

EDIVALDO ALVES DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NO REGIME HIDROLÓGICO
DA BACIA DO RIO LONTRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S237i
2010

Santos, Edivaldo Alves dos, 1978-
Influência do uso do solo no regime hidrológico da Bacia
do Rio Lontra / Edivaldo Alves dos Santos. – Viçosa, MG,
2010.
xii, 69f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Demetrius David da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 64-67

1. Solo - Uso. 2. Recursos hídricos - Lontra, Rio, Bacia.
3. Lontra, Rio, Bacia. I. Universidade Federal de Viçosa. II.
Título.

CDD 22. ed. 631.47

EDIVALDO ALVES DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NO REGIME HIDROLÓGICO
DA BACIA DO RIO LONTRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

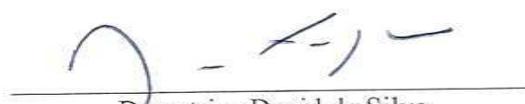
APROVADA: 27 de setembro de 2010.


Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco


Márcio Mota Ramos


Rubens Alves de Oliveira


Antônio Teixeira de Matos


Demetrius David da Silva
(Orientador)

Aos meus pais, Francisco e Domingas;
e à minha esposa e filha, Fabrisia e Fabrina,
pelo apoio incondicional durante esta longa jornada.

*“Pois assim como desce dos céus a
chuvada e a neve, e não volta àquele
lugar, a menos que realmente sature a
terra e a faça produzir e brotar, e se dê
de fator semente ao semeador e pão ao
comedor...”*. (Isaiás 55:10)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pelo bom discernimento e apoio nas horas de angústia e preocupação e, principalmente, por sempre me mostrar o caminho correto a seguir.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste curso em convênio com o Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Ao professor Demetrius David da Silva, pelo incentivo e pelos conselhos, mas, acima de tudo, pela confiança depositada em mim neste trabalho.

Ao professor Carlos Spartacus de Oliveira, por acreditar e por depositar confiança em mim.

Ao professor Silvestre de Nóbrega, pela orientação e pelos conselhos, tanto na vida acadêmica como na profissional.

Ao professor Washington Luiz Carvalho Lima, por sua colaboração para realização deste trabalho por meio da coorientação.

Ao professor Fernando Falco Pruski, pela amizade, pelos conselhos e pelo apoio.

Ao professor Paulo Roberto Cecon, pela disponibilidade, pelos esclarecimentos de dúvidas e pelos conselhos estatísticos fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Ao grande amigo, a quem tive o privilégio de conhecer durante esta jornada, Aldo Araújo Azevedo, a quem agradeço pela experiência transferida de modo simples, mas muito apropriada.

Ao colega Felipe Marques Azevedo, pelos conselhos oportunos, sempre colocados na hora e no momento apropriado.

Ao colega Marcelo de Oliveira Latuf, pela colaboração e pelo apoio neste trabalho.

Aos meus grandes amigos Jackson Bezerra de Sousa, Eric Oliveira Luiz e Leandro Soares Parrião, pelo apoio, pela amizade e pelo companheirismo.

Aos professores, ex-professores e colegas do curso de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA, pela amizade e pelas inúmeras discussões e reflexões, sem as quais esta caminhada não teria atingido o seu êxito.

A todos os demais amigos, professores e funcionários que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

BIOGRAFIA

EDIVALDO ALVES DOS SANTOS, filho de Francisco Ferreira Santos e de Domingas Alves dos Santos, nasceu em 15 de janeiro de 1978, em Coelho Neto-MA.

Em fevereiro de 2007, graduou-se em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Em março de 2008, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na área de Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo-o em 24 de setembro de 2010.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Bacia hidrográfica do rio Lontra	4
2.2. Gestão de recursos hídricos	6
2.3. Uso e ocupação do solo	8
2.4. Sensoriamento remoto	11
2.4.1. Sensor Landsat	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Uso do solo na bacia do rio Lontra	18
3.1.1. Processamento digital das imagens	22
3.1.1.1. Realce de histograma	23
3.1.1.2. Filtragem	24

	Página
3.1.1.3. Registro de imagens	24
3.1.1.4. Definição de amostras representativas	28
3.1.1.5. Classificação automática	29
3.1.1.6. Verificação da exatidão da classificação automática	31
3.1.2. Monitoramento do uso do solo nas bacias	36
3.2. Análise do comportamento hidrológico na bacia do rio Lontra	37
3.2.1. Seleção do período de análise e preenchimento de falhas	37
3.2.2. Vazões médias, máximas e mínimas	41
3.2.3. Análise de precipitações	41
3.2.4. Análise de tendências das variáveis hidrológicas	44
3.3. Estudo da associação entre vazões e uso do solo	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1. Mudanças ocorridas no uso do solo	49
4.2. Análise do comportamento das variáveis hidrológicas	54
4.3. Associações entre modificações no uso do solo e comportamento hidrológico	57
4.3.1. Vazão máxima	58
4.3.2. Vazão mínima	60
4.3.3. Vazão média	61
5. CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICE	68

RESUMO

SANTOS, Edivaldo Alves dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2010. **Influência do uso do solo no regime hidrológico da bacia do rio Lontra.** Orientador: Demetrius David da Silva. Coorientadores: Paulo Roberto Cecon e Washington Luiz Carvalho Lima.

Para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos é fundamental conhecer o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, seus regimes de variação de vazões e, principalmente, suas relações com os agentes econômicos e socioambientais presentes na área de contribuição da bacia. Neste contexto, o presente trabalho visou avaliar a influência do uso do solo no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Lontra, inserida no sistema hidrográfico do rio Araguaia, apresentando como objetivo geral: avaliar a influência do uso do solo no comportamento hidrológico da bacia do rio Lontra e como específicos: a) realizar o monitoramento do uso do solo na bacia do rio Lontra no período de 1985 a 2006; b) associar o comportamento hidrológico das vazões máximas, mínimas e médias com as variações ocorridas no uso do solo; e c) obter, por meio de ajuste de regressão linear múltipla, equações para estimativa das vazões máxima, mínima e média em função do uso do solo e da precipitação média na área de drenagem. Para a realização do estudo utilizou-se a série de dados de uma estação fluviométrica e de cinco estações pluviométricas, no período de 1985 a 2006, a fim de obter a vazão máxima, média e mínimas (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) para

cada ano do período selecionado, assim como a precipitação média anual, do semestre seco e do semestre chuvoso para a área de drenagem da estação fluviométrica. Para o monitoramento do uso do solo na bacia foram utilizadas 24 imagens do sensor Landsat TM 5, tendo sido identificadas as seguintes classes de uso: cultivo, pasto, mata, cerrado, urbanização e corpos d'água. Os dados foram analisados qualitativamente e quantitativamente. A análise qualitativa procurou avaliar, através de linhas de tendências, o comportamento da vazão, do uso do solo e da precipitação ao longo do período escolhido e a associação entre estas variáveis. Subsidiando esta análise foram elaborados diagramas de relações causais que auxiliam na associação entre os comportamentos das variáveis. A análise quantitativa dos dados foi realizada usando o procedimento estatístico de regressão linear múltipla, adotando como variável dependente as vazões e variáveis independentes as classes de uso e a precipitação. As classes de usos do solo que tiveram comportamento de crescimento ao longo do período analisado foram: cultivo, pasto, urbanização e corpos d'água. Por outro lado, as classes que tiveram redução neste mesmo período foram mata e cerrado. Ao longo do período analisado o aumento das áreas de cultivo ocorreu, principalmente, em substituição à mata, alternando com área de pasto. Os comportamentos das vazões mínima e média, assim como das precipitações anuais, do semestre chuvoso e do semestre seco, tiveram tendências gerais de redução no do período analisado. Apenas a vazão máxima teve tendência geral de aumento neste mesmo período. O comportamento da vazão máxima associou-se às variáveis precipitação do semestre chuvoso e usos do solo pasto e cerrado; as vazões mínimas com as variáveis precipitação anual e uso do solo cerrado; e as vazões médias com as variáveis precipitação do semestre chuvoso e uso do solo pasto. Os resultados obtidos permitiram concluir que o comportamento hidrológico na bacia do rio Lontra foi alterado expressivamente em função do uso e ocupação do solo na área de drenagem.

ABSTRACT

SANTOS, Edivaldo Alves dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2010. **Influence of the use of soil on the hydrological behavior of Lontra River basin.** Adviser: Demetrius David da Silva. Co-advisers: Paulo Roberto Cecon and Washington Luiz Carvalho Lima.

To accomplish an adequate management of water resources, it is fundamental to understand the hydrological behavior of hydrographic basins, their flow variation regimes, and, mainly, their relations with the economic and socio-environmental agents present in the basin contribution area. Within this context, this work aimed to evaluate the importance of use of soil for the hydrological behavior of the hydrographic basin of the Lontra River, part of the hydrographic system of the Araguaia River, with the general objective to evaluate the influence of the use of soil on the hydrological behavior of the Lontra River basin, and with the specific objectives: a) to monitor the use of soil in the Lontra River basin during 1985-2006; b) to associate the hydrological behavior of the maximum, minimum, and medium flows with the variations that occurred with the use of soil; and c) by means of multiple linear regression fit, to obtain equations to estimate the maximum, minimum, and medium flows in function of soil use and mean rainfall in the drainage area. To carry out this study, a series of data from one fluvimetric station and five pluviometric stations were used from 1985 to 2006, to obtain the maximum, medium, and minimum flow (Q_7 , Q_{90} and Q_{95}) for each year of

the period selected, as well as the annual mean rainfall, dry semester and rainy semester rainfalls for the drainage area of the fluviometric station. To monitor the use of soil in the basin, Landsat TM 5 sensor images were selected and the following soil use classes were identified: cultivation, pasture, forest, cerrado, urbanization and water bodies. The data were analyzed qualitatively and quantitatively. Based on the tendency lines, the qualitative analysis aimed to evaluate flow behavior, soil use and rainfall along the period chosen, and the association among these variables. This analysis was supported by the elaboration of diagrams of causal relations that help the association among the behaviors of the variables. The quantitative analysis of the data was carried out, adopting as dependent variable the flow use classes and rainfall. The following soil use classes presented a growth behavior along the period analyzed: cultivation, pasture, urbanization and water bodies, while the soil use classes forest and cerrado presented a reduction during the same period. Along the period analyzed, the cultivation areas increased mainly as a replacement to the forest, alternating with the pasture area. The behavior of the minimum and medium flows, as well as annual rainfalls, during the rainy semester and the dry semester, presented general reduction tendencies in the analyzed period. Only the maximum flow showed a general tendency to increase during the same period. The behavior of the maximum flow was associated with the variables rainy semester rainfall and pasture and cerrado soil uses; the minimum flow was associated with the variables annual rainfall and cerrado soil use; and the medium flow was associated with the variables rainy semester rainfall and pasture soil use. The results obtained allowed to conclude that the hydrological behavior of the Lontra River basin was expressively altered in function of the use and occupation of soil in the drainage area.

1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental tem contribuído expressivamente para a escassez sazonal dos recursos hídricos, com destaque especial para o desmatamento, para a erosão proveniente da não conservação das matas de galeria, para as mudanças físicas em bacias hidrográficas, para a contaminação dos mananciais por resíduos industriais e para o não abastecimento dos lençóis freáticos, fruto, na maioria das vezes, de alterações na recarga dos aquíferos. De acordo com Assad et al. (1998), para alterar esse cenário, é necessário que seja implantado um programa racional de utilização e manejo dos recursos naturais, onde se tornam necessários cruzamentos de dados como tipo de solo, relevo, condições climáticas, vegetação e uso da terra.

A utilização desordenada e o gerenciamento inadequado dos recursos hídricos geram grandes prejuízos econômicos, além de problemas sociais e ambientais relevantes, advindos de aspectos relativos tanto à disponibilidade quanto à qualidade da água (BRANDÃO et al., 2006).

A demanda mundial por água vem crescendo significativamente, contudo os suprimentos globais são limitados e sua disponibilidade vem se tornando uma questão preocupante para um número cada vez maior de países (ALENCAR et al., 2006). Apesar de possuir de 12% a 16% dos recursos hídricos de superfície do planeta Terra, o Brasil apresenta desequilíbrio na distribuição e na demanda pelos recursos hídricos. Esses desequilíbrios são causados pelas condições naturais da distribuição espacial e temporal da precipitação no Brasil e, também, pela distribuição da população humana e suas atividades. Enquanto na Amazônia a água disponível per capita é de

aproximadamente $700.000 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$, no Estado de São Paulo esta disponibilidade é de $2.500 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$ (BARBOSA, 2008).

A variabilidade das condições hidrológicas é decorrente da interação de vários fatores como precipitação, evapotranspiração, relevo, geologia, geomorfologia, solos e uso e manejo do solo. Este conjunto de grandes fatores que influencia as variáveis hidrológicas transforma a estimativa de seus valores num problema muito complexo (AZEVEDO, 2004).

Com a promulgação da Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o Brasil deu um grande passo para o gerenciamento dos recursos hídricos. Esta lei tem como preceitos básicos a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a consideração dos múltiplos usos da água, o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade da gestão descentralizada e participativa destes recursos (BRASIL, 1997).

Assim, em análises hidrológicas, a bacia hidrográfica é necessariamente a unidade de pesquisa e planejamento, sendo o conhecimento de suas características físicas o primeiro passo nos estudos de gerenciamento dos recursos hídricos. O uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas interferem decisivamente no regime hidrológico, ocasionando variações expressivas tanto em termos de vazões máximas como de vazões mínimas.

Segundo Tucci (2009), é possível encontrar na literatura estudos que mostram aumento ou diminuição da vazão mínima depois do desmatamento. O que pode caracterizar um caso ou outro depende das características do solo após o desmatamento. Quando as condições de infiltração após o desmatamento ficam deterioradas, por exemplo, o solo fica compactado em decorrência da energia de impacto da chuva, e a capacidade de infiltração pode ficar reduzida e aumentar o escoamento superficial, com redução da recarga do aquífero. De outro lado, se a água atinge o solo e infiltra, o aquífero tem uma maior recarga, aumentando as vazões mínimas.

Neste contexto é apresentada a proposta de estudo da influência do uso do solo no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Lontra, inserida no sistema hidrográfico do rio Araguaia, na região norte do Estado do Tocantins, abrangendo os municípios de Xambioá, Araguanã, Piraquê, Carmolândia, Aragominas, Araguaína e Nova Olinda.

Em relação ao consumo de água na bacia, estudos recentes indicam 54% para abastecimento populacional, 39% para abastecimento industrial e 7% para dessedentação animal (SEPLAN, 2002).

Para melhor gestão dos recursos hídricos da bacia do rio Lontra, torna-se necessário compreender como as modificações no uso do solo da bacia podem influenciar direta e indiretamente no regime de variações das vazões de referência. O conhecimento destas vazões de referência pode ajudar no controle de cheias, bem como nos processos de outorga de uso da água, de modo a permitir uso racional dos recursos hídricos e sua sustentabilidade, como no desenvolvimento agroindustrial sem maiores danos aos recursos naturais da região.

Em função do exposto, o objetivo neste trabalho é testar a hipótese de que há uma relação modelável entre a área de cobertura vegetal e a resposta hidrológica na bacia hidrográfica do rio Lontra, avaliando a influência do uso do solo no regime de variação de vazões.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Bacia hidrográfica do rio Lontra

A bacia do rio Lontra está localizada na região norte do estado do Tocantins (Figura 1), com área de drenagem de 3.870 km², está situada no sistema hidrográfico Tocantins/Araguaia onde a precipitação média anual varia de 1.400 a 1.700 mm. O clima da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia é tropical, com temperatura média anual de 26°C, e dois períodos climáticos bem definidos: o chuvoso, de outubro a abril, com mais de 90% da precipitação, com a existência de seqüência prolongada de dias secos nos meses de janeiro e fevereiro, conhecidos como veranicos; e o seco, de maio a setembro, com precipitações escassas e baixa umidade relativa do ar (PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – PNRH, 2006).

O rio Lontra tem suas nascentes a oeste da serra dos Cavalos e ao norte da serra do Estrondo, no município de Araguaína. Desenvolve-se por 200 km no sentido Sudeste-Noroeste desaguando, na margem direita do rio Araguaia, entre os municípios Araganã e Xambioá. Os principais afluentes da margem direita do rio Lontra são os ribeirões Jacuba, e Brejão, e os córregos Curiti, Cuia, Ouro Fino e Gameleira. Já pela margem esquerda, o rio Pontes, o ribeirão Gurguéia e os ribeirões João Aires e Boa Sorte (SEPLAN-TO, 2002).

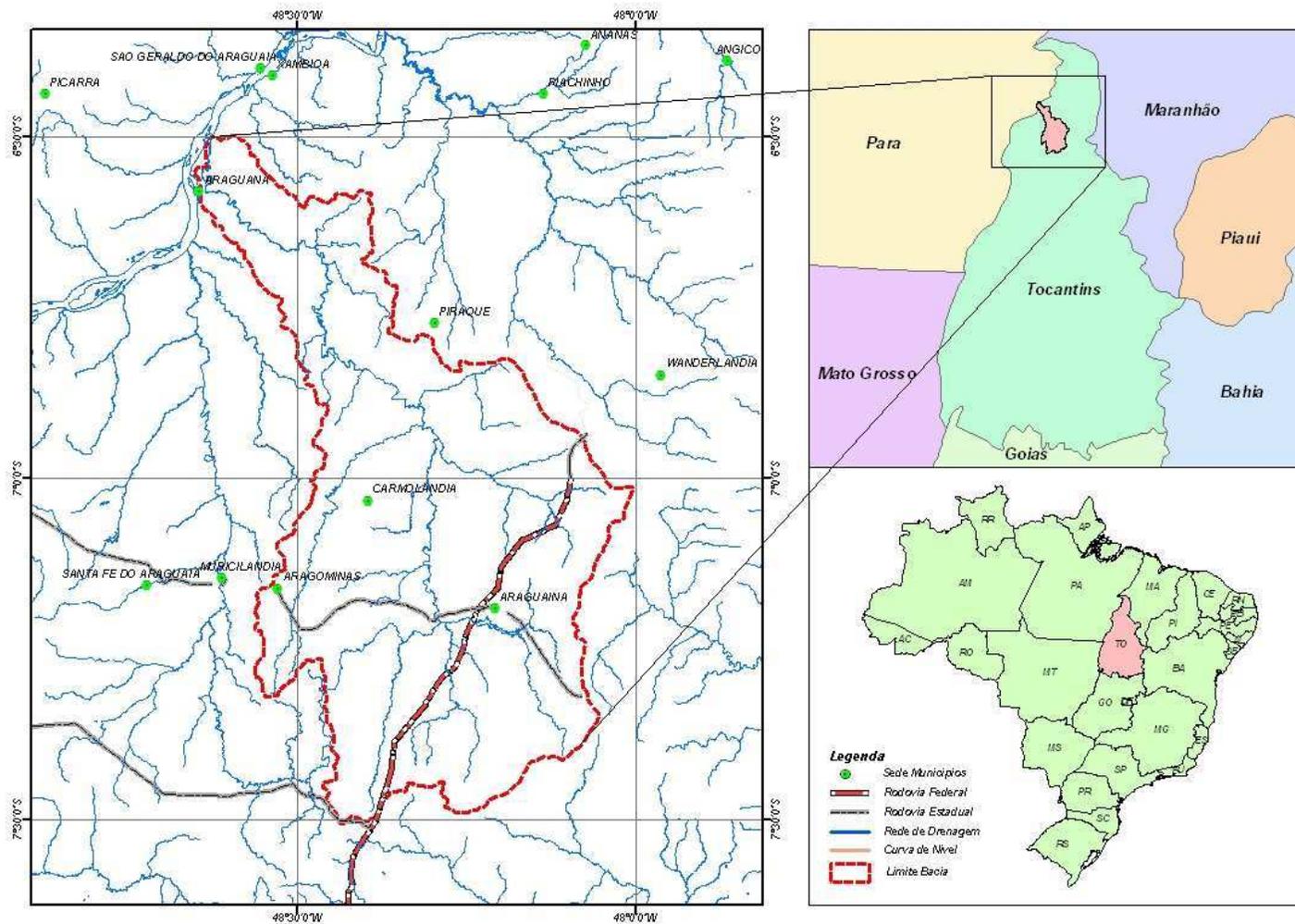


Figura 1 – Localização geográfica da bacia do rio Lontra.

As vazões específicas médias de longo período oscilam entre 22 e 26 L/s km². Considerando apenas o semestre mais chuvoso (outubro-abril), as vazões específicas médias estão na faixa de 32 a 40 L/s km², enquanto que no semestre mais seco estão em torno de 13 L/s km². Nos meses mais secos, agosto e setembro, as vazões específicas médias são de aproximadamente, 7 L/s km² (SEPLAN-TO, 2002).

Na bacia do rio Lontra apesar de seus recursos hídricos superficiais abundantes, existe a tendência de utilização das águas subterrâneas como fonte de abastecimento humano, isto devido aos menores custos de captação e, principalmente, de tratamento (as águas são somente cloradas). Como exemplo cita-se Araguaína, município com maior expressão territorial no contexto da bacia hidrográfica do rio Lontra, no qual o abastecimento de água é feito na sua totalidade por meio de poços artesianos, o que diminui os custos com tratamento necessário para o consumo humano (SANEATINS, 2009).

Ao analisar o perfil dos municípios integrantes da bacia, observa-se que a sua vocação econômica é a agropecuária. A pecuária extensiva domina o panorama produtivo regional, sendo a base principal da sua estrutura econômica, tanto em nível municipal como regional.

O município de Araguaína, com uma população superior a 100.000 habitantes, é o maior e mais importante núcleo econômico e populacional, constituindo o grande centro urbano polarizador das atividades econômicas, gerador de oportunidades e serviços (SEPLAN-TO, 2002).

2.2. Gestão de recursos hídricos

Recurso natural indispensável à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar da sociedade, a água doce é um recurso cada vez mais escasso na natureza, seja devido ao aumento da demanda ou pela redução da oferta, especialmente pela poluição dos mananciais e pelo seu uso indiscriminado (ALVES et al., 2009).

Os recursos hídricos são bens de relevante valor para a promoção do bem-estar de uma sociedade, sendo a água um bem de consumo final ou intermediário na quase totalidade das atividades humanas.

Outra forma de se ver a água é considerá-la como um recurso natural, essencial e passível de agregação de valor econômico, político, social e ecológico. Cada vez mais esta visão se faz presente considerando, por exemplo, sua distribuição desigual, o que a

torna um recurso extremamente valioso nas regiões onde ocorre escassez hídrica (BARBOSA, 2008).

Para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos é fundamental conhecer o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, seus regimes de variação de vazões e, principalmente, suas relações com os agentes econômicos e socioambientais presentes na área de contribuição da bacia (LATUF, 2005).

No Brasil, a promulgação da Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, objetiva assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, ao mesmo tempo em que busca a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos e o desenvolvimento sustentável, através da utilização racional e integrada dos recursos hídricos (PEREIRA et al., 2004).

Os fundamentos dessa política e os instrumentos por ela estabelecidos constituem não apenas um desafio político, econômico, social, ambiental e cultural, mas também um desafio de conhecimentos. A Agência Nacional de Águas, por meio da Superintendência de Tecnologia e Capacitação, afirma que a implementação da política defronta-se com uma grande necessidade de conhecimentos científicos e tecnológicos em relação aos recursos hídricos, e completa que a demanda na área do desenvolvimento científico e tecnológico no setor é tão grande, que estas atividades podem ser consideradas um instrumento adicional de gestão (ANA, 2009a).

Os instrumentos previstos na citada lei para a gestão de recursos hídricos estão apresentados no Quadro 1.

Apesar dos avanços, alguns desafios ainda permanecem e os crescentes conflitos ainda ocorrem por imprevisão, ou seja, devido ao planejamento inadequado, que em geral traduz a inexistência de informações confiáveis e de ferramentas para avaliação e monitoramento da situação dos recursos hídricos (MARQUES, 2010).

Quadro 1 – Instrumento de gestão de bacias hidrográficas

Instrumento	Objetivo
Planos de recursos hídricos ou de bacia hidrográfica	Fundamentar e orientar a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica
Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água	Assegurar às águas qualidade compatível com os usos e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes
Outorga de direito de uso de recursos hídricos	Garantir o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água
Cobrança pelo uso da água	Incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para o financiamento dos programas de intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos
Sistema de informações sobre recursos hídricos	Armazenar dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos de forma a caracterizar a situação da bacia

Fonte: Agência Nacional de Água (2001).

2.3. Uso e ocupação do solo

O estudo do uso e da ocupação das terras constitui um importante passo para o entendimento da relação entre o homem e o meio físico. Com estudos adequados é possível se estimar consequências (cenários) futuras considerando a progressão de acontecimentos prévios (FERREIRA, 2006).

Silva et al. (2007) mencionam que processos como erosão, lixiviação e modificação da cobertura vegetal, independentemente da ação humana, ocorrem de forma natural. Porém, quando o homem transforma o ambiente esses processos são acelerados e potencializados, gerando conseqüências drásticas para o meio ambiente.

A partir da promulgação das legislações estaduais que tratam da política de recursos hídricos, a outorga de direito de uso de recursos hídricos tornou-se um dos mais importantes instrumentos de gestão e elemento disciplinador do uso da água nas bacias hidrográficas. Todos os usuários de recursos hídricos, excetuando-se os casos isentos previstos em lei, devem dirigir-se ao órgão gestor e solicitar a outorga para garantir seus direitos de uso de determinada vazão ou volume de água (PNRH, 2006).

Os fundamentos dessa política e os instrumentos por ela estabelecidos constituem não apenas um desafio político, econômico, social, ambiental e cultural, mas também um desafio de conhecimentos. A implementação da política defronta-se com uma grande necessidade de conhecimentos científicos e tecnológicos em relação a recursos hídricos (ANA, 2009).

O Tocantins, bem como outros estados da federação, está desenvolvendo o seu Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-TO) em consonância com a Política Nacional de Recursos Hídricos. O PERH-TO busca valorizar características locais, tendo como referência o desenvolvimento sustentável do estado.

Este plano visa identificar os usos consuntivos e não-consuntivos, bem como as demandas do recurso água e suas particularidades, como consumo per capita, urbano e rural, usos na indústria e na agricultura.

Numa tentativa de gerir de forma sustentável seus recursos hídricos, em conjunto com o PERH-TO, também está sendo desenvolvido o Plano Estadual de Irrigação do Estado do Tocantins (PEI-TO), além de alguns planos de bacias hidrográficas, como o próprio Plano da Bacia do Rio Lontra.

A expressão uso do solo pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado. O levantamento do uso do solo é de grande importância na medida em que os efeitos do uso desordenado causam deterioração no ambiente. Geralmente, os processos de erosões intensas, inundações, assoreamentos de reservatórios e cursos d'água são conseqüências imediatas do mau uso do solo (VON SPERLING, 2005).

Neste sentido, vários trabalhos de pesquisa têm sido realizados utilizando imagens de satélite para a caracterização multitemporal da cobertura vegetal e do uso e ocupação das terras. Nestes trabalhos é avaliada a evolução da antropização, bem como o uso desordenado do solo, que provocam, em alguns casos, danos ao meio ambiente, como assoreamento dos rios, perda de fertilidade dos solos e contaminação tanto do solo como da água.

A supressão da vegetação e a mudança de uso da terra podem provocar alterações no meio físico, no ciclo hidrológico e no clima. A vegetação tem influência direta no processo de erosão, na qualidade da água, na dinâmica de nutrientes, na proteção de mananciais e na produção de água, que são fatores expressivos na resposta hidrológica de determinada bacia (LINHARES et al., 2005).

Segundo Pruski et al. (2006), a cobertura e os tipos de uso do solo, além de seus efeitos sobre as condições de infiltração da água no solo, exercem importante influência na interceptação da água advinda da precipitação. Segundo os autores, quanto maior a porcentagem da cobertura vegetal e rugosidade da superfície do solo, menor o escoamento superficial.

Essa influência do uso do solo, exercida pela cobertura vegetal, com o conseqüente acréscimo da rugosidade da superfície do solo, é fator determinante para a maior infiltração de água no solo. Isso ocorre em virtude de agir de forma a reduzir a velocidade do escoamento superficial, propiciando menores vazões de cheia no período chuvoso e maiores vazões mínimas no período de estiagem por ocasionar o reabastecimento do lençol freático.

Em análise preliminar sobre a influência do desmatamento na dinâmica da resposta hidrológica da bacia do Ji-Paraná, Linhares et al. (2005) evidenciaram um decréscimo da área com cobertura vegetal e aumento da área desmatada ao longo de 18 anos estudados, concluindo que o desmatamento influencia a dinâmica da resposta hidrológica. Porém, não foram observadas tendências nas séries temporais das variáveis hidrológicas, não sendo possível a obtenção de resultados conclusivos sobre identificação da escala em que o desmatamento influencia as mudanças.

O aumento da antropização dos solos tem ocasionado problemas como a redução de vida útil de reservatórios, ocasionado pelo aumento do escoamento superficial no período chuvoso com o conseqüente acréscimo do carreamento de sedimentos (ALMEIDA et al., 2009).

Vários autores apresentam o assoreamento dos canais fluviais como conseqüência do desmatamento. Nesse caso, a exposição dos solos a práticas agrícolas intensivas potencializa os processos erosivos e o transporte de materiais, que são drenados até o depósito final no leito dos corpos d'água (SILVA, 2007).

Rocha (2000) menciona que qualquer tipo de uso da terra em uma bacia hidrográfica, por menor que seja, interfere no ciclo hidrológico, não importando o grau com que esse tipo de uso utiliza ou dependa diretamente da água.

Pereira et al. (2009), em análise sobre evolução do uso do solo e seus impactos hidrológicos, constatou uma tendência de queda de 70% nas vazões em 75 dias de estiagem na bacia do rio Cachoeira, sub-bacia do rio Piracicaba, SP. Os autores constataram, também, que esse decréscimo está diretamente associado com a taxa de desmatamento na bacia do rio Cachoeira.

Já Costa et al. (2003) analisaram os efeitos da conversão de uso das terras de cerrado para pastagem nas chuvas e nas vazões do rio Tocantins, região sudeste da Amazônia, com área de 175,360 km². A conclusão do estudo é de que as chuvas não sofreram alterações durante o intervalo estudado e as taxas de evapotranspiração e infiltração foram reduzidas durante o período de chuvas em áreas que sofreram desmatamento. Tais reduções, no entanto, não foram suficientes para diminuir as vazões durante a estiagem.

Linhares (2006) concluiu que a resposta hidrológica, a taxa de incremento de deflúvio e a vazão de residência mostraram-se associadas às taxas de desflorestamento anuais na bacia do rio Ji-Paraná, indicando que a remoção da floresta gera uma resposta rápida nos valores de escoamento superficial devido à diminuição dos processos de interceptação e de infiltração.

2.4. Sensoriamento remoto

O levantamento do uso do solo de determinada região é de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço. Desse modo, é importante a atualização constante dos registros de uso do solo, para que suas tendências possam ser quantificadas, espacializadas e analisadas (LATUF, 2005).

O uso de imagens de satélite tem se tornado uma ferramenta importante na classificação de solos, uso da terra, levantamento dos recursos naturais e monitoramento dos problemas ambientais em uma região, de uma bacia ou de uma microbacia hidrográfica. Dessa forma, as geotecnologias vêm contribuindo de forma bastante eficaz na identificação dos problemas ambientais, como também no planejamento e criação de políticas voltadas à preservação do meio ambiente (ALMEIDA et al., 2009).

O sensoriamento remoto descreve técnicas e métodos para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos, através de sensores, sem que haja contato direto entre eles. Estes sensores remotos podem ser sistemas fotográficos (fotos aéreas) ou óptico-eletrônicos (imagens de satélite).

Os termos sensoriamento (refere-se à obtenção dos dados) e remoto (significa distante) são utilizados porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre (FLOREZANO, 2002).

Assim, o sensoriamento remoto pode ser definido como aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, permitem obter informações

sobre objetos ou fenômenos na superfície da terra, sem o contato físico com eles (ROCHA, 2000).

A degradação do ambiente é uma das principais consequências da má gestão dos recursos naturais. Com um monitoramento ambiental adequado é possível evitar e/ou minimizar a degradação, por isso o sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta importante no apoio à gestão territorial (FRAGOSO et al., 2005).

A verificação dos padrões de uso da terra ao longo do tempo auxilia o estudo de fenômenos associados à ocupação de determinada região. Neste contexto, a análise multitemporal, que consiste na extração de informações provenientes de dados de um mesmo local obtido em momentos distintos (LANGLEY et al., 2001), permite detectar as mudanças pelas variações presentes na série analisada (LOEBMANN et al., 2005).

Com a crescente preocupação com uso adequado dos recursos naturais, esse conjunto de técnicas tem fornecido informações preciosas e em tempo hábil para a tomada de decisão, acelerando assim as análises sobre variações ocorridas em determinada área de estudo. Deste modo, são cada vez mais comuns estudos de variação da cobertura vegetal com base em análises temporal, com auxílio de imagens geradas por sensores remotos acoplados a satélites.

Segundo Rocha (2002), a principal contribuição do sensoriamento remoto veio com as primeiras imagens orbitais do Planeta Terra. Desde então, o homem tem verificado uma grande degradação do meio ambiente terrestre, provocado por uma visão consumidora e descartável dos recursos naturais, a exemplo do que acontece na região central do Brasil com o cerrado brasileiro.

A partir da última década, os produtos do sensoriamento remoto têm contribuído cada vez mais para a análise de mudanças na superfície da terra, como também para previsões e estimativas de mudanças climáticas.

Com a evolução do sensoriamento remoto através de sensores mais potentes, proporcionando imagens com resolução cada vez melhor, associada às técnicas de extração de informações oriundas do processamento de imagens, ampliou-se sua aplicabilidade a diversas áreas do conhecimento: levantamento de recursos ambientais, análise ambiental, agricultura, estudos urbanos, geológicos, florestais, entre outras (ROCHA, 2002).

Sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar

informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação na forma de imagem, gráficos ou tabelas (MOREIRA, 2007).

Os sensores podem ser classificados quanto à fonte de energia em passivos e ativos. Os sensores passivos detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos objetos da superfície, dependendo, portanto, de uma fonte de radiação externa para que possam operar, já os sensores ativos são aqueles que produzem sua própria radiação (NOVO, 1999).

Os sistemas passivos são fortemente dependentes das condições atmosféricas, sendo o processo de aquisição de dados influenciado pela presença de nuvens. São exemplos destes sistemas os sensores LANDSAT (agência espacial norte-americana), SPOT (agência espacial francesa), CBERS (programa espacial brasileiro e agência espacial chinesa) e IKONOS (agência espacial norte-americana).

Os sistemas sensores podem ainda ser classificados quanto ao tipo de produto, em sistemas de sensores fotográficos e não fotográficos. Os sistemas fotográficos correspondem aos dispositivos imageadores (produz imagem) que, através de um sistema óptico (conjunto de lentes), registram a energia refletida pelos alvos da superfície. Sensores não fotográficos são dispositivos utilizados para medir a intensidade de radiação eletromagnética, proveniente dos alvos de uma superfície da Terra (MOREIRA, 2007).

Todos os sensores possuem certas características que os tornam mais ou menos eficientes para determinados objetivos ou estudos. Estas características são representadas pelas resoluções espacial, espectral, radiométrica, temporal e largura da faixa imageada (LATUF, 2005).

A resolução espacial é a capacidade do sensor de detectar objetos a partir de determinada dimensão, ou seja, quanto maior a resolução de um sistema sensor, menor é o tamanho dos elementos que podem ser detectados separadamente (ROCHA, 2000).

Resolução espectral é a habilidade do sensor de registrar a radiação refletida e/ou emitida em diferentes regiões do espectro eletromagnético, ou seja, quanto maior for a resolução espectral, maior será o número de bandas espectrais que o sensor será capaz de adquirir (ROCHA, 2000).

Resolução radiométrica representa a capacidade de discriminação entre diferentes intensidades de sinal ou índice de cinza, ou seja, quanto maior for este tipo de resolução, maior será a sensibilidade do sensor em discriminar pequenas diferenças de

radiação, aumentando conseqüentemente o poder de extração de informação da imagem (ROCHA, 2000).

A resolução temporal representa a freqüência com que a área de interesse é re-visitada ou re-imageada, sendo a largura da faixa imageada expressa em km em que o sensor é capaz de imagear (ROCHA, 2000).

Dos satélites para imageamento terrestre de recursos naturais mais amplamente utilizados, destaca-se o sensor do Landsat TM (Thematic Mapper). As imagens geradas são utilizadas para análises dos padrões de ocupação das terras (LOEBMANN et al., 2005), de expansão de áreas urbanas e de monitoramento de desmatamentos.

2.4.1. Sensor Landsat

A série Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) iniciou em 1972 com o lançamento do satélite ERTS-1 (*Earth Resources Technological Satellite-1*). Ela teve seqüência com os Landsat 2, 3 e 4 e, sobre tudo, com os Landsat 5 e 7. O principal objetivo do sistema Landsat foi o mapeamento multispectral, em alta resolução da superfície da Terra.

A idéia de desenvolver um sistema sensor para registrar a radiação refletida e/ou emitida pelos alvos da superfície da Terra, a partir de plataformas orbitais, surgiu após a análise das primeiras fotografias tiradas da Terra. Desta maneira foi concebido o sistema RBV (*Return Beam Vidicon*), semelhante a uma câmera de televisão que permite o registro instantâneo de certa área do terreno (MOREIRA, 2007).

O sensor RBV esteve a bordo dos três primeiros satélites da série Landsat e foi decisivo para definir as bases dos sensores que seriam lançados no futuro. As câmeras tinham capacidade de obter imagens diurnas que captavam dados de forma instantânea para a área total das cenas, com revisitas de 18 dias.

A definição final dos sensores enviados a bordo do primeiro satélite da série Landsat foi feita a partir das pesquisas realizadas pela United States Geological Survey (USGS) e pelo United States Department of Agriculture (USDA), este último responsável pela inclusão de um sistema de varredura multispectral (MSS) como um sensor alternativo ao RBV (NOVO, 1999).

A partir de 1984, a NASA colocou em órbita o sensor TM (*Thematic Mapper*), com as mesmas características do MSS, apresentando, porém, uma série de melhorias

no que diz respeito às resoluções espectral, espacial, temporal e radiométrica (MOREIRA, 2007).

O sensor TM opera em sete bandas espectrais, sendo três na região do visível, três na região do infravermelho refletido e uma na região termal. A largura da faixa imageada é da ordem 185 x 185 km e a sua resolução espacial de 30 x 30 m, com uma área mínima mapeável de 900 m², exceto para a banda 6 que possui a resolução espacial de 120 x 120 km e resolução temporal de 16 dias para a re-visita (LATUF, 2007). No Quadro 2 são apresentadas as bandas do sensor Landsat TM, com as respectivas faixas espectrais.

Quadro 2 – Bandas espectrais do sensor Landsat

Bandas	Faixa espectral (μm)
1	0,45 a 0,52 μm – azul
2	0,52 a 0,60 μm – verde
3	0,63 a 0,69 μm – vermelho
4	0,76 a 0,90 μm – infravermelho próximo
5	1,55 a 1,75 μm – infravermelho médio
6	10,4 a 12,5 μm – infravermelho termal
7	2,08 a 2,35 μm – infravermelho distante

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2008).

Como disposto no Quadro 2, o sensor Landsat opera com 7 bandas. Assim, o fotointérprete precisa escolher uma composição com as bandas que melhor atenda aos critérios para o estudo em questão (tipo de solo, temperatura média, cobertura vegetal e recursos naturais, por exemplo).

Latuf (2005) ressalva que, depois de selecionadas as bandas para trabalho, o fotointérprete deverá então selecionar qual a melhor composição para o sistema RGB em função do objetivo pretendido, ou seja, ele deverá escolher qual banda irá ser associada ao canal R, ao canal G e, conseqüentemente, ao canal B. Sobre esse aspecto, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) selecionou algumas composições mais recomendadas para a associação das bandas do sensor TM, que podem ser observadas

no Quadro 3. A composição das bandas pode variar conforme o objetivo e, por isso, devem ser testadas outras associações.

Quadro 3 – Aplicações para as diferentes associações das bandas do sensor TM

Associação (bandas TM)	Aplicabilidades
1, 2 e 3	Imagens em "cor natural", com boa penetração na água, realçando as correntes, a turbidez e os sedimentos. A vegetação aparece em tonalidades esverdeadas.
2, 3 e 4	Define melhor os limites entre o solo e a água, ainda mantendo algum detalhe em águas pouco profundas, e mostrando as diferenças na vegetação que aparece em tonalidades de vermelho.
3, 4 e 5	Mostra mais claramente os limites entre o solo e a água, com a vegetação mais discriminada, aparecendo em tonalidades de verde e rosa, indicado para mapeamento de usos da terra.
2, 4 e 7	Mostra a vegetação em tons verdes e permite discriminar a umidade tanto na vegetação como no solo.

Fonte: INPE (2008).

Com relação à utilização de dados do sensor TM, é recomendado, ainda, a observação quanto ao nível de correção das imagens fornecidas. O sistema TM possui alguns tipos de correções padronizadas, que podem ser solicitadas no momento de aquisição. No Quadro 4 são apresentados os três principais níveis de correções para aquisição de imagens do sensor TM.

Após serem observadas essas características, o fotointérprete deverá selecionar quais as imagens serão utilizadas no trabalho. Para isto ele deverá orientar-se através das órbitas/ponto do satélite. Estas órbitas/ponto dos diversos tipos de sensores remotos de base orbital podem ser adquiridas com seus respectivos representantes, sendo algumas fornecidas pela Divisão de Geração de Imagens do INPE (DGI/INPE), pelo site www.dgi.inpe.br.

Quadro 4 – Níveis de correção das imagens Landsat TM

Nível	Descrição
0	Dados brutos com as bandas espectrais alinhadas espacialmente
1	Imagem com correção radiométrica sem associação com sistema de projeção
1G	Imagem com correções radiométrica e geométrica associada a um sistema de projeção

Fonte: INPE (2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Uso do solo na bacia do rio Lontra

O período de monitoramento do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Lontra foi de 1985 a 2006, sendo que a escolha do ano de 2006 deve-se ao fato de que o mesmo representa o último ano em que a estação fluviométrica localizada na bacia do Lontra possui dados consistidos de vazão em sua secção, segundo a base de dados da ANA (2009). Já o principal fator para a escolha do ano de 1985 decorreu das características do tipo de sensor, já que a partir desta data o sensor Landsat 5 TM com a resolução espacial de 30 m entrou em operação.

Neste estudo foram utilizadas 24 imagens do sensor Landsat 5 TM, em três órbitas/ponto, abrangendo os anos de 1985 a 2006, sendo as mesmas intercaladas de três em três anos. Desta forma, o monitoramento do uso do solo na bacia do rio Lontra contemplou oito anos (1985, 1988, 1991, 1994, 1997, 2000, 2003 e 2006).

Para a seleção das órbitas/ponto que cobriam a área de estudo foi utilizado o arquivo digital de articulação das imagens Landsat que cobrem o estado do Tocantins, em formato shapefile (shp), fornecido pelo Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS). Em seguida foi realizada uma consulta à DGI/INPE (<http://www.dgi.inpe.br>), para aquisição das cenas que cobrem a área em estudo.

A partir deste consulta pôde ser observado que as melhores datas das imagens correspondiam aos meses de estiagem (abril a agosto), devido à menor taxa de cobertura de nuvens na região. Na Figura 2 é apresentado o mapa da região de estudo, assim como

o recobrimento das órbitas/ponto sobre a mesma e, no Quadro 5, a listagem das imagens do sensor Landsat TM usadas no estudo.

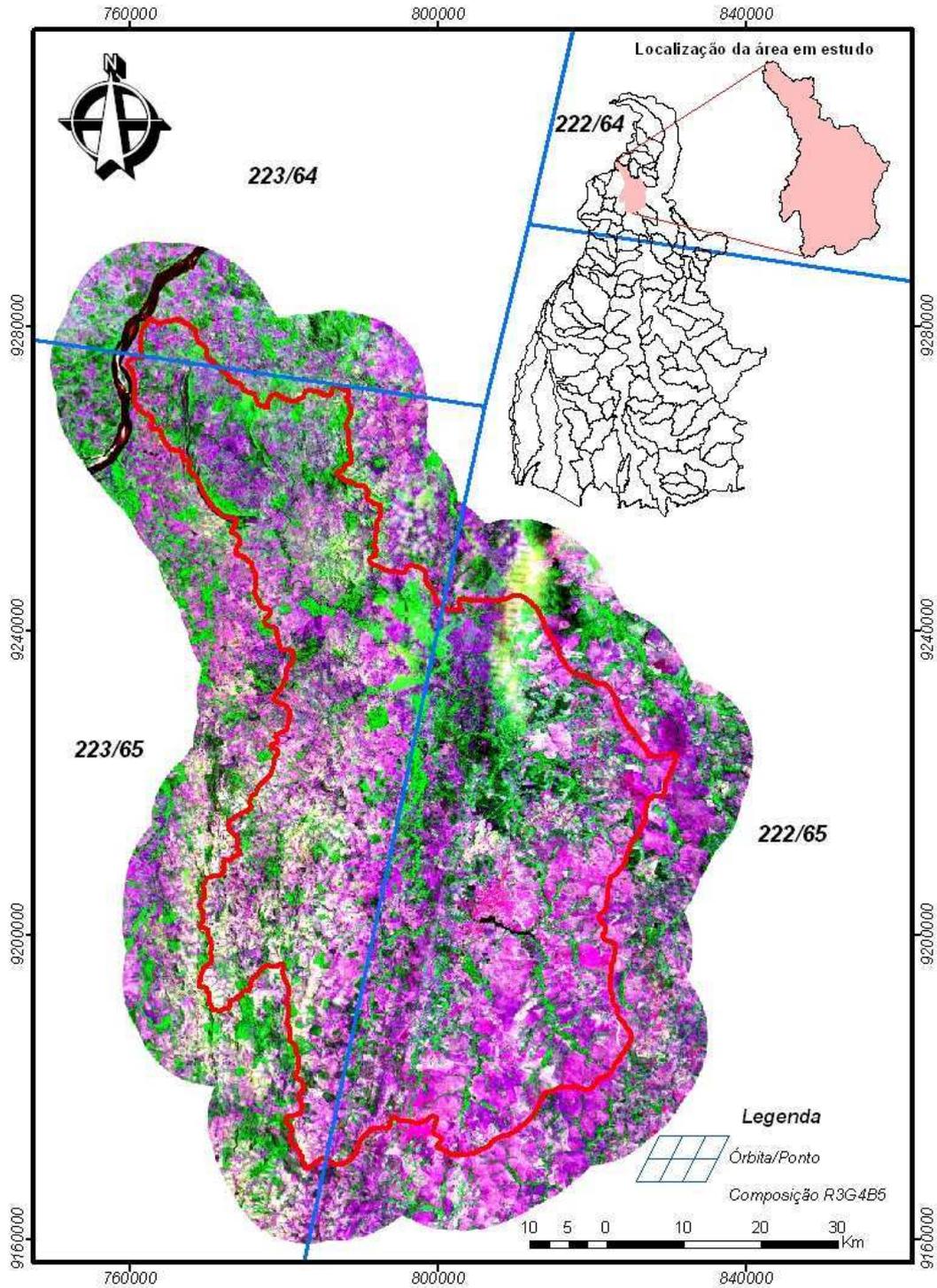


Figura 2 – Cobertura do sensor Landsat 5 TM na área de estudo, com sua respectiva órbita e ponto.

Quadro 5 – Listagem das imagens do sensor Landsat TM utilizadas no estudo

Ano	Órbita/ponto	Data de passagem
1985	222/65	23/07/1985
	223/64	30/07/1985
	223/65	30/07/1985
1988	222/65	13/06/1988
	223/64	07/08/1988
	223/65	07/08/1988
1991	222/65	06/06/1991
	223/64	28/05/1991
	223/65	28/05/1991
1994	222/65	01/08/1994
	223/64	23/07/1994
	223/65	23/07/1994
1997	222/65	06/06/1997
	223/64	18/05/1997
	223/65	28/05/1997
2000	222/65	14/06/2000
	223/64	07/07/2000
	223/65	07/07/2000
2003	222/65	09/07/2003
	223/64	30/06/2003
	223/65	30/06/2003
2006	222/65	17/07/2006
	223/64	09/08/2006
	223/65	09/08/2006

Fonte: INPE (2009).

As imagens do sensor Landsat 5 TM foram adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com o máximo de correções possíveis (Nível 1G), para que fosse minimizado o tempo de pré-processamento e, ou, ajustes das mesmas.

Nestas correções, a DGI/INPE utiliza-se das efemérides do sensor características de altitude, velocidade, posicionamento, dentre outras para a realização das correções radiométricas, assim como, para as correções geométricas, com apoio de pontos de controle terrestres (LATUF, 2005). No Quadro 6 visualizam-se as características das imagens selecionadas para este trabalho.

Quadro 6 – Informações sobre as imagens selecionadas para o estudo

Características	Especificação
Resolução espacial	30m
Formato	Geotiff
Bandas	3, 4 e 5
Datum horizontal	Córrego Alegre (zona 22 S)
Projeção	UTM
Nível de correção	1 G (radiométrica e geométrica)

Fonte: INPE (2009).

Na Figura 3 é apresentado exemplo das imagens do sensor Landsat 5 TM, na qual observam-se as três bandas selecionadas para o estudo (bandas 3, 4 e 5), assim como a composição escolhida para as imagens (R3, G4 e B5).

A função primordial do processamento digital de imagens é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação (FERREIRA, 2006).

Nesse sentido, as imagens passaram por procedimentos de processamento digital utilizando o software ENVI 4.1, desenvolvido pela Research Systems (www.RSInc.com), que compreende: realce de histograma, filtragem, verificação da correção geométrica ou registro de imagens, definição de amostras, classificação digital e, finalmente, verificação da exatidão do mapa temático elaborado.

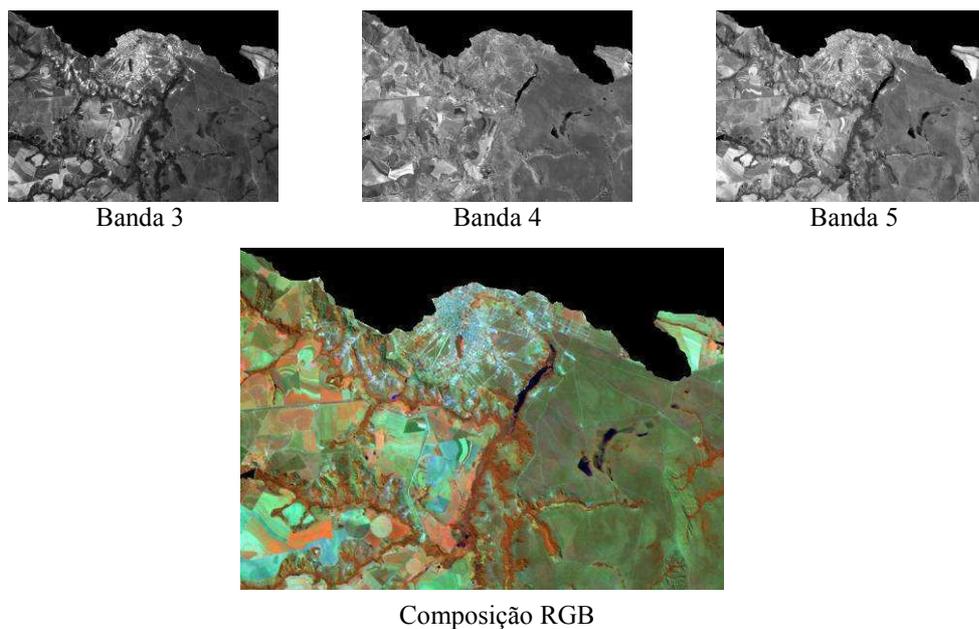


Figura 3 – Bandas do sensor Landsat TM e sua composição colorida R(3) G(4) B(5), selecionadas para o estudo.

3.1.1. Processamento digital das imagens

A etapa de processamento digital das imagens obtidas pelo sensor Landsat 5 TM para a elaboração dos mapas de uso do solo das diferentes épocas imageadas foi realizada conforme os passos apresentados na Figura 4.

As imagens passaram por uma fase de pré-processamento que se refere ao tratamento inicial dos dados brutos, obtidos do sensor Landsat. Torna-se importante ressaltar que mesmo após as imagens já terem recebido um tratamento prévio para as correções radiométricas e geométricas foi verificada a qualidade da correção geométrica. Esta etapa foi constituída pelas tarefas de realce de histograma, filtragem e registro de imagens.

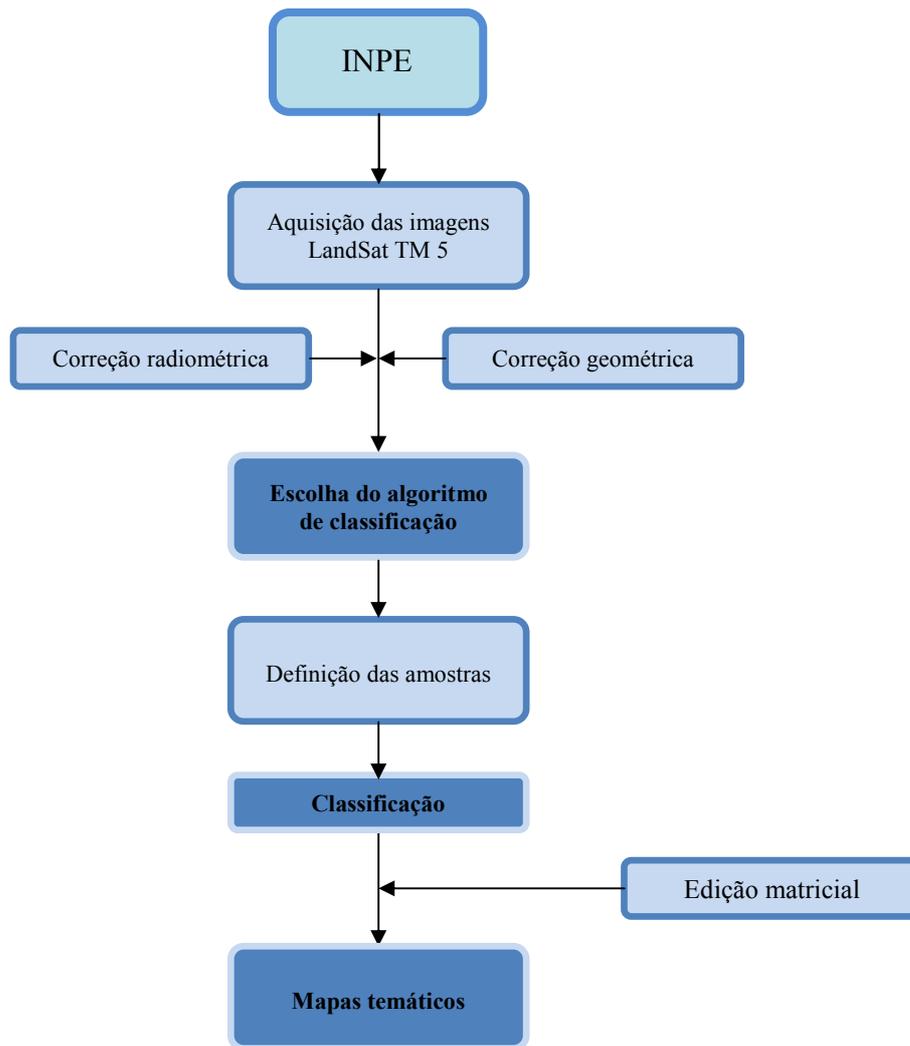


Figura 4 – Organograma de processamento das imagens.

3.1.1.1. Realce de histograma

De acordo com Moreira (2005), o realce é uma técnica utilizada para melhorar a percepção visual da imagem com o objetivo de ajudar o fotointérprete no momento de extração de informações das mesmas.

Por meio do realce pode-se melhorar a interpretação visual da imagem. Essa etapa é realizada ainda no pré-processamento, ou seja, antes da extração de assinaturas espectrais.

Dos tipos de realce disponíveis no software ENVI foi utilizado o realce linear a 2%, pois com a adoção deste tipo foram obtidas melhores condições visuais nas

imagens após sua aplicação. Neste sentido, este procedimento foi realizado em todas as imagens utilizadas no estudo.

Na Figura 5 visualiza-se uma comparação realizada em um recorte de uma imagem sem a aplicação de nenhuma técnica de realce com uma imagem realçada.

3.1.1.2. Filtragem

O processo de filtragem consiste na suavização e/ou agudização de determinadas características e, ou, feições nas imagens, visando auxiliar a interpretação das mesmas (MOREIRA, 2007). Para este procedimento foi adotado um filtro passa-baixa de dimensão 3 x 3 para a eliminação de ruídos (altas frequências).

Na Figura 6 é apresentado um recorte de imagem que recebeu tratamento com o filtro passa-baixa 3 x 3. Nota-se que a imagem 6(a) possui alguns ruídos espalhados em toda a extensão do recorte, representado pelos pontos brancos, sendo que a imagem 6(b), já tratada, não possui estes ruídos.

3.1.1.3. Registro de imagens

Consiste na transformação de uma imagem de modo que ela possa adquirir um sistema de coordenadas terrestres. A realização desse processamento digital de imagens pode ser feita por meio da relação entre os sistemas de coordenadas da imagem e de uma carta planialtimétrica da região correspondente. A forma mais usual de calcular a relação entre dois sistemas de coordenadas é por meio da definição de pontos de controle no terreno, que devem ser reconhecidos tanto na carta planialtimétrica como na imagem (CRÓSTA, 1992).

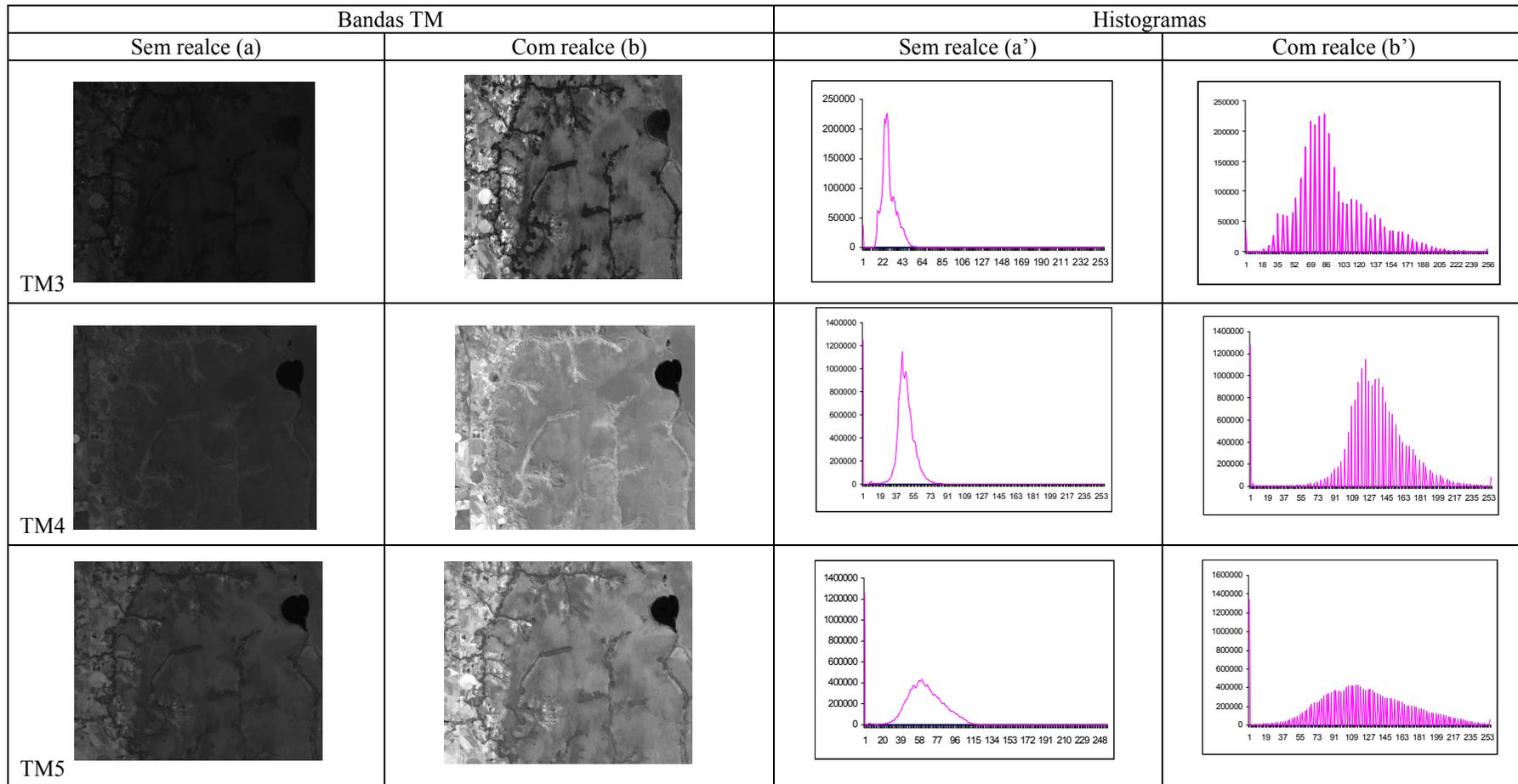


Figura 5 – Comparação entre imagens sem realce (a) e realçadas (b) e histograma da imagem sem realce (a') e realçada (b').

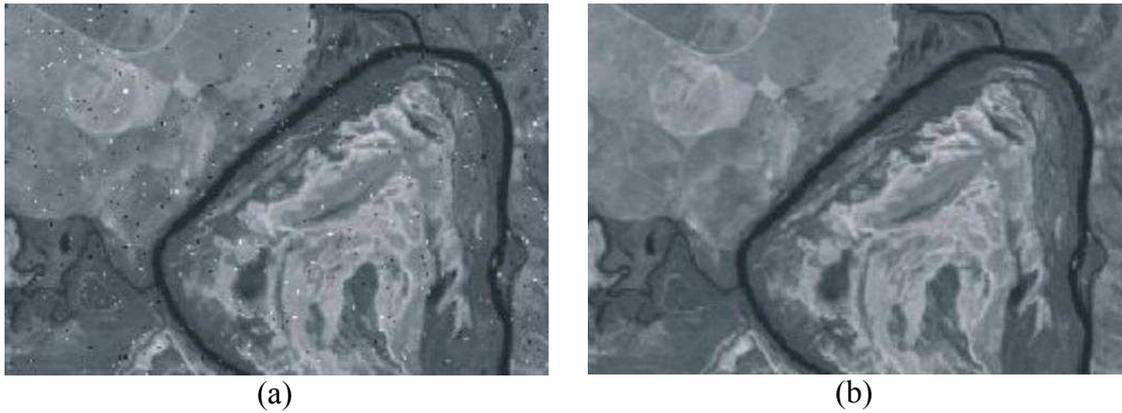


Figura 6 – Processo de filtragem para eliminação de ruídos: imagem sem tratamento (a) e imagem tratada (b).

Neste trabalho utilizaram-se três órbitas/ponto para o total recobrimento da área de interesse, totalizando um conjunto de 24 imagens para a área da bacia ao longo dos oito anos de monitoramento. A correção geométrica das imagens de 1985 a 2006 foi realizada no software ENVI 4.1, na função *registro*, por meio do modelo polinomial de primeiro grau e método de reamostragem do vizinho mais próximo, usando como referência a base cartográfica de hidrografia e rodovias da base planialtimétrica da Seplan-TO (2002), escala 1:100.000. Para a correção (*registro*) das imagens utilizou-se como referência as imagens corrigidas do ano 2002, conforme apresentado no Quadro 7. A utilização das cenas do ano 2002 como referência para o registro da série seguiu a orientação da COGEO (Coordenação de Geoprocessamento do NATURATINS), pelo fato das cenas deste ano serem usadas como base para o registro das demais cenas do banco de dados do Geotocantins.

Neste sentido, o sistema de coordenadas adotado para o registro de todas as imagens foi baseado nas informações da base cartográfica da Seplan-TO (2002), ou seja, datum horizontal Córrego Alegre e projeção UTM zona 22 Sul.

Quadro 7 – Imagens do sensor Landsat TM utilizadas para o registro

Ano	Órbita/ponto	Data de passagem
2002	222/65	28/06/2002
	223/64	22/08/2002
	223/65	22/08/2002

Fonte: Naturatins (2009).

Este processo foi realizado inicialmente para cada órbita/ponto do ano de 1985. Neste processo foram selecionados aproximadamente de 30 a 40 pontos de controle para o processo de registro em uma função polinomial de primeiro grau.

Após o primeiro conjunto de três órbitas/ponto ter sido registrado com sucesso, foram utilizados os pontos de controle (GCP – *Ground Control Points*), que permitiram uma precisão mais elevada para o complemento do trabalho de registro das demais 21 imagens.

O processo consiste em carregar os pontos de controle, previamente selecionadas no primeiro grupo de três imagens, para registrar as demais imagens, haja visto que basta apenas carregar os pontos e atualizar sua coordenada na imagem a ser referenciada. Devido a esta especificidade, a utilização do software agilizou o processo de registro das demais imagens, bastando para isso identificar pontos coincidentes entre as imagens ano após ano.

Na Figura 7 visualiza-se um exemplo de seleção de pontos de controle nas órbitas/ponto, usando confluência de rios como pontos comuns nas duas imagens. A imagem 7(a) foi usada como base para o georreferenciamento da imagem 7(b), e após a coleta de no mínimo 10 pontos de controle, efetiva-se o registro.

Para cada imagem registrada por este processo transferiu-se tanto o sistema de coordenadas da imagem original, quanto as informações sobre o datum horizontal.

Após término das etapas da fase de pré-processamento dos dados brutos, foi dado início à segunda parte do processamento das imagens com a definição das amostras representativas das classes de uso do solo, classificação digital e verificação da exatidão dos mapas temáticos de uso do solo.

3.1.1.4. Definição de amostras representativas

A classificação digital consiste em associar determinado pixel a determinada categoria ou classe temática por meio de critérios preestabelecidos. Assim, o processo de definição das amostras de cada classe previamente estabelecida é crucial para o sucesso da classificação digital (Figura 8).

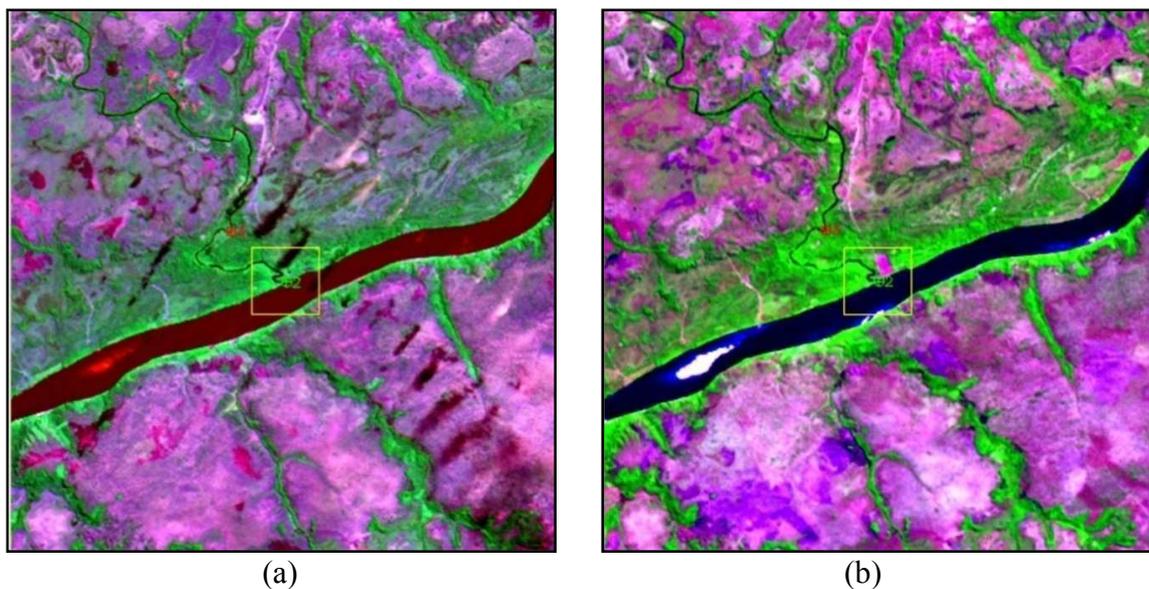


Figura 7 – Processo de registro utilizando confluência de rios como apoio: imagem usada como base para o georreferenciamento (a) e imagem a ser georreferenciada (b).

Primeiramente foi realizado uma interpretação visual das imagens, observando as variações de alvos existentes na área de estudos, bem como uma consulta ao banco de dados do Geotocantins para auxiliar a escolha das classes de uso e para a determinação da escala do mapeamento e legenda de uso e ocupação das terras. As classes identificadas foram: mata, cultivo, cerrado, pastagens, corpos d'água e urbanização.

Em seguida foram coletadas informações sobre documentos cartográficos já elaborados para a área de estudo. Neste sentido, foi utilizado mapa de uso do solo, datado de 2002, elaborado para o Zoneamento Ecológico Estadual – ZEE (SEPLAN-

TO, 2002). As informações contidas no mapa de uso de solo foram utilizadas para nortear as decisões quanto às classes de uso que seriam utilizadas na área de estudo.

As amostras de treinamento foram adquiridas com o auxílio do módulo *Roi Tools*, do ENVI, correspondendo a uma área entre 80.000 a 100.000 pixels. Na Figura 8 apresenta-se o processo de coleta das amostras de treinamento que consiste em, por meio de fotointerpretação, agrupar pixels de uma mesma classe temática para posteriormente serem utilizados como modelo de classe pelo algoritmo classificador.

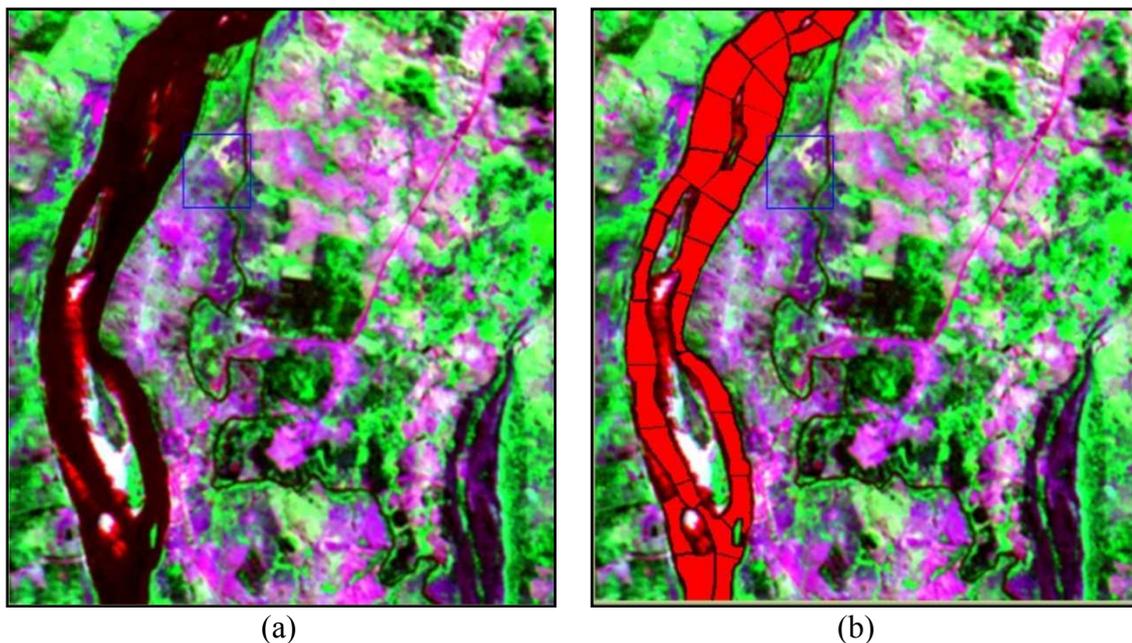


Figura 8 – Processo de seleção das áreas de amostra de treinamento para classificação: imagem sem amostra de treinamento (a) e imagem com amostra de treinamento (b).

3.1.1.5. Classificação automática

O objetivo principal do processo de classificação de imagens é categorizar automaticamente todos os pixels de uma imagem em classes temáticas presentes no terreno. Assim, ressalta-se a importância de uma boa coleta de áreas de treinamento, pois o êxito no processo de classificação da imagem e posterior geração do mapa temático de uso e ocupação do terreno dependerá do sucesso dessas etapas anteriores.

De acordo com o algoritmo utilizado, a classificação pode ser não supervisionada ou supervisionada. Na classificação supervisionada utilizam-se algoritmos cujo reconhecimento de padrões espectrais na imagem se faz com base numa área de treinamento, que é fornecida ao sistema de classificação pelo analista. Dentre os algoritmos supervisionados um dos mais empregados é o da máxima verossimilhança – MAXVER (MOREIRA, 2007), utilizado neste estudo.

Para classificação das imagens deste estudo adotou-se a metodologia de classificação supervisionada, com o uso do algoritmo da máxima verossimilhança (MAXVER).

Nesse sentido, Ferreira (2006) lembra que vários autores já avaliaram o algoritmo MAXVER como uma boa escolha para estudos de ocupação do solo e perda de cobertura vegetal (UNESCO, 2002; ALMEIDA et al., 2003; FILHO et al., 1998).

Após a determinação das classes de uso e ocupação do solo iniciou-se o processo de classificação automática das imagens de satélite utilizando a composição colorida 3, 4 e 5. O tipo de classificação utilizado foi o supervisionado e, após a determinação das regiões de interesse, seguiu-se o procedimento de classificação de imagens de satélite no ENVI 4.1, utilizando a função *classificação/supervisionada/MAXVER*.

Como em qualquer processo de classificação de imagens de satélite, ao término dessa etapa constatou-se o surgimento de “pixels isolados”, minimizados pelo ENVI 4.1 na função *classificação/pós-classificação/clump*. O clump é um filtro de passa baixa que tem por função aglutinar os pixels classificados. A Figura 9 apresenta o processo de classificação e imagem temática gerada após a classificação.

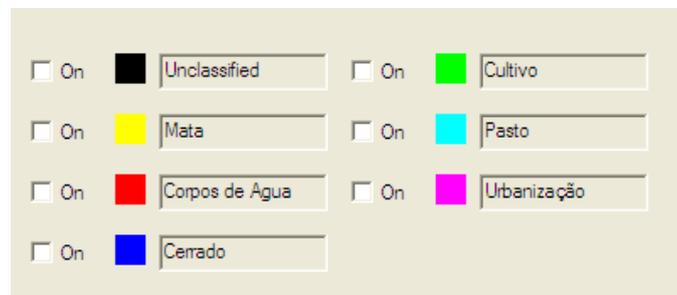
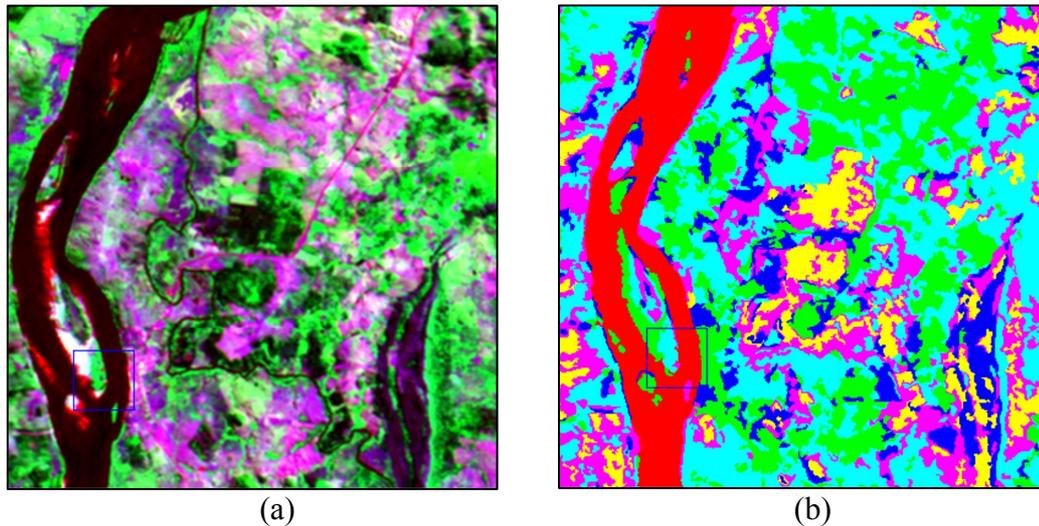


Figura 9 – Imagem classificada pelo algoritmo MAXVER: imagem (a) e mapa temático (b).

3.1.1.6. Verificação da exatidão da classificação automática

Para verificar a exatidão de mapas de uso e cobertura das terras resultantes de classificação de imagens de satélite é importante verificar a acurácia da classificação, que pode ser expressa como a probabilidade de uma certa classe estar correta em relação à realidade (MACHADO, 2002).

Assim, foi utilizado o módulo de *pós-classificação/matriz de confusão* do ENVI 4.1 para calcular a matriz de erro gerada a partir da comparação dos dados de amostras de treinamento com os dados resultantes da classificação.

A exatidão dos mapas temáticos gerados a partir da classificação das imagens foi realizada através da estatística Kappa (LANDIS; KOCH, 1977), que é um dos métodos mais utilizados para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático. A definição da exatidão dos mapeamentos foi feita de acordo com o Quadro 8.

Quadro 8 – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa

Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
$< 0,00$	Péssimo
$0,00 < k \leq 0,20$	Mau
$0,20 < k \leq 0,40$	Razoável
$0,40 < k \leq 0,60$	Bom
$0,60 < k \leq 0,80$	Muito Bom
$0,80 < k \leq 1,00$	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

O índice Kappa, bem como a acurácia da classificação, são calculados automaticamente no ENVI 4.1, na ferramenta *classificação/pós-classificação/matriz de confusão*. Nos Quadros 9 e 10 é possível verificar a matriz de confusão gerada para imagem classificada do ano de 2003.

Quando não gerado automaticamente, o índice Kappa pode ser obtido através da matriz de erros, com base na seguinte equação:

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

em que r é o número de linhas na tabela de classificação; x_{ii} , número de combinações ao longo da diagonal; x_{i+} , número total de observações na linha i ; x_{+i} , número total de observações na coluna i ; N , número total de células; e $+$, representa o somatório de cada linha ou coluna.

Posteriormente, as classificações das imagens foram vetorizadas no ENVI 4.1 e implementadas no ArcGis 9.3, no qual foram realizados os procedimentos de cálculo de área na função XTools/cálculo de área e elaboração dos mapas de uso do solo para cada um dos anos da série de estudo.

Quadro 9 – Matriz de confusão para a imagem classificada do ano de 2003, com índice Kappa de 0,9386 e acurácia de 95,08%

Classes temáticas	Corpos de água	Mata	Cerrado	Cultivo	Pastagem	Urbanização	Total
Não classificados	0	0	0	0	0	0	0
Corpos de água	50456	0	0	0	0	0	50456
Mata	136	158838	24	3	1521	349	160871
Cerrado	2	189	98609	999	277	2323	102399
Cultivo	157	2088	3086	101624	5075	2963	114993
Pastagem	1	4272	0	1291	53210	1748	60522
Urbanização	13	0	0	1	16	50742	50772
Total	50765	165387	101719	103918	60099	58125	540013

Quadro 10 – Porcentagem de acerto por tema classificado para a imagem do ano 2003

Classes temáticas	Corpos de água	Mata	Cerrado	Cultivo	Pastagem	Urbanização	Total
Não classificados	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Corpos de água	99,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,34
Mata	0,27	96,04	0,02	0,00	2,53	0,60	29,79
Cerrado	0,00	0,11	96,94	0,96	0,46	4,00	18,96
Cultivo	0,31	1,26	3,03	97,79	8,44	5,10	21,29
Pastagem	0,00	2,58	0,00	1,24	88,54	3,01	11,21
Urbanização	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	87,30	9,40
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tendo sido cumpridas as fases de pré-processamento e processamento dos dados advindos do sensor Landsat 5 TM, foi confeccionado o mapa temático contendo as seis classes temáticas adotadas no estudo: mata, cerrado, pastagem, cultivo, corpos d'água e urbanização. Neste sentido, foram consideradas as classificações adotadas pelo Manual Técnico de Uso da Terra (MATOS et al., 2006b), referente à classificação do uso do solo mais recente para o território brasileiro.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (MATOS et al., 2006b), considerou-se neste estudo as seguintes classificações:

- **Mata:** compreende um conjunto de estruturas florestal e campestre, abrangendo desde florestas e campos originais (primários) e alterados até formações florestais espontâneas secundárias, arbustivas, herbáceas e/ou gramíneo-lenhosas, em diversos estágios sucessionais de desenvolvimento, distribuídos por diferentes ambientes e situações geográficas. Consideram-se como florestais as formações arbóreas, incluindo-se aí as áreas de Floresta Densa (estrutura florestal com cobertura superior contínua), de Floresta Aberta (estrutura florestal com diferentes graus de descontinuidade da cobertura superior, conforme seu tipo – com cipó, bambu, palmeira ou sororoca), de Floresta Estacional (estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a estação desfavorável – seca e frio) além da Floresta Ombrófila Mista (estrutura florestal que compreende a área de distribuição natural da Araucária angustifolia, elemento marcante nos estratos superiores, que geralmente forma cobertura contínua).
- **Cerrado:** vegetação xeromórfica preferencialmente de clima estacional, com aproximadamente seis meses secos, não obstante poder ser encontrada também em clima ombrófilo em altitudes elevadas. É dividida em: Savana florestada (cerradão), Savana arborizada (campo-cerrado), Savana parque e Savana gramíneo-lenhosa (cerrado).
- **Pastagem:** áreas destinadas ao pastoreio do gado, formadas mediante plantio de forragens perenes. Nessas áreas o solo está coberto por vegetação de gramíneas ou leguminosas, cuja altura pode variar de alguns decímetros a alguns metros.
- **Cultivo:** no sentido amplo, a terra agrícola pode ser definida como terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e outras *commodities* do agronegócio. Inclui todas as terras cultivadas, caracterizadas pelo delineamento de áreas cultivadas ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas. Podem se constituir em zonas agrícolas heterogêneas ou representar extensas áreas de monoculturas.

Encontram-se inseridas nesta categoria as lavouras temporárias, lavouras permanentes e silvicultura.

- **Corpo d'água:** “cursos de águas naturais, lagos, reservatórios ou oceanos no qual a água residuária, tratada ou não, é lançada”. Ainda é considerado como corpo d'água “a parte do meio ambiente na qual é ou pode ser lançado, direta ou indiretamente, qualquer tipo de efluente, proveniente de atividades poluidoras ou potencialmente poluidoras”.
- **Áreas urbanizadas:** compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não-agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas. As áreas urbanizadas podem ser contínuas, onde as áreas não-lineares de vegetação são excepcionais, ou descontínuas, onde as áreas vegetadas ocupam superfícies mais significativas.

Realizadas todas estas etapas, as imagens foram exportadas para o SIG ArcGIS 9.3 (ESRI, 2009), no formato *Shapefile*, para fazer parte do banco de dados georreferenciado da bacia hidrográfica do rio Araguaia.

3.1.2. Monitoramento do uso do solo nas bacias

Com a geração dos mapas de uso e ocupação das terras na bacia do rio Lontra, foi verificada a evolução temporal do uso e ocupação do solo no período de 1985 a 2006, a cada três anos.

A delimitação da área drenagem para fins de monitoramento foi feita a montante da estação fluviométrica Piraquê (28240000), única estação com série de dados disponível na bacia do rio Lontra, por meio do software ArcGis 9.3, utilizando as extensões *spatial/analyst/map calculator e tabulate área*. No Quadro 11 são apresentados os dados da estação fluviométrica utilizada no estudo, localizada a montante da confluência do rio Lontra com o rio Araguaia.

Quadro 11 – Características da estação fluviométrica utilizada no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Área de drenagem (km ²)	Bacia hidrográfica
28240000	Piraquê	6°39'51"	48°28'28"	3.459,05	Rio Lontra

Fonte: ANA (2009).

3.2. Análise do comportamento hidrológico na bacia do rio Lontra

Para a realização do estudo foram analisados dados da estação fluviométrica 28240000, com área de drenagem de 3.459 km², representando 89,4% da área de drenagem da bacia do rio Lontra (Figura 10 e Quadro 11), e de cinco estações pluviométricas (Figura 11 e Quadro 12) pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA).

3.2.1. Seleção do período de análise e preenchimento de falhas

A aquisição dos dados de vazões e precipitações foi realizada pelo site HydroWeb da Agência Nacional de Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br>).

Após a análise dos dados hidrológicos, àqueles inexistentes ou considerados inconsistentes foram atribuídas falhas para posterior preenchimento. O preenchimento de falhas foi realizado por meio de correlações, segundo critérios consagrados de escolha de bases para as regressões.

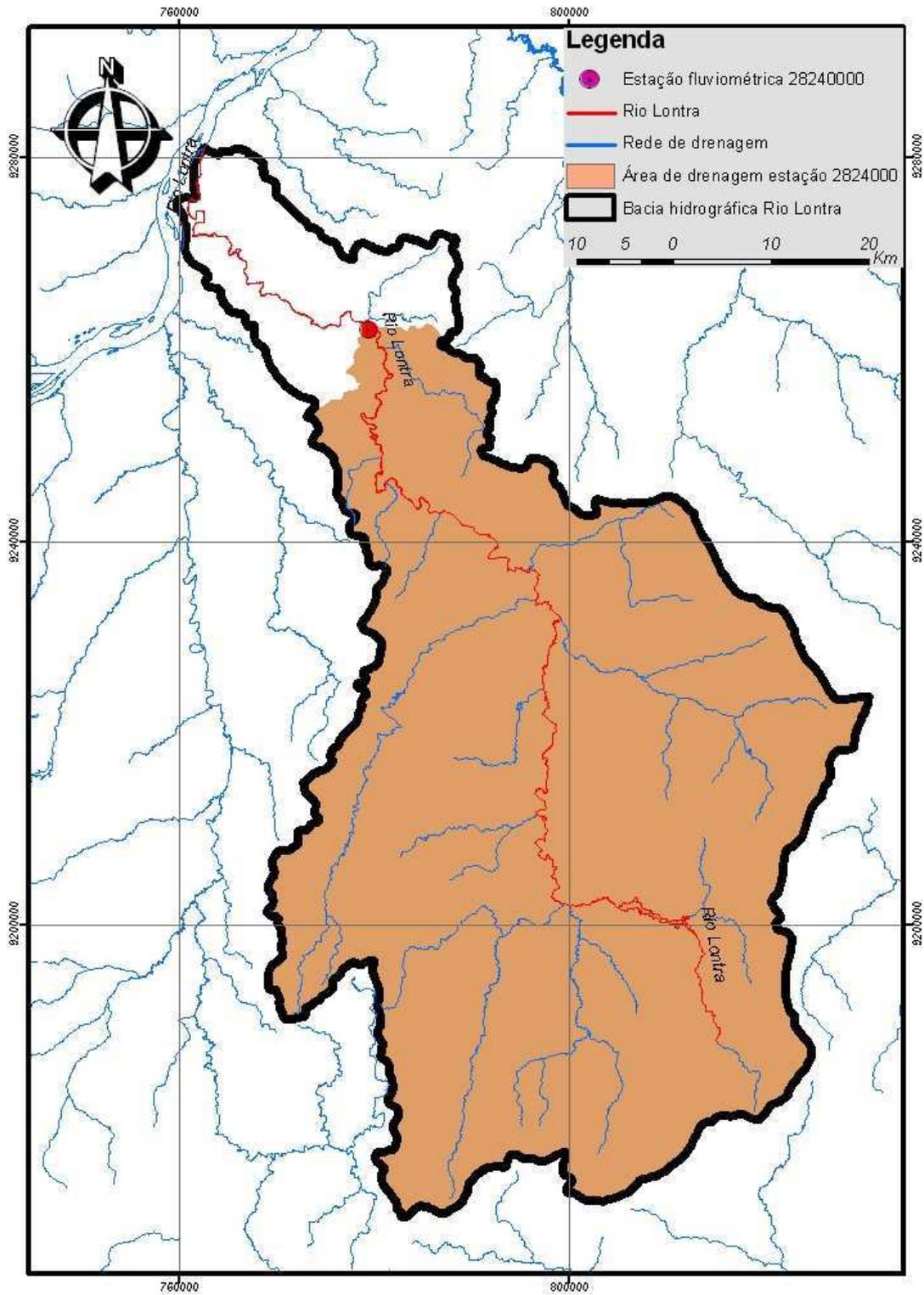


Figura 10 – Localização da estação fluviométrica utilizada no estudo.

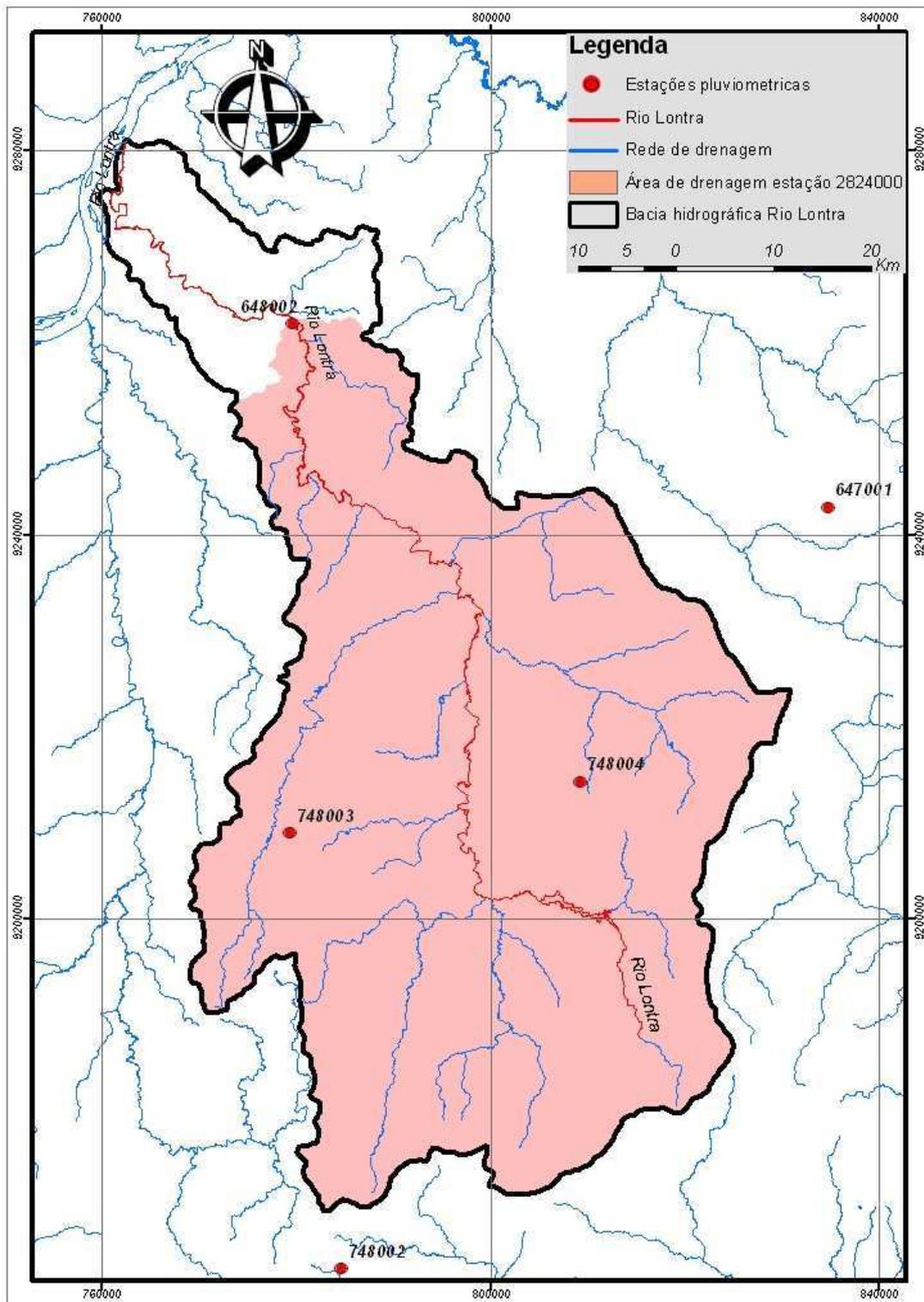


Figura 11 – Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Quadro 12 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
00647001	Wanderlândia	06°50'20"	47°58'12"	300,00
00648002	Piraquê	06°39'51"	48°28'18"	211,00
00748002	Fazenda Primavera	07°33'34"	48°25'30"	200,00
00748003	Muricilândia	07°09'16"	48°28'11"	219,00
00748004	Araguaína – Engopa	07°06'13"	48°12'03"	226,00

Fonte: ANA (2009).

Para o preenchimento de falhas nas séries de vazão utilizou-se a regressão linear simples com base na equação:

$$Q_y = \beta_0 + \beta_1 Q_x \quad (2)$$

em que Q_y é a vazão do posto com falhas em seus registros, m^3s^{-1} ; Q_x , vazão do posto de apoio, m^3s^{-1} ; e β_0 , β_1 , parâmetros ajustados na regressão pelo método dos mínimos quadrados, adimensional.

Para o preenchimento de falhas em séries pluviométricas foi utilizado o método da ponderação regional com base em regressões lineares, que consiste em estabelecer regressões lineares entre o posto com dados a serem preenchidos, Y, e cada um dos postos vizinhos, X_1, X_2, \dots, X_n . De cada uma das regressões lineares efetuadas obtém-se o coeficiente de correlação (r), sendo o preenchimento realizado com base na seguinte expressão:

$$P_Y = \frac{r_{YX1} P_{X1} + r_{YX2} P_{X2} + \dots + r_{YXn} P_{Xn}}{(r_{YX1} + r_{YX2} + \dots + r_{YXn})} \quad (3)$$

em que P_Y é a precipitação no posto com falhas em seus registros, $mm\ mês^{-1}$; P_{Xn} , precipitação no posto de apoio, $mm\ mês^{-1}$; r_{YXn} , coeficiente de correlação entre postos considerados, adimensional; e N, número total de postos de apoio considerados.

Para a aplicação deste método há a necessidade de que pelo menos três postos sirvam como apoio e que possuam correlação aceitável (acima de 85%) com o posto com falhas em seus registros.

Quando não foi possível a utilização do método da ponderação regional com base em regressões lineares, utilizou-se o método da regressão linear simples.

Para a aplicação dos métodos adotou-se como critério mínimo a obtenção de coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,70 e a existência de pelo menos oito anos de eventos comuns entre as estações consideradas para o estabelecimento da regressão, conforme Pruski et al. (2006).

3.2.2. Vazões médias, máximas e mínimas

Para a estação fluviométrica analisada obteve-se, para cada ano da série de 1985 a 2006, a vazão média (Q_{med}), a vazão máxima anual (Q_{max}), a vazão mínima de sete dias de duração (Q_7) e as vazões associadas às permanências de 90% e 95% no tempo.

As vazões associadas às permanências de 90% e 95% foram obtidas na curva de permanência da estação fluviométrica com base em dados diários, retratando a parcela de tempo que determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado.

Para isto, foi utilizado o software PSF (Projeto São Francisco), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa, em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA), Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e Organização dos Estados Americanos (OEA), disponibilizado no site www.ufv.br/dea/gprh.

3.2.3. Análise de precipitações

Neste trabalho foram utilizados os seguintes tipos de precipitações para a área de drenagem da estação fluviométrica: precipitação média anual (P_a), precipitação do semestre mais chuvoso (P_{Sc}) e precipitação do semestre mais seco (P_{Ss}), no período de 1985 a 2006.

Segundo a filosofia de representar a oferta de sazonal de água, o estudo adotou o ano hidrológico, representado pelo período de outubro a setembro, conforme Figura 12, para obtenção das vazões mínimas e precipitações médias para cada semestre.

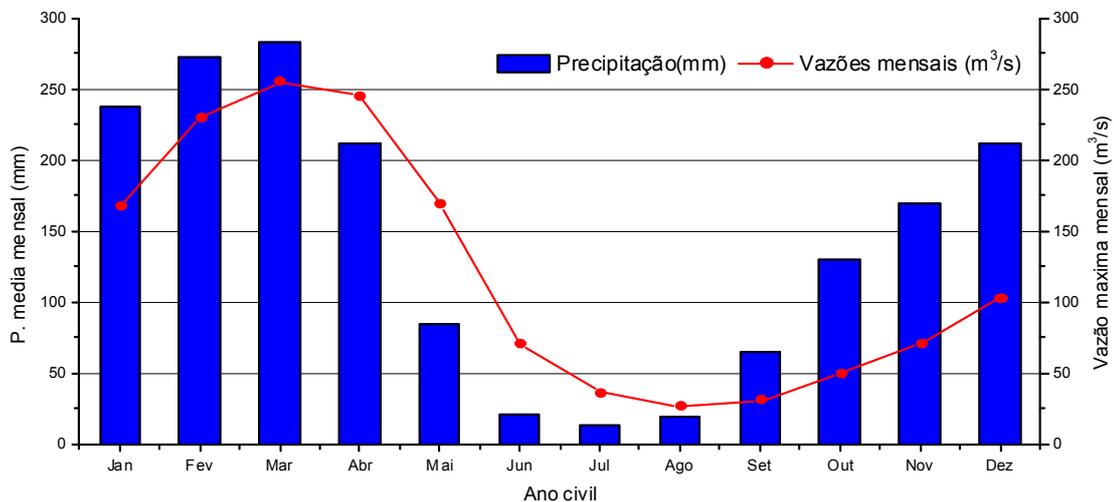


Figura 12 – Identificação do ano hidrológico na área de drenagem da estação 28240000.

No presente trabalho utilizou-se o interpolador *Inverse Distance Weighted* (IDW), com peso dois, do módulo *Spatial Analyst* do ArcMap 9.3, a fim de espacializar os totais pluviométricos de interesse na área de drenagem da estação fluviométrica utilizada no estudo.

Posteriormente, operações automáticas na calculadora matricial produziram mapas temáticos com informação média na área de cada célula (30x30 m), conforme Figura 13.

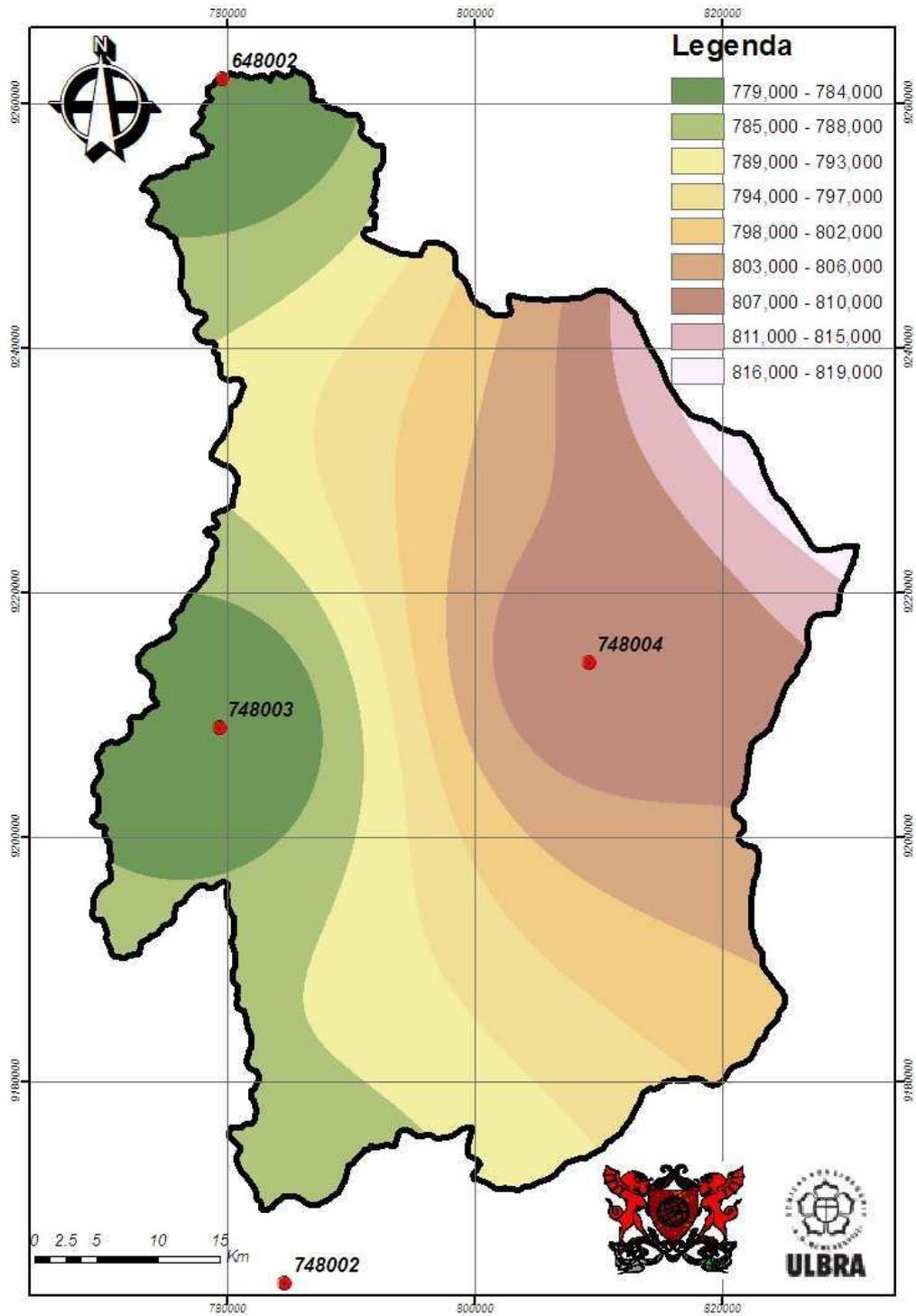


Figura 13 – Determinação da precipitação média do semestre seco na bacia pelo interpolador IDW, para o ano de 2003.

3.2.4. Análise de tendências das variáveis hidrológicas

As análises de tendências das variáveis hidrológicas (vazões e precipitações) foram estimadas por meio de equação de regressão linear simples entre variável hidrológica e o tempo, assumindo como variável dependente a variável hidrológica e como variável independente o tempo.

Assim, estimou-se o quanto ao longo dos anos, no período de 1985 a 2006, as vazões máximas (Q_{max}), médias (Q_{med}) e mínimas (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) diminuíram ou aumentaram na secção fluviométrica, bem como o comportamento associado a cada uma das precipitações avaliadas (P_a , PS_s , P_{sc}).

3.3. Estudo da associação entre vazões e uso do solo

O estudo da associação entre vazões e uso do solo foi realizado por meio de análises qualitativa e quantitativa na área de drenagem da estação fluviométrica.

A análise qualitativa visou associar, por meio de análise de tendências de comportamentos das variáveis (vazões, precipitações e uso do solo), a influência existente do uso do solo no comportamento das vazões.

Nesta etapa foram utilizadas séries temporais de vazões, precipitações e uso do solo da bacia de drenagem da estação fluviométrica. Para tal, foram feitos gráficos das séries temporais no período compreendido entre 1985 a 2006 e adicionadas suas linhas de tendências usando o software Microsoft Excel[®]. Além das tendências observadas através do comportamento das variáveis ao longo do tempo, foram obtidas as significâncias das mesmas para mostrar o quanto estas variações foram expressivas.

Por outro lado, a análise quantitativa visou obter um ajuste entre as variáveis por meio de equações de regressão múltipla, para que se pudesse explicar os comportamentos das vazões a partir de dados de precipitações e usos do solo.

Neste sentido, foram ajustadas equações de regressões observando os seguintes critérios: coeficiente de determinação (R^2), significância da equação pela ANOVA da regressão, significância dos betas, assim como, os sinais dos coeficientes. Estas análises foram realizadas para as vazões máxima (Q_{max}), média (Q_{med}) e mínimas (Q_7 , Q_{90} , Q_{95}) para a área de drenagem da estação fluviométrica.

Visando subsidiar estas análises foram elaborados diagramas que representassem as relações causais entre as modificações no uso do solo e o

comportamento hidrológico da bacia. Nas Figuras 14, 15 e 16 visualizam-se os diagramas de relações causais elaborados com a resposta esperada do comportamento hidrológico das vazões máxima, mínima e média, respectivamente, em função das modificações no uso do solo e da precipitação.

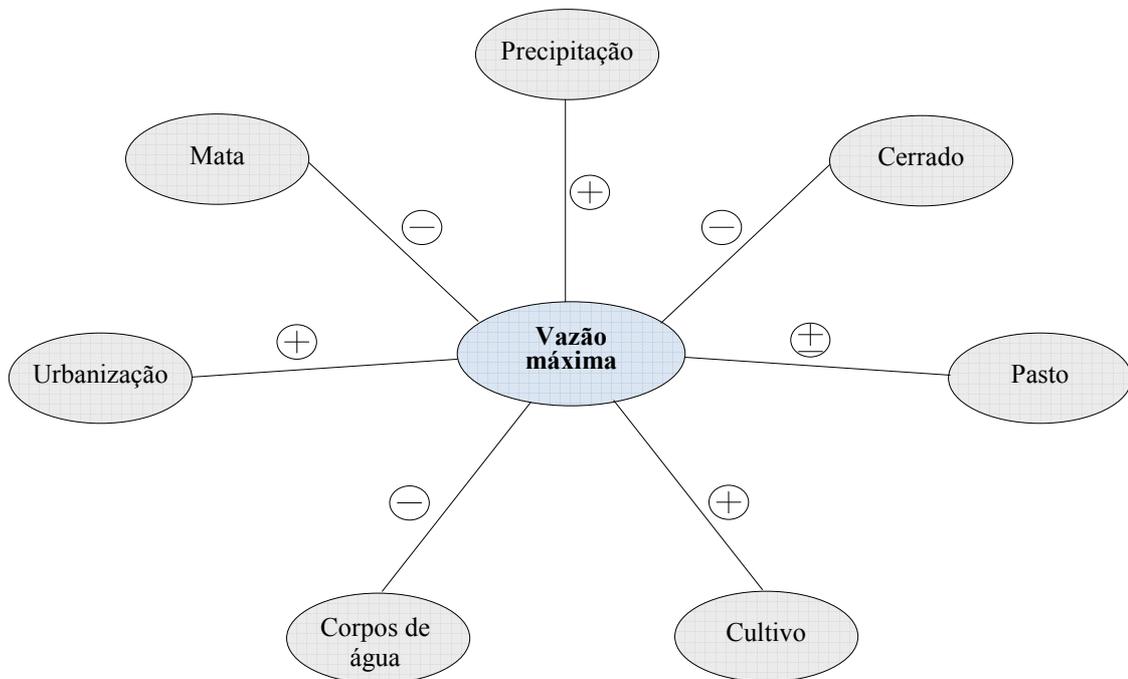


Figura 14 – Relações causais esperadas entre a vazão máxima e as classes de usos do solo mapeadas e a precipitação.

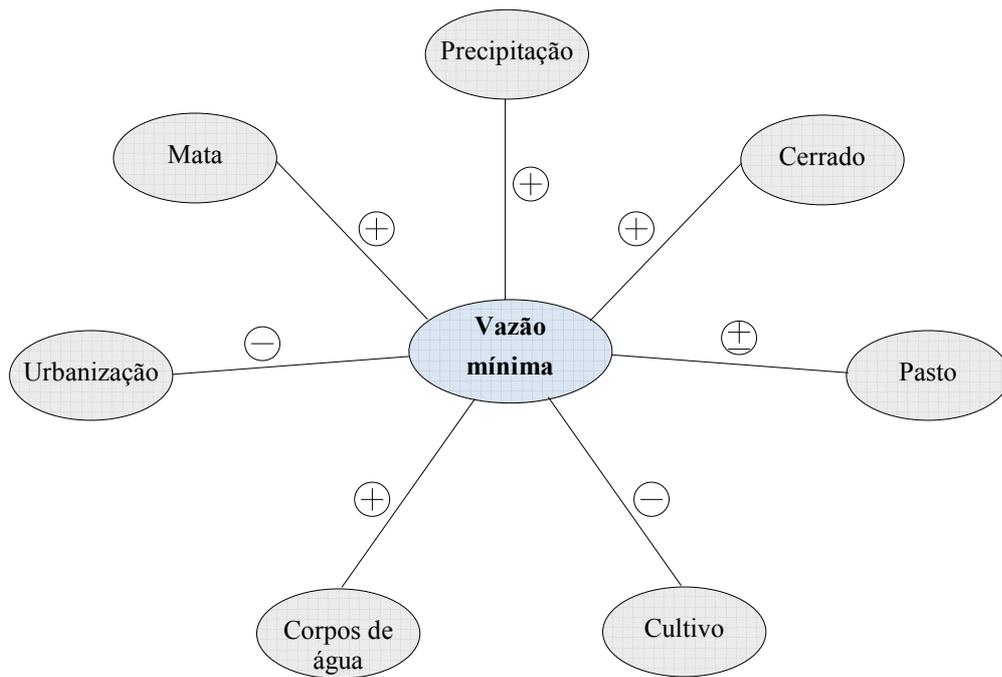


Figura 15 – Relações causais esperadas entre a vazão mínima e as classes de usos do solo mapeadas e a precipitação.

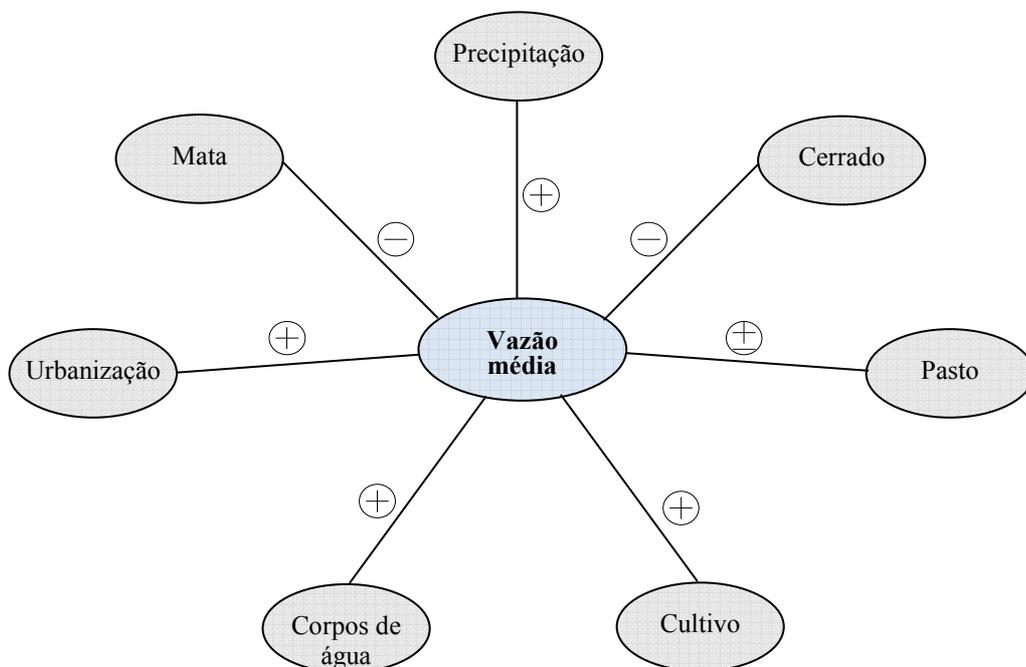


Figura 16 – Relações causais esperadas entre a vazão média e as classes de usos do solo mapeadas e a precipitação.

Com o aumento das áreas de cobertura de mata nas bacias, é de se esperar uma redução das vazões máximas, devido ao aumento da interceptação pela cobertura vegetal e ao aumento da rugosidade na superfície do solo, dentre outros fatores, causando o aumento na infiltração e redução do escoamento superficial, resultando numa associação negativa entre vazão máxima e mata. No caso da vazão mínima, o aumento da infiltração resulta numa associação positiva entre vazão mínima e mata, ou seja, com o aumento de mata espera-se um aumento das vazões mínimas. Finalmente, sinal negativo para a associação entre vazão média e mata, pois com o aumento de mata espera-se um aumento da evapotranspiração com conseqüente redução na vazão média de longa duração.

A resposta esperada para a classe cerrado quando relacionada com vazões máximas é que se tenha uma redução destas vazões com seu aumento, devido à recomposição vegetal natural da área de estudo, adotando assim o sinal negativo. Com o aumento das áreas de cerrado espera-se um aumento nas vazões mínimas, desta forma adotou-se o sinal positivo e, finalmente, sinal negativo para a associação entre vazão média e cerrado, pois com o aumento de cerrado espera-se uma redução nos valores da vazão média, devido ao aumento do consumo de água por evapotranspiração (LATUF, 2005).

Para o uso do solo pastagem, seu aumento e conseqüente resposta às variações hidrológicas na bacia, depende da forma como o manejo está sendo conduzido. Neste sentido, adotou-se um sinal de mais ou menos para as relações entre pastagem e as diversas vazões.

Com relação ao cultivo, espera-se uma resposta com sinal positivo para a associação com a vazão máxima, devido a este aumento estar relacionado com uma menor proteção da superfície do solo às ações de precipitações, possibilitando o aumento, desta forma, do encrostamento superficial e conseqüente aumento do escoamento. Ao contrário, para as vazões mínimas espera-se uma resposta com sinal negativo. E, finalmente, para a vazão média, um sinal positivo (LATUF, 2005).

A classe de uso do solo corpos d'água possui uma associação esperada com a vazão máxima de sinal negativo, ou seja, com o aumento das áreas de reservatórios espera-se uma tendência de redução das vazões máximas. Sendo o contrário verdadeiro, quando se observa as associações com as vazões mínimas e médias, onde o aumento de reservatórios tende a aumentar a oferta de água em períodos mais secos e de regularizar sua oferta, respectivamente (LATUF, 2005).

Já a classe de uso do solo urbanização possui uma associação esperada com a vazão máxima de sinal positivo, ou seja, com o aumento das áreas de urbanização espera-se uma tendência de aumento das vazões máximas, devido à alta taxa de impermeabilização do solo (TUCCI, 2009). Para as vazões mínimas a associação esperada é de redução das mesmas, adotando-se desta forma, o sinal negativo, devido à menor infiltração de água no solo e conseqüente deficiência na realimentação dos aquíferos. Já para as vazões médias adotou-se o sinal positivo, devido ao aumento de escoamento superficial e redução da evapotranspiração nestas áreas, onde as precipitações são convertidas em escoamento de forma mais rápida, devido à impermeabilização existente no uso do solo urbano (MOTA, 2003).

Na associação da variável precipitação com as vazões máxima, mínima e média, foi adotado o sinal positivo, pois com o aumento da precipitação há a tendência de aumento das vazões (LATUF, 2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Mudanças ocorridas no uso do solo

No Quadro 13 são apresentadas as exatidões dos mapas temáticos gerados a partir do processamento digital das imagens do sensor Landsat 5 TM, onde se pode verificar que as imagens foram classificadas como excelente, segundo o Índice Kappa.

Quadro 13 – Exatidão dos mapeamentos de uso do solo, apresentando o ano do mapeamento, o índice kappa e o nível de classificação

Anos	Índice Kappa (%)	Classificação
1985	95,0	Excelente
1988	95,6	Excelente
1991	97,2	Excelente
1994	95,3	Excelente
1997	92,6	Excelente
2000	97,0	Excelente
2003	96,0	Excelente
2006	93,4	Excelente

Após obter as exatidões dos mapeamentos temáticos gerados, iniciou-se a etapa de monitoramento das modificações do uso do solo na área drenagem da estação 28240000, na bacia do rio Lontra, que subsidiaram a elaboração de análises de tendências ao longo do período compreendido entre 1985 e 2006.

Esta verificação foi realizada a partir da análise dos dados de área ocupada por cada tema de uso do solo da bacia, para cada um dos oito anos de observação da série estudada, conforme Quadro 14. Os dados utilizados na análise de mudanças do uso do solo para a área de drenagem estudada, no período de 1985 a 2006, encontram-se no Apêndice.

Quadro 14 – Significâncias e tendências observadas para o comportamento do uso do solo, no período de 1985 a 2006, na bacia do rio Lontra

Mata	Cerrado	Pasto	Cultivo	Urbano	Corpos d'água
93,97 ↓	78,47 ↓	74,72 ↑	65,93 ↑	98,46 ↑	73,25 ↑

↑: Crescimento; ↓: Diminuição

A cobertura mata apresentou uma tendência de redução de sua área ao longo do período de estudo, fato este decorrente do aumento tanto da classe cultivo quanto da classe pasto. Esse comportamento apresentou, ao longo da série (1985 a 2006), uma significância de 93,97%.

A redução da área de mata ocorre principalmente na região noroeste da área de drenagem, em grande parte decorrente da substituição pela classe de uso pastagem. Este comportamento evidencia o potencial da região onde está inserida a área de estudo para a atividade de pecuária. Segundo o estudo realizado no Plano de Bacia do Rio Lontra, 856,54 km² foram classificados como solos próprios para a atividade de pecuária tradicional (SEPLAN-TO, 2002).

Foi possível observar em alguns casos, por meio de tabulação cruzada, que em áreas cultivadas e posteriormente abandonadas ocorreu regeneração e, assim, substituição de áreas antropizadas por formação de cerrado.

A classe cerrado apresentou, de forma geral, tendência de redução, da mesma forma que a classe mata, com significância de 78,47%. Essa tendência ocorreu em decorrência da substituição por classes de pastagem e cultivo, porém outro fator que de certa forma influenciou na variação de área da classe cerrado foi a incidência do fogo. Na região sudeste da bacia o cerrado apresenta feições de cerrado ralo, ficando bastante susceptível à ação do fogo por apresentar baixa concentração de massa verde. A Figura 17 apresenta a identificação de focos de calor na bacia hidrográfica no período de 1990 a 2007.

Assim, o comportamento da classe cerrado apresenta grande variação no período estudado, parte sob influência das queimadas, que por causa da pouca massa verde se propaga com maior velocidade, tendo da mesma forma um comportamento de regeneração em menor intervalo de tempo que o estudado, que foi fixado a cada três anos consecutivos, e parte por substituição por cultivo ou pastagem.

No monitoramento realizado para a classe de uso solo cultivo foi observada tendência de aumento de área ao longo da série temporal analisada, com uma significância de 65,93%.

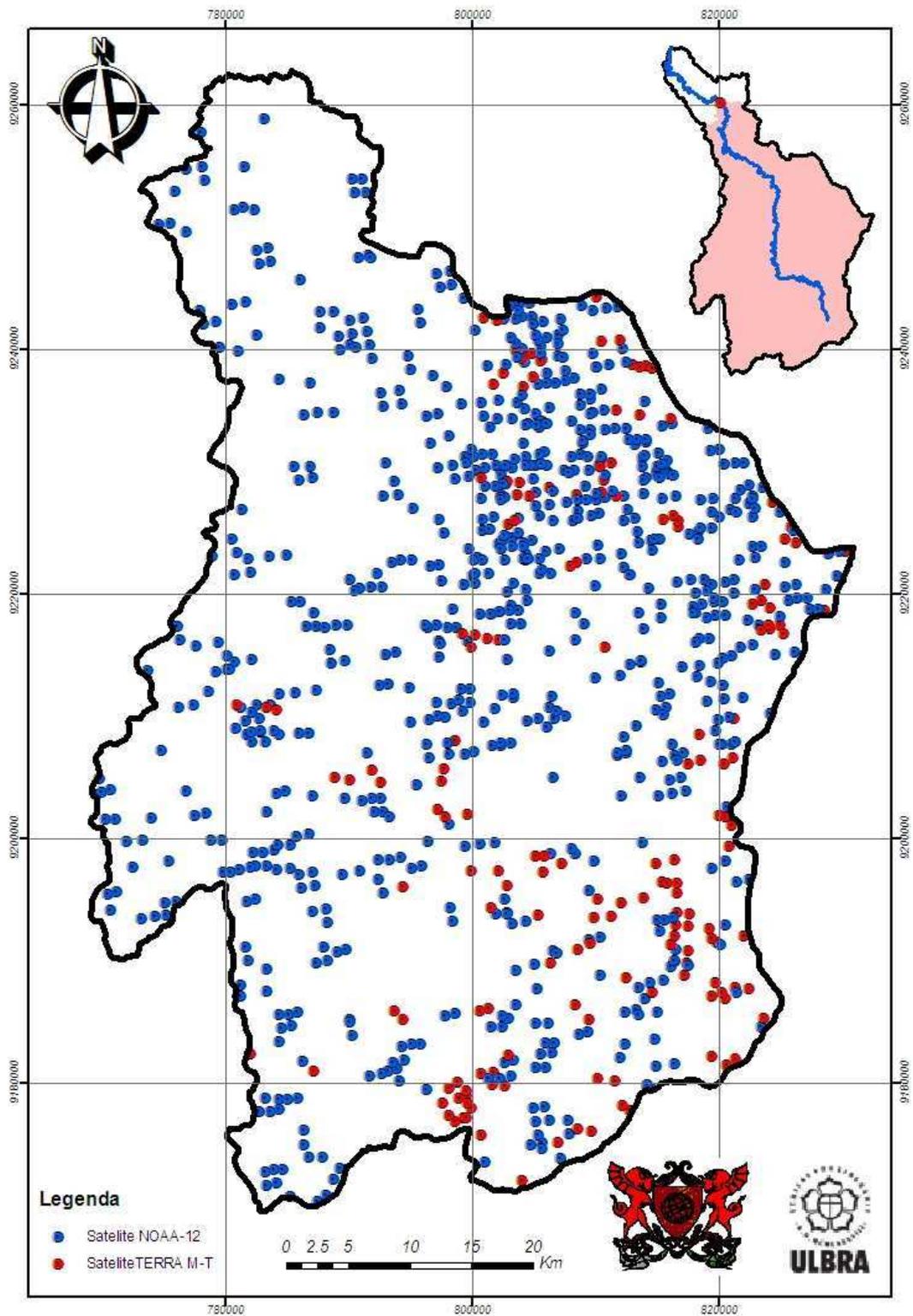
A área desta classe alterna-se com a classe de pastagem, ou seja, em anos alternados o uso e ocupação cultivo passa a ser pastagem, definindo assim ciclos que se formam a partir da instabilidade econômica presente na atividade agropecuária brasileira.

Essa rotatividade pode ser observada no Quadro 15, que retratam o avanço das áreas de colheita no período de 1991 a 2006 para a região onde está inserida a área em estudo.

A expansão da agricultura ocorreu nestas áreas favorecida pela baixa declividade e pela possibilidade de mecanização, fazendo com que as mesmas tivessem, ao longo do tempo, sua cobertura modificada para extensas áreas agrícolas.

Este tipo de comportamento, evidenciado pela tendência de redução da cobertura de mata e cerrado na área de drenagem, mostra que, por outro lado, o processo de expansão da agricultura segue como uma das principais fontes de geração de renda da região.

Para a classe de uso do solo pastagem foi identificada uma tendência de aumento da área ao longo do período de 1985 a 2006, com uma significância de 74,72%. Entretanto, a partir do ano de 1997 detectou-se uma tendência de redução de área de pastagem na bacia do rio Lontra.



Fonte: INPE (2010).

Figura 17 – Focos de calor na bacia do rio Lontra entre 1990 e 2007, satelites NOAA-12 e TERRA M-T.

Quadro 15 – Área plantada/colhida, em ha, com lavoura temporária em alguns municípios inseridos na bacia do rio Lontra

Município	Ano															
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Aragominas-TO	-	-	746	941	990	564	945	662	389	465	530	800	1.006	1.294	1.898	1.415
Araguaína-TO	8.346	10.795	3.417	4.019	7.174	5.322	4.515	5.706	5.890	5.407	5.819	7.197	7.483	6.228	6.268	2.167
Araguanã-TO	-	-	636	586	590	545	447	383	400	530	558	748	953	1.245	775	910
Babaçulândia-TO	2.742	2.809	2.179	2.888	2.945	3.094	2.365	2.621	2.364	2.297	1.043	1.436	1.568	1.783	2.757	1.493
Carmolândia-TO	-	-	376	482	555	511	530	418	380	418	457	556	761	892	340	400
Muricilândia-TO	-	-	462	227	220	370	397	293	355	450	470	563	753	976	1.130	1.242
Nova Olinda-TO	2.900	2.350	2.330	1.930	1.960	850	1.160	915	920	710	830	890	1.020	1.470	6.980	7.860
Piraquê-TO	-	-	100	170	200	364	264	385	465	585	640	770	955	1.110	1.150	1.167
Wanderlândia-TO	1.750	2.445	1.855	2.322	1.685	1.402	1.890	2.608	2.473	2.193	2.367	2.409	2.745	3.442	4.650	5.131
Xambioá-TO	1.860	1.890	260	340	570	720	668	619	1.185	1.343	1.225	725	835	1.075	1.015	1.235

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010).

No período em que a classe de uso do solo pastagem apresentou tendência de reduziu foi evidenciada, na maioria das vezes, substituição por cultivo e, em alguns casos, cerrado. Há possibilidade dessas áreas de pasto terem sido abandonadas e estarem sujeitas à regeneração natural ou, ainda, substituição da atividade pecuária pela agricultura temporária.

Para as classes de uso corpos d'água e urbanização foram identificadas variações em suas áreas de cobertura na área de drenagem da bacia do rio Lontra, sendo mais expressiva para o uso urbanização e pouco representativa para a classe corpos d'água, refletindo, deste modo, o crescimento urbano identificado por IBGE (2009) e a expansão da agricultura, com o conseqüente aumento do número de barragens para fins dessedentação animal e irrigação.

Na Figura 18 é possível observar a variação das classes de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Lontra no período estudado.

No Quadro 16 são apresentados os valores, em km², das mudanças ocorridas no uso do solo entre os anos extremos do período analisado (1985 e 2006) para a área de drenagem da estação fluviométrica utilizada no estudo.

4.2. Análise do comportamento das variáveis hidrológicas

Na análise da série histórica de vazões da estação 28240000 houve a necessidade de preenchimento de falhas em apenas dois anos para as vazões máxima, média e mínima de sete dias consecutivos (Q_7).

No Quadro 17 são apresentadas as significâncias e tendências obtidas pelas variáveis hidrológicas (vazões e precipitações), ao longo do período de 1985 a 2006, para a estação fluviométrica utilizada no estudo.

No Quadro 17 constata-se a tendência de crescimento apenas da variável vazão máxima (Q_{max}) ao longo do tempo, no período de 1985 a 2006, com uma significância de 69,02%. Essa tendência pode ser justificada pela redução da área de mata na bacia do rio Lontra, mesmo com as precipitações apresentando tendência de redução para o período estudado. A redução da cobertura vegetal acarreta diminuição da rugosidade do solo e propicia maior velocidade de escoamento superficial, destacando a influência do uso do solo no comportamento das vazões máximas.

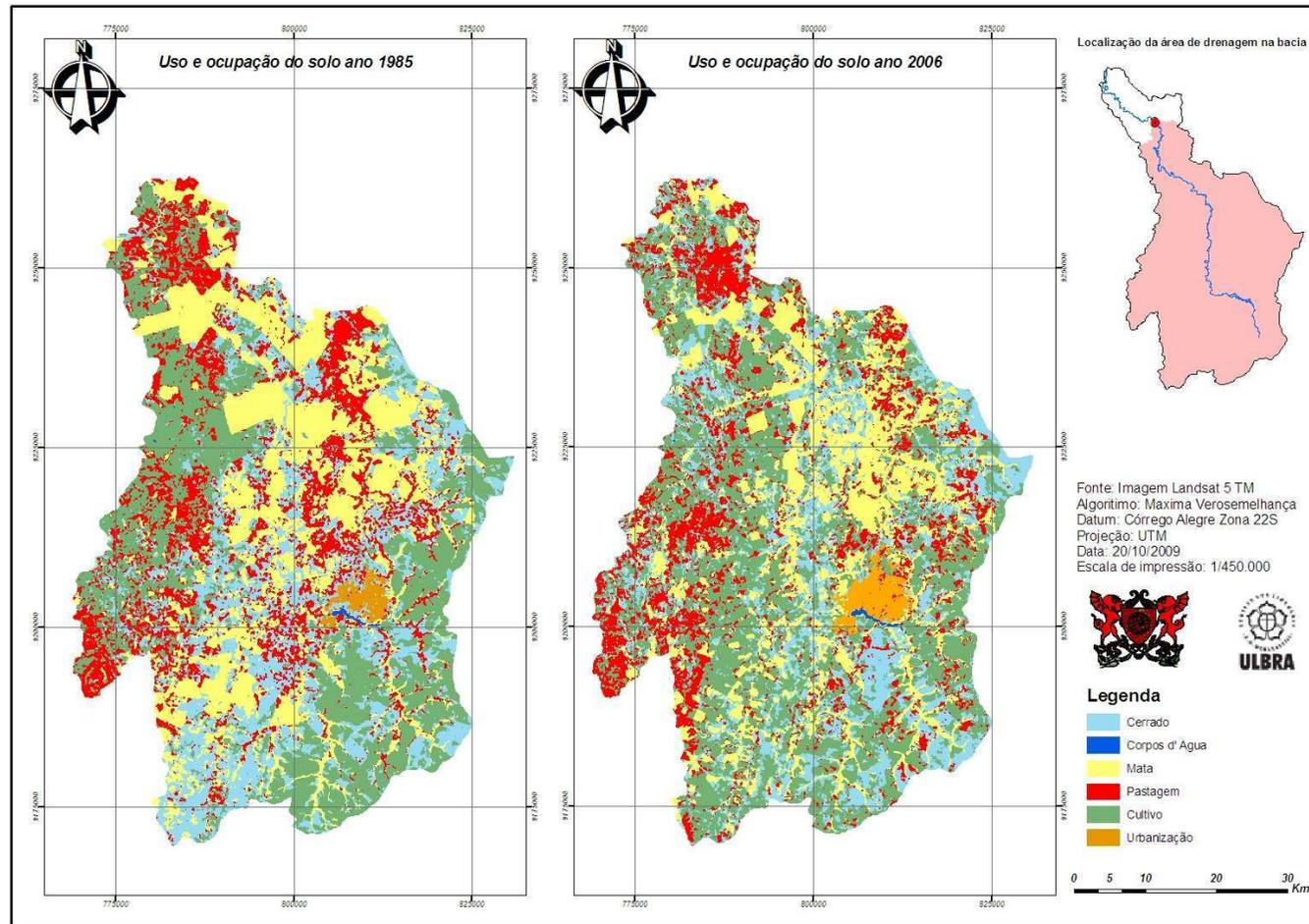


Figura 18 – Mudanças ocorridas no uso do solo na área de drenagem da estação fluviométrica 28240000, na bacia hidrográfica do rio Lontra.

Quadro 16 – Valores de áreas (km²), diferenças e variações percentuais para os diferentes tipos de usos do solo entre os anos de 1985 e 2006, na bacia do rio Lontra

Classe de uso do solo											
Mata				Cerrado				Pastagem			
1985	2006	Diferença	Δ (%)	1985	2006	Diferença	Δ (%)	1985	2006	Diferença	Δ (%)
936,28	780,66	-155,62	-16,62	846,05	800,73	-45,32	-5,35	661,79	579,26	-82,53	-12,47

Classe de uso do solo											
Cultivo				Urbanização				Corpos de água			
1985	2006	Diferença	Δ (%)	1985	2006	Diferença	Δ (%)	1985	2006	Diferença	Δ (%)
995,81	1.257,67	+261,86	+26,29	0,97	1,68	+0,71	+73,19	0,11	0,12	+0,01	+9,09

Quadro 17 – Significância e tendências observadas para vazões e precipitações na bacia do rio Lontra no período entre 1985 a 2006

Q_{\max}	Q_{med}	Q_7	Q_{90}	Q_{95}	Pa	PSc	PSs
69,02 ↑	78,78 ↓	69,23 ↓	72,80 ↓	78,00 ↓	87,13 ↓	74,32 ↓	92,09 ↓

↑: Crescimento; ↓: Diminuição

A vazão média apresentou tendência de redução ao longo do período analisado para a área de drenagem da estação fluviométrica. Este resultado pode ser associado ao comportamento da variável hidrológica precipitação do semestre chuvoso (PSc), que também apresentou redução para o mesmo período.

As vazões mínimas (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) apresentaram tendência de redução para o período analisado na área de drenagem da estação fluviométrica. Este comportamento provavelmente está associado à tendência de redução das precipitações (Pa) e (PSc), no período avaliado, fato que ocasiona menor reabastecimento dos aquíferos e, conseqüentemente, redução das vazões no período seco do ano. Além disso, devem ser destacadas as mudanças no uso e ocupação do solo na bacia do rio Lontra, que ocasionam menor infiltração de água no solo e aumentam o volume escoado na superfície da bacia hidrográfica, contribuindo para o incremento da vazão máxima e redução da vazão mínima.

4.3. Associações entre modificações no uso do solo e comportamento hidrológico

No estudo de associação entre modificações no uso do solo e o comportamento hidrológico da bacia do rio Lontra não foram incluídas as classes de uso do solo corpos d'água e urbanização, pelo fato de não serem espacialmente representativas na bacia, não chegando a 2% da mesma.

No Quadro 18 podem ser observadas as equações ajustadas na bacia do rio Lontra para cada uma das vazões (máxima, média e mínima) e as significâncias obtidas para cada uma das variáveis explicativas do comportamento das vazões de referência. Os dados utilizados para o ajuste das equações são apresentados no Apêndice.

4.3.1. Vazão máxima

O comportamento observado ao longo do período de análise deste trabalho, compreendido entre 1985 a 2006, evidencia um crescimento nas vazões máximas na bacia do rio Lontra (Quadro 17).

O comportamento de crescimento da vazão máxima está associado à precipitação do semestre chuvoso (PSc) e aos usos pasto (P) e cerrado (C), conforme se pode observar na equação ajustada, apresentada no Quadro 18.

Pelo modelo gerado para a vazão máxima, a partir da regressão linear múltipla, verifica-se que a vazão máxima sofre mais influência do uso e ocupação do solo que da precipitação do semestre chuvoso.

Na Figura 19 apresentam-se as relações causais obtidas entre a vazão máxima e as classes de uso Cerrado e Pasto e a precipitação do semestre chuvoso. Confirmando o esperado no diagrama de relações casuais, os usos pasto e cerrado apresentam contribuição negativa para a vazão máxima, ressalta-se, que o pasto com sinal negativo, evidencia manejo adequado.

A classe de uso pasto, por apresentar sinal negativo, caracteriza uma pastagem bem manejada, contribuindo assim para reduzir o escoamento superficial e, conseqüentemente, as vazões máximas.

Já a classe de uso cerrado, também com sinal negativo, evidencia o comportamento real, pois quanto maior a área cobertura vegetal nativa, menor será o incremento de escoamento superficial, reduzindo desta forma o pico de vazão máxima esperada.

Essa maior influência do uso e ocupação do solo no comportamento das vazões máximas pode ser decorrente do aumento da antropização na área de drenagem da bacia.

Quadro 18 – Equações ajustadas para as vazões máxima, mínima e média (m^3s^{-1}) na bacia do rio Lontra, para o período de 1985 a 2006

Vazão	Equação ajustada*	R ²	Sign(a) (%)	Variáveis **	Sign (b) dos coeficientes (%)
Q _{max}	Q _{max} = 390,251 – 0,115024 (C) – 0,159939 (P) + 0,0762560 (PSc)	0,61	75,64	C, P, PSc	83,98 89,51 73,39
Q ₇	Q ₇ = - 19,3062 + 0,0104254 (C) + 0,0165086 (Pa)	0,74	96,43	C,Pa	89,80 98,74
Q ₉₀	Q ₉₀ = - 18,9235 + 0,0124539 (C) + 0,0165262 (Pa)	0,66	93,26	C,Pa	88,89 97,36
Q ₉₅	Q ₉₅ = - 19,0802 + 0,0120987 (C) + 0,0155845 (Pa)	0,75	96,84	C,Pa	93,11 98,67
Q _{med}	Q _{med} = 76,6992 – 0,0588422 (P) + 0,0332775 (PSc)	0,86	> 99,99	P, PSc	98,76 91,98

Sign(a): Significância da equação pelo teste F;

Sign(b): Significância dos coeficientes dos parâmetros pelo teste t.

* Q (m^3s^{-1}); C e P (km^2); Pa e PSc (mm).

** C – Cerrado, P – Pasto, PSc - Precipitação do semestre chuvoso e Pa – Precipitação anual

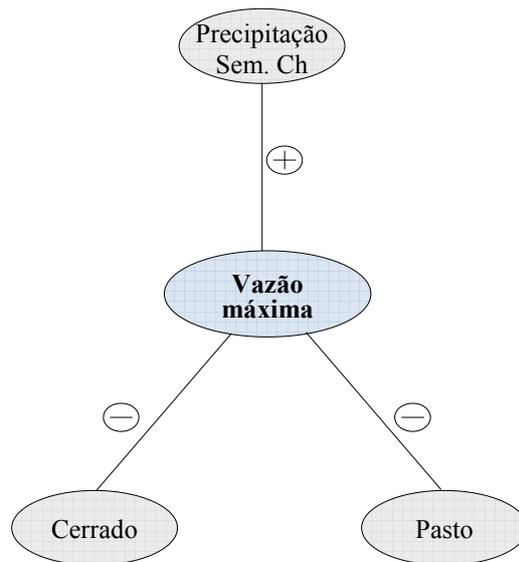


Figura 19 – Relações casuais obtidas entre a vazão máxima e as classes de uso (Cerrado e Pasto) e a precipitação.

Assim, supõe-se como provável causa para o aumento das vazões máximas a redução de áreas de pasto e cerrado. Essa redução alterou de forma significativa as características de rugosidade natural do solo, ficando assim mais vulnerável à ação da água da chuva, ocasionando maiores volumes de escoamento superficial e incremento da vazão máxima.

4.3.2. Vazão mínima

No período de 1985 a 2006 houve tendência de redução das vazões mínimas na área de drenagem da bacia do rio Lontra, com significâncias de 69,23%, 72,8% e 78,0% para Q_7 , Q_{90} e Q_{95} , respectivamente (Quadro 17).

O comportamento de redução das vazões mínimas está associado à redução da precipitação anual (Pa) bem como à tendência de redução da classe de uso cerrado (C), conforme se pode observar nas equações ajustadas apresentadas no Quadro 18.

Na Figura 20 apresentam-se as relações causais obtidas entre a vazão mínima e a classe de uso Cerrado e a precipitação anual. Confirmando o esperado no diagrama de relações casuais, o uso cerrado apresenta contribuição positiva para as vazões mínimas Q_7 , Q_{90} e Q_{95} .



Figura 20 – Relações casuais obtidas entre a vazão mínima e a classe de uso Cerrado e a precipitação anual.

A classe de uso cerrado obteve tendência de redução na bacia hidrográfica, ao longo da série histórica. Em análise com ferramenta de tabulação cruzada observou-se que houve maior substituição desta classe por cultivo e, em função disso, era esperado, com base no diagrama de relações causais, que esse efeito refletisse na redução nas vazões mínimas.

Assim, o uso do solo cerrado é explicativo para o comportamento das vazões mínimas estudadas neste trabalho. Com a substituição das áreas de cerrado por cultivo esperava-se uma redução das vazões mínimas, devido à maior exposição do solo à ação da água das chuvas, aumentando assim o escoamento superficial e selamento superficial e, conseqüentemente, reduzindo a infiltração de água no solo e a recarga dos aquíferos.

4.3.3. Vazão média

No período de 1985 a 2006 houve tendência de redução da vazão média na área de drenagem da bacia do rio Lontra, com significância de 78,78% (Quadro 17).

O comportamento de redução da vazão média está associado à redução da precipitação no semestre chuvoso (PSc), pois o comportamento da mesma também foi de redução ao longo do período de análise para a área de drenagem da bacia do rio Lontra, e ao aumento da área de pasto. Tal comportamento pode ser evidenciado pela equação ajustada para vazão média, apresentada no Quadro 18.

Na Figura 21 apresentam-se as relações causais obtidas entre a vazão média e a classe de uso Pasto e a precipitação do semestre chuvoso. Confirmando o esperado no diagrama de relações casuais, o uso pasto apresentou contribuição negativa para a vazão média e a precipitação do semestre chuvoso contribuição positiva.



Figura 21 – Relações casuais obtidas entre a vazão média e a classe de uso Pasto e a precipitação do semestre chuvoso.

Esse comportamento de associação da vazão média com a classe pasto reforça a hipótese de, neste caso, haver um manejo adequado das pastagens na área de drenagem da bacia do rio Lontra.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho chegou-se às seguintes conclusões:

- As classes de usos do solo que tiveram tendência de crescimento ao longo do período analisado foram: cultivo, pasto, urbanização e corpos d'água. Por outro lado, as classes de usos do solo que tiveram redução neste mesmo período foram mata e cerrado.
- Ao longo do período analisado o aumento das áreas de cultivo ocorreu, principalmente, em substituição à mata, alternando com área de pasto.
- Os comportamentos das vazões mínima e média, assim como das precipitações anuais, do semestre chuvoso e do semestre seco tiveram tendências gerais de redução ao longo do período analisado. Apenas a vazão máxima obteve tendência geral de aumento neste mesmo período.
- O comportamento da vazão máxima associou-se às variáveis precipitação do semestre chuvoso e usos do solo pasto e cerrado; as vazões mínimas com as variáveis precipitação anual e uso do solo cerrado; e as vazões médias com as variáveis precipitação do semestre chuvoso e uso do solo pasto.
- O comportamento hidrológico na bacia do rio Lontra foi alterado expressivamente em função do uso e da ocupação do solo na área de drenagem.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Sistema de informações hidrológicas (HidroWEB)**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Inventário das estações fluviométricas**. Brasília, 2001.

ALENCAR, D.B.S.; SILVA, C.L.; OLIVEIRA, C.A.S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 26, n. 1, 2006.

ALMEIDA, N. A.; BATISTA, A. N.C.; MELO, J.A.B.; GUIMARÃES, A. P.G. Utilização de imagens CBERS no diagnóstico do uso e ocupação do solo na microbacia do riacho Maracajá, Olivedos, PB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009. p. 1927-1934.

AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CURI, N.; FONSECA, S.; ALMEIDA, A.C. Parâmetros hidrológicos de uma microbacia sob plantação de eucalipto nos tabuleiros costeiros (ES) – primeira aproximação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2005, Recife. **Anais...** Recife, 2005.

AZEVEDO, A. A. **Avaliação de metodologia de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paraná**. 2004. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BARBOSA, F. **Ângulos da água: desafios da integração**. Belo Horizonte: UFMG, 2008. 366 p.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração de água no solo**. Viçosa: UFV, 2006. 86 p.

BRASIL. **Política nacional de recursos hídricos**: lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília: MMA/SRH, 1997.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

CRÓSTA, A.P. **Censos agropecuários**: 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996. Brasília: IBGE, 1996.

CRÓSTA, A.P. **Divisão de geração de imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2008.

CRÓSTA, A.P. **Características técnicas de imagens dos sensores Landsat 5 TM e 7 ETM+**. Cachoeira Paulista: INPE/DGI, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Projeto Brasil em relevo**: dados SRTM compatíveis com as escalas do IBGE. Campinas, 2005.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **ArcGIS v. 9.0**. Redlands, Califórnia, 2004.

FERREIRA, C. S. **Avaliação temporal do uso e ocupação das terras na bacia do rio São Bartolomeu, DF**. 2006. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

FRAGOSO, M. C.; MEIRELLES, M. S.P.; HERLIN, I.; BERROIR, J.P. Detecção automática de mudanças no uso e cobertura do solo através do uso integrado dos satélites NOAA/AVHRR e Landsat/TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2005. p. 521-523.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **SPRING – tutorial de geoprocessamento**: classificação de imagens digitais. São José dos Campos, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **SPRING - apostila teórica do curso de classificação de imagens digitais**. São José dos Campos, 2004.

LATUF, M.O. **Impacto da mudança do uso do solo no comportamento hidrológico das bacias do rio Preto e ribeirão Entre Rios**. 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LINHARES, Cláudia de Albuquerque. **Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do Ji-Paraná-RO**. 2006. 219 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

LINHARES, C. de A.; SOARES, J. V.; BATISTA, G. T. Influência do desmatamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do Ji-Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2005. p. 3097-3105.

LOEBMANN, D. G.; GUIMARÃES, R. F.; BETTIOL, G. M.; FREITAS, L. F.; REDIVO, A.L.; JÚNIOR, O. A. de C. Mistura espectral de imagens LANDSAT para análise multitemporal de uso da terra nas diferentes unidades pedológicas da bacia do rio Jardim, DF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 557-564.

MARQUES, F. de A. **Sistema de controle em tempo real para a gestão dos usos múltiplos da água**. 2010. 246 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MATOS, A.T.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Barragens de terra de pequeno porte**. Viçosa: UFV, 2006a. 86 p. (Caderno Didático, 73).

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006b.

MELLER, A.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. **Sensibilidade do regime hidrológico de bacias hidrográficas à variação da precipitação**. Disponível em: <<http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/climarh/download>>. Acesso em: 9 jan. 2009.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1999. 308 p.

PEREIRA, D. S. P.; JOHNSON, R. M. F. **Descentralização da gestão dos recursos hídricos em bacias nacionais no Brasil**. 2004.

PEREIRA, V. R.; TEIXEIRA FILHO, J.. Mapeamento de uso das terras a partir de séries históricas de imagens Landsat TM e ETM como subsídio nos estudos de impactos hidrológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 6053-6060.

PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – PNRH. **Caderno da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Brasília: MMA, 2006. 132 p.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S; SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV/DEA, 2006. 87 p.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Editora do Autor, 2000.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DE TOCANTINS – SEPLAN-TO. **Plano de recursos hídricos das bacias dos rios Lontra e Corda, na região do Bico do Papagaio-TO**. Palmas, 2002. 582 p.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DE TOCANTINS – SEPLAN-TO. **Estudo de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas da margem esquerda do rio Tocantins**. Palmas, 2007. 132 p.

SILVA, L.C.N.; FERNANDES, A.L.V.; OLIVEIRA, W. **Sistema de processamento de informações georreferenciadas**: SPRING v.4.1.1. São José dos Campos, 2005.

SILVA, L.C.N.; FERNANDES, A.L.V.; OLIVEIRA, W. Análise de uso de ocupação do solo na microbacia Dom Tomaz no município de Três Lagoas-MS. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL, 1, 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007. p. 325-330.

SULFOFT. **Guia do ENVI**. 2006. Disponível em: <<http://www.sulfoft.com.br>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

TUCCI, C.E.M. **Efeito do uso do solo**: desmatamento. Disponível em: <<http://blog.rhama.net>>. Acesso em: 12 jan. 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A – Dados utilizados para elaboração dos gráficos de tendências e equações de regressões lineares para a área de drenagem

Anos	Vazão (m ³ /s)					Uso e ocupação (km ²)						Precipitação (mm)		
	Max	Média	Q ₇	Q _{90%}	Q _{95%}	Mata	Cerrado	Cultivo	Pasto	Água	Urbanização	Anual	Chuvoso	Seco
1985	334.69	103.19	23.40	27.73	24.89	936.28	846.05	995.81	661.79	0.11	0.97	2000,45	1536.88	777.38
1988	332.13	101.32	25.26	27.24	24.73	761.33	764.98	1607.53	282.40	0.12	1.64	2219.35	1591.37	404.36
1991	243.40	58.51	6.34	7.88	6.33	828.34	523.53	1235.09	838.92	0.09	1.39	1398.00	1028.44	417.41
1994	266.80	96.45	18.46	18.56	17.43	790.34	1029.07	1075.85	529.90	0.09	1.41	1808.63	1364.74	488.26
1997	183.84	42.46	10.47	12.82	12.08	713.05	828.69	773.40	1111.70	0.08	1.48	1455.09	1170.69	445.73
2000	281.18	67.59	14.27	15.27	14.31	613.57	512.52	1434.92	854.45	0.11	1.68	1604.43	1108.04	422.83
2003	359.13	82.36	15.43	15.83	13.66	746.77	399.99	1515.87	746.55	0.12	1.95	1909.85	1603.88	351.68
2006	377.97	85.32	21.42	24.60	20.10	780.66	800.73	1257.67	579.26	0.12	1.68	1537.35	1216.21	468.16