896, foi criada a Paróquia de Santa Cruz de Barra do Bugres, fortalecendo então o já existente núcleo populacional. O povoamento passou ser um centro comercial e industrial, com base na exploração e processamento de madeiras, principalmente o cedro e a peroba.

Em 1910, o Governo do estado, através da Assembléia Legislativa, desapropriou terras particulares (2.000 hectares) para a formação do patrimônio e povoamento de Barra do Bugres. Em 1926, pelo menos quinze homens perderam a vida em Batalha às margens do rio Paraguai, tentando defender a cidade, porém não conseguiram e a vila foi saqueada e incendiada. Em 31/12 /1943 a Lei 545 criava o município de Barra do Bugres. Em 1948

foram empossados os primeiros vereadores no município, eleitos por aprovação. E nesse mesmo dia tomou posse o primeiro prefeito eleito e aos habitantes do município deu-se a denominação de Barrenses ou Barrabugrenses (WEBER, 2011).

A vida econômica foi transformada com a vinda de colonos de Minas Gerais, São Paulo e Ceará, trazendo alterações no plano agrícola, sendo que a pecuária ocupou lugar de destaque nesse período mais recente da economia. Na Figura 07 e no Quadro 02 é possível verificar a evolução da população ocorrida em Barra do Bugres.

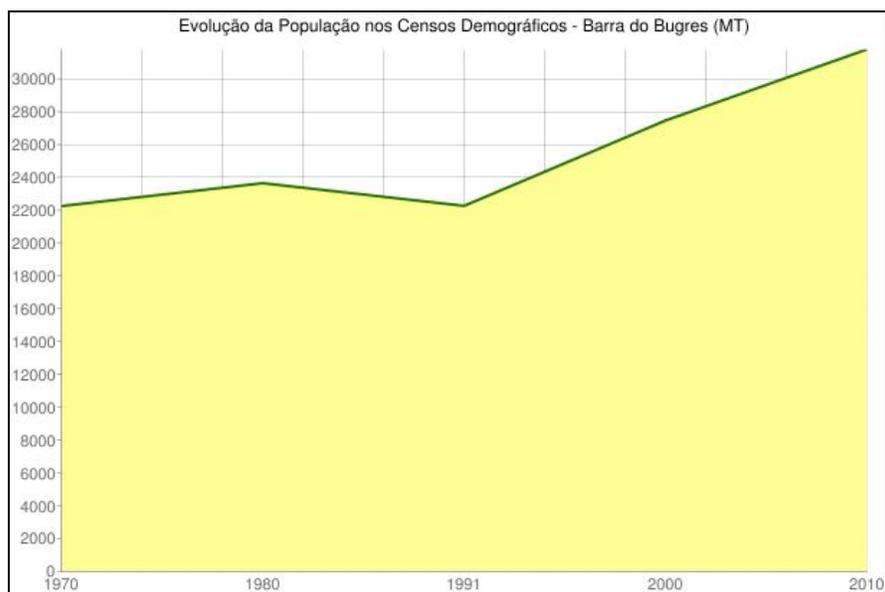


Figura 07: Evolução da população do Município de Barra do Bugres a partir de 1970  
Fonte: Censo Demográfico de Barra do Bugres IBGE, 2010

#### Quadro 02: Números de habitantes em Barra do Bugres

Fonte: IBGE, 2010

	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>Barra do Bugres</b>	22.250	23.646	22.264	27.460	31.793

A possível causa da diminuição da população de Barra do Bugres, de 1980 a 1990, pode estar relacionada às condições econômicas fortemente desfavoráveis, a saber: recessão econômica interna; interrupção de financiamentos externos; agravamento da situação financeira do setor público e queda dos preços internacionais por produtos agro-industriais exportados pelo país.

O Quadro 03 mostra a porcentagem da população urbana e rural de Barra do Bugres, Mato Grosso e do Brasil. Nele é visível a diminuição da população rural no decorrer das décadas, e conseqüentemente, o aumento da população urbana. Após visualizar esses dados, à questão que surge é a seguinte: por que a população rural diminuiu, mas a ocupação aumentou? Acredita-se que as causas podem ser muitas, porém a mecanização e o cultivo de monocultura seriam algumas delas.

Quadro 03: Comparativo da Distribuição Populacional em %  
Fonte: IBGE, 2010

Censo Populacional	Barra do Bugres		Mato Grosso		Brasil	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
1970	9,3%	90,7%	42,8%	57,2%	55,9%	44,1%
1980	49,3%	50,7%	57,5%	42,5%	67,6%	32,4%
1991	68,4%	31,6%	73,3%	26,7%	75,6%	24,4%
1996	69,9%	30,1%	75,8%	24,2%	78,4%	21,6%
2000	77,0%	23,0%	79,4%	20,6%	81,3%	18,8%
2010	81,8%	18,2%	81,8%	18,2%	84,4%	15,6%

As dificuldades encontradas na zona rural levam a população a se deslocar para a zona urbana com perspectivas futuras para seus familiares.

### 3.1.2 HISTÓRICO DE CÁCERES

Para entender o desenvolvimento da cidade de Cáceres é preciso compreender seu processo de ocupação e de que forma isso ocorreu.

A cidade de Cáceres, uma das mais antigas cidades do estado, através do processo de expansão territorial empreendido pela coroa portuguesa, foi fundada em 1778, por meio da implantação de um posto fiscal, visando o controle da evasão de impostos dos condutores de ouro, e o próprio contrabando de ouro extraído do Vale do Guaporé. Como resultado desse empreendimento lusitano, pela consolidação dos domínios da coroa portuguesa, surgiu, no

cenário mato-grossense, a cidade de Cáceres, na margem esquerda do rio Paraguai, entre as cidades de Cuiabá e Vila Bela da Santíssima Trindade (JANUÁRIO, 2004).

No início, o povoado de Cáceres (chamado de Vila-Maria do Paraguai) não passava de uma aldeia, mas esse povoado experimentou algum progresso, graças ao advento do ciclo da indústria extrativa, que tinha seus principais produtos no gado, na borracha, na ipecacuanha, no ouro negro da floresta e na abertura da navegação fluvial.

Em 1874, Vila-Maria do Paraguai foi elevada à categoria de cidade, com o nome de São Luiz de Cáceres, em homenagem ao padroeiro e ao fundador da cidade. Em 1938, o município passou a se chamar apenas Cáceres.

As razões para fundação do povoado foram: a necessidade de defesa e incremento da fronteira sudoeste de Mato Grosso; a comunicação entre Vila Bela da Santíssima Trindade e Cuiabá e, pelo rio Paraguai, com a capitania de São Paulo; e a fertilidade do solo no local, com abundantes recursos hídricos.

Cáceres era o principal pólo de comercialização e exportação da poaia no final do século XVIII e após a guerra com o Paraguai, com a implementação da navegação fluvial na Bacia Platina, criou-se nova base para o crescimento da região.

Nessa época, registrou-se a implantação de indústrias produtoras de charque e, conseqüentemente, da atividade criatória de bovinos. A pecuária bovina foi desenvolvida com a finalidade de fornecer animais para engorda/abate nos frigoríficos da região Sudeste do país, e teve um maior incremento com a construção da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil.

A navegação pelo rio Paraguai desenvolveu o comércio de Corumbá, Cuiabá e outras praças. O incremento das atividades agropecuárias e extrativistas fez surgir os estabelecimentos industriais representados pelas usinas de açúcar e as charqueadas de Descalvados e Barranco Vermelho, de grande expressão em suas épocas.

As lanchas que deixavam Cáceres com destino a Corumbá levavam poaia (ou ipecacuanha), borracha e produtos como charque e couro de animais e voltavam carregadas de mercadorias finas, como sedas, cristais e louças vindas da Europa.

A ocupação dessa região deve-se, de um lado, à sua localização estratégica (área fronteira) e de outro, à expansão da atividade tropeira no atual espaço mato-grossense que dava suporte à mineração do ouro. É nesse contexto que Cáceres constituiu-se como parte integrante da formação e ocupação do território mato-grossense.

Porém, em 1920, o açúcar produzido em Mato Grosso não atingia o padrão de competitividade do similar nordestino; a pecuária passou a sofrer a concorrência das indústrias frigoríficas paulistas e platinas; a seringa (látex), desde 1911, havia perdido o

mercado internacional para a produção asiática; a poaia perdeu mercado frente às substâncias químicas; e o gado pantaneiro, que ao ter sua saída facilitada pelos trilhos da Noroeste, contribuiu também para o declínio industrial da região, uma vez que passou a ser abatido nos frigoríficos paulistas (ABUTAKKA, 2006).

Com a quase estagnação das suas principais atividades econômicas, Mato Grosso e o município de Cáceres permaneceram, desde os anos de 1920 até à década de 1950, praticamente adormecidos, isso depois de Cáceres ter sido o grande entroncamento de entrada e saída de toda a comercialização que acontecia na economia do atual estado de Mato Grosso.

A partir de 1950, as mudanças passaram a ser mais rápidas. No início dos anos 60, foi construída a ponte Marechal Rondon, sobre o rio Paraguai, que facilitou a expansão em direção ao noroeste do Estado. A chegada de uma nova leva migratória, causada pelo desenvolvimento agrícola que projetou pólo de produção no Estado e no país, mudou o perfil de Cáceres, cuja ligação com a capital, Cuiabá, foi se intensificando a medida que melhoravam as condições da estrada ligando as duas cidades. É nesse período que ocorre a emancipação dos novos núcleos sócioeconômicos (ASSUNÇÃO, 2011).

Assim, emanciparam-se de Cáceres: o distrito de Mirassol D'Oeste, Rio Branco, Salto do Céu, Jauru, Porto Esperidião, Pontes e Lacerda, São José dos Quatro Marcos, Araputanga, Reserva do Cabaçal, Figueirópolis, Porto Estrela, Glória D'Oeste e Lambarí D'Oeste.

A partir do Plano de Metas do governo federal, em movimentar as engrenagens da colonização da região Centro-Oeste nas décadas de 1960/1970, a região sudoeste do Estado de Mato Grosso passou a ser favorecida pela política de expansão da fronteira agrícola. Esta fez com que chegasse à região milhares de migrantes que vieram contribuir para o seu desenvolvimento e conseguinte reordenamento territorial, ressaltando-se a constituição de vários municípios desmembrados de Cáceres a partir de fins da década de 1970.

O processo de atração migratória esteve, ao longo da história do município de Cáceres, sempre ligado à sua estrutura sócio-econômica que foi pautada em dois fatores principais: o processo de colonização ligado à exploração de recursos naturais, e as políticas governamentais com programas de ocupação e desenvolvimento regionais que, juntos, determinaram as transformações ocorridas no município.

É interessante lembrar que a formação dos fluxos de migrantes ocorreu pela baixa qualidade de vida no local de origem e, pela perspectiva de um melhor nível de vida no local de destino. Na possibilidade de mudança para outro local, o indivíduo buscou, dentre todas as possibilidades, a região mais atraente, ou seja, que tivesse diferenças de salários entre as várias regiões; as possibilidades diferenciadas de obtenção de emprego; o custo variável de

moradia e de vida; a maior presença de empregos na indústria entre outros fatores. Mas fatores não econômicos também são relevantes, como melhorar a qualidade de vida que é o objetivo de todos aqueles que migram.

É importante ressaltar que, antes das políticas de desenvolvimento do governo federal (décadas de 1960/1970), o município de Cáceres, recebia grande influência de Corumbá que, como Cáceres, também se situa à margem esquerda do rio Paraguai, onde acontecia toda a tramitação de entrada e saída de mercadorias e outros produtos, inclusive pessoas.

Diante disso, o fluxo migratório dirigido inicialmente à região de Cáceres (1960/70), foi em consequência fundamentalmente de programas de incentivo do governo federal, o que possibilitou a milhares de indivíduos oportunidades econômicas determinantes do crescimento demográfico.

O padrão do crescimento populacional do município de Cáceres seguiu uma trajetória num movimento ondulante, com baixas e altas taxas de crescimento. Cada uma dessas oscilações têm suas explicações tanto nos fatos políticos como nos econômicos, associados à estruturação do espaço colonial brasileiro.

Nas últimas três décadas, o sonho de aquisição de terras baratas e em maior quantidade preencheu os corações de milhares de migrantes que saíram do Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil rumo ao município de Cáceres. Esses migrantes foram os grandes “responsáveis” pelo “desenvolvimento”, como também pela fragmentação do território cacerense (ABUTAKKA, 2006).

Atualmente, a pecuária é a principal atividade econômica da cidade, que possui um dos maiores rebanhos de gado bovino do Brasil. Cáceres possui o único frigorífico de jacaré da América Latina, a COOCRIJAPAN. A estrutura conta com três criatórios comerciais, um frigorífico e um curtume. Com o apoio do SEBRAE em Mato Grosso, por meio do Projeto Animais Silvestres, objetivos vêm sendo obtidos para o desenvolvimento dessa atividade. O projeto iniciado em 2006, além de fomentar a atividade, tem capacitado os produtores, implementando novas tecnologias e principalmente a preservação do meio ambiente.

A indústria do turismo vem crescendo muito nos últimos anos, destacando-se a pesca esportiva que atrai milhares de pessoas anualmente onde, no mês de setembro, é realizado o Festival Internacional de Pesca de Água Doce.

Nos últimos anos, Cáceres procurou estruturar-se como importante porto fluvial no contexto matogrossense, incorporando-se à política de Integração Latino-Americana, buscando a implantação do sistema de transporte intermodal e a ligação por rodovia com a

Bolívia e, conseqüentemente, uma saída para o Pacífico, evidenciando-se como grande opção para profundas transformações para sua economia.

Na Figura 08 e o Quadro 04 pode-se visualizar a evolução populacional que aconteceu a partir de 1970. No quadro 05 também é possível visualizar essa evolução, mas não apenas na cidade de Cáceres como também no estado do Mato Grosso e no Brasil. Foi definido esse período por ser o mesmo trabalhado nas imagens de satélite para verificação de uso e ocupação do solo e, principalmente, por esses dados estarem disponíveis no site do IBGE.

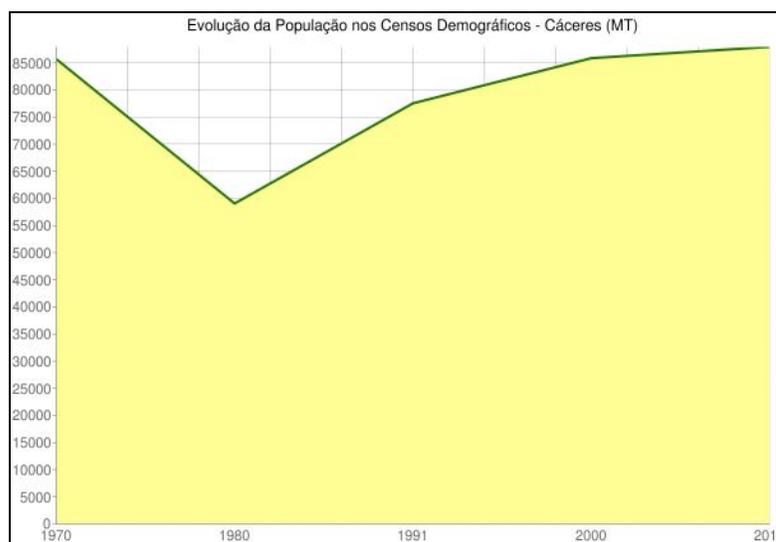


Figura 08: Evolução da População em Cáceres a partir de 1970  
Fonte: IBGE, 2010

Quadro 04 – Números de habitantes em Cáceres  
Fonte: IBGE, 2010

	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>Cáceres</b>	85.699	59.057	77.540	81.565	87.942

Quadro 05 – Comparativo da Distribuição Populacional em %  
 Fonte: IBGE, 2010

Censo Populacional	Cáceres		Mato Grosso		Brasil	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
1970	19,6%	80,4%	42,8%	57,2%	55,9%	44,1%
1980	58,4%	41,6%	57,5%	42,5%	67,6%	32,4%
1991	70,3%	29,7%	73,3%	26,7%	75,6%	24,4%
1996	80,9%	19,1%	75,8%	24,2%	78,4%	21,6%
2000	77,4%	22,6%	79,4%	20,6%	81,3%	18,8%
2010	87,1%	12,9%	81,8%	18,2%	84,4%	15,6%

Em 1970, o município de Cáceres contava com um total de 85.699 habitantes, sendo que, desse total, 80,4% localizavam-se na zona rural. Dez anos depois (1980), esse número caiu para 41,6%, passando para 12,9% em 2010.

Exemplo clássico desse fenômeno é a expulsão do homem do campo por causa da mecanização crescente no meio rural. Assim, acredita-se que as classes mais desfavorecidas, em termos de renda, preocupem-se quase que exclusivamente com questões econômicas e, ao migrar, façam isso basicamente pelas forças da expulsão. Outra questão é a diversificação das explorações pouco significativa, tendo ocorrido, num primeiro momento, o monocultivo da soja, com destaque para o uso intensivo de capital (pacotes tecnológicos) e baixa ocupação de mão-de-obra.

Na década de 1970, a população de Cáceres era de 85.699 habitantes, isso revela que os programas do governo federal na região estavam tendo respostas, pois analisando a trajetória migratória no município de Cáceres, observa-se que o período de maior atratividade populacional verificou-se na década de 1970, e teve como principal causa uma forte ação estatal imposta na região Centro-Oeste. Por outro lado, é no final dessa mesma década que ocorreu a fragmentação da sua área territorial, com surgimento de vários municípios.

Entre 1970/1980, houve um decréscimo anual de 3,65% da população de Cáceres, esse decréscimo pode ser explicado pelo início da fragmentação do território cacerense que ocorreu no final da década de 1970, com perda de área e população, surgindo seis novos municípios.

Nesse contexto, ficou evidenciado que o fluxo populacional que se dirigiu ao município de Cáceres, se por um lado integrou e povoou uma vasta área do território brasileiro, dando resposta aos programas do governo federal, por outro, foi o grande fator da fragmentação do território cacerense.

E para finalizar, o Quadro 06 e a Figura 09 atestam os dados de ocupação de Barra do Bugres e Cáceres, a partir da década de 1970 até 2010, para uma melhor visualização, sendo que, no decorrer do texto, já foi explicado os motivos pelos quais determinados anos têm aumentado ou diminuído o número de habitantes em ambos os locais.

Quadro 06 – Números de habitantes em Barra do Bugres e Cáceres

Fonte: IBGE, 2010

	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>Barra do Bugres</b>	12.347	23.637	22.264	27.460	31.793
<b>Cáceres</b>	85.699	59.057	77.540	81.565	87.942

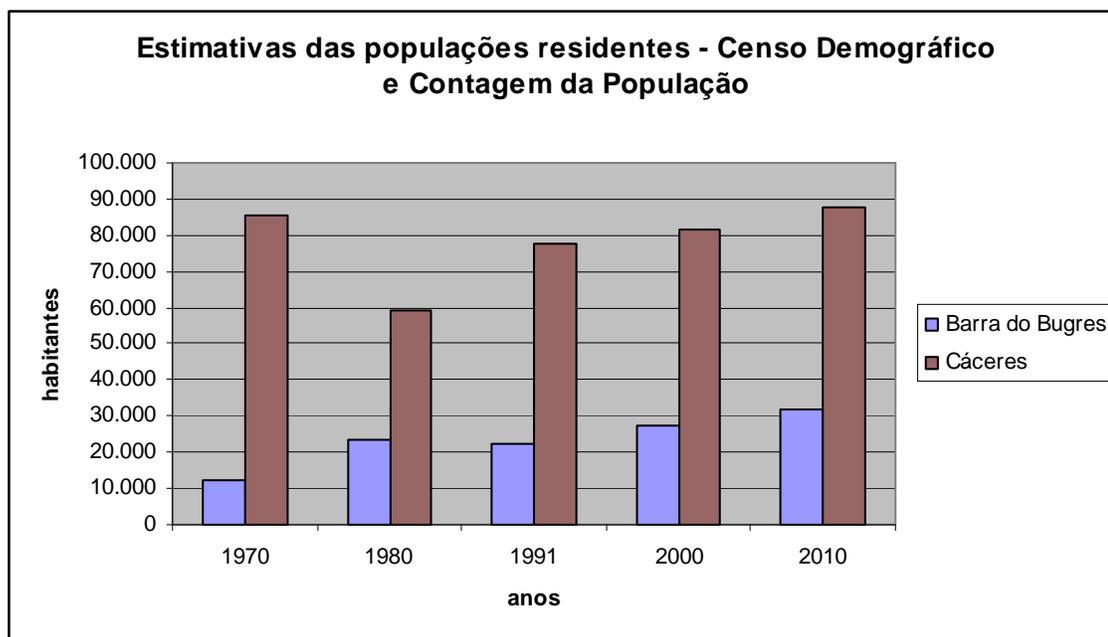


Figura 09: Habitantes em Barra do Bugre e Cáceres a partir da década de 1970

Fonte: IBGE, 2010

## **4. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

O estudo de sistemas fluviais exige o uso de diferentes abordagens e de distintas fontes de dados, pois ele abrange diferentes áreas de conhecimento. Tal afirmação é válida para este trabalho porque a obtenção dos objetivos específicos envolve vários tipos de fontes de dados e diversas formas de análise.

A análise da evolução do uso e ocupação do solo foi efetuada a partir de dois tipos de abordagens: a bibliográfica e a análise multitemporal de imagens de satélite. A verificação das modificações da evapotranspiração utilizou dados meteorológicos e a simulação a partir dos dados de uso do solo. Por sua vez, a disponibilidade hídrica foi avaliada a partir dos dados de precipitação e evapotranspiração, enquanto a verificação às mudanças das condições hidrossedimentológicas (potência da corrente e carga sedimentar) fez-se uso dos dados fluviométricos disponíveis (descarga, concentração de sedimentos), obtidos a partir da Agência Nacional de Águas (ANA).

As análises tiveram como referência inicial a década de 1970, porque o imageamento por satélite teve início em 1972, as séries históricas de dados meteorológicos e fluviométricos tiveram início na década de 1960, e porque, principalmente, a ocupação intensiva da bacia começou a ocorrer a partir do final desta década.

### **4.1 Uso e Ocupação do Solo e Sensoriamento Remoto**

Os dados de imagens orbitais são importantes fontes básicas para o mapeamento do uso e ocupação do solo. A classificação do uso da terra, numa dada região, tornou-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço.

Segundo Lillesand & Kiefer (1994), provavelmente nenhuma outra combinação de tecnologias gerou tantas vantagens e aplicações sobre uma larga de disciplinas quanto à união do sensoriamento remoto e a exploração espacial. O sensoriamento remoto espacial nos deu uma nova dimensão para o entendimento não apenas dos elementos naturais e da forma de ação dos mesmos, mas também dos impactos da ação antrópica sobre a Terra, bem como a sua interconexão com os recursos naturais.

Para Pacheco (1998), o conhecimento atualizado da distribuição e da área ocupada pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, bem como informações sobre as proporções de suas mudanças, se tornam cada vez mais necessárias aos legisladores e

planejadores. Desse modo, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso da terra, para que suas tendências possam ser analisadas.

Os sensores instalados em satélites artificiais são o resultado da evolução da ciência e da tecnologia espacial. Florenzano (2007, p.11) afirma que:

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre.

Curran (1985) explica que o sensoriamento remoto ampliou a capacidade do homem em obter informações sobre os recursos naturais e o meio ambiente, colocando-se como mais uma ferramenta complementar para facilitar trabalhos temáticos e de levantamentos. Segundo Novo (1998), as principais vantagens que justificam os programas de sensoriamento remoto orbital são: estímulo às pesquisas multidisciplinares; informações de áreas de difícil acesso; universalização dos dados e das técnicas de tratamento e análise de dados digitais; facilidade do recobrimento de grandes áreas (visão sinóptica); cobertura repetitiva com mesma hora local; grande quantidade de dados pontuais, sobre uma mesma área; transferência de dados Satélite/Terra em tempo real; e o aspecto multiespectral, isto é, a capacidade dos sistemas sensores gerarem produtos em diferentes faixas espectrais, tornando possível o estudo e análise de elementos distintos, os quais são identificados em determinadas faixas do espectro.

Os satélites para estudos ambientais vêm apresentando um notável desenvolvimento tecnológico, principalmente no que se refere à resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, possibilitando um acompanhamento periódico na análise da evolução do uso do solo e cobertura vegetal de determinada área. Cada sensor a bordo dos satélites apresenta distintas bandas que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Conhecendo o comportamento espectral dos alvos na superfície terrestre é possível escolher as bandas mais adequadas para estudar os recursos naturais (SAUSEN, 1996).

A metodologia proposta nesse trabalho integrou produtos de sensoriamento remoto e técnicas de análise e processamento de imagens digitais na produção de imagem digital classificada da área de estudo proporcionando uma análise, classificação e quantificação da cobertura vegetal.

Para isso, foram utilizadas imagens orbitais do sensor MSS (LANDSAT 2) e do sensor TM (LANDSAT 5), tendo como referência os anos de 1977, 1981, 1987, 1990, 1992, 1997,

2005 e 2007. Todas disponíveis gratuitamente no site do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - <http://www.inpe.br/>.

Essas datas foram definidas pela disponibilidade das imagens estarem em boas condições em relação à cobertura de nuvens tanto na região de Barra do Bugres quanto em Cáceres, pois foi necessário elaborar um mosaico com as imagens para cobrir a área em toda sua extensão. Outro motivo da escolha dessas datas foi à distribuição temporal para verificação da evolução do uso do solo.

As cenas MSS (LANDSAT 2) das décadas de 1970 e início de 1980 têm resolução espacial de 80m e foram obtidas em 09/07/1977 e 13/05/1981. As imagens TM (LANDSAT 5) possuem resolução espacial de 30m e foram obtidas em 01/08/1987; 26/09/1990; 27/06/1992; 09/06/1997; 01/07/2005; 21/06/2007. As características espectrais dos produtos encontra-se no Quadro 7. Os dados obtidos a partir das imagens mais recentes foram verificados em campo.

Quadro 07: Descrição das bandas utilizadas do satélite 2 MSS órbita ponto 244/70 (Barra do Bugres) e 244/71 (Cáceres) e no satélite Landsat 5 TM órbita ponto 227/70 (Barra do Bugres) e 227/71 (Cáceres)

<b>Sensor MSS (LANDSAT 2)</b>		
<b>banda 4</b>	<b>banda 5</b>	<b>banda7</b>
Faixa espectral 0,5 a 0,6 $\mu\text{m}$	faixa espectral 0,6 a 0,7 $\mu\text{m}$	faixa espectral 0,8 a 1,1 $\mu\text{m}$
Região do espectro verde	região do espectro vermelho	região do espectro no R Próximo
<b>Sensor TM (LANDSAT 5)</b>		
<b>banda 3</b>	<b>banda 4</b>	<b>Banda 5</b>
vermelha (0,63 a 0,69 $\mu\text{m}$ )	infra-vermelho próximo (0,76 a 0,90 $\mu\text{m}$ )	infra-vermelho médio (1,55 a 1,75 $\mu\text{m}$ )
ressalta as superfícies vegetais, pois a clorofila dos vegetais verdes absorve as radiações vermelhas	ressalta os vegetais que refletem e não absorvem as radiações infra-vermelho, assim como as superfícies minerais que se comportam inversamente aos vegetais	evidencia o teor em água, dos solos e dos vegetais

As etapas para atingir o objetivo proposto no trabalho foram: baixar imagens; montar o Banco de Dados; fazer o mosaico da área estudada; aplicar componentes principais; georreferenciar as imagens; delimitar a área de estudo; segmentar; classificar e gerar os mapas (produto final).

Após baixar as imagens do site do INPE, foi montado um banco de dados no programa SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas), versão 4.3.3 conforme Camara et al., (1996) software elaborado pelo INPE.

Em seguida, as imagens foram mosaicadas, pois uma única imagem não contém cobertura suficientemente extensa para cobrir toda a área estudada, por esse motivo foi necessário abarcar os órbitas/pontos 70 e 71.

Previamente à realização do mosaico no SPRING, é necessário que se tenha criado um Banco de Dados e um Projeto, além da definição do Modelo de Dados caracterizando os dados utilizados. A especificação do Projeto implica em estabelecer o sistema projeção, “datum” e coordenadas que definem a área de trabalho, no contexto do banco de dados ativo.

Concluído o mosaico das imagens foi aplicada a Análise por Componentes Principais (PCA). Geralmente, as bandas de uma imagem multiespectral são correlacionadas, o que torna o processamento e análise de imagens ineficientes devido à redundância de informações e quantidade de dados. A PCA é utilizada para analisar dados multivariados e remover a redundância espectral, gerando um novo conjunto de bandas descorrelacionadas, cujas bandas individuais apresentam informações não disponíveis em outras bandas (CROSTA, 1992).

Posteriormente, as imagens foram registradas (georreferenciadas) por meio do uso do ENVI 4.5. Para o georreferenciamento da imagem foi utilizada a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SAD-69.

Em seguida, as imagens foram segmentadas pelo método “crescimento de regiões”, considerando a área de 50 *pixels* com similaridade 20. Esses parâmetros foram escolhidos devido à melhor resposta em relação aos outros testados como na delimitação dos objetos conhecidos.

Os elementos do uso e ocupação do solo definidos como temas/classes de interesse para a classificação supervisionada foram: vegetação, pastagem, águas, solo exposto e cultura.

Segundo Campbell (1996), a classificação supervisionada pode ser informalmente definida como o processo no qual amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar *pixels* de identidade desconhecida. Nesse processo, um analista identifica na imagem as classes de informação de seu interesse e separa as regiões que melhor representem estas classes. Dentro dessas regiões, ele separa áreas de treinamento que contêm os *pixels* que serão usados como representantes da classe. A partir desses *pixels* são extraídas determinadas características das classes, que serão usadas para a classificação dos demais *pixels*.

Essa fase consiste em obter as amostras para o processo de classificação da imagem que foi realizada, extraíndo-se a região limitada pelo contorno de uma dada região formada na segmentação.

Para a classificação da imagem multiespectral foi utilizada uma abordagem supervisionada, através do classificador Bhattacharya e a precisão da classificação pode ser avaliada tanto pela análise das amostras pela Matriz de Confusão, como pelo limiar de aceitação (99,9%), disponível no aplicativo SPRING.

A medida da distância de “*Bhattacharya*” é usada neste classificador por regiões, para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Ou seja, mede-se a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (PEREIRA, 1997). A vantagem de um classificador por regiões sobre um classificador por “*pixel*”, é que o classificador por regiões não se baseia apenas no valor digital do “*pixel*” em cada banda, como é o caso dos classificadores por “*pixel*”. O classificador por regiões, além do valor digital médio de cada região para cada banda, utiliza também a matriz de covariância como critério de decisão para a classificação da região.

Após a classificação, o mapeamento de classes foi executado, tornando possível a quantificação do uso e ocupação do solo em cada classe. Tal tratamento permitiu avaliar a área de vegetação natural e as áreas de cada tipo de uso do solo. A comparação entre as imagens de datas diferentes possibilitou a caracterização da evolução do uso do solo.

A legenda de cores (Figura 10) utiliza a padronização Internacional do Manual de Uso da Terra (IBGE, 2006), e referência as informações em RGB (Red, Green, Blue), de forma a tornar possível seu uso no *software* em que o usuário estiver trabalhando.

1  Áreas Antrópicas Não-Agrícolas	Área Urbanizada	Mineração		
	1.1	1.2		
	R = 255 G = 168 B = 192	R = 173 G = 137 B = 205		
2  Áreas Antrópicas Agrícolas	Lav. Temporária	Lav. Permanente	Pastagem	Silvicultura
	2.1	2.2	2.3	2.4
	R = 255 G = 255 B = 0	R = 255 G = 214 B = 0	R = 205 G = 137 B = 0	R = 205 G = 173 B = 0
3  Áreas de Vegetação Natural	Florestal	Campestre		
	3.1	3.2		
	R = 115 G = 168 B = 0	R = 214 G = 255 B = 168		
4  Água	Corpo d'água Continental	Corpo d'água Costeiro		
	4.1	4.2		
	R = 235 G = 255 B = 255	R = 153 G = 194 B = 230		

Figura 10: Tabela de cores RGB utilizada nos mapas de uso e ocupação do solo

Os mapas foram finalizados no SCARTA, que é um módulo para edição de documentos cartográficos, o qual utiliza como entrada um banco de dados geográficos organizados através do sistema SPRING.

A análise da evolução do uso e ocupação do solo foi realizada em parte por meio do levantamento de dados junto ao IBGE (<http://www.ibge.gov.br>) e Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (<http://www.seplan.mt.gov.br>), além da leitura de trabalhos de alguns autores como Anderson (2004) e Teixeira (2006), que contribuíram com suas pesquisas.

## 4.2 Evapotranspiração e disponibilidade hídrica no sistema

Numa superfície vegetada ocorrem simultaneamente os processos de evaporação e transpiração. A evaporação é um fenômeno físico de mudança de fase líquida para vapor, da água presente em condições naturais. É importante se conhecer a quantidade de água perdida para se controlar a quantidade de água restante no solo (OMETTO, 1981).

A transpiração, conforme Pereira (1997), é a evaporação da água que foi utilizada nos diversos processos metabólicos necessários ao crescimento e desenvolvimento da planta. Segundo o autor, na planta, essa evaporação ocorre por meio dos estômatos que são estruturas microscópicas de dimensões inferiores a 50  $\mu\text{m}$ . Os estômatos são os principais agentes responsáveis pelas trocas gasosas em uma planta, processo esse que permite a comunicação da parte interna da planta com a atmosfera. Sendo possível entender que a transpiração é o processo pelo qual a água contida em um corpo é eliminada, devido a uma elevação de temperatura interna ou externa, permitindo, assim, que a água flua para a superfície do mesmo.

A evapotranspiração é o termo de que foi utilizado por Thornthwaite, no início da década de 40, para expressar essa ocorrência simultânea. Anteriormente, utilizava-se o termo uso consuntivo conforme Jensen (1973), mas este considera a água retida na planta (PEREIRA et al., 1997).

A evapotranspiração é o fenômeno associado à perda conjunta de água do solo pela evaporação e da transpiração da planta, representando o total de água perdida pelo sistema. É importante salientar que a planta retém em torno de 1% a 2% da água que utiliza, quanto maior a quantidade de água utilizada, melhor será o desempenho da planta (OMETTO, 1981).

A taxa de evapotranspiração é normalmente expressa em milímetros (mm) por unidade de tempo. Essa taxa representa a quantidade de água perdida de um solo cultivado em unidades de profundidade de água. A unidade de tempo pode ser hora, dia, mês, década ou até mesmo um ciclo inteiro da cultura.

A cobertura vegetal nativa de uma determinada região está diretamente ligada às características do clima que abrange o espaço. Dessa forma, algumas espécies vegetais conseguem desenvolver positivamente em condições climáticas de característica úmida, ao contrário de outras que se adaptam a condições mais secas.

Onde há ocorrência de clima árido e semiárido, as plantas apresentam espinhos no lugar de folhas, como as espécies de cactáceas. Isso ocorre para diminuir a perda de umidade

que acontece com o processo de evapotranspiração. Logo, a água fica armazenada mais tempo no interior do vegetal.

Assim como o clima influencia na formação vegetal, esta influencia no clima em determinados lugares do mundo. Um exemplo disso são as florestas tropicais e equatoriais da Amazônia na América do Sul, floresta do Congo na África, que são responsáveis por emitir enormes percentuais de umidade para a atmosfera. Isso ocorre com a transpiração das folhas dos vegetais das florestas, ou seja, evapotranspiração.

De acordo com Costa (1997), a evapotranspiração(ET) representa, aproximadamente, 75% do total precipitado sobre superfícies continentais. O seu monitoramento e mapeamento em escala regional permitem aos técnicos decidirem: onde, quando e quanto de água passou à atmosfera por ET; avaliar o comportamento e os efeitos do estresse hídrico das culturas, acompanhar melhor o desempenho de sistemas de irrigação e auxiliar nas previsões climáticas.

Dessa forma, a evapotranspiração é uma função complexa das propriedades do solo, das condições atmosféricas, do uso do solo, da vegetação e da topografia, sendo influenciada por esses parâmetros no espaço e no tempo. Assim, torna-se difícil estimá-la ou medi-la, representativamente, em escala regional (COMPAORÉ et al., 2008).

Porém, técnicas de sensoriamento remoto têm sido aplicadas extensivamente no monitoramento e mapeamento de diversos fenômenos meteorológicos e ambientais. Informações de sensores remotos têm alimentado diversos modelos e algoritmos para obtenção de parâmetros da superfície da terra. A análise da evapotranspiração (ET), em grandes áreas, pode ser citada como técnicas de sensoriamento remoto promissoras e que permitem boa estimativa.

Compaoré et al. (2008), por exemplo, citam que na paisagem heterogênea do planalto central da Espanha, 13 medições de evapotranspiração (ET) em uma área relativamente pequena (5000 km<sup>2</sup>) não foram suficientes para prever com precisão a taxa de ET média da área.

Assim, além das medições aproximadas da ET por meio da covariância de vórtices turbulentos, razão de Bowen e lisímetros de pesagem serem métodos caros, também consomem muito tempo para aplicação contínua, para que se tenha, em escala regional, uma densidade de pontos de medições espacialmente suficiente. Sem dúvida, esse não é o único exemplo que mostra que as técnicas de sensoriamento remoto têm sido imprescindíveis na detecção de informações em áreas extensas, de forma rápida e efetiva.

A principal vantagem de aplicar procedimentos de ET baseados no sensoriamento remoto, é que a água consumida no sistema solo-planta-atmosfera pode ser obtida diretamente sem a necessidade de quantificar outros complexos processos hidrológicos.

Alguns estudos têm sido desenvolvidos objetivando a determinação da ET com base na equação do balanço de energia à superfície e técnicas de sensoriamento remoto (BASTIAANSSEN et al., 1998a e 1998b; BASTIAANSSEN, 2000; TASUMI et al., 2008).

De acordo com Berlato e Molion (1981), o controle da evaporação da água do solo exercido pela vegetação seria através da sua estrutura, afetando o albedo, a rugosidade e o sistema radicular. Na medida em que diminui a umidade do solo, ocorrem restrições à transferência de água para a atmosfera, que passa a depender não somente das condições meteorológicas, mas também do sistema radicular das plantas, bem como de outras características, como o estado fitossanitário das mesmas. Essa condição permite distinguir entre evapotranspiração potencial e real.

A evapotranspiração potencial é a quantidade máxima de água que uma planta pode utilizar. A condição de evapotranspiração potencial estabelece o nível ideal de relacionamento entre planta, solo e atmosfera. Já a evapotranspiração real é a quantidade de água utilizada por uma planta, compreendendo na perda associada de água pelos processos de evaporação da água da superfície do solo e pela transpiração estomática e cuticular da planta (OMETTO, 1981).

Os estudos realizados por Andrade et al. (2009 e 2010) tiveram como objetivo realizar estimativa da evapotranspiração real diária ( $ET_{diária}$ ) na região do Pantanal, com aplicação do algoritmo SEBAL e imagem do sensor MODIS, com posterior análise das estimativas de acordo com classes de uso e cobertura da terra do PROBIO (EMBRAPA, 2004). Devido ao elevado número de classes na legenda do PROBIO (Figura 11), estas foram agrupadas conforme sugestão de Victoria et al. (2009).

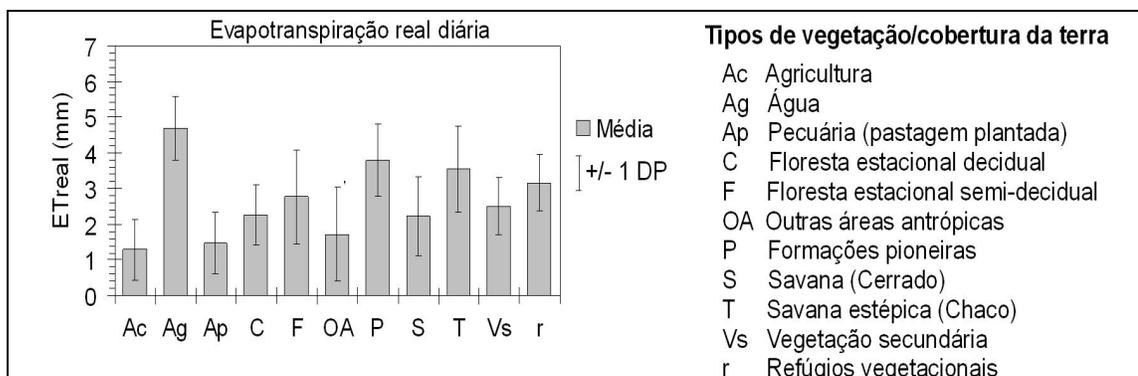


Figura 11– Evapotranspiração real diária (mm/dia) juntamente com o desvio padrão (DP) para cada classe de uso e cobertura da terra da região do Pantanal de acordo com classificação do PROBIO adaptada por Victoria et al. (2009)

Fonte: Andrade et al., 2010

Valores de  $ET_{diário}$  inferior a 2,5 mm d-1 foram observados para as classes de floresta estacional decidual (C), outras áreas antrópicas (AO), savana (S) e vegetação secundária (Vs). Valores médios de  $ET_{diário}$  superior a 2,9 mm d-1 foram observados para as classes de floresta estacional semi-decidual (F), formações pioneiras (P), savana estépica (T) e refúgios vegetacionais (r). O melhor vigor vegetativo, devido a presença de lamina d'água sobre boa parte do solo dessas classes, pode ser uma das justificativas para os elevados índices médios de  $ET_{diário}$ .

Tais informações indicaram dois caminhos a serem seguidos para a verificação da variação temporal da evapotranspiração: a análise de dados das estações meteorológicas e a análise dos dados da cobertura dos solos.

Para a análise das séries históricas, em 2010, foi enviada uma solicitação ao INMET, para que a instituição fornecesse os dados das estações meteorológicas existentes na área de estudo. Com o passar do tempo, foi efetuada uma solicitação similar à Embrapa. A primeira instituição acabou enviando os dados de evaporação de duas estações (Cáceres e Diamantino) em fevereiro de 2012, o que inviabilizou o seu uso. À Embrapa, por sua vez, foi mais ágil e, assim, os seus dados foram utilizados para a referida análise, embora restritos à cidade de Cáceres e com falhas entre 1979 e 2000. Esses dados foram organizados no programa Excel e posteriormente foi gerado gráfico com valores anuais de evapotranspiração potencial e evapotranspiração real.

Dessa forma, a análise da variação temporal da evapotranspiração, a partir dos dados das estações meteorológicas, ficou restrita a um único ponto. Para permitir a avaliação do

comportamento da variável em toda a área de estudo, foi realizada a segunda abordagem mencionada.

Essa abordagem baseia-se na diferença dos valores de evapotranspiração apresentada por diferentes unidades de vegetação e de uso do solo. Assim, foi calculada a evapotranspiração a partir da ponderação entre o valor da variável para cada classe de uso do solo pela área ocupada por cada uma delas, em cada ano analisado.

Os fatores de ponderação utilizados foram aqueles obtidos por Andrade *et al.* (2010), em mm/ano. Os valores e as classes utilizadas foram: 1022 mm para Vegetação, 584 mm para Pastagem, 1752 mm para Água, 511 mm para Cultura e 657 mm para Solo Exposto.

Os dados obtidos para a evapotranspiração permitiram avaliar a disponibilidade hídrica do sistema. É essencial para gestão de uma bacia hidrográfica o conhecimento adequado do comportamento hidrológico. Por isso, é importante a realização de estudos que apontem a variabilidade temporal e espacial dos indicadores hidrológicos.

No presente estudo, o termo disponibilidade hídrica está sendo utilizado para avaliar a quantidade de água disponível para o funcionamento do sistema fluvial. Assim, o cálculo de disponibilidade hídrica foi baseado na subtração dos valores de precipitação anual de Cáceres pelos valores de evapotranspiração anual (potencial e real). Ou seja, a água do sistema é aquela resultante da quantidade precipitada menos a evaporada, ou o excedente hídrico quando o armazenamento é de 100% e a alteração do conteúdo de umidade é zero.

A precipitação anual foi calculada a partir dos dados diários obtidos a partir da ANA, que disponibiliza os dados por meio do site HIDROWEB. Os dados das estações de Cáceres e de Barra do Bugres foram baixados em arquivos no formato MDB (Access), exportados para o Excel e os valores de precipitação diária foram somados para a obtenção do acumulado anual.

#### **4.3 Avaliação das condições hidrossedimentológicas**

As condições hidrossedimentológicas de um sistema fluvial são fortemente influenciadas pela produção de sedimentos da bacia e pela disponibilidade de água no sistema. Ambos os fatores exercem forte influência sobre os processos fluviais e, no caso de rios de planície, podem mesmo alterar o padrão de canal, conforme demonstrado por Silva *et al.* (2008), por Grizio *et al.* (2011) no rio Paraguai Superior, e por Souza Filho *et al.* (2004), Souza Filho (2009) no rio Paraná.

As variações da disponibilidade de água no sistema influenciam duas variáveis de grande importância: a competência e a capacidade. A competência retrata o tamanho das partículas que podem ser movimentadas pelo fluxo, sendo determinada pelo maior diâmetro encontrado entre os detritos transportados como carga de leito (CHRISTOFOLETTI, 1976). A velocidade de fluxo é a variável responsável pela definição da competência de um canal, ou seja, quanto maior a velocidade de fluxo, maior o tamanho da partícula que pode ser transportada. Contudo, em rios com fluxo livre, quanto maior a descarga fluvial, maior a velocidade de fluxo e vice e versa.

A capacidade relaciona-se com a quantidade de material que pode ser movimentada por unidade de tempo. A capacidade corresponde à quantidade máxima de sedimentos, de determinada classe granulométrica, que o rio pode transportar. Esse limite superior de carga detrítica, que pode ser transportada pelo fluido, só é atingida sob condições excepcionais de curta duração (CHRISTOFOLETTI, 1976). A capacidade de um rio é função direta da descarga fluvial.

Quando há alteração da disponibilidade de água, há modificação dos valores de descarga e, dessa forma, a capacidade e a competência fluvial são alteradas. Essas variáveis podem ser avaliadas de forma indireta por meio da potência de corrente. Ela permite avaliar a capacidade de realização de trabalho de um rio, ou seja, a energia consumida para a erosão e transporte de sedimentos. A capacidade de realização de trabalho origina-se da atuação da gravidade sobre a água, ou seja, é resultado do peso da água (SILVA, 2006).

A água exerce uma força sobre o leito, que é resultante de sua massa multiplicada pela aceleração da gravidade. Essa força atua sobre o leito e como este possui uma inclinação, ela possui duas componentes, uma perpendicular ao leito e outra paralela a ele. A força paralela ao leito é chamada de força trativa e é responsável pelos processos de remoção e transporte de sedimentos (SILVA, 2006).

Os valores de potência de corrente podem ser utilizados para o diagnóstico do domínio da erosão, do transporte ou da sedimentação, como fez Nanson & Croke (1992), quando utilizaram a potência específica da corrente em vazão de margens plenas para caracterizar padrões de canal distintos. Os referidos autores demonstraram que os rios erosivos possuem potência de corrente superior a  $1000 \text{ W/m}^2$ , os rios erosivos com planícies localizadas possuem potência entre  $300$  e  $1000 \text{ W/m}^2$ , enquanto os rios de planície possuem potência inferior a  $300 \text{ W/m}^2$ .

Alem disso, os autores estabeleceram que os rios entrelaçados possuem potência específica com valores entre 50 e 300 W/m<sup>2</sup>, os meandantes entre 10 e 60 W/m<sup>2</sup>, enquanto os anastomosados estão limitados a valores inferiores a 10 W/m<sup>2</sup>.

A descarga de margens plenas é definida como a descarga líquida, que preenche o canal ao nível da planície de inundação ativa (WOLMAN & LEOPOLD, 1957). Essa planície é definida como uma superfície plana adjacente ao canal fluvial, modelada pela ação erosiva ou deposicional do fluxo das cheias e inundada pelo menos uma vez a cada dois anos. Williams (1978), por sua vez, define a descarga de margens plenas como a vazão que preenche o canal até atingir o topo da margem. O nível de margens plenas demarca o limite entre os processos fluviais que modelam o canal e os que constróem a planície de inundação. Por essa razão, Nanson & Croke (1992) fizeram uso da descarga em margens plenas para a caracterização dos padrões de canal.

A potência de corrente da seção de Cáceres foi avaliada utilizando-se os dados de nível e vazão da série histórica da estação fluviométrica local, o gradiente hidráulico e a largura da seção em diversos níveis. A densidade da água utilizada foi de 1000 kg/m<sup>3</sup> e 9,81 m/s<sup>2</sup> para a aceleração da gravidade.

A variável foi calculada para o nível de margens plenas, para o nível de descarga máxima e para o nível de descarga mínima nos anos de 1977, 1981, 1987, 1990, 1992, 1997, 2005 e 2007. A escolha das três categorias de descarga teve o objetivo de avaliar o intervalo de potência em que o rio exerceu seu trabalho e a escolha dos anos mencionados foi feita para permitir a comparação com a disponibilidade hídrica calculada para o sistema.

Para a realização do cálculo, foram multiplicadas as seguintes variáveis: a densidade da água, a aceleração da gravidade, a vazão, o gradiente hidráulico ( $\Omega = Y \times N/m^3 \times Q \times i$ ). No caso do valor da potência específica o calculo foi efetuado da seguinte maneira: dividiu-se o valor da potência da corrente pela largura ( $\Omega = Y \times N/m^3 \times Q \times i/larg.$ ).

O gradiente hidráulico é o número adimensional, que representa a inclinação da superfície piezométrica, ao admitir-se que a Lei de Darcy se cumpre (é uma equação constitutiva fenomenológica derivada que descreve o fluxo de um fluido através de um meio poroso).

A lei foi formulada por Henry Darcy, com base nos resultados de experimentos, publicado em 1856 sobre o fluxo de água através de leitos de areia. Corresponde à razão entre as variações de carga hidráulica e o comprimento percorrido, na direção do fluxo. Ou seja, é a diferença de altitude da água entre dois pontos dividida pela distância entre eles. A distância é

aquela percorrida pela água entre os dois pontos e, no caso de canais fluviais, é medida ao longo do talvegue.

A diferença de nível foi calculada utilizando a altitude da água nas descargas anteriormente mencionadas nas estações de Barra do Bugres e Cáceres. Para isso foi utilizado o valor das cotas fluviométricas em cada descarga e a altitude do zero das réguas linométricas das estações. A altitude da água, em diferentes descargas fluviais, foi medida por meio da soma dos valores da altitude do zero da régua com o valor da cota fluviométrica para cada valor de vazão. Esses dados foram adquiridos através da Agência Nacional de Águas (ANA), via WIDROWEB.

Uma vez realizada a subtração das altitudes da água nas duas estações e em diferentes situações de descarga, foi obtida a diferença de nível para cada situação. Os valores obtidos foram divididos pelo comprimento do canal no segmento entre ambas as estações fluviométricas, obtendo-se, assim, o gradiente da água em cada condição de descarga utilizada.

Contudo, o comprimento do referido segmento fluvial não é uma constante, conforme demonstrado por Grizio (2008) e Grizio et al. (2011). Por essa razão, o comprimento do segmento foi medido a partir das imagens utilizadas para a avaliação da evolução do uso do solo. Assim, para o cálculo dos gradientes de cada data analisado, foi utilizado o comprimento obtido a partir da imagem do respectivo ano.

As variações da potência de corrente influenciam o transporte de sedimentos, mas essa variável também depende do suprimento de material detrítico da bacia de drenagem. Uma vez que a ocupação da bacia modificou-se ao longo do tempo, é provável que o fornecimento de sedimentos também tenha sido alterado. Para verificar essa possibilidade, os dados de transporte de sedimentos em suspensão foram analisados para a verificação da existência de um possível aumento do transporte.

A presença de sedimentos nos cursos d'água é consequência dos processos erosivos ocorridos nas suas bacias de drenagem, processos que podem ser intensificados pela expansão de atividades agrícolas. Além da contribuição das vertentes, outra fonte de sedimentos é a erosão marginal e a vertical promovida pelos próprios rios.

O transporte de sedimento pelo canal é o produto final da atuação de uma série de processos, que se iniciam com a precipitação da água que cai sobre a bacia e, ao longo de seu caminho, pelas vertentes que interagem com um conjunto de variáveis como cobertura vegetal, tipo de solo e de rocha, além do tipo de uso e de ocupação antrópica.

A ocupação antrópica da bacia, na sua mais ampla variedade, tem alterado sensivelmente a concentração de sedimento suspenso dos rios. Desflorestamento, atividade agrícola e mineração contribuem geralmente para o aumento da carga suspensa dos rios, ao passo que a construção de barragens e a urbanização podem influir negativamente na concentração da carga suspensa (LELI, 2010).

A elevada concentração de sedimentos nos rios pode comprometer ou restringir o uso da água. Projetos de barragens, captações e estações de tratamento de água, por exemplo, são diretamente influenciados pela presença de sedimentos na fonte hídrica, bem como os organismos aquáticos e aqueles que consomem a água em seu estado bruto, diretamente do rio.

O transporte de sedimentos pela água é regido pela relação entre a capacidade de carregamento do escoamento e a força necessária para deslocar as partículas sólidas disponíveis em seu curso. As partículas mais finas e leves, como as argilas e siltes, precisam de menos energia que as partículas de areia para serem carregadas. Escoamentos muito velozes e turbulentos possuem grande capacidade de carregamento de sedimentos, sendo pouco seletivos, ou seja, deslocam sedimentos finos e grossos. À medida que a velocidade do escoamento diminui, o transporte de sedimentos se torna mais seletivo; assim, os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos são também dependentes do calibre do material particulado disponível na bacia.

Estudos da carga fluvial suspensa são elaborados com várias finalidades. Chien (1984) estudou a carga suspensa de rios da China, para estabelecer o provável aumento da erosão das margens nos trechos a jusante de barragens. Souza Filho & Stevaux (1997) Souza Filho (1999), Desteffani et al. (2004) e Souza Filho et al. (2004) estudaram a variação da concentração de sedimentos em suspensão do rio Paraná para caracterizar as condições do transporte fluvial e verificar a influência da barragem de Porto Primavera. Aquino et al. (2005) estudaram a carga suspensa do rio Araguaia, como um dos parâmetros para determinar a degradação da bacia devido ao seu intenso uso agrícola. Stevaux et al. (2009) avaliaram a carga suspensa do rio Paraná na região de Porto Rico - PR, com o intuito de estimar o impacto na ecologia local causado pela redução da turbidez na água do rio, devido à retenção feita na barragem de Porto Primavera.

O trabalho de Chien (1984) identificou a intensificação da erosão das margens pela redução da carga suspensa, provocada pela construção de barragens em rios da China. Nesse caso, o autor relata a ocorrência de retroalimentação negativa, uma vez que o aumento da erosão marginal promoveu a recuperação da carga suspensa original a jusante da barragem.

Fenômeno similar foi identificado por Souza Filho et al. (2004), no rio Paraná, no período imediatamente posterior ao fechamento da represa de Porto Primavera.

A carga suspensa e a carga de fundo de um rio são fatores de controle da morfologia e do padrão do canal, das características da planície de inundação, além de interferirem na ecologia e no uso da água fluvial. Com isso, pode-se dizer que seu conhecimento é imprescindível ao gerenciamento de um rio. A carga de fundo está também ligada à dispersão de poluentes, uma vez que devido ao poder de adsorção da argila, o sedimento transportado pode ser facilmente contaminado.

De acordo com Knighton (1998), a concentração de sedimento suspenso varia não apenas com a descarga, mas também ao longo do ano. Dessa forma, para uma mesma descarga pode-se obter diferentes valores de concentração, a depender da estação do ano ou do posicionamento em relação à passagem da onda de cheia.

De acordo com Carvalho et al. (2002), as primeiras medições de descarga sólida total feitas no rio Paraguai foram em Porto Esperança, para estudos realizados pela Tecnosolo para a EFNOB (Estrada de Ferro do Noroeste do Brasil) nas proximidades da ponte ferroviária, entre 1964 e 1965. Essas medições foram orientadas pelo IPH/UFRGS, tendo sido calculadas pelo método modificado de Einstein, também com determinação da descarga em suspensão e granulometria do material em suspensão e do leito.

No rio Paraguai Superior, o tema foi abordado pelo DNOS (1974), por Cunha (1998), Souza (2004), Silva et al. (2008) e por Souza Filho (2012). Os dois últimos trabalhos sugerem que o transporte de sedimentos no rio teria atingido seu máximo em 1977 e a partir daí teria diminuído, visto que o auge do desmatamento já teria sido atingido e as atividades agrícolas teriam começado a adotar práticas de conservação de solo.

No presente caso, a variação temporal do transporte de sedimentos foi analisada a partir dos dados de concentração de sedimentos em suspensão, disponibilizados pela ANA. Os dados de transporte de carga de fundo são inexistentes.

A série de dados da estação de Cáceres teve início em 1977 e prosseguiu até o ano 2010, embora com falhas em diversos anos. A série da estação de Descalvados compreende apenas o período entre 2007 e 2010. Os dados de concentração de sedimentos foram trabalhados no programa Excell, no qual foi calculado o transporte em suspensão para cada dia com amostragem e foi calculada a média anual para os anos com dados suficientes.

Outra abordagem realizada foi a estimativa do transporte em suspensão para os anos em que não houve amostragem. Essa estimativa foi realizada por meio da obtenção de

equações, relacionando a descarga e o transporte em suspensão. Para a obtenção das equações foi utilizada a análise de regressão linear entre os dados de vazão e de transporte fluvial.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

As técnicas de análise utilizadas permitiram a obtenção de um conjunto de resultados a respeito da variação temporal de um conjunto de variáveis, que envolve: o uso e ocupação do solo; a evapotranspiração; a precipitação; a disponibilidade de água no sistema; a descarga fluvial; o gradiente hidráulico; a potência da corrente e o transporte de sedimentos. Tais resultados serão apresentados e discutidos a seguir.

### **5.1. As variações do uso do solo**

As análises das imagens orbitais permitiram avaliar a evolução do uso do solo na bacia de drenagem do rio Paraguai Superior e quantificar a área ocupada pela vegetação, pastagem, água, solo exposto e agricultura nas diversas datas analisadas.

Em 1977, as classes predominantes eram a vegetação e a pastagem, que correspondiam, respectivamente, a 47,2% e 25,5% da área estudada (Figuras 12, 13 e 14). A classe culturas possuía área menor, representando 10,1%, enquanto solo exposto representava 4,6% e a água possuía 12,4%. Ou seja, neste ano cerca de 40 % da área natural já havia sofrido forte influência antrópica.

Se considerado o valor obtido para a classe água, pode ser verificado que ele é anormalmente alto, como pode ser observado nos gráficos que se seguem, apesar de 1977 ter sido um ano chuvoso, com 1852,5 mm de acumulado anual. A observação das imagens utilizadas permite verificar a existência de grandes áreas de queimadas. A classificação das imagens pode ter identificado parte dessas áreas como corpos de água, em função da resposta espectral. Nesse caso, a ocupação pode ter sido superior aos 40% mencionados.

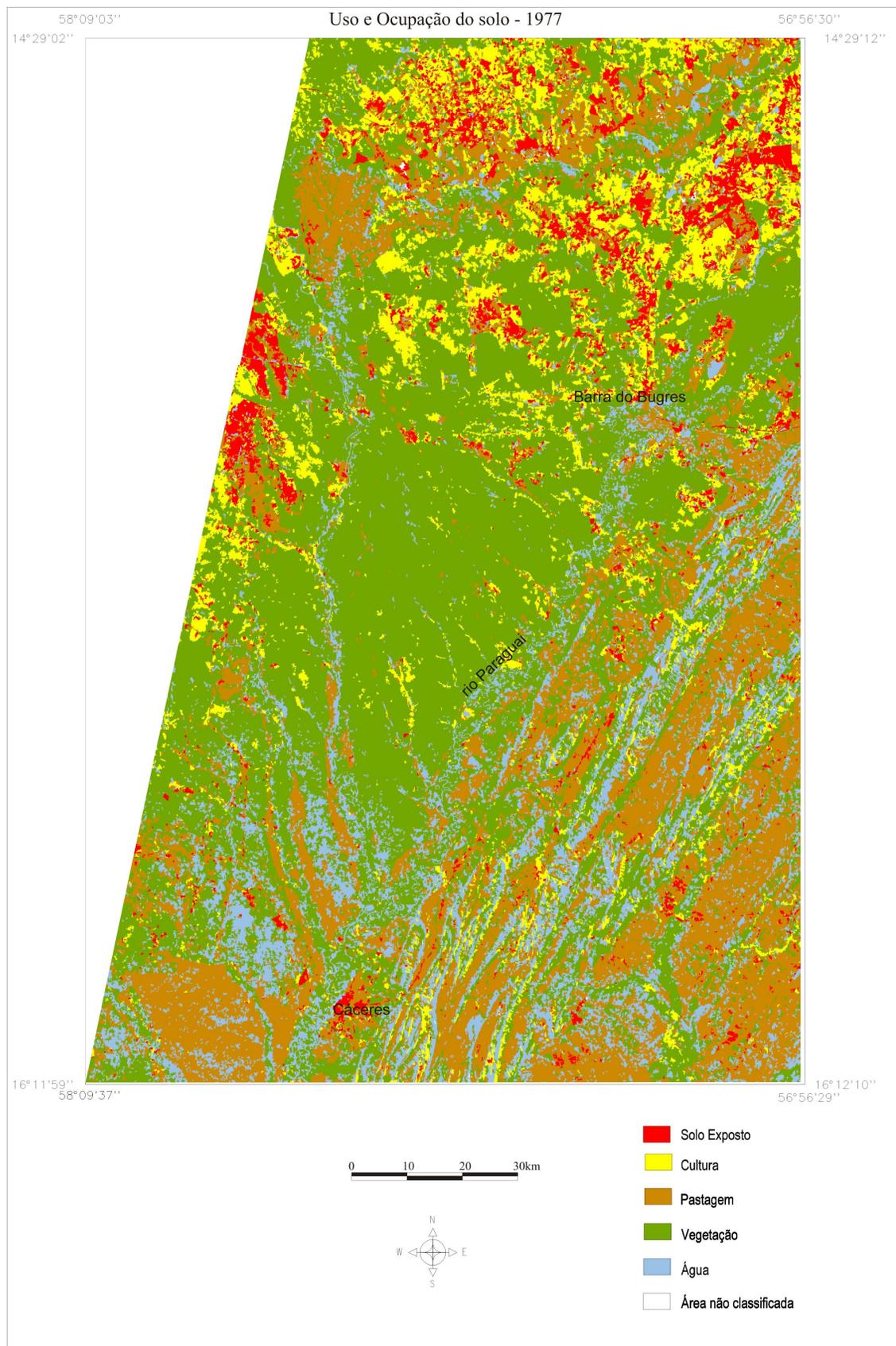


Figura 12: Uso e Ocupação do Solo de 1977

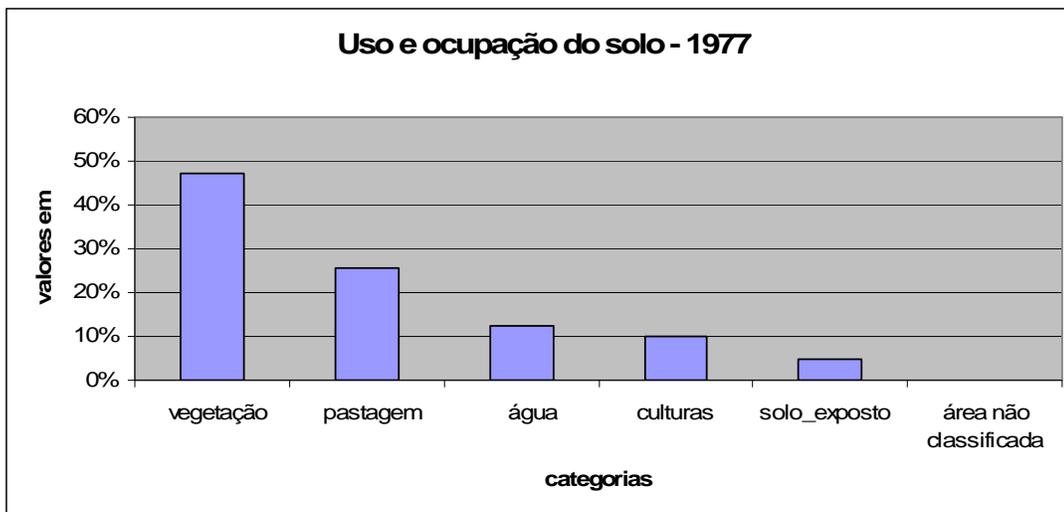


Figura 13: Gráfico do Uso e Ocupação do Solo – 1977

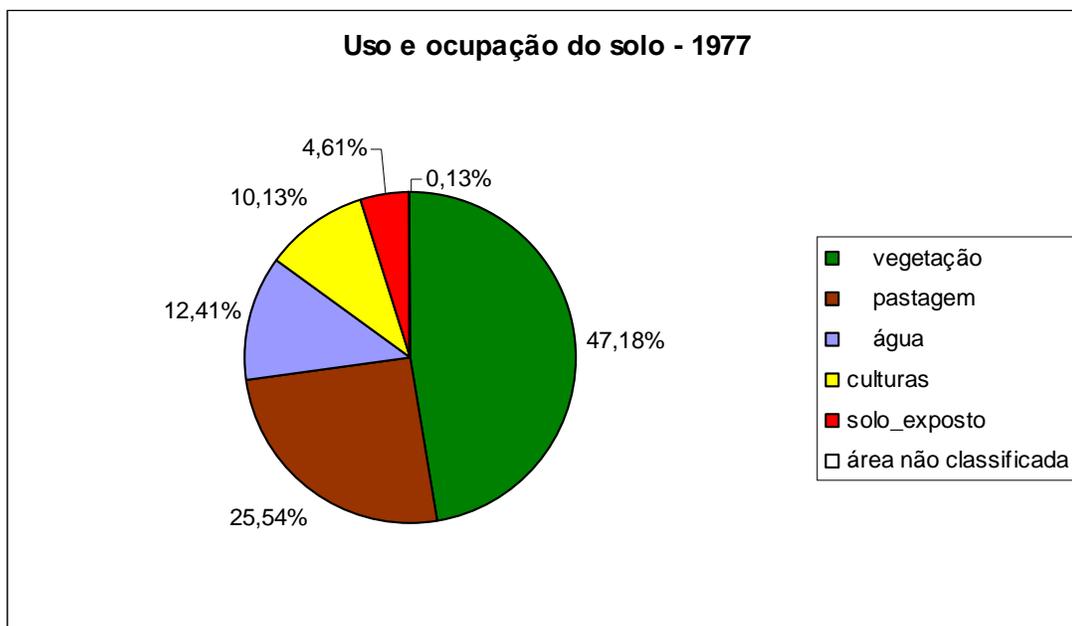


Figura 14: Diagrama do Uso e Ocupação do Solo – 1977

Em 1981, a área ocupada pela vegetação havia aumentado para 53,9% do total, enquanto a área de pastagens diminuiu para 22,1%, assim como a área de água, que passou a ocupar apenas 5,1%. É possível que parte da área que anteriormente era pastagem ou que tenha sido classificada como água tenha sido ocupada por vegetação pioneira porque a área de cultura aumentou para 14,4% e a de solo exposto permaneceu semelhante à anterior, com 4,2%. O mapa de uso e ocupação encontra-se na Figura 15 e os gráficos de percentuais estão nas Figuras 16 e 17.



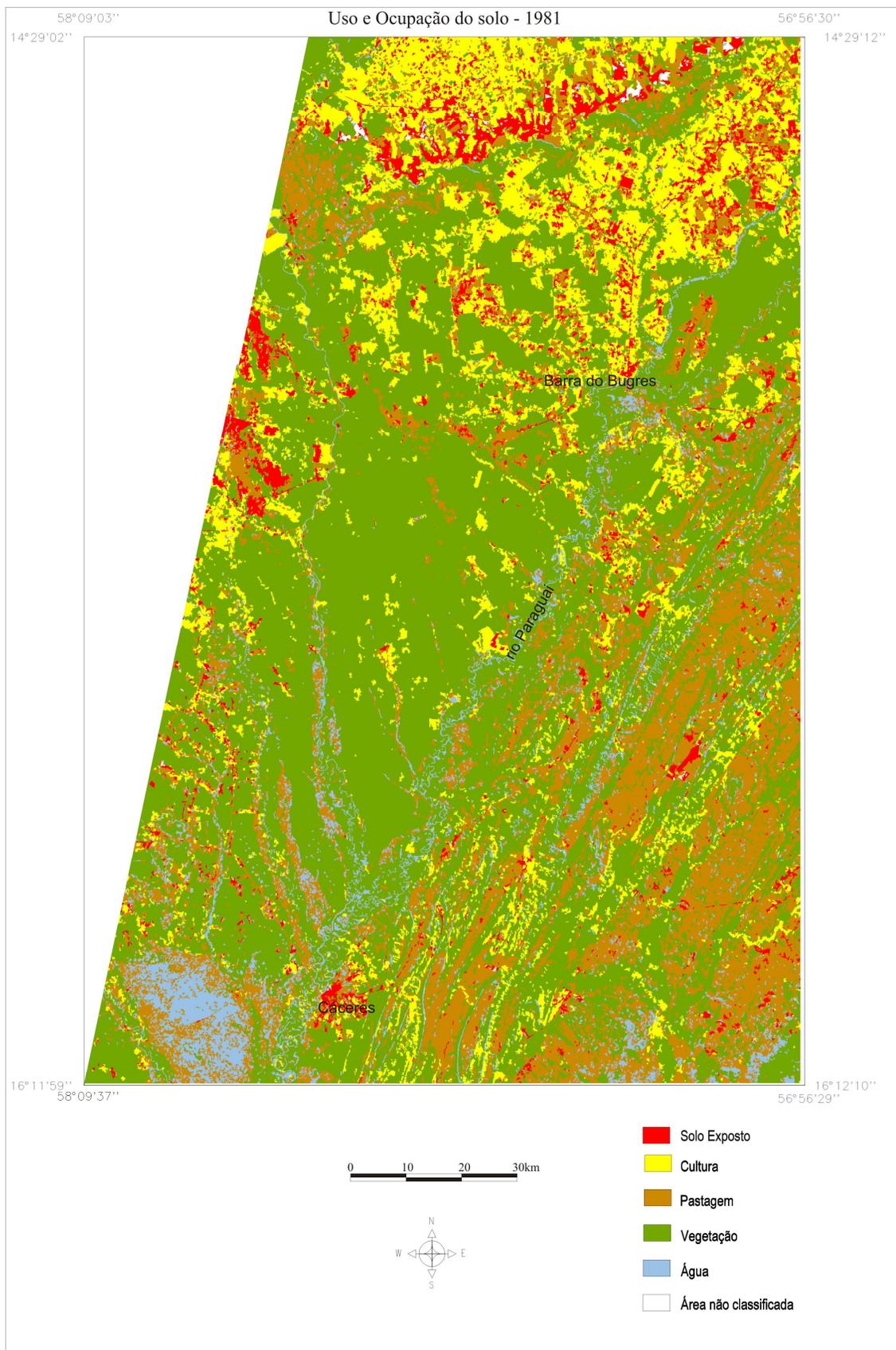


Figura 15: Uso e Ocupação do Solo de 1981

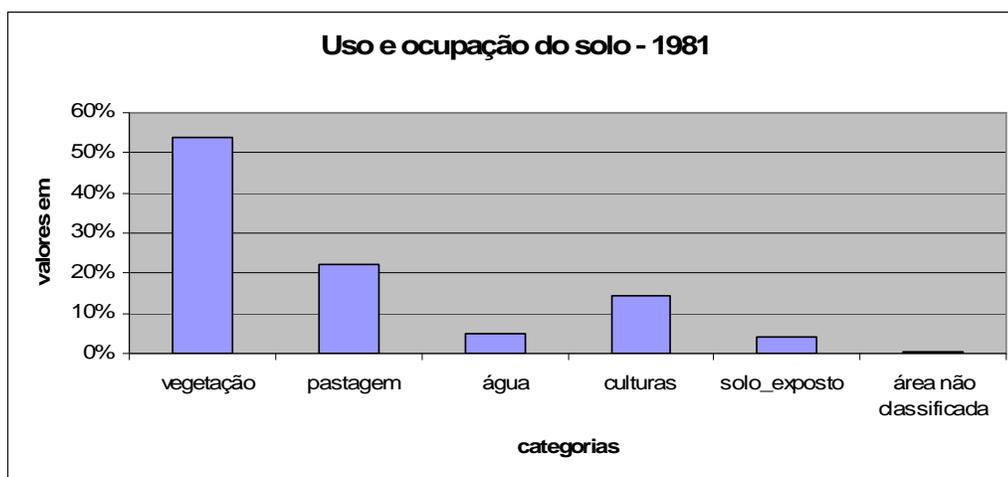


Figura 16: Gráfico do Uso e Ocupação do Solo – 1981

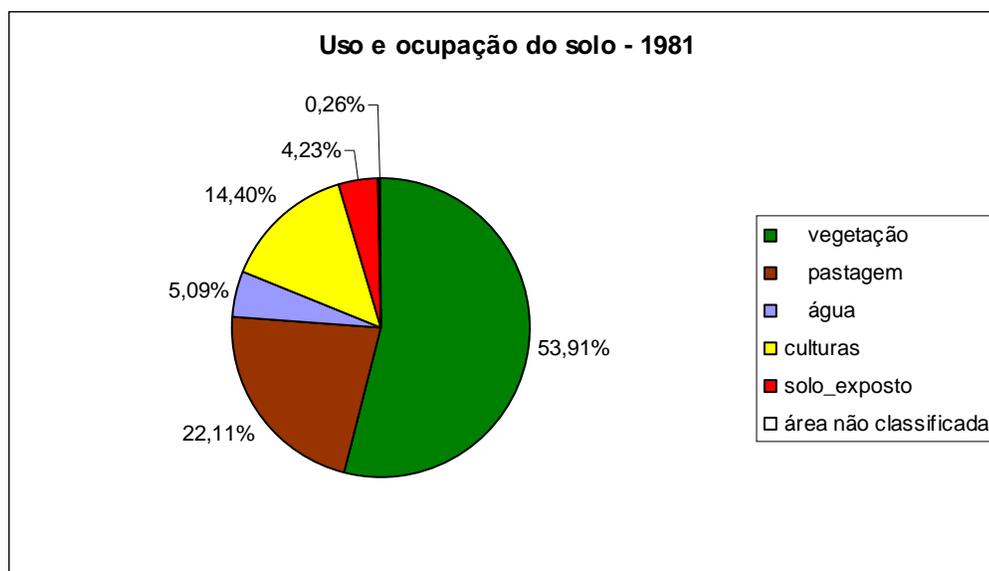


Figura 17: Diagrama do Uso e Ocupação do Solo – 1981

O mapa de uso e ocupação do solo de 1987 encontra-se na Figura 18, e os percentuais de cada classe podem ser observados nas Figuras 19 e 20. Como pode ser verificado, as áreas de pastagem aumentaram consideravelmente, atingindo 38 % do total, enquanto a área de vegetação foi reduzida para 37,3%. As áreas com água tiveram pequeno aumento (5,8%), as de cultura voltaram ao valor de 1977 (10,71%) e o solo exposto manteve porcentagem similar às anteriores (4,5%). Apesar do valor elevado das áreas não classificadas (3,67%), pode-se creditar a redução da área de vegetação à formação de pastagens.

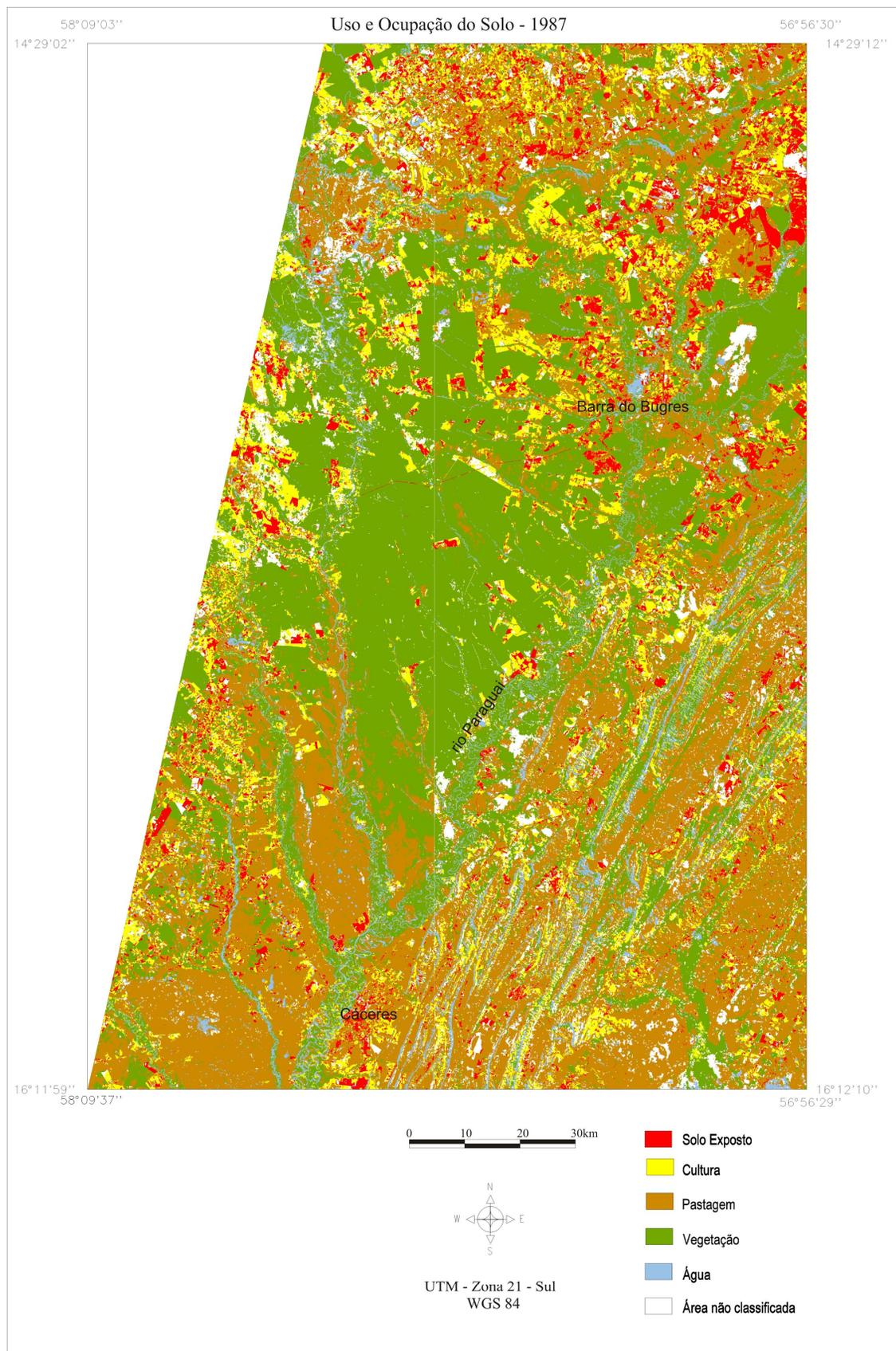


Figura 18: Uso e Ocupação do Solo de 1987

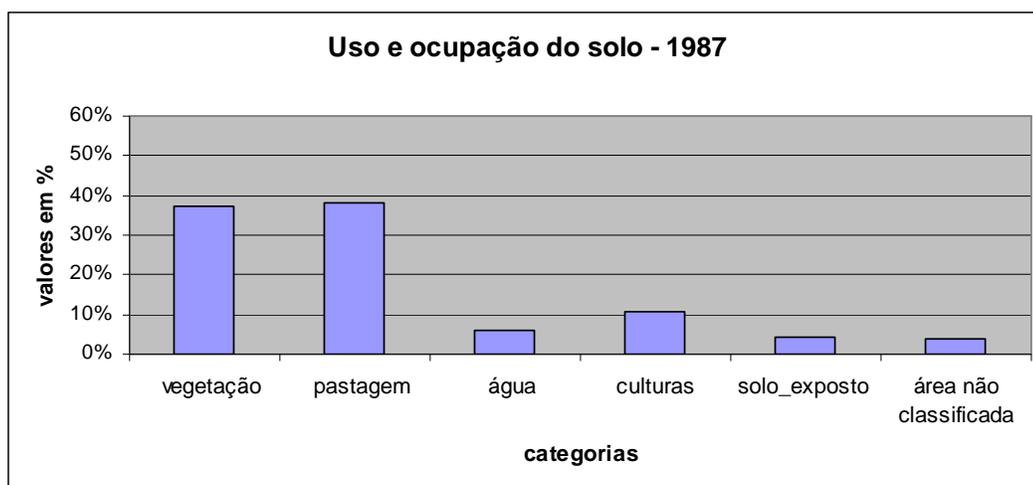


Figura 19: Gráfico do Uso e Ocupação do Solo – 1987

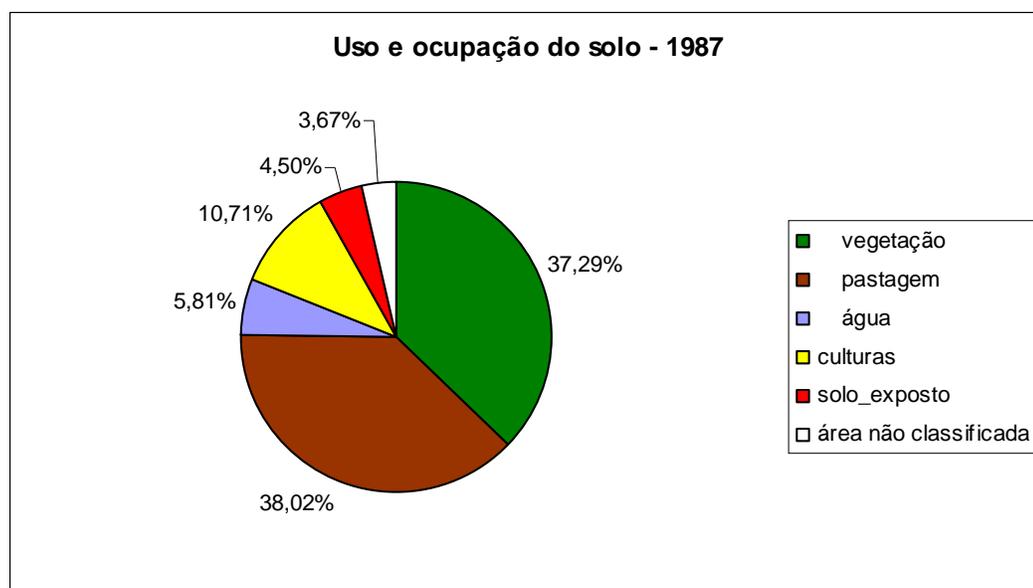


Figura 20: Diagrama do Uso e Ocupação do Solo – 1987

Em 1990, o mapa de uso do solo (Figura 21) e os percentuais da área de cada classe (Figuras 22 e 23) demonstram que a vegetação praticamente não foi alterada em 13 anos, já que ela ocupava 37,68% da área estudada. Contudo, ocorreu significativa modificação da forma de uso, uma vez que as áreas de cultura atingiram 35,6% e as de solo exposto passaram a 5,17%. Mesmo com a não classificação de 4,4% da área, pode-se afirmar que a agricultura ocupou grande parte das pastagens, já que a classe apresentou um valor bastante reduzido (10%). Para fechar o quadro, naquela data as águas ocupavam 7,1% do total.

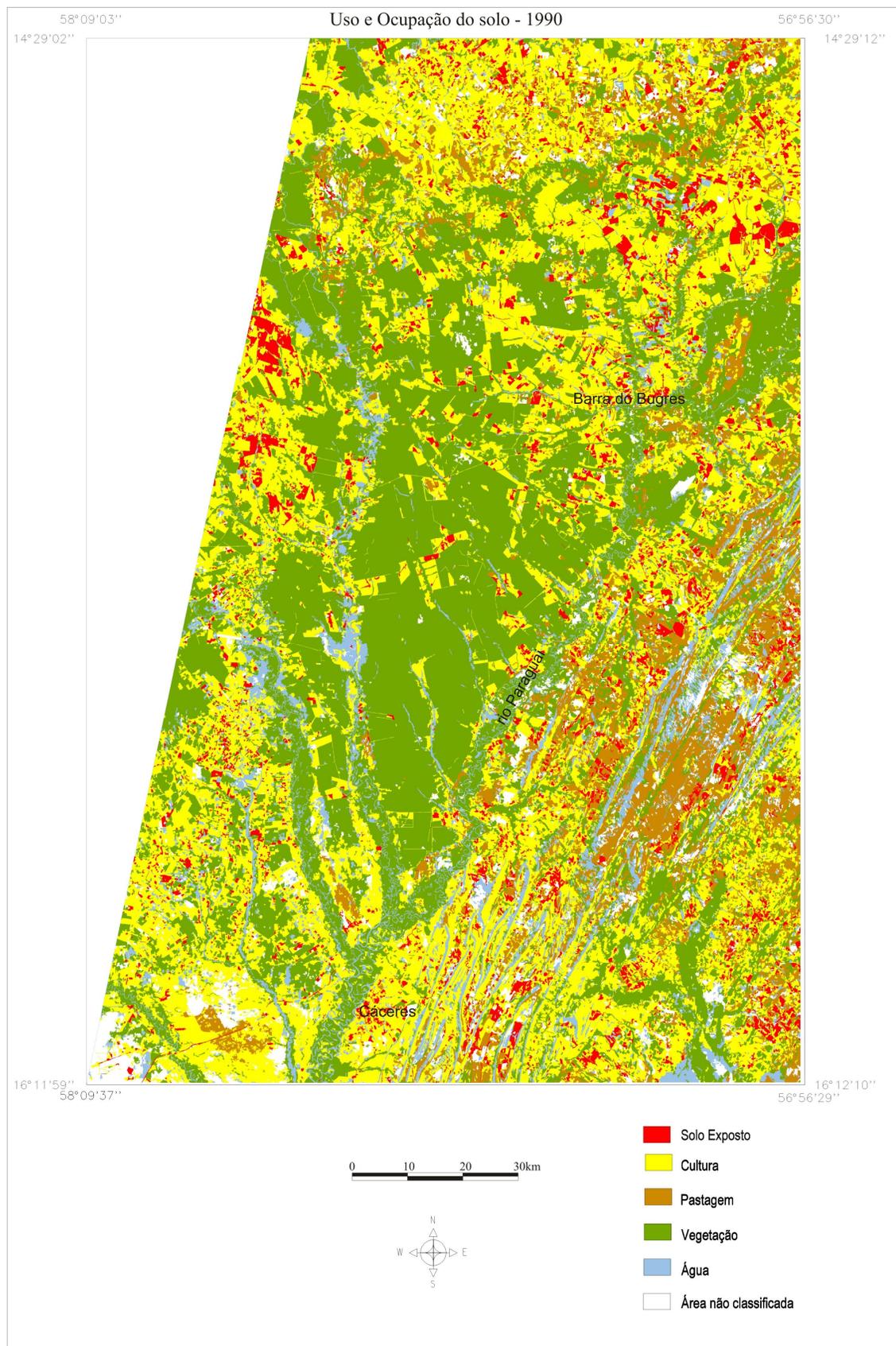


Figura 21: Uso e Ocupação do Solo de 1990

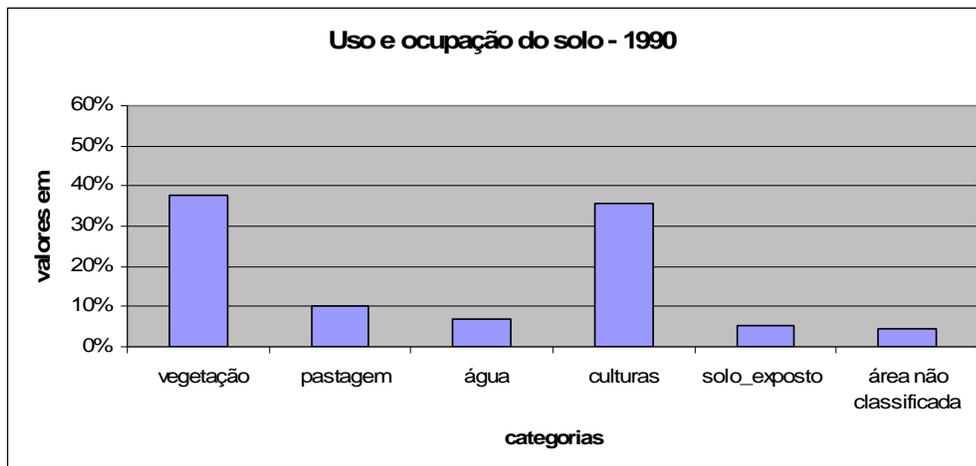


Figura 22: Gráfico do Uso e ocupação do solo – 1990

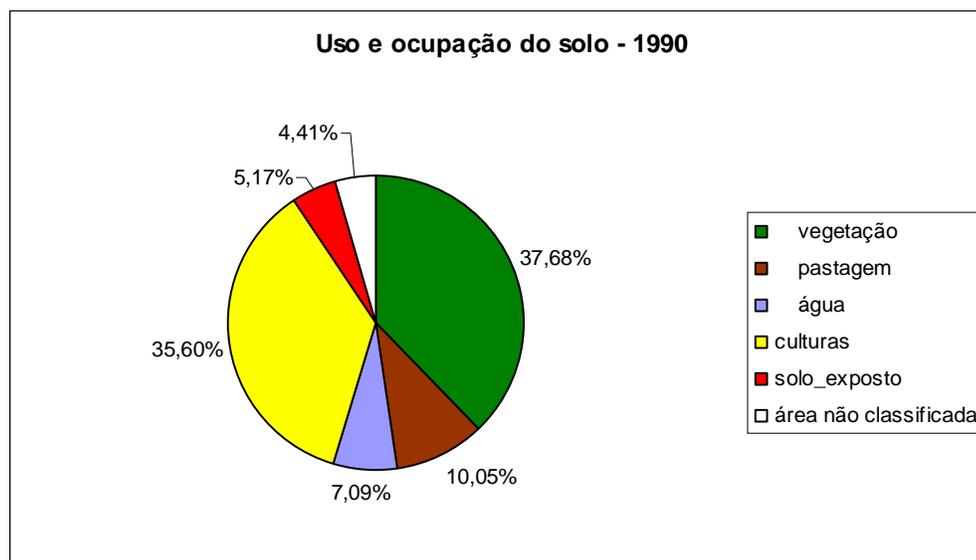


Figura 23: Diagrama do Uso e ocupação do solo - 1990

Dois anos depois, em 1992, a área de vegetação havia sofrido pequena diminuição, de 37,7 para 35%, a área de pastagem voltou a aumentar passando de 10 para 27,7% (Figuras 24 a 26). Aparentemente, essa variação ocorreu graças á retomada da pecuária sobre áreas de agricultura, que diminuíram para 27,31%. Contudo, uma vez que tal alteração ocorreu em apenas dois anos, é possível que as culturas de vegetais herbáceos possam ter sido confundidas com pastagem devido ao estágio de crescimento, ou que a classificação da imagem de 1990 tenha considerado áreas com gramíneas altas como culturas. Nesta data a área de água estava bastante reduzida (3,4%) e a de solo exposto atingiu o maior valor da série até aqui apresentada (5,7%).

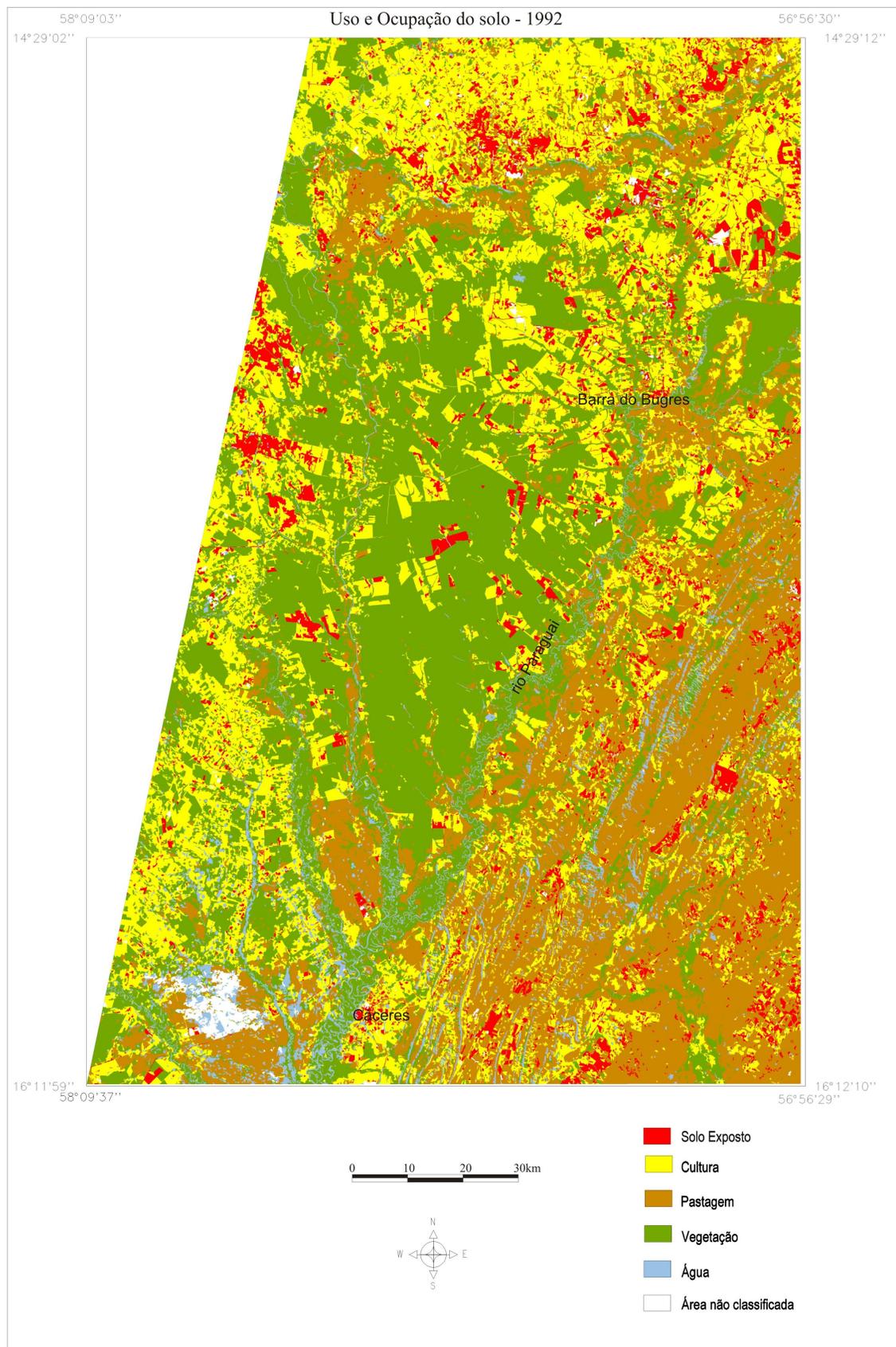


Figura 24: Uso e Ocupação do Solo de 1992

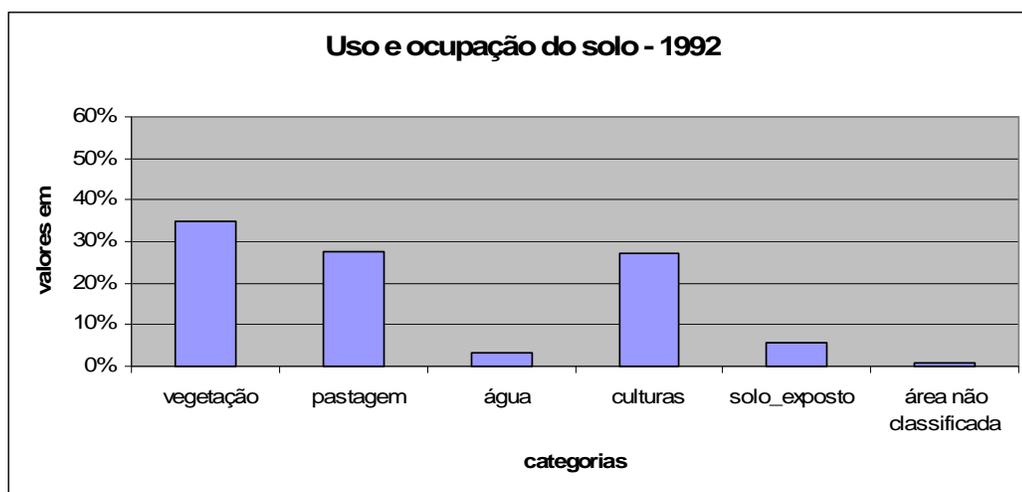


Figura 25: Gráfico do Uso e ocupação do solo – 1992

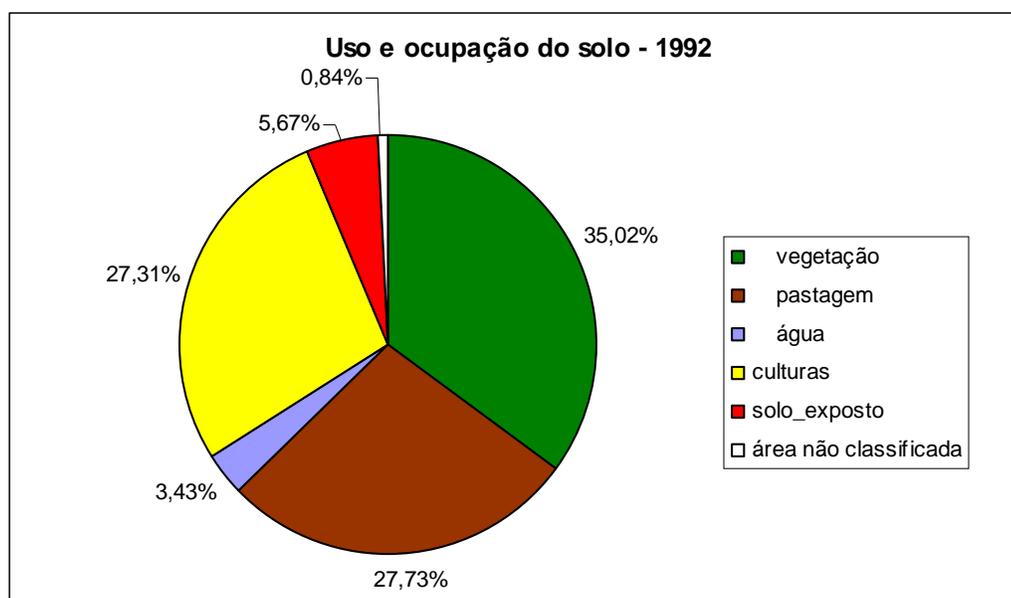


Figura 26: Diagrama do Uso e ocupação do solo – 1992

O mapa de uso do solo de 1997 (Figura 27) e os gráficos de percentagens de cada classe (Figuras 28 e 29) demonstram que cinco anos depois, as áreas de vegetação novamente mostraram pequena recuperação, passando a ocupar 38,3% do total, enquanto as áreas de cultura e de água voltaram a aumentar, passando a totalizar 31,6 e 5,8%, respectivamente. O valor da área de pastagem (17%) demonstra que o aumento das três classes mencionadas ocorreu pela ocupação dos pastos, uma vez que a área de solo exposto diminuiu apenas 1% (de 5,7 para 4,6%).

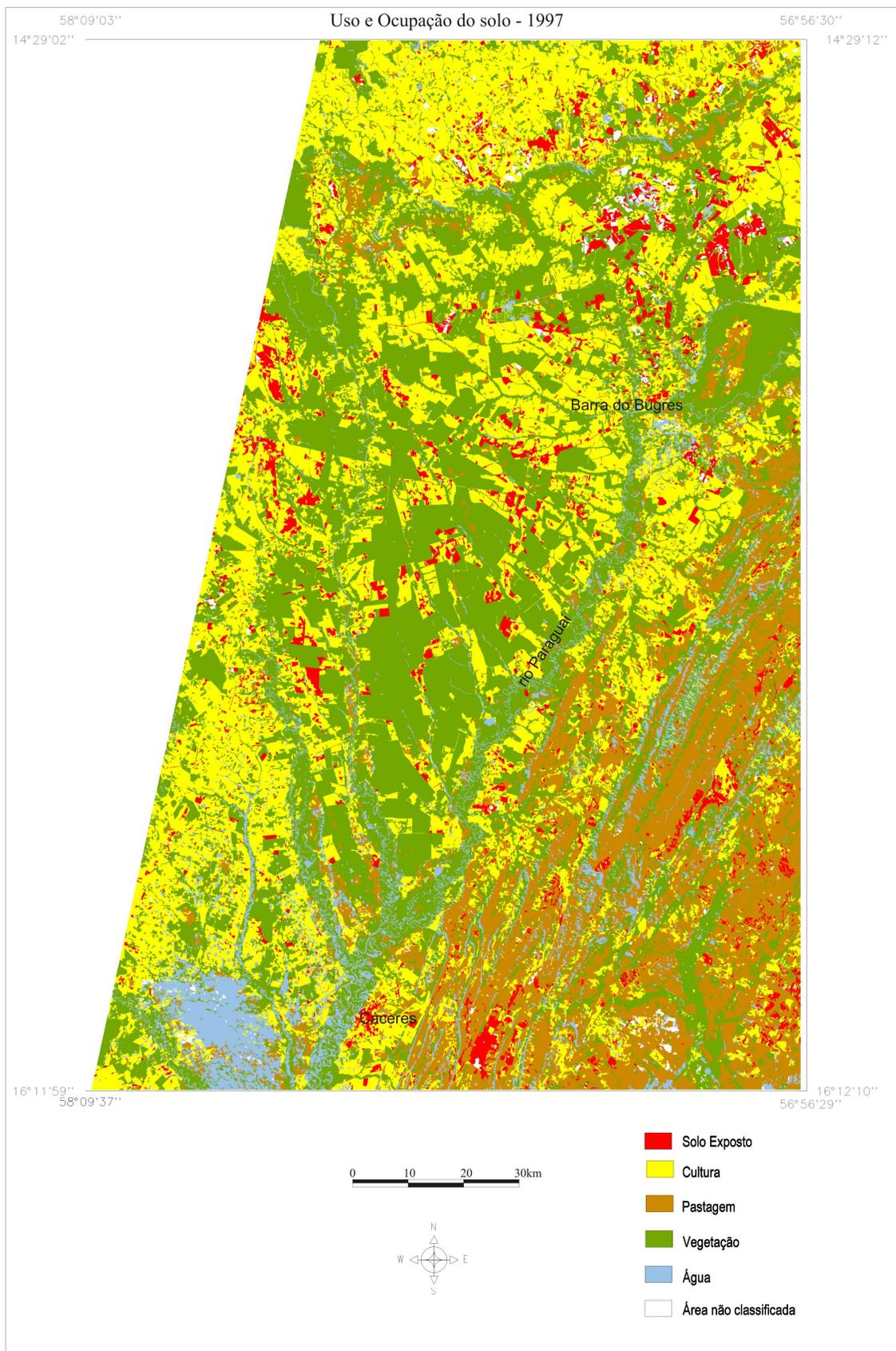


Figura 27: Uso e Ocupação do Solo de 1997

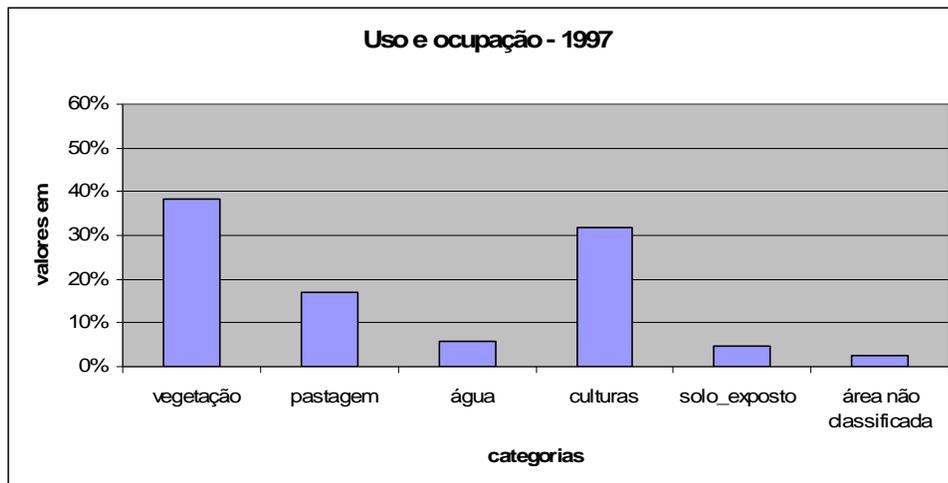


Figura 28: Gráfico do Uso e ocupação do solo – 1997

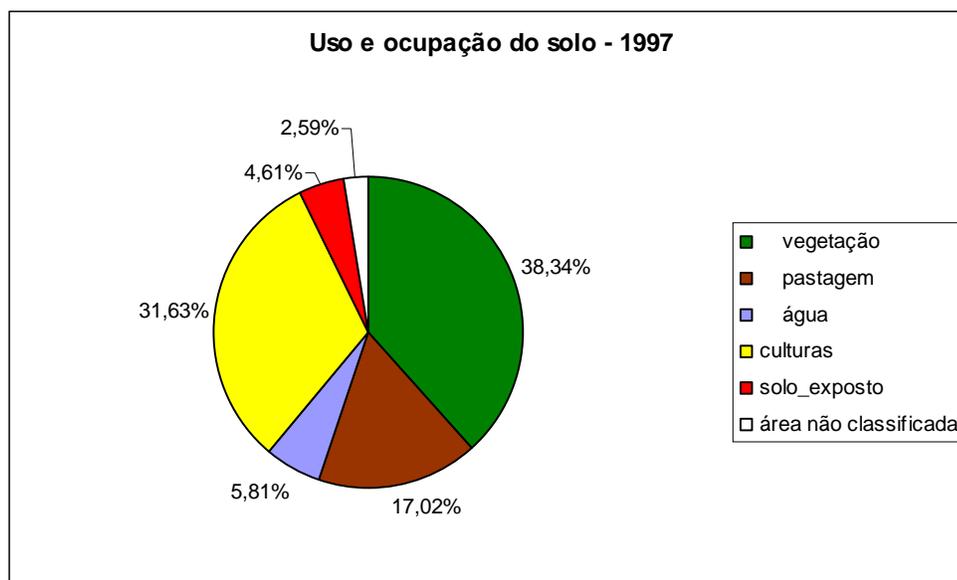


Figura 29: Diagrama do Uso e ocupação do solo – 1997

A imagem de 2005 mostra um novo quadro para a área (Figuras 30 a 32). As áreas de cultura e de solo exposto aumentaram para 35,7 e para 9,5%, respectivamente, enquanto as áreas de vegetação diminuíram significativamente, chegando a 30,8% do total. Aparentemente ocorreu uma retomada do desflorestamento durante o intervalo de oito anos, mas neste caso a ocupação foi feita por agricultura. As áreas de pastagens e de água mostraram pequenas modificações. No primeiro caso a área diminuiu de 17 para 15,6% e, no segundo, a área aumentou para 6,5%.

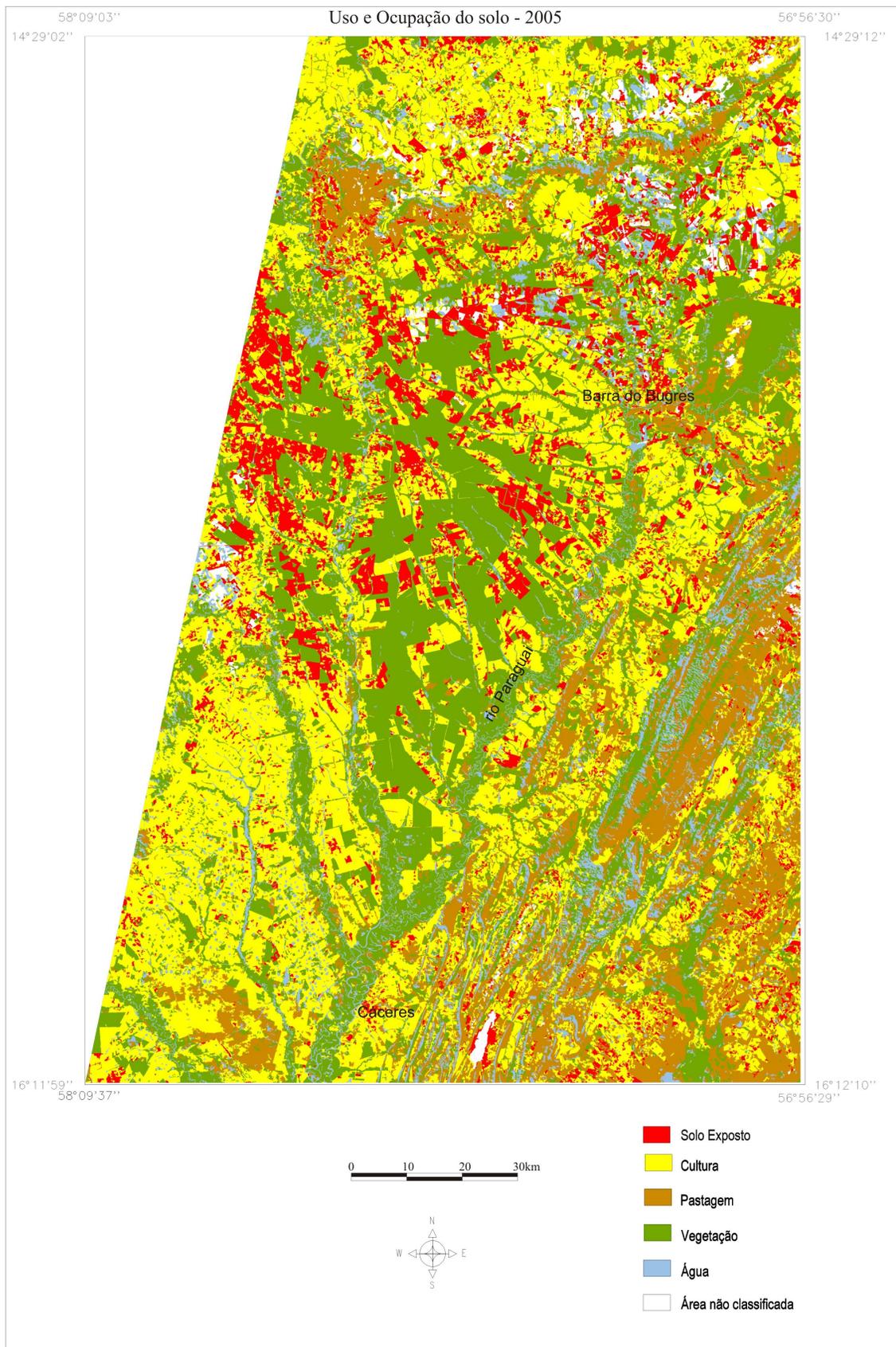


Figura 30: Uso e Ocupação do Solo de 2005

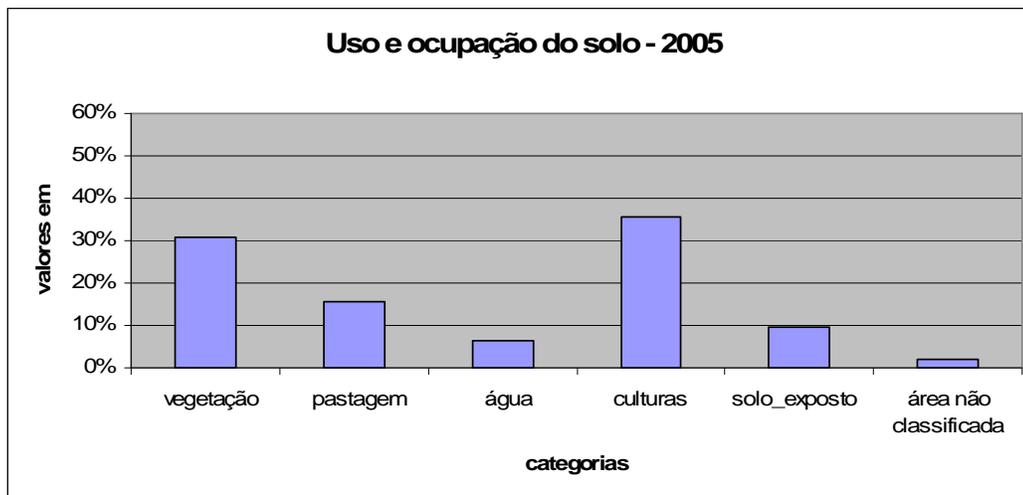


Figura 31: Gráfico do Uso e ocupação do solo – 2005

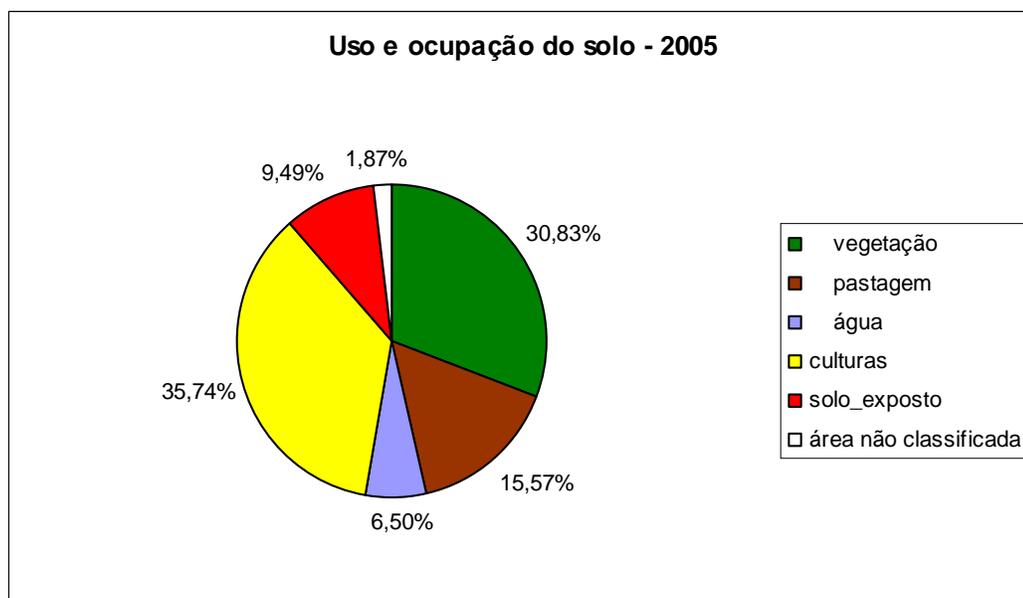


Figura 32: Diagrama do Uso e ocupação do solo – 2005

Por fim, em 2007, o mapa de uso do solo (Figura 33) e os gráficos dos percentuais (Figuras 34 e 35), mostram a continuidade da remoção da cobertura vegetal, que diminuiu para 28,5% e uma pequena diminuição da área de cultivo, que passou a ocupar 32,8% do total. Tais reduções estão relacionadas ao aumento das áreas de pastagem (20,6%) e de solo exposto (10,5%), já que a área de água permaneceu igual à de 2005 (6,5%).

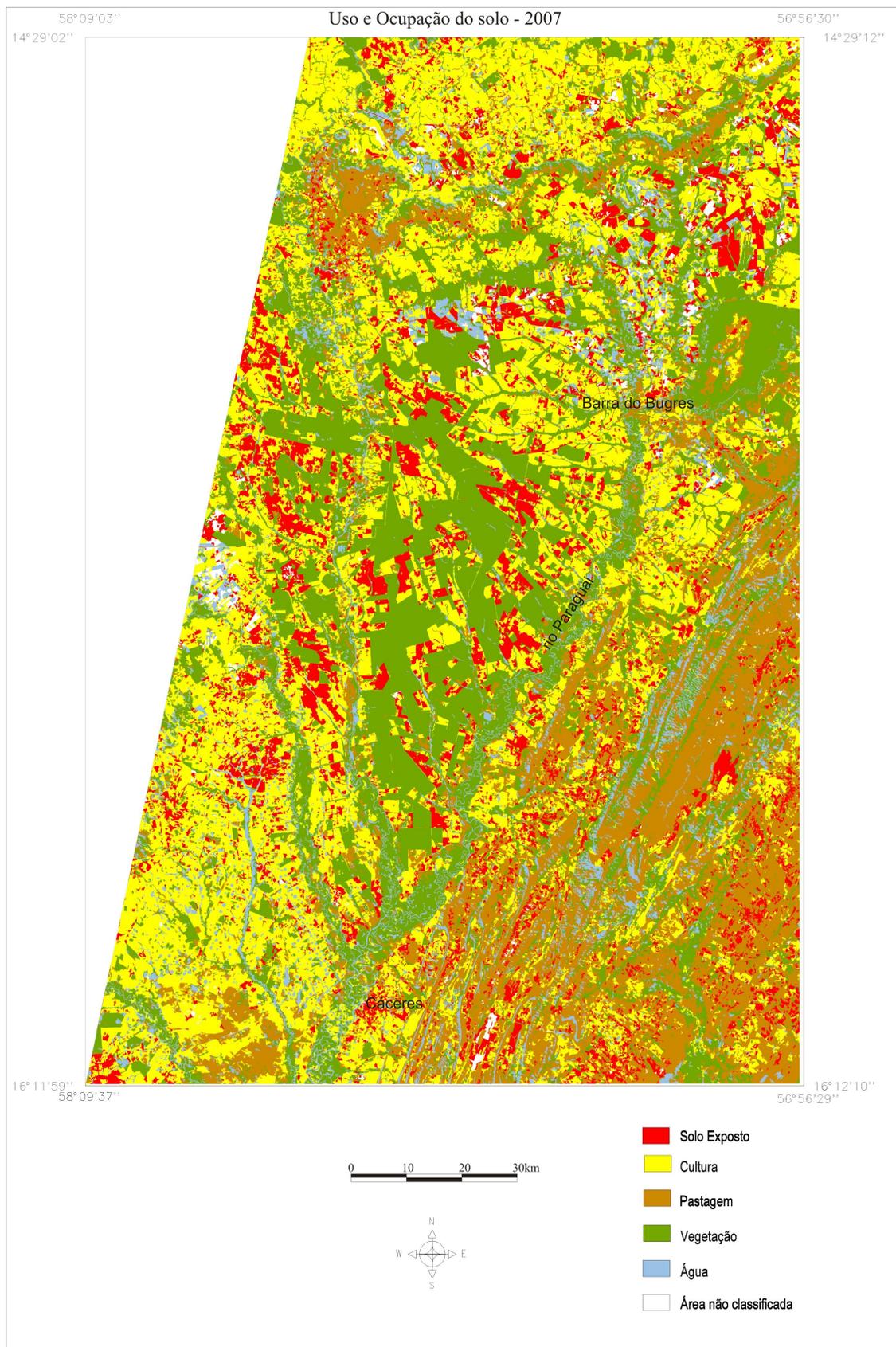


Figura 33: Uso e Ocupação do Solo de 2007



Figura 34: Gráfico do Uso e ocupação do solo - 2007

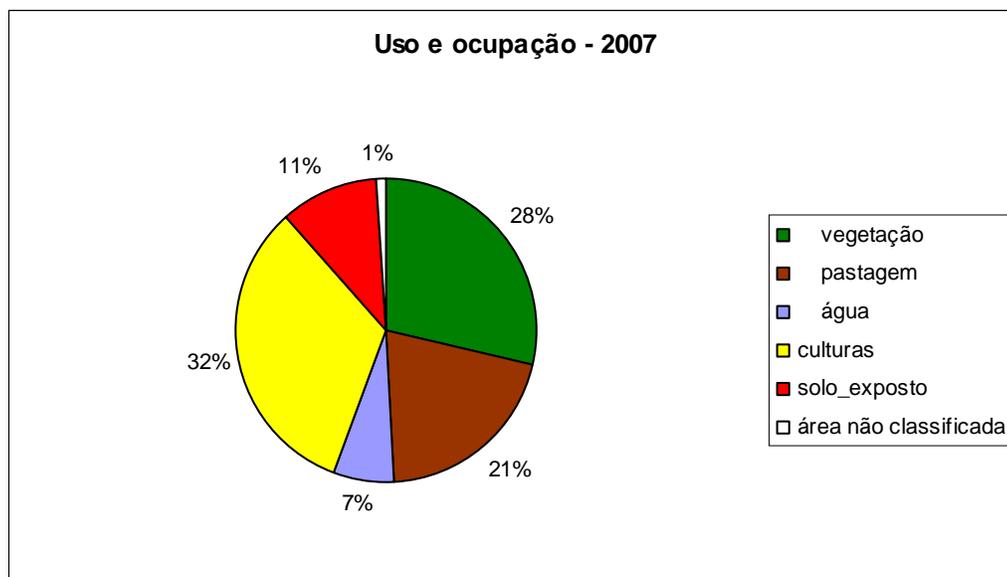
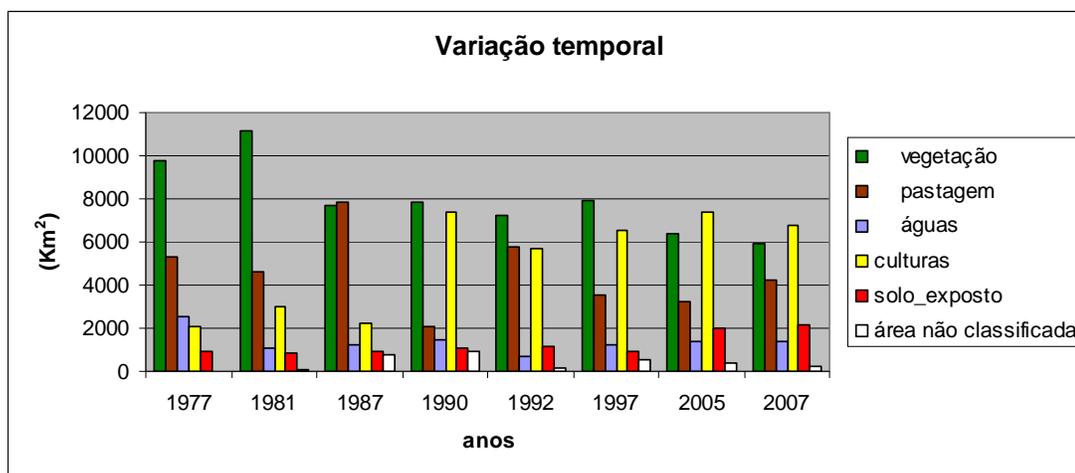


Figura 35: Diagrama do Uso e ocupação do solo – 2007

O Quadro 8 apresenta os valores da área ocupada pelas diversas classes utilizadas nas diferentes datas de passagem do satélite e sua representação gráfica encontra-se na Figura 36. O Quadro 9 e a Figura 37 apresentam os dados em porcentagem.

Quadro 08: Valores em Km<sup>2</sup> ocupados no terreno pelas classes em cada ano

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Área de cada classe (km <sup>2</sup> )							
	1977	1981	1987	1990	1992	1997	2005	2007
<b>Vegetação</b>	9778,3	11171,1	7728,3	7807,7	7257,6	7944,5	6388,8	5913,9
<b>Pastagem</b>	5293,1	4580,9	7878,1	2082,9	5745,4	3527,4	3227	4260,7
<b>Água</b>	2572,7	1055,3	1203,8	1469,1	711,4	1205	1346,9	1349,4
<b>Culturas</b>	2098,5	2985,1	2219,6	7377	5659,2	6554,1	7407	6793,2
<b>Solo exposto</b>	954,4	876,8	932	1072,1	1175,5	954,5	1965,3	2176,5
<b>Área não classificadas</b>	26	53,1	761,1	914,1	173,3	537	387,8	229,2

Figura 36: Variação temporal em km<sup>2</sup> das classes de uso e ocupação do solo em cada ano

Quadro 09: Valores em porcentagem ocupados no terreno pelas classes em cada ano

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Porcentagem de cada classe							
	1977	1981	1987	1990	1992	1997	2005	2007
<b>Vegetação</b>	47,18	53,91	37,29	37,68	35,02	38,34	30,83	28,54
<b>Pastagem</b>	25,54	22,11	38,02	10,05	27,73	17,02	15,57	20,56
<b>Água</b>	12,41	5,09	5,81	7,09	3,43	5,81	6,50	6,51
<b>Culturas</b>	10,13	14,40	10,71	35,60	27,31	31,63	35,74	32,78
<b>Solo exposto</b>	4,61	4,23	4,50	5,17	5,67	4,61	9,49	10,50
<b>Área não classificadas</b>	0,13	0,26	3,67	4,41	0,84	2,59	1,87	1,11

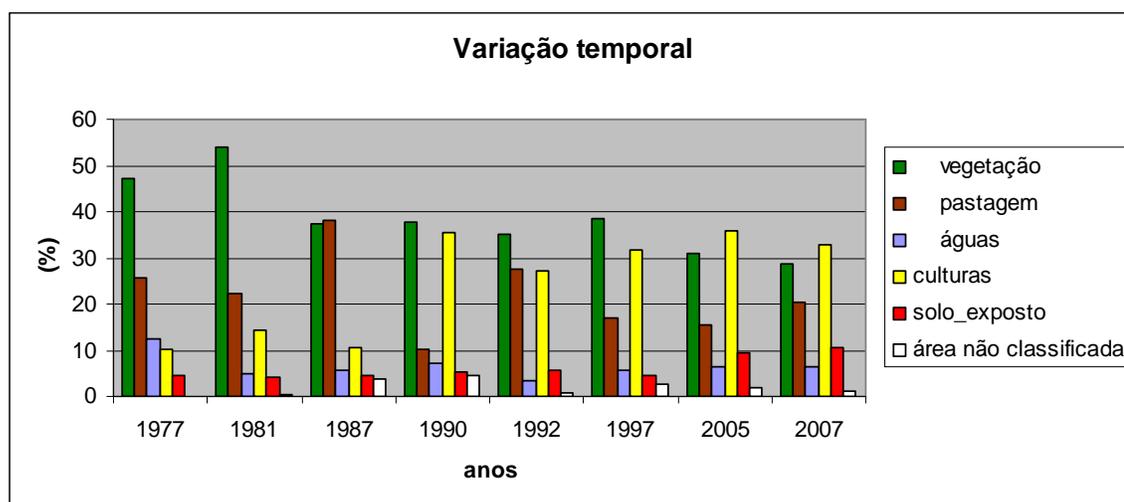


Figura 37: Variação temporal em porcentagem das classes de uso e ocupação do solo em cada ano

No que diz respeito à vegetação, os dados demonstram que mais de 3800 Km<sup>2</sup> foram desmatados nos 30 anos compreendidos entre a imagem mais antiga e a mais recente. Ou seja, mais de 30% da vegetação remanescente foi perdida neste período, principalmente no intervalo entre 1981 e 1987, quando foram removidos cerca de 3440 Km<sup>2</sup>, a um ritmo de mais de 570 Km<sup>2</sup>/ano. Se for considerada a área ocupada em 1981, a remoção é ainda maior, pois a

área de vegetação removida chega a mais de 5250 Km<sup>2</sup>, a uma taxa de quase 202 Km<sup>2</sup>/ano. Essa ocupação pode ser resultado da implantação do projeto POLONOROESTE, iniciado em 1982.

Nos primeiros dez anos a formação de pastos foi a principal causa do desmatamento, uma vez que as áreas de pecuária passaram de 5293 Km<sup>2</sup> para 7878 Km<sup>2</sup>, e a área de agricultura aumentou muito pouco (de 2099 para 2220 km<sup>2</sup>). Os dados do período entre 1987 e 1990 podem representar a fase inicial do domínio da agricultura sobre a pecuária, mas os dados de 1992, que mostram a diminuição da área de agricultura e o aumento da área de pastagem, geram a seguinte dúvida: os valores obtidos a partir das imagens de 1990 e 1992 estão corretos ou não?

Se estiverem corretos, a diminuição da área de agricultura entre 1990 e 1992 pode ter sido causada pelo arrocho monetário do plano Collor, mas se não estiverem corretos, o período entre 1987 e 1990 pode marcar o início do avanço gradual da agricultura, que passa a dominar a paisagem na última década analisada e que, provavelmente, foi o motor da retomada do desmatamento observada a partir de 1997, a uma taxa de mais de 200 km<sup>2</sup>/ano.

Pelo exposto, nos trinta anos analisados, o desmatamento ocorreu em dois períodos: o de 1981 a 1987, mais intenso, motivado pela formação de pastagens e o de 1977 a 2007, motivado pela agricultura. Os dados de área de pastagens mostram também que, apesar das variações de área, a pecuária continuava intensa em 2007, uma vez que mais de 30 % da área antrópica era ocupada por fazendas de gado.

Os valores de área de solo exposto apresentaram valores próximos a 1000 km<sup>2</sup> até 1997, a partir de quando aumentaram consideravelmente. Parte dos valores deve estar relacionado à preparação do solo para o plantio de culturas temporárias e a outra parte possivelmente está relacionada com áreas de desmatamento. Os valores obtidos para os anos de 2005 e 2007 podem indicar a continuidade da retirada da vegetação.

Se for considerada a retirada de vegetação como fator de aumento do fornecimento de sedimentos, os períodos entre 1981 e 1987 e o posterior a 1997 devem estar associados a um aumento do transporte fluvial. Por outro lado, se for considerado o risco à erosão causado pelo solo exposto, o aumento do transporte deveria ser maior no último período mencionado.

## 5.2 A variação da evapotranspiração, a disponibilidade hídrica do sistema e a descarga fluvial

Os dados de evapotranspiração anual de Cáceres podem ser observados no Quadro 10 e na Figura 38. À primeira vista, os valores não mostram tendência clara no que diz respeito ao aumento ou à diminuição ao longo do tempo (Figura 39), até porque ela é influenciada pelas condições do tempo.

Quadro 10: Valores anuais de evapotranspiração na estação de Cáceres

Ano	Evapotranspiração (mm)	
	potencial	real
1971	1.198,90	886
1972	1.340,8	984,5
1973	1.369,9	661,4
1974	1.321,9	794,2
1975	1.332,5	892,8
1976	1.315,0	844,5
1977	1.344,1	860,9
1978	1.351,3	781,8
2001	1.362,9	761,9
2002	989,8	602,1
2003	1.317,1	680,2
2004	1.169,8	606,3
2005	1.371,6	748,8
2006	1.362,7	906,4
2007	1.343,80	841,6
2008	1.308,0	808,9
2009	1.311,7	848,3
2010	1.048,9	585,5

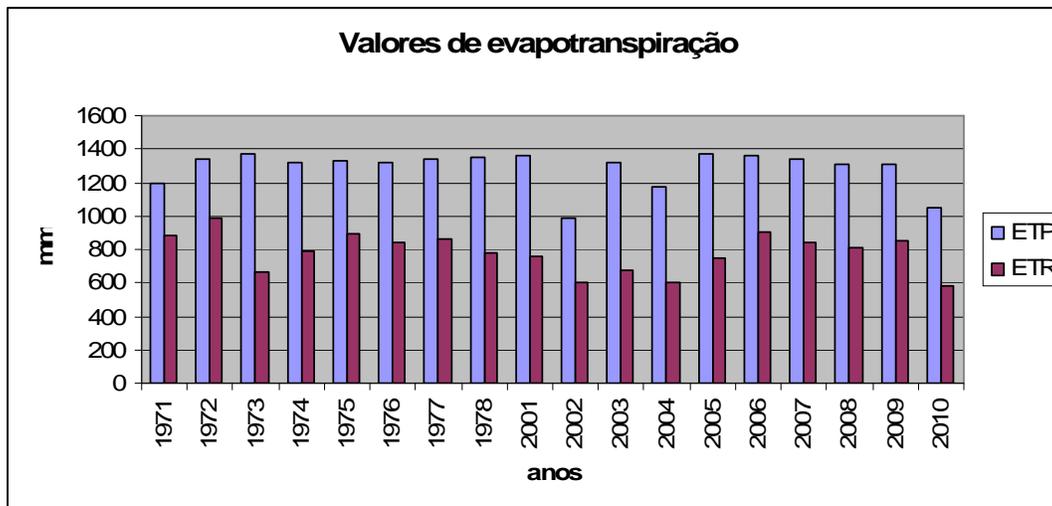


Figura 38: Valores anuais de Evapotranspiração Potencial e Real na estação de Cáceres

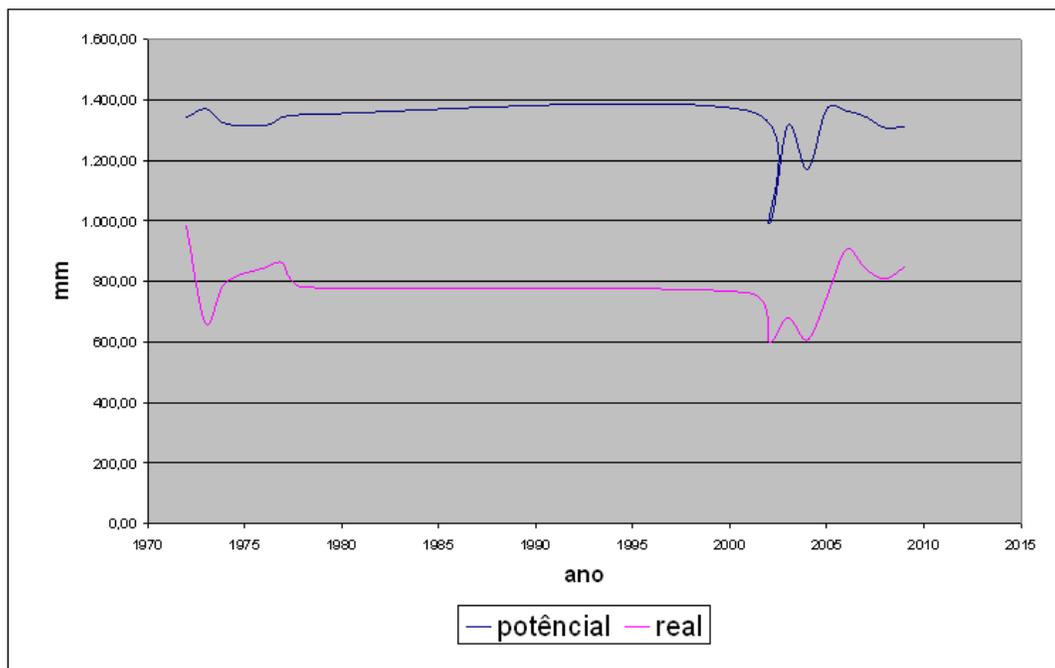


Figura 39: Variação temporal dos dados de evapotranspiração potencial e real na Estação Pluviométrica de Cáceres

Por outro lado, o histórico de precipitação anual em Cáceres (Quadro 11), nos anos em que há dados de evapotranspiração, revela que o acumulado quase sempre é superior a 1000 mm, tendo superado 1300 mm em 2008, mas tendo ficado na casa de 600 mm em 1973.

Quadro 11: Valor de precipitação anual na estação de Cáceres, nos anos em que há dados de evapotranspiração disponíveis

<b>Ano</b>	<b>Precipitação anual Cáceres (mm)</b>
1971	993,5
1972	1138,7
1973	637,1
1974	1211,8
1976	1260
1977	1150,7
1978	1242,4
2001	1313,8
2002	1028,6
2003	1056,3
2004	1154,5
2005	1272,5
2006	1276,3
2007	1262,9
2008	1325,8
2009	1116,8

Contudo, ao se observar a variação temporal da disponibilidade da água no sistema (Quadro 12 e Figura 40), observa-se um aumento dos valores, indicando que há mais água disponível no sistema nos anos mais recentes.

Quadro 12: Disponibilidade hídrica em Cáceres nos anos com dados de evapotranspiração e precipitação

Ano	Precipitação anual	Evapotranspiração		Disponibilidade hídrica	
	(mm)	Potencial (mm)	Real (mm)	Potencial (mm)	Real (mm)
1972	1138,7	1.340,8	984,5	-202,1	154,2
1973	637,1	1.369,9	661,4	-732,8	-24,3
1974	1211,8	1.321,9	794,2	-110,1	417,6
1976	1260	1.315,0	844,5	-55	415,5
1977	1150,7	1.344,1	860,9	-193,4	289,8
1978	1242,4	1.351,3	781,8	-108,9	460,6
2001	1313,8	1.362,9	761,9	-49,1	551,9
2002	1028,6	989,8	602,1	39,8	426,5
2003	1056,3	1.317,1	680,2	-260,8	376,1
2004	1154,5	1.169,8	606,3	-15,3	548,2
2005	1272,5	1.371,6	748,8	-99,1	523,7
2006	1276,3	1.362,7	906,4	-86,4	369,9
2007	1262,9	1.343,80	841,6	-80,9	421,3
2008	1325,8	1.308,0	808,9	17,8	516,9
2009	1116,8	1.311,7	848,3	-194,9	268,5

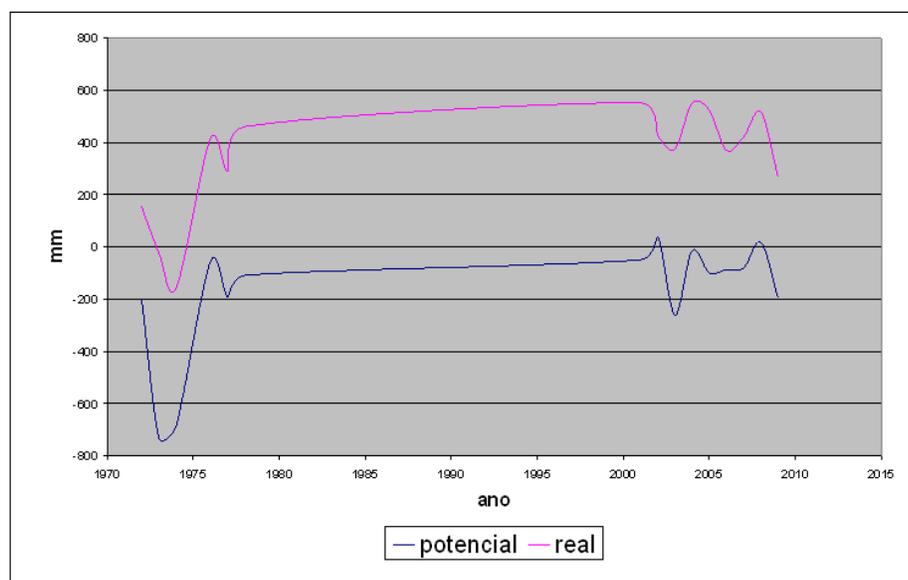


Figura 40: Variação temporal da disponibilidade hídrica anual (potencial e real) na Estação Pluviométrica de Cáceres

Os dados de descarga média anual dos anos com dados de precipitação e de evapotranspiração encontram-se no Quadro 13. A descarga média anual representa a máxima disponibilidade hídrica da bacia, na concepção de Tucci (2000), embora Novaes (2005)

considere que além dela, a vazão mínima anual também seja considerada. Contudo, este último autor trabalha com o uso da água e não com o funcionamento do sistema.

Quadro 13: Descarga média anual e disponibilidade hídrica do sistema em Cáceres, nos anos com dados de evapotranspiração e precipitação

Ano	Descarga média anual (m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade hídrica	
		Potencial (mm)	Real (mm)
1972	353,27	-202,1	154,2
1973	367,33	-732,8	-24,3
1974	557,37	-110,1	417,6
1976	550,26	-55	415,5
1977	517,40	-193,4	289,8
1978	556,40	-108,9	460,6
2001	489,40	-49,1	551,9
2002	584,70	39,8	426,5
2003	618,20	-260,8	376,1
2004	491,30	-15,3	548,2
2005	435,80	-99,1	523,7
2006	633,00	-86,4	369,9
2007	639,78	-80,9	421,3
2008	371,50	17,8	516,9
2009	368,10	-194,9	268,5

A comparação entre a disponibilidade hídrica e a descarga fluvial média anual em Cáceres (Quadro 13, Figura 41) demonstra que não há relação entre as variáveis, seja no que diz respeito à evapotranspiração potencial ou à real. Os valores que constam na Figura 39 mostram a existência de ciclos de aumento e diminuição dos valores de vazão e de disponibilidade hídrica, mas enquanto a descarga aumenta dentro de um ciclo, a disponibilidade hídrica diminui. Isso significa que a descarga fluvial medida em Cáceres depende mais da precipitação das cabeceiras do que a da região onde está localizada a referida estação.

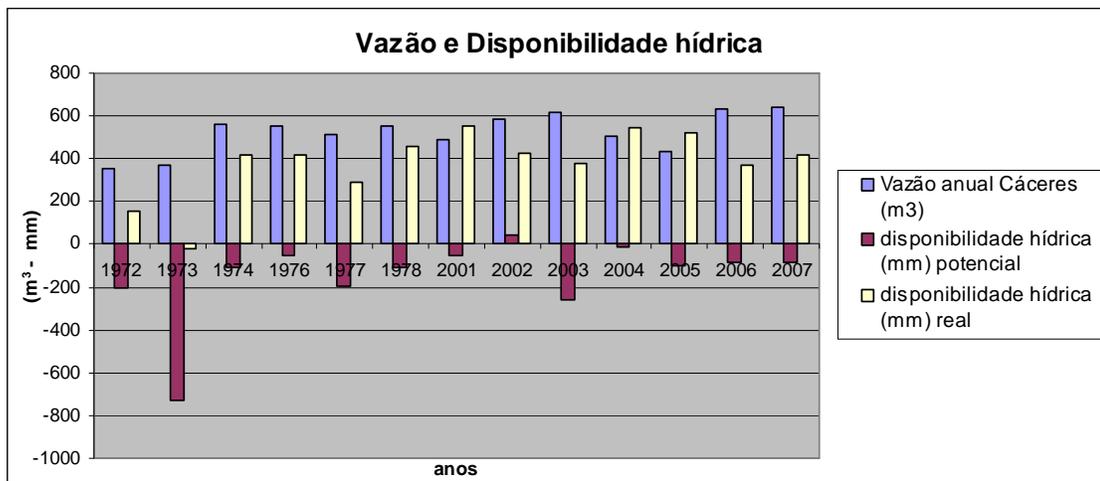


Figura 41: Valores de vazão média anual e disponibilidade hídrica em Cáceres, nos anos com dados de evapotranspiração e precipitação

A comparação da precipitação anual de Cáceres (Figura 42) com a precipitação registrada na estação de Barra do Bugres (Figura 43) mostra que os acumulados registrados na segunda estação são sistematicamente maiores que os da primeira, o que confirma a afirmação da importância do aporte de água a partir das cabeceiras. Infelizmente, a ausência de dados de evapotranspiração em Barra do Bugres impede a determinação da disponibilidade de água em área de cabeceira da bacia.

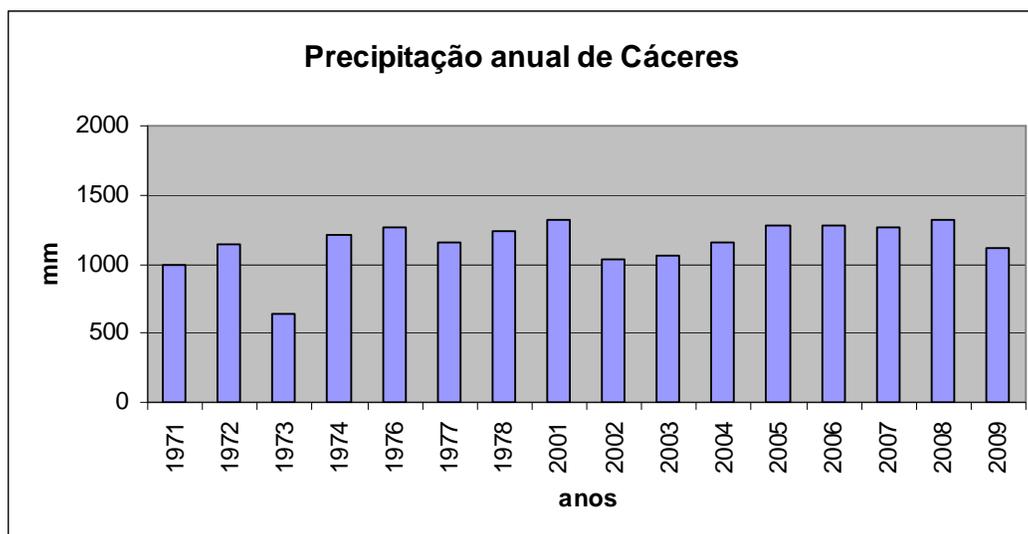


Figura 42: Precipitação anual na Estação Pluviométrica de Cáceres, nos anos com dados de evapotranspiração

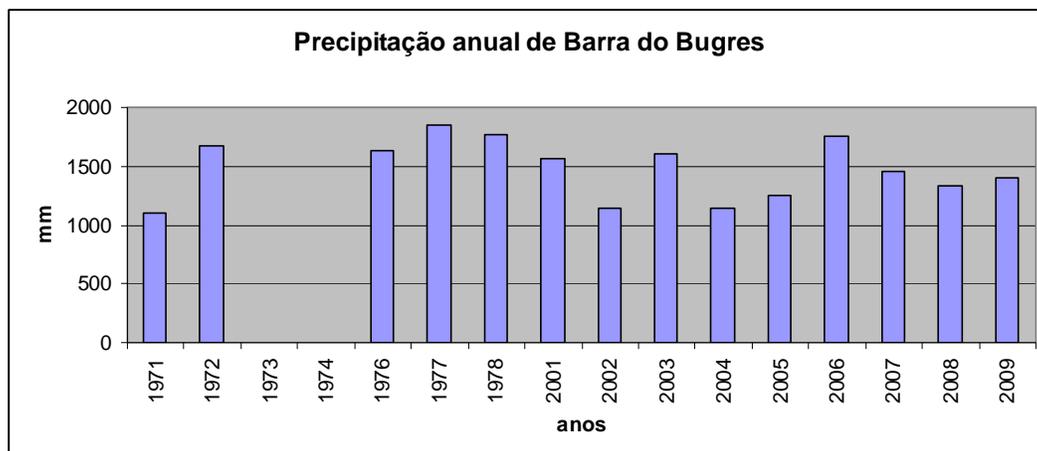


Figura 43: Precipitação anual na Estação Pluviométrica de Barra do Bugres, nos anos com dados de evapotranspiração. Os anos de 1973 e 1974 não têm dados disponíveis

Contudo, a Figura 44 evidencia, também, que nos anos de 1970 as diferenças entre a disponibilidade hídrica e a descarga em Cáceres eram muito maiores do que as dos anos 2000. Essa é uma indicação de que o aumento da disponibilidade hídrica em Cáceres possa estar contribuindo para o aumento da descarga fluvial. A comparação entre a precipitação anual e a descarga média anual em Cáceres (Figura 45) demonstra que a vazão aumentou mais que os valores acumulados de chuva, o que reforça a afirmação. A esse respeito, Tucci e Clark (1998) já haviam observado o fenômeno e atribuíram o aumento do débito à remoção da cobertura vegetal.

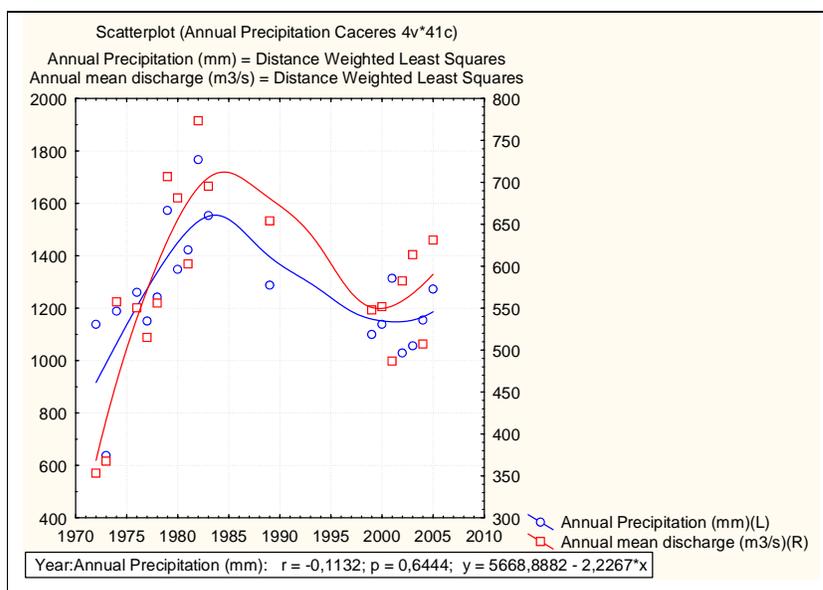


Figura 44: Relação entre precipitação e a vazão em Cáceres no período entre 1972 e 2005

Fonte: Souza Filho, 2012

A mesma situação pode ser observada em Barra do Bugres (Figura 45) e o que pode ser observado é que assim como na Figura 44, o ano de 1977 marca o cruzamento das duas curvas. Ou seja, é provável que este ano marque a passagem entre um período em que as relações naturais ainda persistiam (mesmo que sob influência das atividades humanas) e o período atual, sob domínio das condições antrópicas. O grau de ocupação observado em 1977 (Figuras 12 a 14 e Quadro 9) pode ser a causa deste efeito.

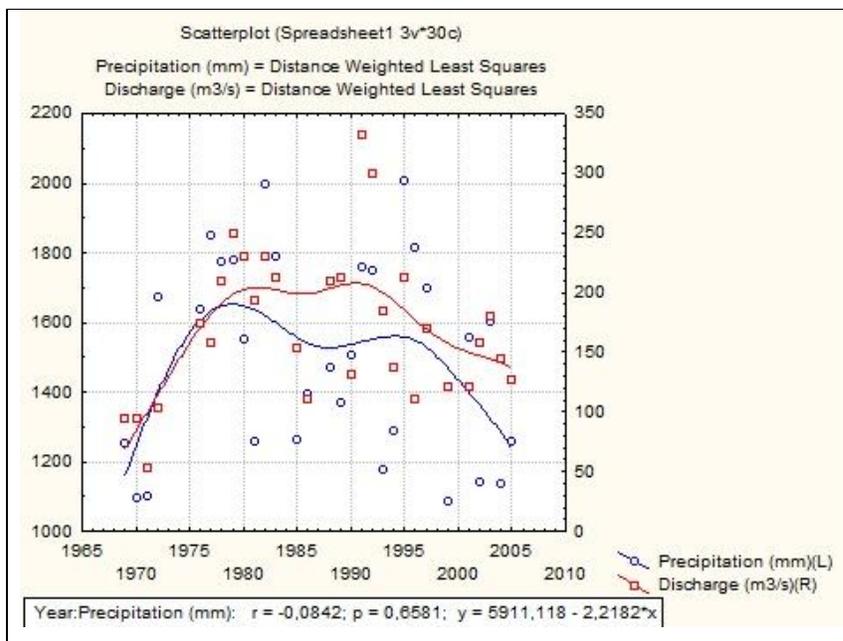


Figura 45: Relação entre precipitação e a vazão em Barra do Bugres no período entre 1969 e 2005

Fonte: Souza Filho, 2012

Tais análises refletem a situação pontual nas duas cidades mencionadas, mas os valores de descarga são o produto de processos regionais. Nesse caso, é fundamental que seja feita a generalização dos valores de evapotranspiração. Os dados obtidos por Andrade et al. (2009) para o Pantanal (Figura 46) foram utilizados para a realização deste procedimento. Tais valores foram comparados por outros estudos similares (BASTIAANSEN, 2000; PEREIRA et al., 2007; ANDRADE, 2008; FRAGA, 2009) para a averiguação de sua confiabilidade.

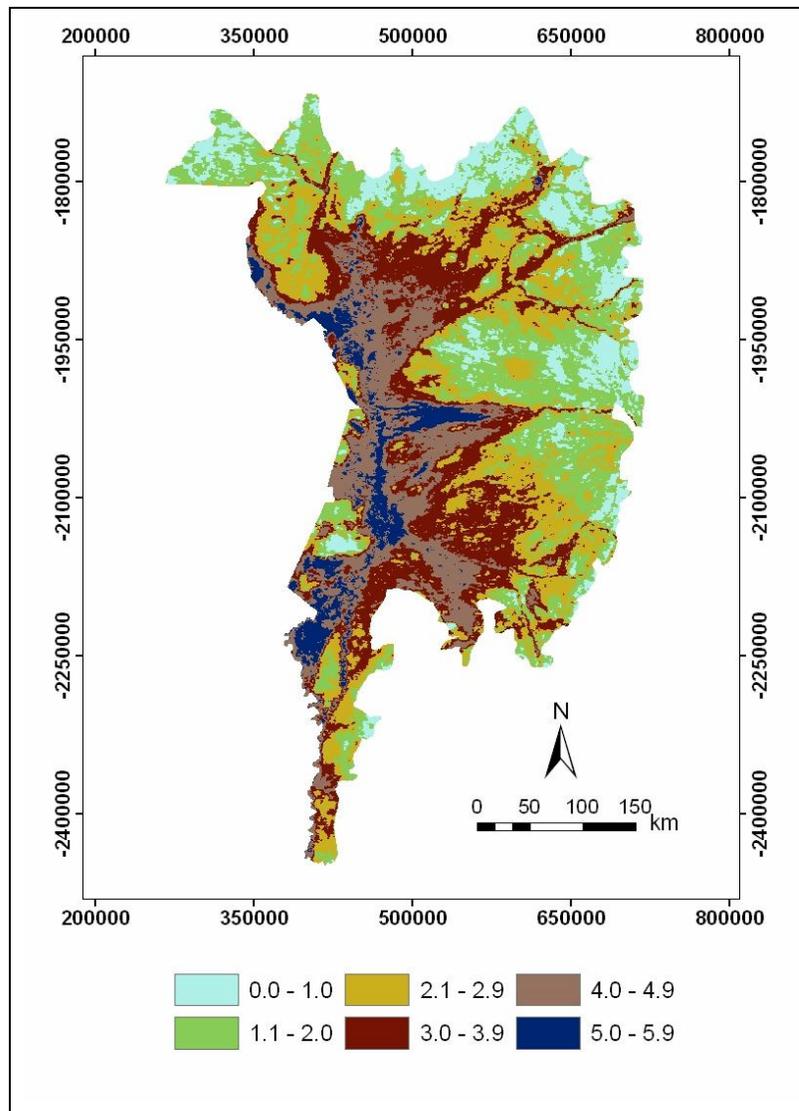


Figura 46: Valores de evapotranspiração real diária na região do Pantanal  
 Fonte: Andrade et al. (2009)

O resultado da ponderação encontra-se no Quadro 14. Pelo observado, há uma tendência de diminuição dos valores ao longo do tempo, ainda que com oscilações ocasionais. A Figura 47 mostra a tendência temporal da variável e o valor de  $r^2$  demonstra que o resultado é confiável.

Quadro 14: Resultado da ponderação da área de cada classe pelos respectivos valores de EVT obtidos por Andrade et al. (2009)

Classes	EVT anual por classe (mm)	EVT calculado (mm)							
		1977	1981	1987	1990	1992	1997	2005	2007
<b>Vegetação</b>	1022	482,8	552,4	395,7	402,8	361,0	402,2	321,1	294,9
<b>Pastagem</b>	584	149,4	129,4	230,5	61,4	163,3	102,1	92,7	121,4
<b>Água</b>	1752	217,8	89,5	105,7	129,9	60,7	104,6	116,1	115,4
<b>Culturas</b>	511	51,8	73,8	56,8	190,3	140,7	165,9	186,1	169,4
<b>Solo exposto</b>	657	30,3	27,9	30,7	35,6	37,6	31,1	63,5	69,8
<b>Total</b>		<b>932,1</b>	<b>872,9</b>	<b>819,3</b>	<b>820,0</b>	<b>763,2</b>	<b>805,9</b>	<b>779,4</b>	<b>770,9</b>

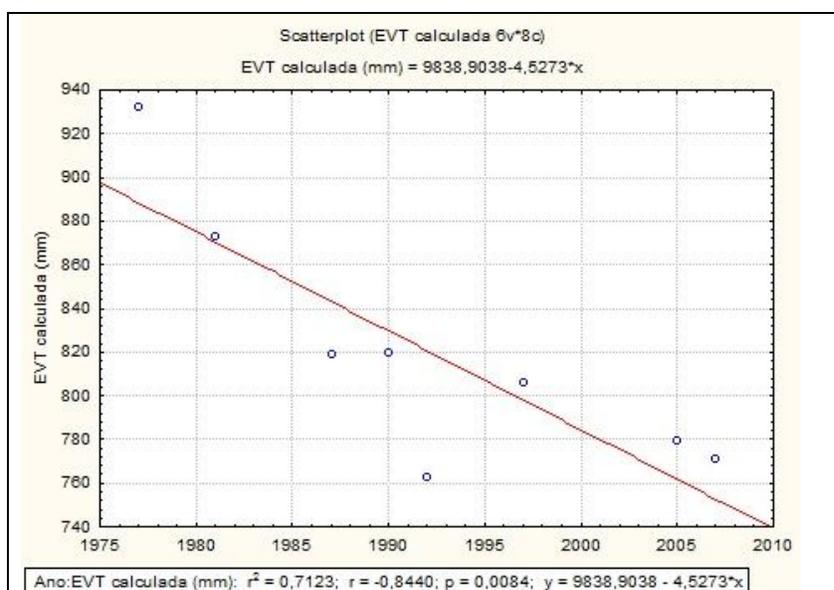


Figura 47: Resultado da análise de regressão linear entre tempo e os valores de EVT calculados para a área de estudo

O Quadro 15 apresenta os resultados dos valores calculados e os resultados da EVT potencial e real obtidos em Cáceres. A ausência de dados nos anos de 1980 e 1990 dificulta a comparação, mas pode ser verificado que os dados calculados são mais próximos da EVT real. Além disso, nos dois primeiros anos apresentados no quadro os valores calculados são maiores que a EVT real, mas em 2007 o valor calculado é menor.

Quadro 15: Valores de EVT calculados para a bacia e valores de EVT potencial e real obtidos na estação de Cáceres

Ano	EVT Calculada (mm)	EVT potencial (mm)	EVT real (mm)
<b>1977</b>	932,1	1.344,1	860,9
<b>2005</b>	779,4	1.371,6	748,8
<b>2007</b>	770,9	1.343,80	841,6

O cálculo da disponibilidade hídrica do sistema encontra-se no Quadro 16 e na Figura 48. No caso, os valores de precipitação são o resultado da ponderação dos valores acumulados anuais registrados nas estações de Barra do Bugres e de Cáceres pela área de influência de cada estação. Para a ponderação, foi utilizada a área da bacia em Cáceres (32.120 km<sup>2</sup>) e a área da bacia em Barra do Bugres (10.120 km<sup>2</sup>). Uma vez que o segundo valor faz parte do primeiro, foi realizada a subtração, resultando na proporção de 22/10 ou 2,2/1.

Quadro 16: Evapotranspiração calculada, precipitação ponderada, disponibilidade hídrica na bacia e descarga fluvial em Cáceres. Os dados de 1987 não estavam disponíveis para a estação de Cáceres

Ano	EVT Calculada (mm)	Precipitação ponderada (mm)	Disponibilidade Hídrica (mm)	Vazão em Cáceres (m <sup>3</sup> /s)
1977	932,1	1370,0	437,9	517,40
1981	872,9	1371,2	498,3	607,00
1987	819,3			521,60
1990	820,0	1343,2	523,2	537,80
1992	763,2	1372,0	608,8	680,60
1997	805,9	1397,3	591,4	728,40
2005	779,4	1267,8	488,4	435,80
2007	770,9	1284,9	514,0	433,80

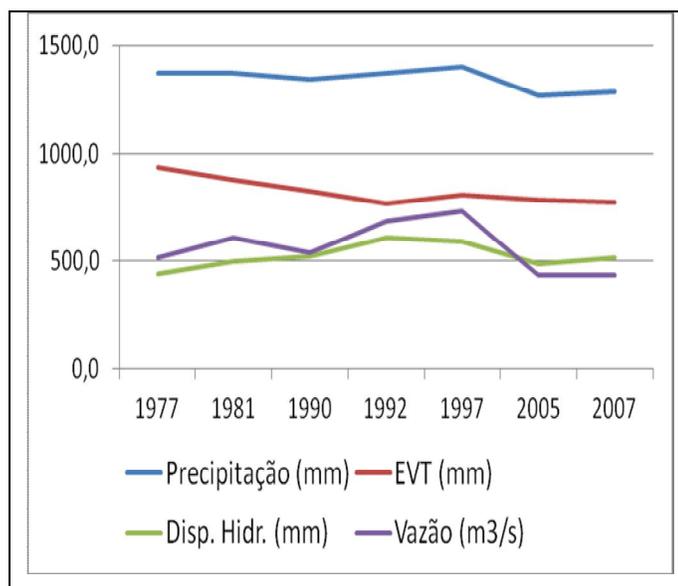


Figura 48: Representação gráfica dos valores de evapotranspiração calculada, precipitação ponderada, disponibilidade hídrica na bacia e descarga fluvial em Cáceres

Os dados apresentados no Quadro 16 e na Figura 48 permitem verificar que a relação entre a disponibilidade hídrica do sistema e a descarga tornou-se mais clara, assim como a da precipitação e a última variável mencionada.

Nesses anos, a precipitação mostra tendência de aumento até 1997 e diminui nos anos seguintes. A evapotranspiração mostra tendência de diminuição contínua, com exceção do pequeno aumento em 1997, proporcionado pela recuperação da vegetação e pelo aumento da área de água, conforme apresentado nos Quadros 8 e 9. Por sua vez, a disponibilidade hídrica e a vazão aumentam até 1997 e diminuem nos dois anos da última década. A diminuição dos valores dessas duas variáveis pode estar relacionada à diminuição da precipitação, que foi bastante acentuada e proporcionalmente maior que a da evapotranspiração.

A variação da razão entre a precipitação e a evapotranspiração está exposta na Figura 49 e mostra tendência de aumento até 1992, diminui até 2005 e volta a aumentar em 2007. Ou seja, no período de aumento da precipitação e diminuição da EVT, a proporção entre as variáveis aumentou de 1,47 para 1,80. O aumento da EVT em 1997 fez a razão diminuir para 1,73 e a diminuição da precipitação fez com que os valores chegassem a valores pouco maiores que 1,6. Ou seja, a diminuição da precipitação não foi compensada pela redução da EVT, fazendo com que tanto a disponibilidade hídrica quanto a descarga fluvial diminuíssem.

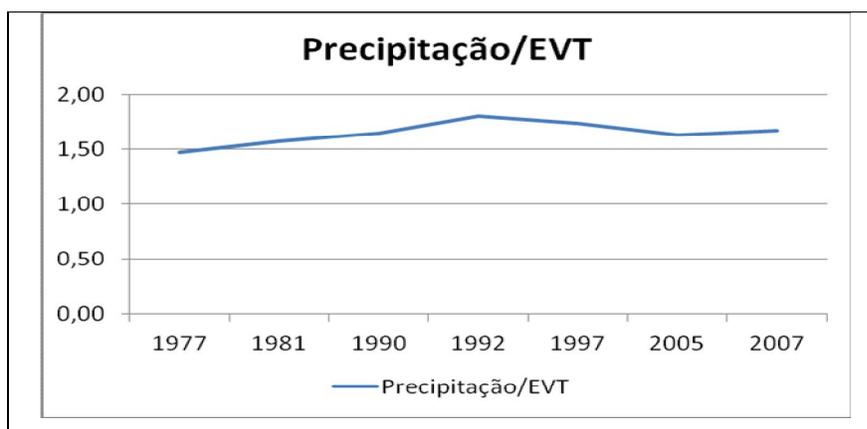


Figura 49: Variação temporal da razão entre precipitação ponderada e evapotranspiração calculada

Por outro lado, a variação temporal da razão entre a precipitação e a disponibilidade hídrica no sistema (Figura 50) demonstra que a precipitação necessária para dispor um determinado volume ao sistema diminuiu de 3,13 mm em 1977 para 2,25 em 1992 e após uma pequena elevação, atingiu 2,5 em 2007. Ou seja em 1977 era necessário a precipitação de 3,13

$l/m^2$  para tornar 1 litro disponível ao sistema e em 2007 era necessário apenas a precipitação de  $2,5 l/m^2$ .

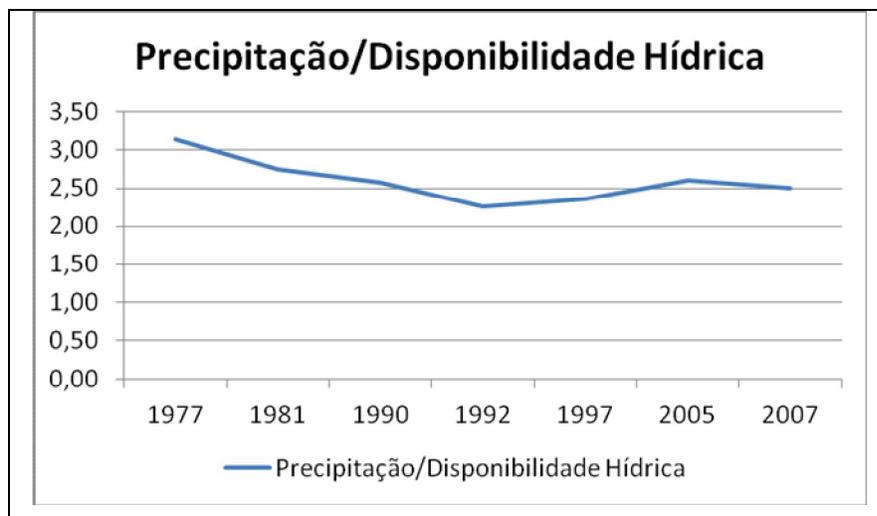


Figura 50: Variação temporal da razão entre a precipitação ponderada e a disponibilidade hídrica do sistema

Por outro lado, a variação temporal da razão entre a disponibilidade hídrica e a descarga fluvial (Figura 51) demonstra que até 1997, para cada  $1 m^3/s$  era necessária a disponibilidade de  $0,85 l/m^2$  no sistema e, em 2005 e 2007, foi necessário a disposição de mais de  $1,1 l/m^2$ . Uma vez que nesses dois anos a precipitação ponderada foi inferior a 1300 mm, é provável que parte desta água tenha sido mantida no sistema, na forma de armazenamento ou como conteúdo de umidade da vegetação.

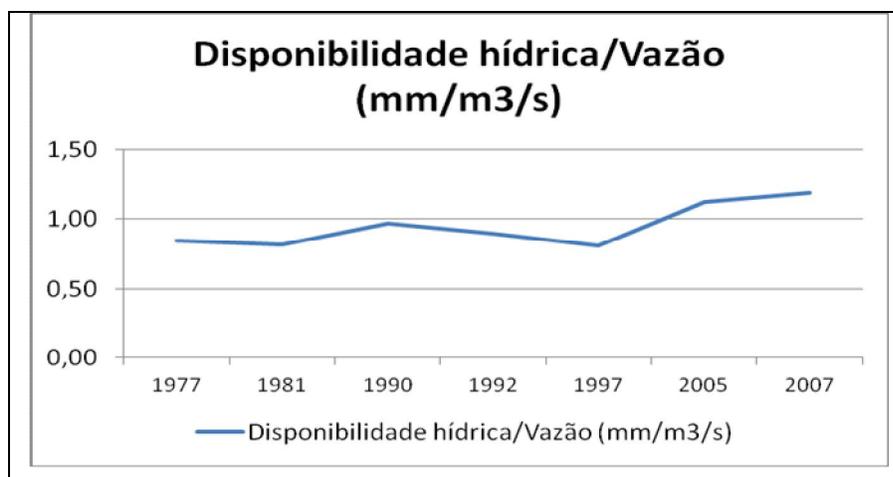


Figura 51: Variação temporal da razão entre a disponibilidade hídrica do sistema e a descarga fluvial em Cáceres

A situação descrita pode ser responsável pelos valores resultantes da razão entre a precipitação ponderada para a bacia e a descarga fluvial em Cáceres. À semelhança da Figura 51, o gráfico da Figura 52 também apresenta tendência de queda até 1997 e tende a aumentar em 2005 e 2007. Ou seja, em anos mais secos, parte da água que poderia estar disponível para o sistema repõe o armazenamento subterrâneo e a umidade da vegetação.

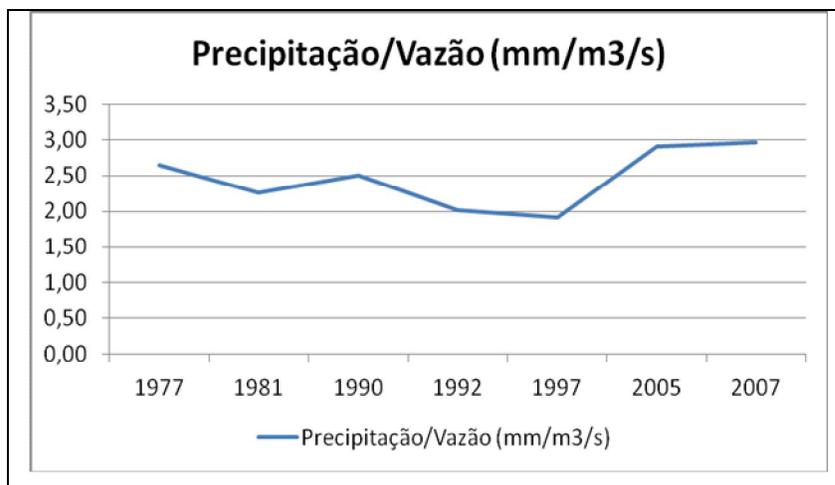


Figura 52: Variação temporal da razão entre a precipitação ponderada na bacia e a descarga fluvial em Cáceres

Para finalizar, as duas formas de análise demonstraram que a evapotranspiração diminuiu na bacia e a disponibilidade de água no sistema aumentou. A descarga fluvial, por sua vez, aumentou na maior parte do período, mas voltou a diminuir no final da década passada. No período estudado, a capacidade fluvial aumentou durante as duas primeiras décadas e diminuiu nos anos 2000. O intervalo em que o rio apresentou maior capacidade foi o compreendido pela década de 1990.

A relação temporal entre a disponibilidade hídrica e a descarga máxima anual em Cáceres, nos anos analisados, encontra-se na Figura 53. Pelo exposto, a descarga máxima anual não guarda relação direta com a disponibilidade hídrica, mas uma vez que a descarga máxima está relacionada com os acumulados do período chuvoso, é possível que a relação possa ser feita a partir de dados mensais.

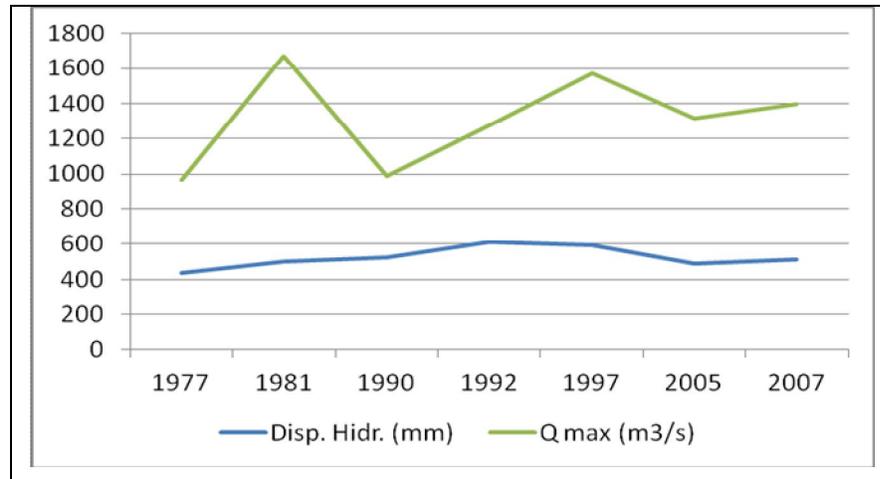


Figura 53: Variação da disponibilidade hídrica do sistema e da descarga máxima anual na estação de Cáceres

Por outro lado, a relação entre a descarga mínima anual em Cáceres e a disponibilidade de água no sistema (Figura 54) demonstra que os valores de vazão acompanham a variação da oferta de água no sistema.

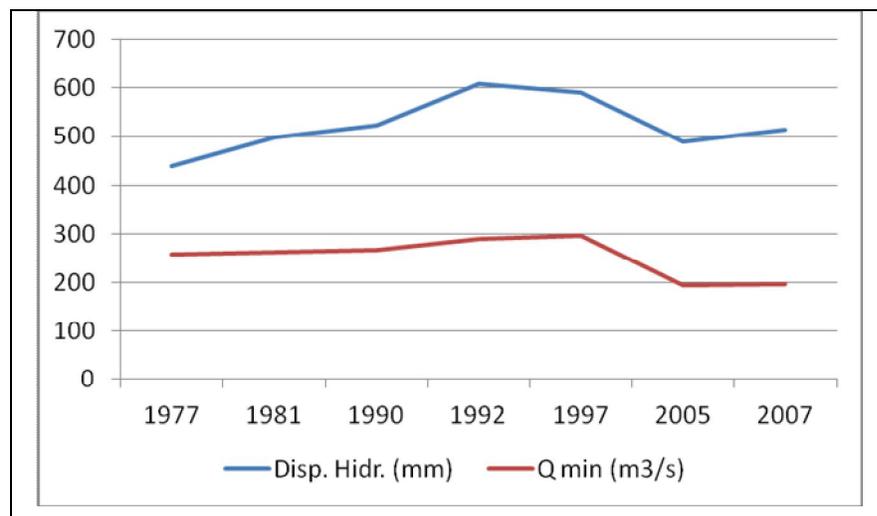


Figura 54: Variação da disponibilidade hídrica do sistema e da descarga mínima anual na estação de Cáceres

Para finalizar, as duas formas de análise demonstraram que a evapotranspiração diminuiu na bacia e a disponibilidade de água no sistema aumentou. A descarga fluvial, por sua vez, aumentou na maior parte do período, mas voltou a diminuir no final da década passada. No período estudado, a capacidade fluvial aumentou durante as duas primeiras décadas e diminuiu nos anos 2000. O intervalo em que o rio apresentou maior capacidade foi o compreendido pela década de 1990.

### 5.3 O Gradiente Hidráulico e a Potência de Corrente

A capacidade erosiva, o transporte e a deposição de sedimentos são determinados por alguns fatores, entre eles a velocidade da água. A água em alta velocidade pode ocasionar erosão e transporte, enquanto em baixa velocidade pode proporcionar a deposição.

Nota-se que o regime de débitos, a potência da corrente, o gradiente hidráulico, a velocidade de fluxo, o transporte de sedimentos e a mobilidade do canal são variáveis dinâmicas, enquanto o gradiente do leito, a sinuosidade, a forma da seção transversal, a largura, a profundidade, a tipologia das barras, e as características da planície de inundação são variáveis morfológicas. Dessa forma, o canal fluvial pode ser caracterizado tanto por variáveis morfológicas quanto dinâmicas.

Dentre algumas dessas variáveis estudadas estão o comprimento do canal fluvial (Figura 55) e a sinuosidade (Figura 56), Quadro 17. As variações do comprimento do canal indicam que a sinuosidade aumentou entre 1977 e 1990, diminuiu em 1992 e 1997, para voltar a aumentar em 2004.

Quadro 17: Evolução dos valores do comprimento do segmento fluvial e da sinuosidade do rio Paraguai na área estudada. (\* valores obtidos por GRIZIO et al. 2011)

Ano	Comprimento (km)	Sinuosidade
1977	284,5	2,2
1981	272,0	2,1
1987	266,1	2,1
1990	263,3	2,1
1992	261,6	2,0
1997	257,7	2,0
2004*	283,0	2,2
2005	263,1	2,1
2006*	291,0	2,3
2007	264,5	2,1

Os valores de comprimento do canal e da sinuosidade variaram em ciclos de aumento e diminuição. Os ciclos de aumento estão relacionados ao desenvolvimento dos meandros e as diminuições à ocorrência de avulsões, que tornaram o canal menos sinuoso, processo já descrito por Grizio (2008) e Grizio et al. (2010).

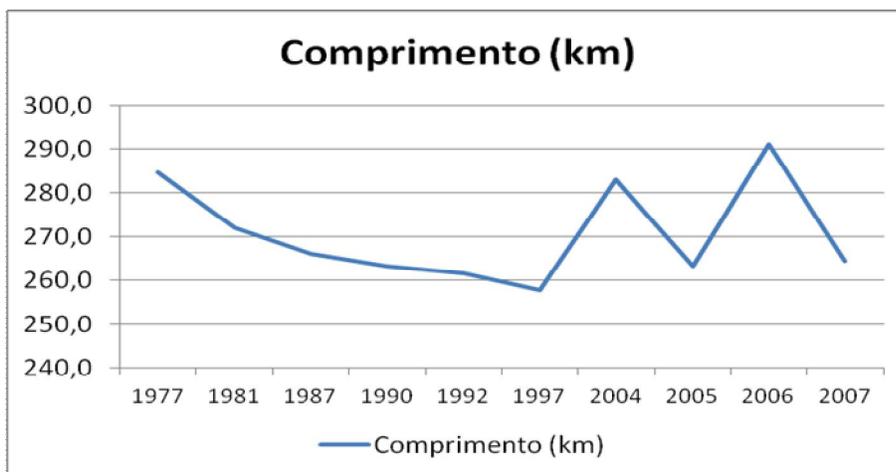


Figura 55: Valores do comprimento do segmento fluvial

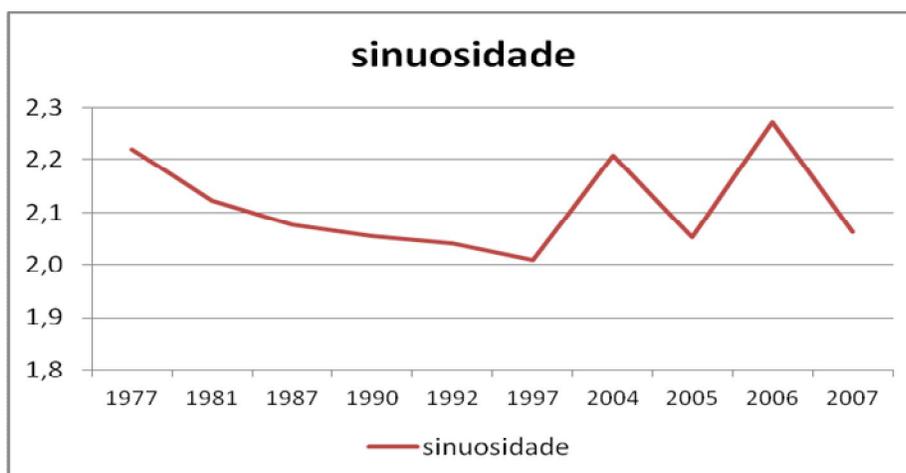


Figura 56: Valores de sinuosidade nos anos estudados

Os dados de comprimento do canal foram utilizados para o cálculo do gradiente hidráulico em cada ano, em vazões de margens plenas, em vazões máximas anuais e em vazões mínimas anuais.

Os valores do gradiente hidráulico, entre as estações de Barra do Bugres e Cáceres em descarga de margens plenas, encontram-se no Quadro 18 e Figura 57. Como pode ser observado, a série obtida também mostra ciclos de aumento e diminuição, com valores mais baixos em 1977 e 1987. Em tese, o gradiente hidráulico deveria aumentar conforme a diminuição do comprimento do canal e vice e versa. Contudo, a diferença de nível entre as duas estações pode modificar tal quadro, uma vez que a descarga de margens plenas não é simultânea nas duas seções fluviais.

Apesar das variações, os dados demonstram que o gradiente hidráulico tendeu a aumentar entre 1977 e 2007. Isso significa que a velocidade de fluxo em Cáceres tendeu a aumentar em vazão de margens plenas.

Quadro 18: Variação temporal da diferença de nível da água e do gradiente hidráulico em margens plenas

Data	Diferença de nível (m)	Gradiente Hidráulico (cm/km)
02/01/1977	29,44	10,35
06/01/1981	31,76	11,68
26/04/1987	27,97	10,51
13/01/1990	29,31	11,13
18/05/1992	28,46	10,88
14/12/1997	29,49	11,44
18/01/2005	29,05	11,04
23/04/2007	28,48	10,77

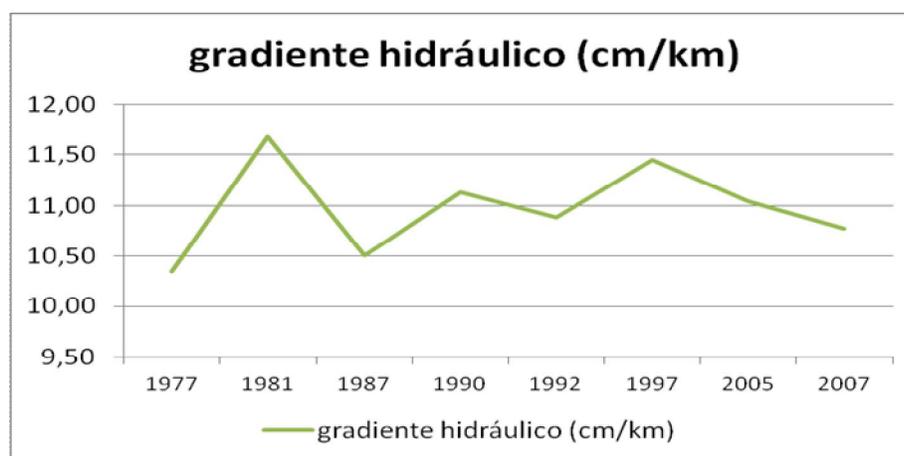


Figura 57: Variação dos valores do gradiente hidráulico em margens plenas

Os valores do gradiente hidráulico em descarga mínima anual, entre as estações de Barra do Bugres e Cáceres, encontram-se no Quadro 19 e na Figura 58. Os dados demonstram que os valores mais baixos ocorreram em 1977 e 1990 e, após esse período, tornaram-se mais elevados e relativamente estáveis.

Os valores para descarga mínima são maiores que para descarga de margens plenas, mas em canais com fluxo livre, o gradiente hidráulico aumenta conforme a descarga fluvial. A discussão a respeito disso será feita a seguir, após a apresentação dos dados obtidos a partir da descarga máxima anual.

Quadro 19: Variação temporal da diferença de nível e do gradiente hidráulico e vazão mínima

Data	Diferença de nível (m)	Gradiente Hidráulico (cm/km)
19/01/1977	35,09	12,33
27/09/1981	35,78	13,16
01/10/1987	34,93	13,13
13/01/1990	32,19	12,23
21/08/1992	35,25	13,47
07/09/1997	34,10	13,23
26/08/2005	35,24	13,39
30/09/2007	35,23	13,32

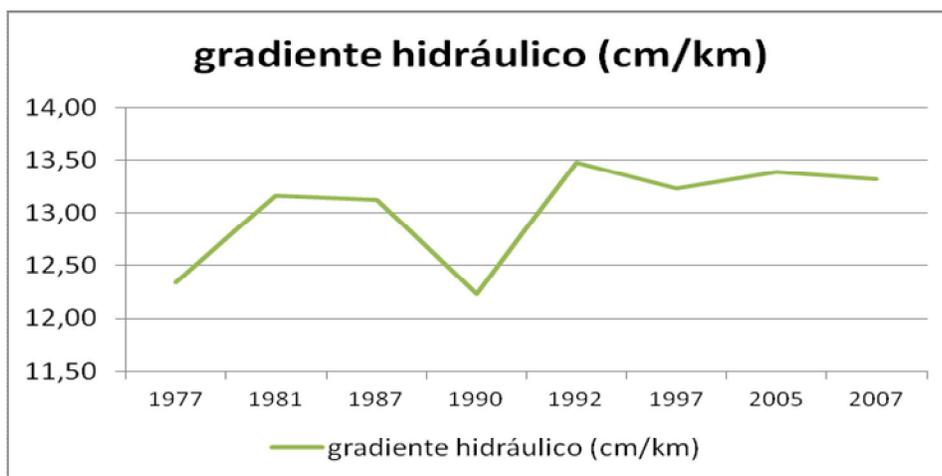


Figura 58: Variação dos valores do gradiente hidráulico em vazão mínima

Os dados do gradiente hidráulico, entre as estações de Barra do Bugres e Cáceres obtidos para a descarga máxima anual (Quadro 20 e Figura 59), indicam que, apesar das variações de valores, há uma clara tendência de aumento ao longo do período entre 1977 e 2007. O valor mais baixo foi obtido em 1987 e o mais elevado em 1997.

Quadro 20: Variação temporal da diferença de nível e do gradiente hidráulico em vazão máxima

Data	Diferença de nível (m)	Gradiente Hidráulico (cm/km)
09/01/1977	30,86	10,85
05/02/1981	29,86	10,98
07/02/1987	28,63	10,76
15/02/1990	28,88	10,97
14/12/1992	30,07	11,49
07/02/1997	29,86	11,59
08/02/2005	28,94	11,00
19/02/2007	30,39	11,49

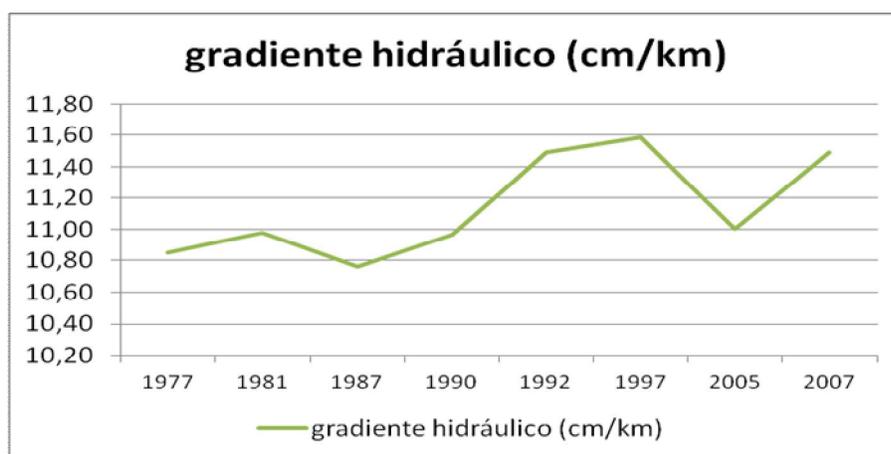


Figura 59: Variação dos valores do gradiente hidráulico em vazão máxima

Os valores obtidos para a descarga máxima são menores que os obtidos a partir da descarga mínima e próximos aos do gradiente hidráulico em vazão de margens plenas. Ou seja, a situação observada anteriormente persiste em descargas superiores à de margens plenas. A Figura 60 mostra a comparação entre os valores obtidos nas três categorias de descarga.

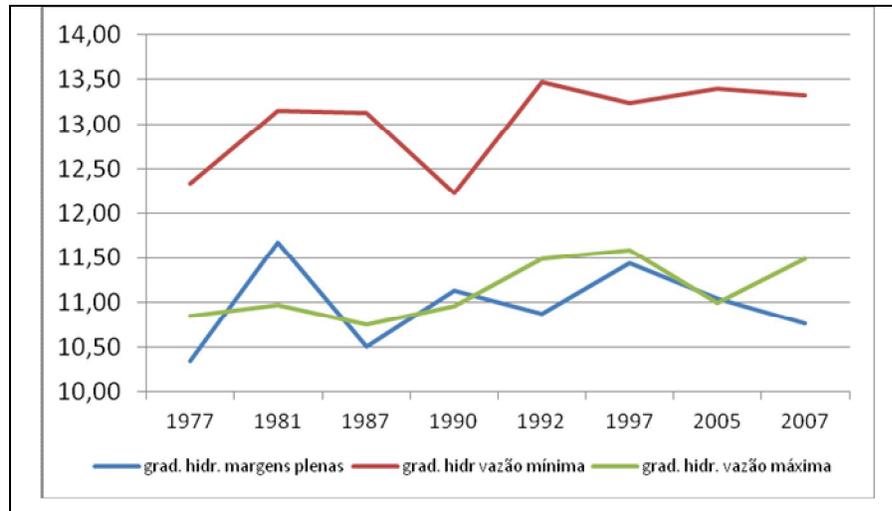


Figura 60: Valores do gradiente hidráulico em diferentes condições de descarga fluvial

Os dados demonstram que, no segmento entre Barra do Bugres e Cáceres, o canal possui maior velocidade de fluxo em baixas descargas, ou seja, sua competência é maior quando em vazão mínima do que em vazões de margens plenas ou máxima.

A obtenção de maior valor em descarga mínima pode ter duas explicações: ou a onda de cheia provoca o impedimento do fluxo por meio da inundação das áreas situadas à jusante (Pantanal), ou há uma defasagem temporal entre a passagem da cheia em Barra dos Bugres e em Cáceres. Os dados obtidos por Silva (2006) revelam que o gradiente hidráulico do segmento situado à jusante de Cáceres (entre esta cidade e Descalvados) não apresenta o mesmo comportamento (Quadro 21).

Quadro 21: Variação dos valores do gradiente hidráulico entre Cáceres e Descalvados, de acordo com Silva, 2006

Vazão (m <sup>3</sup> /s)		Gradiente hidráulico (cm/km)
Mínima	133	6,8
Média	537	8,3
Margens plenas	695	7,6
Máxima	2659	9,6

Pelo que pode ser observado no Quadro 21, o gradiente aumenta da descarga mínima para a média, mas diminui desta para a de margens plenas, voltando a aumentar na vazão máxima. Ou seja, o impedimento do fluxo ocorre a partir de descargas superiores à média, em

função do alagamento da parte jusante, mas em descarga máxima o gradiente volta a crescer, possivelmente porque o nível aumenta em Cáceres, mas é mantido em Descalvados, graças à ampla área de inundação do Pantanal.

Tais dados demonstram que a situação verificada entre Barra do Bugres e Cáceres não pode ser explicada apenas pelo impedimento de fluxo provocado pela inundação do Pantanal, mas pela combinação deste efeito com o da diferença entre o tempo de concentração das duas seções fluviais.

As Figuras 61 e 62 evidenciam a diferença de resposta da descarga em relação à precipitação nas estações mencionadas. Em Barra do Bugres, o período de chuva tem início em setembro e a descarga começa a aumentar em outubro, enquanto em Cáceres, a precipitação começa a se intensificar em agosto, mas apenas em novembro há uma resposta efetiva da descarga fluvial. Em ambos os casos, o mês de maior média é março, mas isso não significa que há coincidência entre a vazão de margens plenas ou a descarga máxima anual das duas estações.

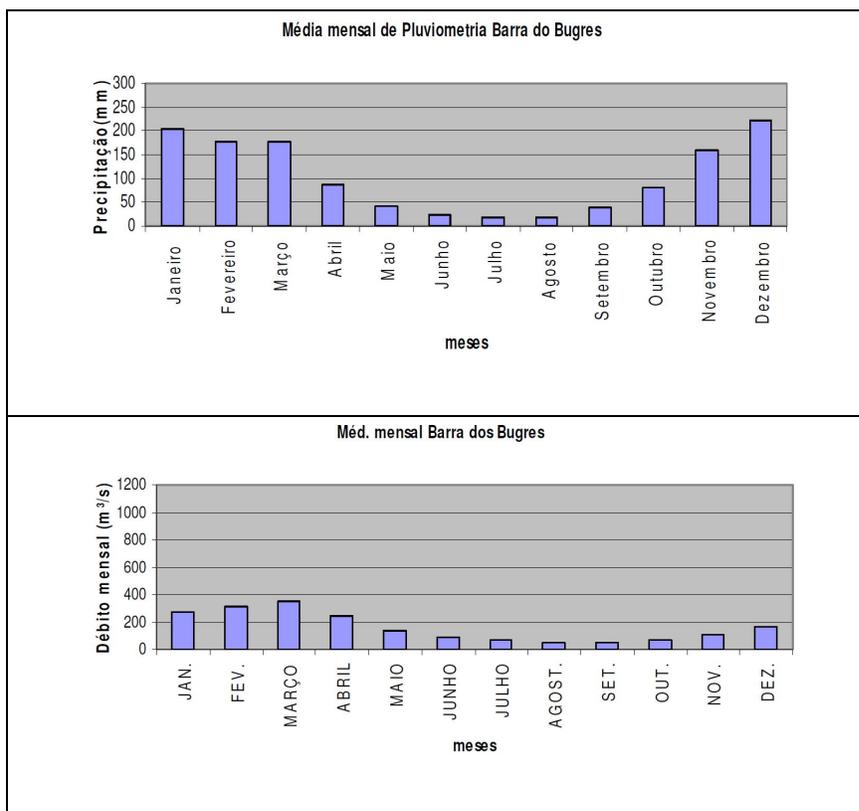


Figura 61: Precipitação média mensal e descarga média mensal na estação de Barra do Bugres, segundo Grizio (2008)

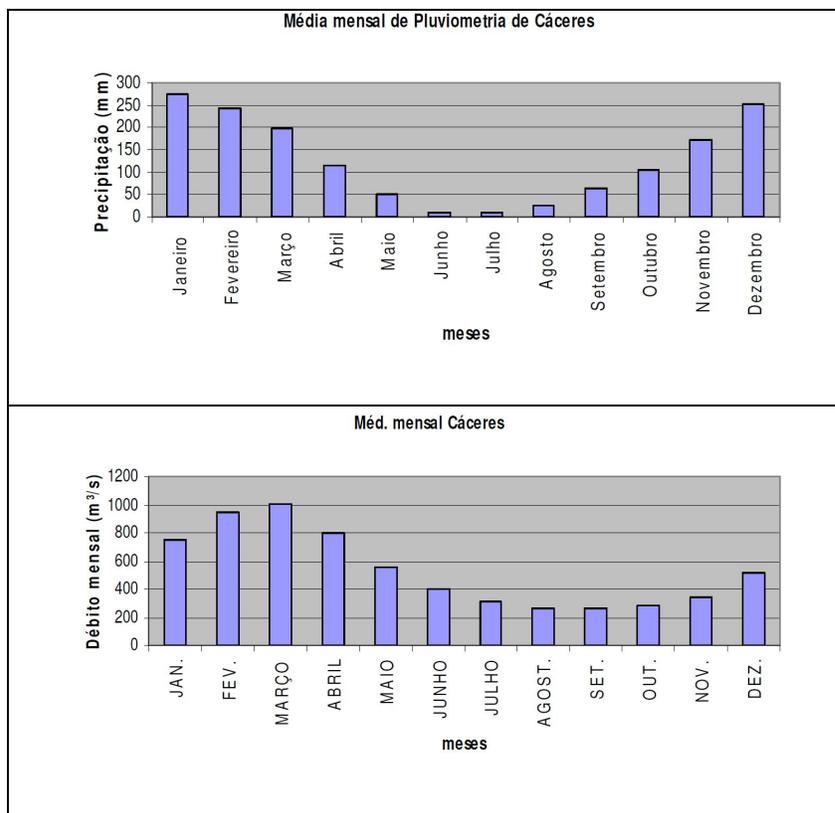


Figura 62: Precipitação média mensal e descarga média mensal na estação de Cáceres, segundo Grizio (2008)

A obtenção dos valores do gradiente hidráulico entre as duas estações permitiu a realização da estimativa da potência de corrente e da potência específica na seção de Cáceres. Os dados utilizados para a sua obtenção e os valores obtidos para a vazão de margens plenas encontram-se no Quadro 22, a Figura 63 apresenta a representação gráfica dos valores de potência específica. A variação temporal dos dados é a mesma do gradiente hidráulico em margens plenas porque, nesse caso, ela é a única variável com modificação temporal.

Quadro 22: Evolução dos valores de potência de corrente e potência específica em vazão de margens plenas em Cáceres

Data	Densidade da água (kg/m <sup>3</sup> )	G (m/s <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Gradiente hidráulico	Potência da corrente (j/s.m)	Largura (m)	Potência específica (j/s.m <sup>2</sup> )
02/07/77	1000	9,81	695	10,35	705,60	232,7	3,03
06/01/81	1000	9,81	695	11,68	796,14	232,7	3,42
26/04/87	1000	9,81	695	10,51	716,64	232,7	3,08
13/01/90	1000	9,81	695	11,13	759,06	232,7	3,26
18/05/92	1000	9,81	695	10,88	741,80	232,7	3,19
14/12/97	1000	9,81	695	11,44	780,26	232,7	3,35
18/01/05	1000	9,81	695	11,04	752,86	232,7	3,24
23/04/07	1000	9,81	695	10,77	734,25	232,7	3,16

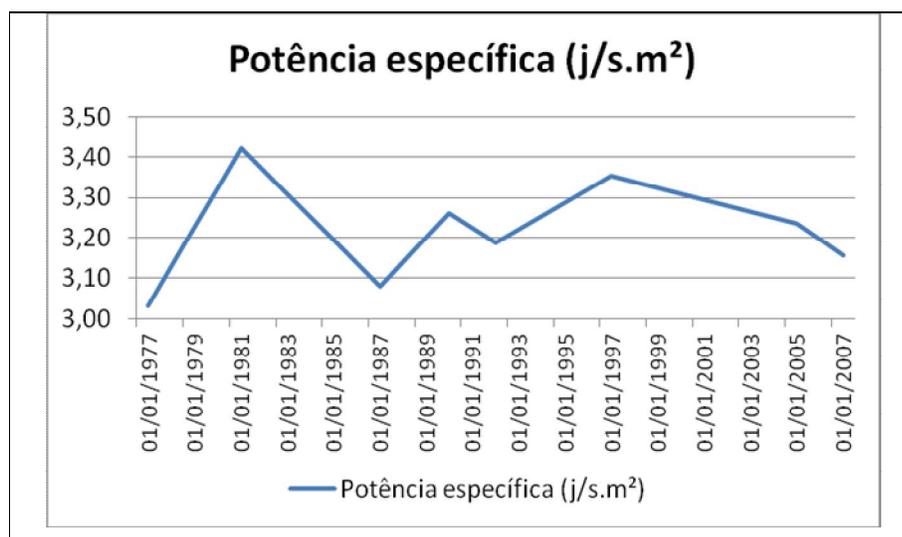


Figura 63: Representação gráfica da variação dos valores de potência específica em vazão de margens plenas na seção de Cáceres

Os valores da potência específica estão compreendidos entre 3,03 e 3,42 j/s.m<sup>2</sup>, um pouco superiores ao valor de 2,2 j/s.m<sup>2</sup> obtido por Silva (2006), para o segmento entre Cáceres e Descalvados. Isso significa que o canal possui baixa capacidade de realização de trabalho. De acordo com a classificação proposta por Nanson & Crooke (1992), o canal é de baixa energia, com margens coesivas e dominado por carga em suspensão (canal anastomosado). Tais valores são semelhantes ao obtido para o Canal Cortado, um braço secundário do rio Paraná situado nas proximidades da cidade de Porto Rico, estado do Paraná (ROCHA, 2002).

Os dados de potência de corrente em descarga mínima encontram-se no Quadro 23 e a representação gráfica da potência específica encontra-se na Figura 64. A tendência geral no período foi de diminuição da potência específica em descarga mínima, em resposta à diminuição da descarga mínima anual registrada em 2005 e 2007. Os valores obtidos são superiores a 0,4 j/s.m<sup>2</sup> obtido por Silva (2006) para o segmento imediatamente à jusante. Tais dados demonstram, que apesar do canal possuir maior competência em descarga mínima, sua capacidade de realizar trabalho é ainda menor nesta condição do que em margens plenas.

Quadro 23: Variação da potência de corrente em vazão mínima anual em Cáceres

Data	Densidade da água (kg/m <sup>3</sup> )	G (m/s <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Gradiente hidráulico	Potência da corrente (j/s.m)	Largura (m)	Potência específica (j/s.m <sup>2</sup> )
02/07/77	1000	9,81	258,8	12,33	313,15	222,8	1,41
06/01/81	1000	9,81	261,2	13,16	337,09	222,8	1,51
26/04/87	1000	9,81	232,0	13,13	298,72	221,1	1,35
13/01/90	1000	9,81	266,0	12,23	319,06	222,9	1,43
18/05/92	1000	9,81	288,8	13,47	381,75	223,5	1,71
14/12/97	1000	9,81	295,2	13,23	383,22	223,7	1,71
18/01/05	1000	9,81	199,0	13,39	261,45	221,3	1,18
23/04/07	1000	9,81	197,0	13,32	257,41	221,2	1,16

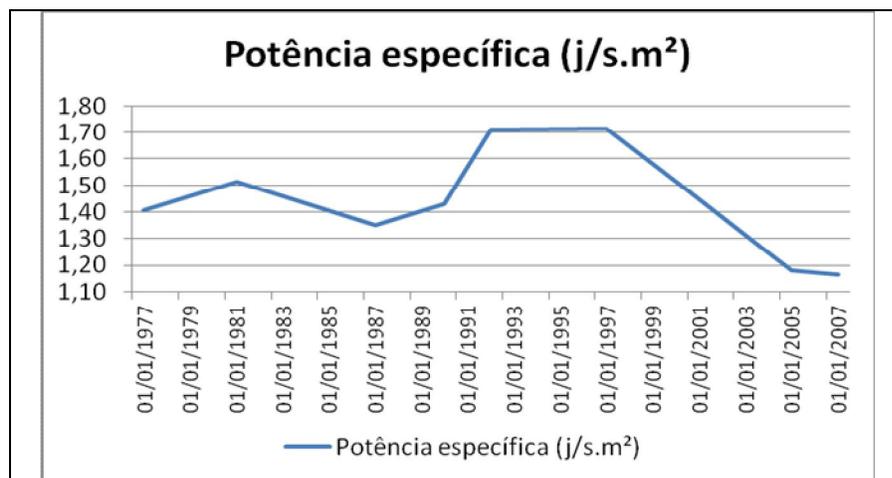


Figura 64: Representação gráfica da variação dos valores de potência específica em vazão mínima anual na seção de Cáceres

Os valores de potência de corrente calculados para as descargas máximas anuais demonstram que novamente há uma tendência de ciclos de aumento e diminuição da potência, mas que neste caso os valores são cada vez maiores, atingindo o máximo ao final do período

(Quadro 24, Figura 65). O intervalo dos valores está compreendido entre 4,40 e 8,97 j/s.m<sup>2</sup>, inferiores ao obtido por Silva (2006), que obteve 10,8 j/s.m<sup>2</sup> para a potência da corrente da maior descarga verificada em Cáceres (2504,1 m<sup>3</sup>/s). Se a descarga máxima da série tivesse ocorrido em 2007, o valor da potência específica seria de 10,12 j/s.m<sup>2</sup>.

Tais dados indicam que, mesmo nos dias com a maior descarga registrada nos anos em questão, a capacidade de realizar trabalho é baixa e o canal continua a ter as características hidrodinâmicas de rios anastomosados. Apenas na maior cheia já registrada na seção, o canal poderia ser enquadrado como meandrante argiloso, de acordo com o proposto por Nanson & Crooke (1992).

Quadro 24: Variação da potência de corrente em vazão máxima anual em Cáceres

Data	Densidade da água (kg/m <sup>3</sup> )	G (m/s <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Gradiente hidráulico	Potência da corrente (j/s.m)	Largura (m)	Potência específica (j/s.m <sup>2</sup> )
02/07/77	1000	9,81	963,0	10,85	1024,88	232,74	4,40
06/01/81	1000	9,81	1672,2	10,98	1800,93	232,85	7,73
26/04/87	1000	9,81	1527,2	10,76	1611,86	232,83	6,92
13/01/90	1000	9,81	987,8	10,97	1062,74	232,74	4,57
18/05/92	1000	9,81	1598,2	11,49	1802,04	232,84	7,74
14/12/97	1000	9,81	1571,3	11,59	1785,94	232,83	7,67
18/01/05	1000	9,81	1443,2	11,00	1557,45	232,81	6,69
23/04/07	1000	9,81	1853,0	11,49	2088,65	232,88	8,97

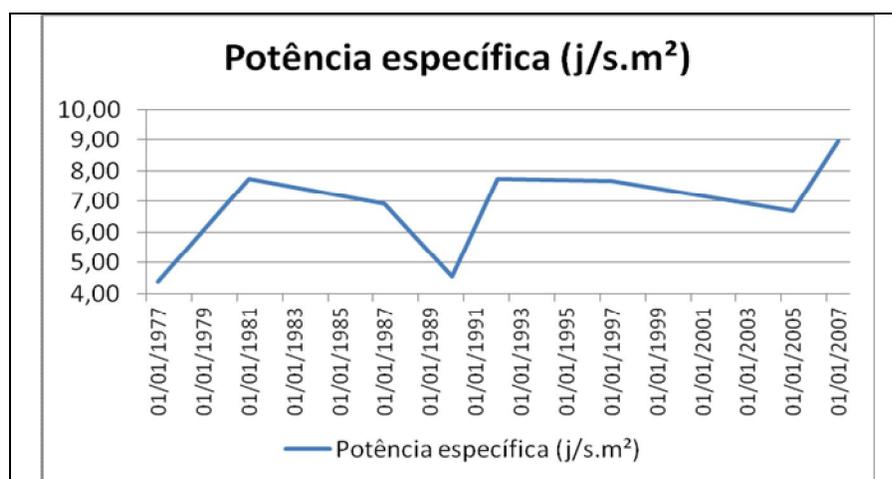


Figura 65: Representação gráfica da variação dos valores de potência específica em vazão máxima anual na seção de Cáceres

Os dados de potência de corrente demonstram que o canal vem tendo sua capacidade de realizar trabalho diminuída em vazões mínimas, mas aumentada em grandes cheias. Essa situação indica que o processo de ajuste fluvial já está bastante avançado e que prossegue apenas em períodos de cheia, o que representa um detalhamento do diagnóstico efetuado por Souza Filho (2012).

#### 5.4 Transporte de Sedimentos

Os dados relativos a transporte de sedimentos não são abundantes na bacia do rio Paraguai Superior. Dentre as estações fluviométricas existentes, apenas a de Cáceres possui dados referentes à concentração de sedimentos em suspensão e nenhuma delas dispõe de informações relativas a transporte de fundo.

A série da estação de Cáceres possui 117 dias com coleta de sedimentos suspensos, distribuídas no intervalo entre 1977 e 2010. Contudo, a amostragem não foi realizada em todos os anos e assim, 1983 e 1984, o período entre 1990 a 1992 e o ano de 1999 não possuem registro.

Os valores de concentração média de cada coleta estão expostos na Figura 66. A média de todas as amostragens é de 100 mg/l, mas a distribuição ao longo de quatro décadas demonstra que ela era de 175 mg/l entre 1977 e 1980 e diminuiu sucessivamente para 113 mg/l na década de 1980, para 51 mg/l na década de 1990 e para 48 mg/l nos anos 2000.

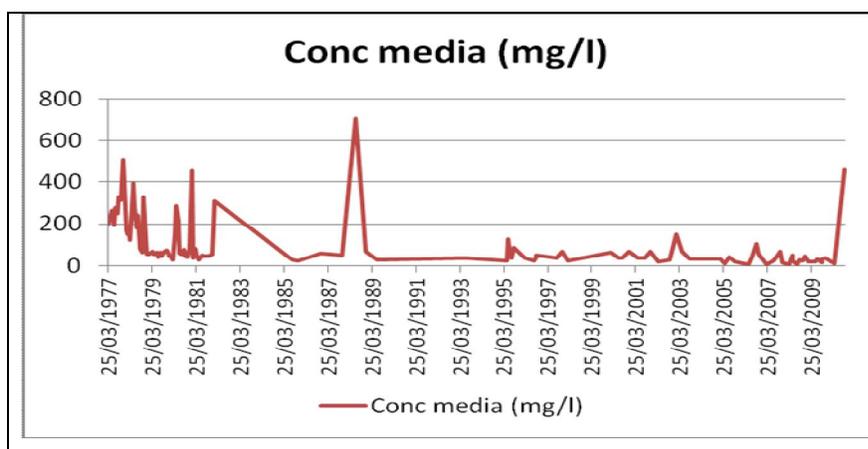


Figura 66: Representação gráfica dos dados de concentração de sedimentos em suspensão da estação de Cáceres no período entre 1977 e 2010

A distribuição dos valores ao longo do tempo (Figura 67) demonstra que a ocorrência de valores elevados era comum entre 1977 e 1982 e passou a ser esporádica nos demais

períodos de tempo. Tal distribuição permite considerar que neste período a concentração média era de 147 mg/l e a partir de 1985 diminuiu para 59 mg/l.

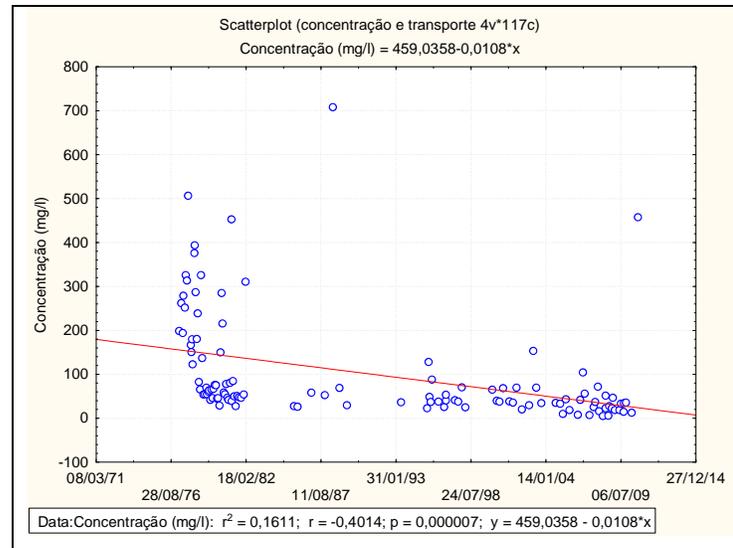


Figura 67: Variação dos valores da concentração de sedimentos em suspensão ao longo do tempo e tendência da série da estação de Cáceres no período entre 1977 e 2010

Tais dados demonstram que entre 1982 e 1985 a concentração de sedimentos variou em valores inferiores a 100 mg/l, descontando-se as 5 ocorrências em que números mais elevados foram obtidos. Contudo, a simples análise da concentração não é suficiente para avaliar as condições da carga em suspensão, uma vez que o transporte fluvial também depende da descarga em que a concentração foi obtida. A Figura 68 apresenta a distribuição temporal dos valores de transporte obtidos para a série.

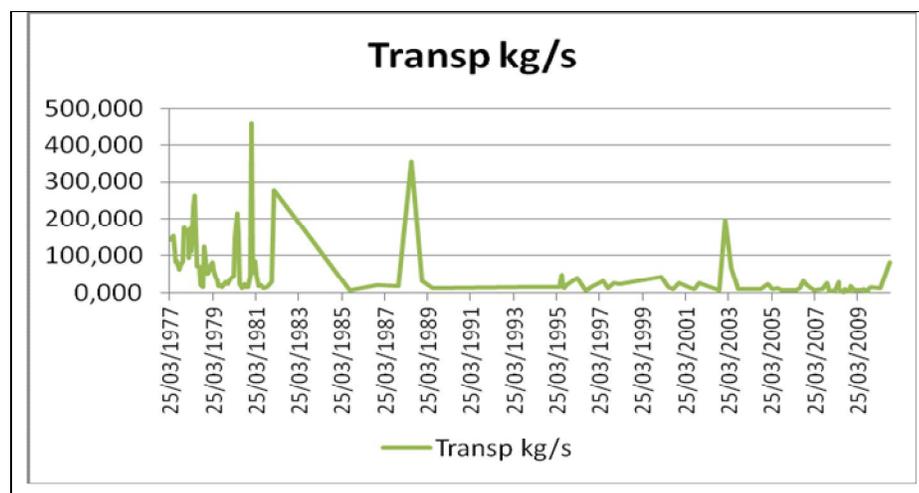


Figura 68: Representação gráfica dos dados de transporte de sedimentos em suspensão da estação de Cáceres no período entre 1977 e 2010

Para efeito de comparação com os dados de concentração, o valor médio obtido entre 1977 e 1980 foi de 88 kg/s, diminuiu para 78 kg/s na década seguinte, e estabilizou em 21 kg/s nas últimas duas décadas. No período entre 1977 e 1982 o transporte médio foi de 85 kg/s e a partir de 1985 passou a 26 kg/s.

A distribuição dos dados de transporte ao longo do tempo (Figura 69) mostra que o que foi comentado para a concentração pode ser dito para o transporte. Ou seja, o transporte era significativamente mais alto entre 1977 e 1982 e em 1985 ele já era bem menor, raramente ultrapassando 50 kg/s.

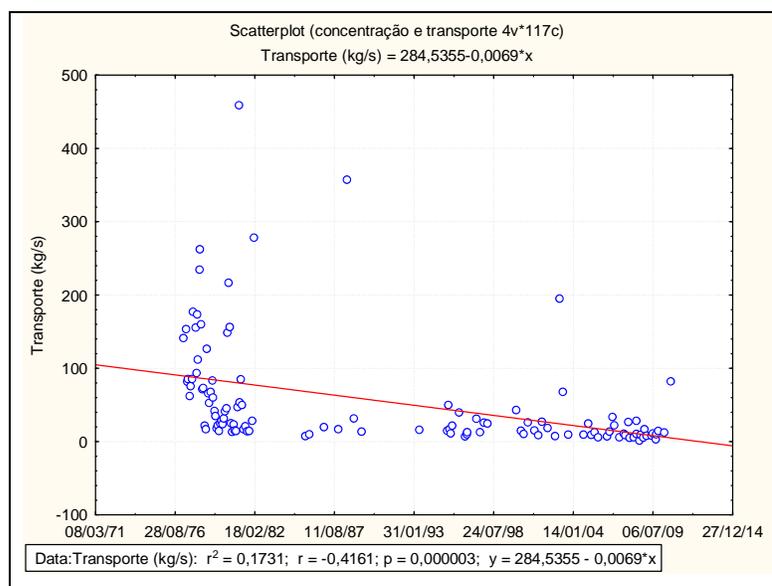


Figura 69: Variação dos valores do transporte de sedimentos em suspensão ao longo do tempo e tendência da série da estação de Cáceres no período entre 1977 e 2010

Contudo, tais valores não representam o transporte médio anual porque tanto a concentração de sedimentos em suspensão quanto a descarga fluvial variam constantemente. A avaliação mais adequada do transporte médio anual pode ser feita quando pode ser estabelecida uma função entre os dados de transporte diário e a descarga fluvial. Uma vez que a descarga tem monitoramento contínuo, é possível estimar com mais segurança o valor do transporte médio.

Uma das formas de obtenção da referida função é a utilização de análise de regressão utilizando a descarga fluvial como variável independente e a concentração como variável dependente. A análise realizada a partir dos dados totais não obteve a confiabilidade

necessária para a utilização da equação (Figura 70), porque o valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) foi muito baixo.

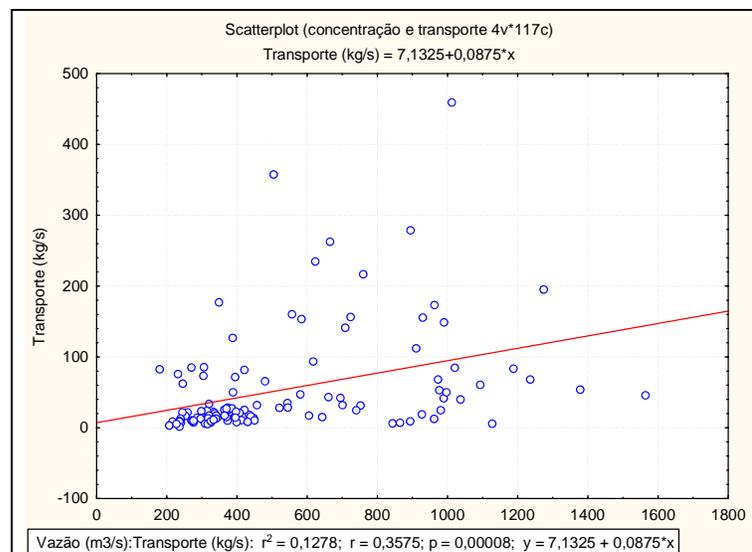


Figura 70: Análise de regressão linear dos dados de descarga fluvial e de transporte da estação de Cáceres

A realização da referida análise em intervalos de tempo menor permitiu a obtenção de valores mais confiáveis, especialmente para o período entre 1977 e 1982 (Quadro 25). Os dados obtidos para transporte médio anual demonstram que o transporte médio entre 1977 e 2010 foi de no mínimo 33,92 kg/s e no máximo de 36,20 kg/s, dependendo da equação utilizada para os anos sem amostragem.

Quadro 25: Equações obtidas a partir da análise de regressão (descarga/transporte), seus respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), e os valores de transporte médio anual. Os valores repetidos dizem respeito aos anos em que não há dados de concentração ou transporte

Data	Vazão m <sup>3</sup> /s	Função	r <sup>2</sup>	Transporte (kg/s)	Função	r <sup>2</sup>	Transporte (kg/s)		
1977	517,40	T=41,1789+0,1321.Q	0,7506	109,53					
1978	556,40			114,68					
1979	711,60	T=1,4082+0,0578.Q	0,9265	42,54					
1980	683,00	T=0,1662.Q-43,1181	0,8035	70,40					
1981	607,00	T=0,1487X- 37,4556.Q	0,6867	52,81					
1982	776,50			78,01					
1983	699,30			66,53			39,4		
1984	615,50			54,07			33,49		
1985	612,30	T=0,0705.Q-9,9056	0,3505	33,26					
1986	518,40			26,64					
1987	521,60			26,87					
1988	673,80			37,60					
1989	657,40			36,44					
1990	537,80			28,01			21,52		
1991	688,70			38,65			25,32		
1992	680,60			38,08			25,12		
1993	563,90			T=0,0252.Q+7,969	0,2521	22,18			
1994	472,00					19,86			
1995	636,00	24,00							
1996	576,10	22,49							
1997	728,40	26,33							
1998	589,70	22,83							
1999	549,30	21,81							
2000	552,30	23,67							
2001	489,40	T=0,0578.Q-8,2509	0,2781	20,04					
2002	584,70			25,54					
2003	618,20			27,48					
2004	491,30			20,15					
2005	435,80			16,94					
2006	633,00			28,34					
2007	433,80			16,82					
2008	371,50			13,22					
2009	368,10			13,03					
2010	403,20			15,05					

O gráfico da Figura 71 demonstra que o período de maior transporte médio anual foi em 1977 e 1978, quando os valores médios anuais foram superiores a 100 kg/s. No intervalo entre 1979 e 1984 o transporte foi reduzido a valores compreendidos entre 78 e 42 kg/s, entre 1985 e 1992 ocorreu nova redução (entre 39 e 26 kg/s) e por fim, a partir de 1993 passou a variar entre 28 e 16 kg/s.

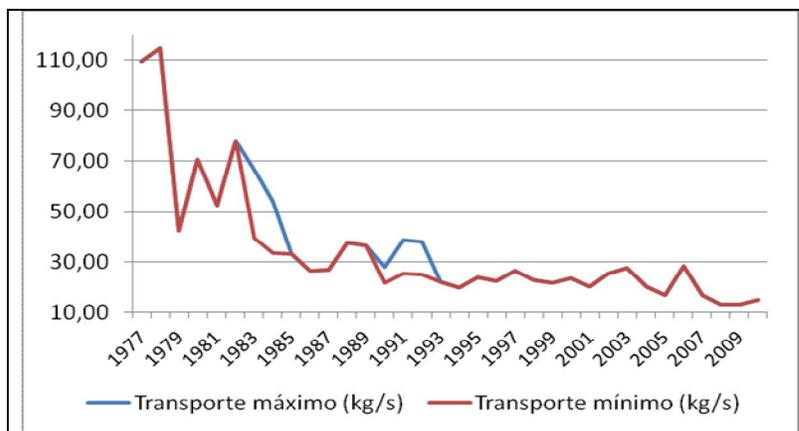


Figura 71: Variação temporal do transporte médio anual no rio Paraguai, na estação de Cáceres, calculado a partir das equações obtidas por análise de regressão

O fornecimento de sedimentos da bacia era alto, sofreu uma queda brusca em 1979 e continuou reduzindo até se estabilizar a partir de 1993. Para verificar as prováveis causas desta redução, foi feita uma comparação entre os valores de transporte e os dados hídricos dos anos em que a ocupação do solo foi avaliada (Figura 72).

A comparação dos valores demonstra que nenhuma das variáveis apresenta diminuição tão pronunciada como a demonstrada pelo transporte no período entre 1977 e 1990, mas todas elas mostram comportamento semelhante a partir desta data. Contudo, uma vez que os dados de transporte dos últimos 20 anos foram calculados a partir de apenas 2 equações e em função da descarga, o resultado pode estar refletindo apenas as variações desta última variável.

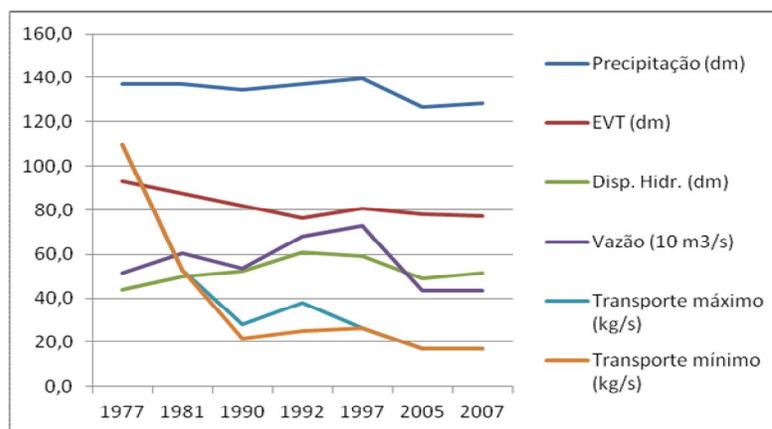


Figura 72: Variação dos valores de precipitação, evapotranspiração, disponibilidade hídrica, vazão e transporte fluvial nos anos com dados de uso e ocupação dos solos

Outra verificação foi realizada a partir dos dados de transporte e as porcentagens da área de vegetação, de pastagem, de cultura e de solo exposto (Figura 73). Pelo que pode ser observado, as variações da área ocupada pela pastagem e pelo solo exposto não apresentam relação com as modificações observadas no transporte. A análise de regressão realizada para verificar a correlação entre estas variáveis confirma tal afirmação, uma vez que os coeficientes de determinação obtidos foram baixos (Quadro 26).

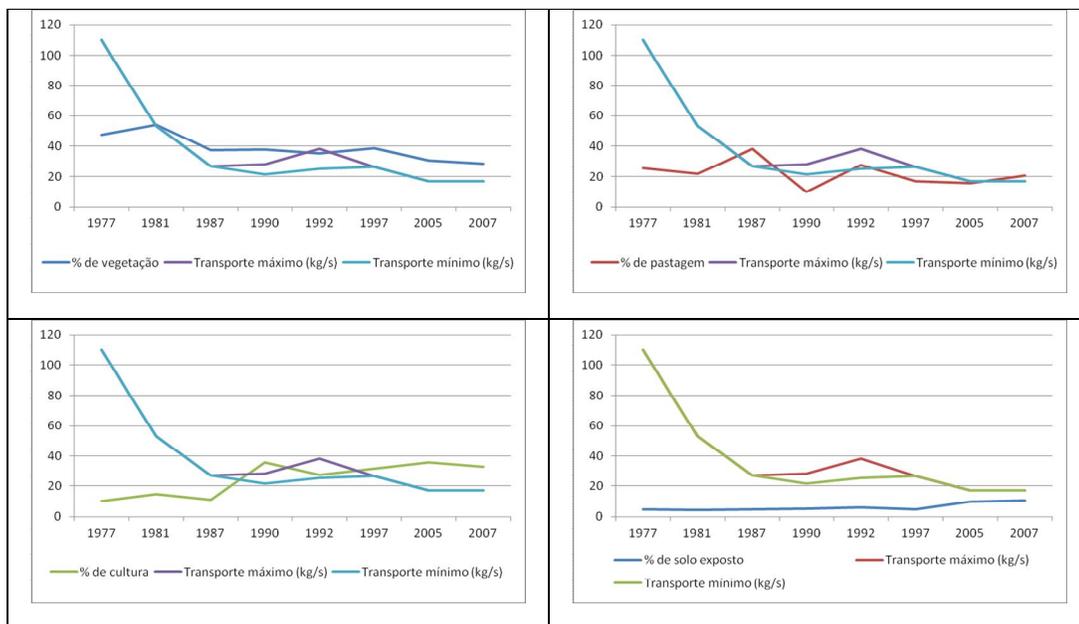


Figura 73: Representação gráfica da variação do transporte (máximo e mínimo) e da porcentagem ocupada pelas áreas de vegetação, pastagem, cultura e solo exposto

Por outro lado, a diminuição da área de vegetação e o aumento da área de cultura são acompanhados pela redução do transporte fluvial, especialmente a partir de 1981. Os valores do coeficiente de determinação (Quadro 26) confirmam tal afirmação, embora os valores indiquem que outra variável também influencie o processo.

Quadro 26: Valores do coeficiente de determinação obtidos por meio de análise de regressão entre as variáveis

	Transporte Máximo	Transporte Mínimo
% de pastagem	0,0522	0,0507
% de solo exposto	0,2322	0,210
% de vegetação	0,4853	0,506
% de cultura	0,4640	0,4980

Tais dados demonstram algumas particularidades: seria de se esperar que existisse uma forte relação positiva entre o transporte fluvial e a diminuição da área de vegetação e o aumento das áreas de solo exposto e de cultura. A possível explicação é a de que, o aumento da área de cultura e de solo exposto foram acompanhados pela adoção de práticas conservacionistas, o que pode ter inibido o fornecimento de sedimentos, mesmo sob condições de desmatamento.

Os altos valores de transporte iniciais podem ter sido resultado da ocupação inicial e sua redução pode ser resultante do estabelecimento das pastagens e a adoção das referidas práticas agrícolas. Os baixos valores de transporte observados na última década podem também ser resultado da diminuição da precipitação.

Infelizmente não há informações a respeito do transporte fluvial no período anterior a 1977, mas é possível supor que em condições mais próximas às naturais, o fornecimento de sedimentos fosse menor que o registrado no final da década de 1970 e início dos anos 80, pois em situação de ocupação mais intensa o transporte foi menor.

A ocupação inicial teria provocado um considerável aporte de sedimentos, que começou a diminuir no início da década de 1980. Ao mesmo tempo, a potência de corrente em vazões iguais ou superiores às de margens plenas apresentou aumento (Figura 74). Ou seja, o período de maior transporte era o de menor potencia de corrente em descargas mais elevadas, o que teria provocado o assoreamento do canal relatado por Silva (2006) e Grizio (2010) e nas últimas três décadas as novas condições hidrológicas teriam proporcionado os meios para o canal transportar o material acumulado no leito.

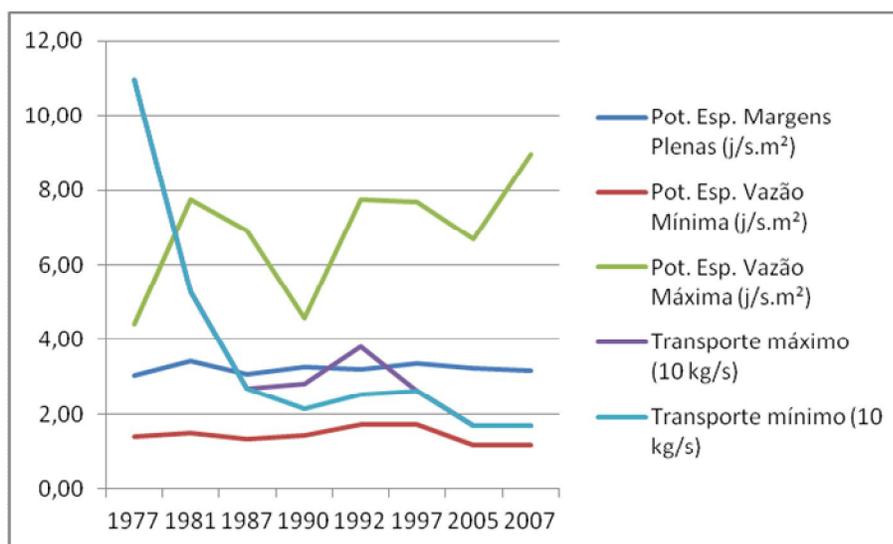


Figura 74: Representação gráfica dos valores de potência específica de corrente e de transporte fluvial

Tal transporte pode estar ocorrendo mesmo em descargas baixas, uma vez que o gradiente hidráulico é mais elevado nestas condições. Ou seja, o rio pode transportar grãos maiores em descargas baixas, mas em quantidades menores, mas em descargas altas o canal transporta grãos menores e em maior quantidade. A persistência destas condições pode vir a proporcionar a formação de barras com areia grossa e seixos e de depósitos residuais.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo foram obtidos a partir da verificação das modificações que o sistema fluvial do rio Paraguai Superior vem sofrendo, a partir da década de 1970, em decorrência da retirada da vegetação, especialmente no que diz respeito à evapotranspiração, à relação precipitação-vazão, ao transporte de sedimentos e à hidrodinâmica do rio.

Os dados de uso do solo obtidos a partir da análise de imagens orbitais demonstraram que, em 1977, a vegetação natural estava reduzida a 47 % da área total e ao longo de três décadas diminuiu até chegar a pouco mais de 28 % do original. A ocupação do solo era feita principalmente por pastagens (25 %) e a agricultura (10%) era ainda incipiente no ano inicial de estudo e, ao longo do tempo, a primeira atividade sofreu ligeira redução, enquanto a segunda aumentou consideravelmente. Em 2007, as pastagens constituíam 20 % da área e as áreas de agricultura (sazonal) atingiram quase 33 %.

A remoção da vegetação natural proporcionou a diminuição da evapotranspiração, que passou de 861 para 842 mm/ano em Cáceres e de 932 para 771 mm/ano em toda a bacia do rio Paraguai Superior, entre 1977 e 2007. A precipitação pluvial na bacia aumentou durante as duas primeiras décadas, mantendo-se quase sempre acima dos 1350 mm, apresentou diminuição nos últimos 10 anos estudados, chegando a 1285 mm em 2007.

Apesar disso, a oferta de água para o sistema aumentou de 438 para 514 mm/ano.m<sup>2</sup> de 1977 para 2007, confirmando a hipótese de que a retirada da vegetação teria proporcionado a redução da evapotranspiração e o aumento da disponibilidade hídrica no sistema.

O aumento de água no sistema proporcionou o aumento da descarga fluvial, do gradiente hidráulico em descarga mínima e máxima e da potência de corrente em descarga de margens plenas e máxima. Em 1977, a descarga mínima foi de 259 m<sup>3</sup>/s em Cáceres, com gradiente hidráulico de 12,3 cm/km e potência específica de 1,4 j/s.m<sup>2</sup>, no mesmo ano, a descarga máxima foi de 963 m<sup>3</sup>/s, com gradiente de 10,85 cm/km e potência de 4,4 j/s.m<sup>2</sup>. Em 2007, a descarga mínima foi de 197 m<sup>3</sup>/s, o gradiente foi de 13,3 cm/km e a potência foi de

1,2 j/s.m<sup>2</sup>, enquanto a descarga máxima foi de 1853 m<sup>3</sup>/s, o gradiente hidráulico chegou a 11,5 cm/km e a potência a nove j/s.m<sup>2</sup>.

Os dados de transporte de carga suspensa apresentaram valores elevados em 1977 (110 kg/s), mas em 1979 os valores foram menores (43 kg/s) e continuaram a diminuir até valores inferiores a 30 kg/s a partir de 1992. Em 2007, atingiu 17 kg/s e nos anos seguintes diminuiu ainda mais. Tais dados demonstram que os altos valores iniciais do transporte fluvial estavam relacionados à fase inicial da ocupação da bacia e que, a partir da década de 1980, a adoção de práticas conservacionistas teria compensado a perda de vegetação inicial e a posterior, de forma que a perda de solos diminuiu.

O canal fluvial foi modificado pelo aporte inicial de sedimentos, mas atualmente dispõe das condições de transporte necessárias para o transporte da carga afluente e de potência para a remoção do excesso de sedimentos anteriormente ofertado. Na verdade, o aumento da potência e a diminuição da oferta de sedimentos podem levar à degradação do atual padrão de canal (meandrante arenoso), por meio da criação de depósitos mais grosseiros.

As técnicas utilizadas revelaram bom desempenho no que diz respeito à classificação das imagens, embora em alguma delas as áreas não classificadas tenham sido significativamente elevadas. Para estudos posteriores, recomenda-se a utilização de outras formas de classificação para resolver tal situação.

As demais técnicas são de usuais em estudos hidrológicos, mas estão limitadas à existência de séries históricas. No caso da concentração de sedimentos em suspensão, recomenda-se o uso de técnicas de avaliação da carga sedimentar por meio de sensores remotos.

A hipótese inicial de que a retirada da vegetação teria proporcionado a redução da evapotranspiração e o aumento da oferta de água no sistema foi comprovada, mas a relação entre o desmatamento e a oferta de sedimentos talvez seja real para os estágios iniciais da ocupação (final dos anos sessenta e até meados dos anos setenta), mas no período estudado ela não foi confirmada, uma vez que a continuidade do desmatamento foi acompanhada pela diminuição do aporte de sedimentos. Apesar disso, ela é válida no que diz respeito às modificações do canal, mas por outras razões.

Neste caso, o aumento do desmatamento poderá provocar a degradação do canal por erosão. O mecanismo está relacionado ao aumento da potência de corrente proporcionado pelo aumento da descarga fluvial, acompanhado pela diminuição da oferta de sedimentos.

Para finalizar, recomenda-se a continuidade do trabalho por meio da avaliação do uso do solo e das medidas de comprimento de canal com periodicidade anual ou mesmo sazonal.

Essas informações e as de carga em suspensão obtidas por imagens, apoiadas pelas séries históricas, podem definir com maior precisão as modificações do canal e da bacia de drenagem.

## 7. REFERÊNCIAS

ABUTAKKA, A. *Significado da migração populacional para o município de Cáceres: município de fronteira*. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

ALMEIDA, F. F. M. de, *Geologia do Centro-Oeste Mato Grossense*. Boletim da divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro n.117, p. 1-11, 1964.

ALVARENGA, C. J. S. & TROMPETTE, R. *Evolução Tectônica Brasileira de Faixa Paraguai: A estruturação da região de Cuiabá*. Revista Brasileira de Geociências, v. 23, n. 1, p. 18-30. 1993.

ANA – Agência Nacional de Águas. *Rede hidrometeorológico básica*. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 14 de maio de 2004.

ANDERSON, L. O. *Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS*. 2004. 247 p. INPE. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

ANDRADE, R. G. *Aplicação do algoritmo Sebal na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar*. 2008. 135 p. UFV. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.

ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; BATISTELLA, M.; VICTORIA, D. de C.; PAZ, A. R.; LIMA, E. P.; NOGUEIRA, S. F. *Mapeamento de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração no Pantanal usando técnicas de sensoriamento remoto*. MS. In: 2º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2, 2009, Corumbá. Anais...Mato Grosso do Sul: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p.695-704.

ANDRADE, R. G.; PAZ, A. R.; VICTORIA, D. de C.; DELGADO, R. C.; LIMA, E. P. *Análise da evapotranspiração real diária em diferentes classes de uso e cobertura da terra na região do Pantanal*. In CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010. Belém, PA. Anais... Belém, PA SBMET, 2010.

AQUINO, S.; STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. *Regime Hidrológico e Aspectos do Comportamento Morfohidráulico do Rio Araguaia*. Revista Brasileira de Geomorfologia. v.6, n.2, p.29-41, 2005.

ASSUNÇÃO, S. de. História. In: FERREIRA, J. C. V. *Enciclopédia Ilustrada de Mato Grosso*. Cuiabá: Buriti, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 29 de março de 2011.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. *A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation*. Journal of Hydrology, v. 212-213, p. 198-212, 1998a.

BASTIAANSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. *A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation*. Journal of Hydrology, v. 212-213, p. 213-229, 1998b.

BASTIAANSEN, W. G. *SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated gediz Basin, Turkey*. Journal of Hydrology, v. 229, p. 87-100, 2000.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. *Evaporação e Evapotranspiração*. Porto Alegre: IPAGRO, Secretaria da Agricultura (Boletim técnico, 7) 95 p. 1981.

Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SE 21 Corumbá e parte da folha SE.20; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. 452p. il. 5 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 27).

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. *SPRING: Interating remote sensing and GIS by object-oriented data molding*. J. Computers & Graphics, 20:(3) 395-403, May-Jun 1996.

CAMPBELL, J. B. *Introduction to remote sensing*. New York: Ed. The Guilford Press, 1996. 622 p.

CARVALHO, N. O.; CUNHA, M. F. R.; CUNHA, M. A. C. *Rede hidrometeorológica de interesse do pantanal*. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste, 2002, Campo Grande-MS. UFMS:ABRH, 2002.

CHIEN, N. *Changes in river regime after the construction of upstream reservoirs*. Earth Surface Processes and Landscape. n.10, p.143-159, 1984.

CHRISTOFOLETTI, A. *Capacidade e competência no transporte fluvial*. Boletim de Geografia Teorética. Rio Claro, v.6 (11/12), p. 67-77, 1976.

COMPAORÉ, H.; HENDRICKX, J. M.; HONG, S.; FRIESEN, J.; VAN DE GIESEN, N. C.; RODGERS, C.; SZARZYNSKI, J.; VLEK, P. L. G. *Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the White Volta Basin, Upper East Ghana*. Physics and Chemistry of the Earth, v. 33, p. 127-140, 2008.

COSTA, M. C. *Estimativa da evapotranspiração regional por meio de imagens orbitais*. Viçosa: UFV, 52p. Dissertação (mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

CUNHA, S. B. *Bacias hidrográficas*. In: CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. (Org) *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro; Ed. Bertrand do Brasil, p. 229-265, 1998.

CURRAN, P. J. *Principles of remote sensing*. London: Ed. Longman, 1985. 282 p.

CROSTA, A. P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas – SP: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

DESTEFANI, E. V.; SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. *A erosão marginal nas ilhas mutum e carioca (PR-MS) antes e depois da UHE Porto Primavera (Engº Sérgio Motta)*. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria-RS, 2004. IAG:UGB, 2004. p. 1-11.

DNOS. *Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai*. Rio de Janeiro, Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento, Relatório Técnico, 1974. p. 284.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Levantamento e mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Pantanal, período de 2002 na escala de 1:250.000*. Embrapa Informática Agropecuária: Campinas,SP, agosto de 2004, 43p.

FLORENZANO, T. G. *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. 2ª edição de imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FRAGA, C. I. M. *Evapotranspiração e fator de desacoplamento em área de cambarazal no Pantanal*. 2009. 56 p. UFMT. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá. 2009.

GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A.; CRUZ, C. B. M.; NEVES, R. J.; JESUS, P. H. H. *Avaliação dos índices de vegetação NDVI, SR e TVI na discriminação de ambientes do Pantanal de Cáceres - Mato Grosso, Brasil: UNEMAT*. In: 3º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2010, Cáceres. Anais...Mato Grosso: Universidade do estado do Mato Grosso, 2010. p. 401-413.

GRIZIO-ORITA, E. V.; SOUZA FILHO, E. E.; HAYAKAWA, E. H. *Caracterização da erosão marginal do rio Paraguai entre a cidade de Barra do Bugres a foz do rio Sepotuba*. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia: Geomorfologia tropical e subtropical: processos, métodos e técnicas, 2006, Goiânia-GO, 2006. v. 1, IAG:UGB, 2006. p. 45.

GRIZIO-ORITA, E. V. *Regime de descarga do rio Paraguai superior*. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

GRIZIO-ORITA, E. V.; SOUZA FILHO, E. E. *As modificações do regime de descarga do rio Paraguai Superior*. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 11. p. 25-33, 2010.

GRIZIO-ORITA, E. V. ; SOUZA FILHO, E. E. *Avaliação da dinâmica fluvial do Alto Rio Paraguai no período 2004-2006 por meio do uso de imagens Cbers2b/CCD*. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. Anais do XV SBSR. Curitiba: INPE, 2011. v. 1. p. 2576-2583.

HESPANHOL, A. N. *A Expansão da Agricultura Moderna e a Integração do Centro Oeste Brasileiro à Economia Nacional*. Caderno Prudentino de Geografia. Presidente Prudente, julho 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil*, Rio de Janeiro, v. 4, 1977. (Região Centro-Oeste).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manuais Técnicos de Geociências: Manual Técnico de Uso da Terra* – 2 ed. n. 7. 91 p. Rio de Janeiro/ RJ, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2010*. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acessado em: 20 de setembro de 2011.

Imagens de satélite, mapas, fotos e textos sobre a bacia do rio da Prata. Disponível em: <http://www.riosvivos.org.br/Noticia/Veja+imagens+de+satelite++mapas++fotos+e+textos+so+bre+a+bacia+do+rio+da+Prata/16637>. Acessado em: 20/01/2012.

INNOCENCIO, N. R. Hidrografia. In: IBGE. *Geografia do Brasil*, Rio de Janeiro, v.1, p. 73 – 90, 1977. ( Região Centro-Oeste).

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Imagem de satélite LANDSAT MSS e TM* . Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>.Acesso em: 12 de agosto de 2009.

Instituto Samaritano de Políticas Públicas Albert Schweitzer (ISPP). *Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Alto Paraguai*. Mato Grosso, 2010. Disponível em: [http://sit.mda.gov.br/biblioteca\\_virtual/ptdrs/ptdrs\\_qua\\_territorio158.pdf](http://sit.mda.gov.br/biblioteca_virtual/ptdrs/ptdrs_qua_territorio158.pdf). Acesso em: 15 jun. 2011.

JANUÁRIO, E. R. S. *Caminhos da fronteira: educação e diversidade em escolas da fronteira Brasil-Bolívia*. Cáceres: Editora UNEMAT, 2004.

JENSEN, M. E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1973. 215 p.

LELI, I. T. *Variação espacial e temporal da carga suspensa do rio Ivaí*. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

KNIGHTON, D. *Fluvial forms & processes – A New Perspective*. London: Arnold, 1998.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Digital Image Processing. In: *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York, John Wiley & Sons, Inc, p. 542-647, 1994.

NANSON, G. C.; CROOKE, J. C., A Genetic Classification of Floodplains. *Geomorphology*, 4. Elsevier S. P. Amsterdam. 1992, p. 459-486.

NOVAES, L. F. *Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu*. 2005. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. 2.ed – 3. Reimpressão. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1998. 308 p.

OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1981, 440 p.

PACHECO, A. P.; RIBAS, N. S. *Sensoriamento Remoto aplicado ao Uso da Terra*. GEODÉSIA online. Revista da *Ferreira, A. B. e Filho, W. P.* 36 Comissão Brasileira de Geodésia. Recife, v. 4, 1998.

PASSOS, M. M. *Teledeteção aplicada ao estudo da paisagem: sudoeste do Mato Grosso*. São Paulo, 1995. Tese (Livre - Docência) - Departamento de Geografia Humana e Regional, Universidade Estadual de São Paulo, Presidente Prudente, 1995.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 138 p.

PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; ARAI, E.; OLIVEIRA, L. G. L. *Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite*. Revista Brasileira de Cartografia, n. 59, v. 1, p. 55-61, 2007.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*. São José dos Campos/SP: A. Silva Vieira Ed., 2007.

RADAMBRASIL. *Levantamentos dos recursos naturais*. Cuiabá-Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. Secretária Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD 21, 1982. 448 p.

ROCHA, P. C. *Dinâmica dos canais fluviais no sistema Rio – Planície Fluvial do Alto rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR*. 2002. 169 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Ambientes Aquáticos Continentais)- Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

SAKAMOTO, L. L. S. *A chuva na bacia do alto Paraguai: contribuição ao estudo de aspectos das flutuações interanuais durante o século XX*. São Paulo, 2001, 149 p. Tese (Doutorado em Geografiafísica) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.

SAUSEN, T. M. *Introdução ao sensoriamento remoto*. Caderno de atividades XI CISR. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 1996.

SEPLAN - Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso. Censo Econômico, Cuiabá/MT, 2003.

SILVA, A. *Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres-MT*. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

SILVA, A.; ASSINE, M. L.; SOUZA FILHO, E. E.; CUNHA, S. B.; ZANI, H. *Compartimentação Geomorfológica do rio Paraguai na Borda Norte do Pantanal, Município de Cáceres-MT*. In: 1º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., 2006, Campo Grande. Anais...Mato Grosso do Sul: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006. p.257-264.

SILVA, A.; ASSINE, M. L.; ZANI, H. SOUZA FILHO, E. E.; ARUJO, B. C. *Compartimentação geomorfológica do Rio Paraguai na borda norte do Pantanal Mato-grossense, região de Cáceres - MT*. RBC. Revista Brasileira de Cartografia, v. 59, p. 73-81, 2007

SILVA, A.; SOUZA FILHO, E. E. ; CUNHA, S. B. *Padrões de Canal do Rio Paraguai na região de Cáceres (MT)*. Revista Brasileira de Geociências, v. 38(1), p. 167-177, 2008.

SOS rio Paraguai - criado o pré-comitê gestor da bacia do rio Paraguai. Disponível em:<http://sosriosdobrasil.blogspot.com.br/2011/11/sos-rio-paraguai-criado-o-pre-comite.html>. Acessado em: 20/01/2012.

SOUZA, C. A. *Dinâmica do Corredor Fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã – MT*. 2004. Tese (Doutorado em Geografia)-Universidade Federal Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. inédito.

SOUZA FILHO, E. E. ; STEVAUX, J. C. *As barras fluviais da parte média do alto rio Paraná*. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DA ABEQUA, 1997, Curitiba. Anais do VI Congresso Brasileiro da Abequa. Curitiba : editora da UFPR / abequa, 1997.

SOUZA FILHO, E. E. *Grandes Barragens e mudanças na dinâmica fluvial: o caso de porto Primavera*. In: VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada, 1999, Belo Horizonte. Anais do VII Simp.. Belo Horizonte : Ed UFMG, 1999. v. 02. p. 01-08.

SOUZA FILHO, E. E. de; ROCHA, P. C.; COMUNELLO, E.; STEVAUX, J. C. Effects of the Porto Primavera dam on physical environment of the downstream floodplain. In: THOMAZ, S.M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, S. S. (Org.). *The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, 2004. p. 55-76.

SOUZA FILHO, E. E. *Evaluation of the Upper Paraná River discharge controlled by reservoirs*. Braz. J. Biol. June, 69(2): 707-716, 2009.

SOUZA FILHO, E. E. *The Anthropic Influence On The Fluvial Dynamics In Different Hydrografic Basins Of The Da Prata River*. In: Oliver Hensel; Jeferson Francisco Selbach; Carolina Bilibio. (Org.). SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS - AND CASE STUDYS IN BRAZIL. 1 ed. Kesse: Unipampa/Unikassel, v. 3, p. 209-234, 2012.

STEVAUX, J.C., MARTINS, D.P. & MEURER, M., *Changes in regulated tropical rivers: the Paraná River downstream Porto Primavera Dam, Brazil*. Geomorphology, 2009.

TASUMI, M.; ALLEN, R.G.; TREZZA, R. *At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of Land surface energy balance*. Journal of Hydrologic Engineering, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.

TEIXEIRA, L. *A colonização no norte de mato grosso: o exemplo da gleba celeste*. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; *Environmental Issues in the La Plata Basin*. Water Resources Development v. 14 N.2 p. 157-173. 1998.

TUCCI, C. E. M. *Regionalização de vazões*. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS. Porto Alegre. 168p. 2000.

VELOSO, H. P. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991 . 124 p.

VICTORIA, D. C.; ANDRADE, R. G.; PAZ, A. R. *Série temporal de imagens EVI/MODIS para discriminação de formações vegetais no Pantanal*. Geografia, Rio Claro, v. 34, número especial, p. 721-729, 2009.

WEBER, M. J. *Histórico de Barra do Bugres Estado de Mato Grosso*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 29 de março de 2011.

WILLIAMS, G. P. *Bank-full discharge of rivers*. Water Resources Research, 14 (6): 1978. p. 1141-1153.

WOLMAN, M.G.; LEOPOLD, L.B. *River flood plains: some observation on their formation*. Professional Paper, United States Geological Survey, 282, 1957. p. 87-109.