

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LEVINDO CARDOSO MEDEIROS

CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
DO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL

Goiânia - GO

2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LEVINDO CARDOSO MEDEIROS

CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
DO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

**Área de concentração:** Natureza e Produção do Espaço.

**Linha de pesquisa:** Dinâmica sócio-espacial: regional e ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira

Goiânia - GO

2009

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**(GPT/BC/UFG)**

M485c Medeiros, Levindo Cardoso.  
Caracterização sócio-ambiental das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal [manuscrito] / Levindo Cardoso Medeiros. – 2009.

82 f.: il. color., tabs., figs.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, 2009.

Bibliografia: 78-82.

Inclui lista de figuras e de tabelas.

Anexo.

1 Bacias hidrográficas – Goiás (Estado) 2. Bacias hidrográficas – Distrito Federal (Brasil) 2. Desenvolvimento sustentável 3. Qualidade sócio-ambiental 4. Sistemas de informações geográficas I. Ferreira, Nilson Clementino II. Universidade Federal de Goiás, **Instituto de Estudos Sócio-Ambientais**. III. Título.

CDU: 556.51(817.3/.4)

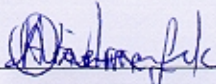


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

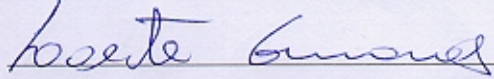
## ATA DA SESSÃO DE JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

### **Levindo Cardoso Medeiros**

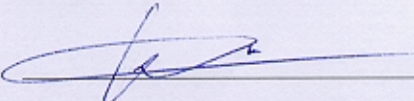
Em primeiro de abril do ano de dois mil e nove (2009), a partir das quatorze horas, no mini-auditório da Faculdade de Comunicação e Biblioteconomia, teve lugar a sessão de julgamento da Dissertação de Mestrado do(a) mestrando(a) **Levindo Cardoso Medeiros** que apresentou o Tema: "Caracterização sócio-ambiental das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal". A Banca Examinadora foi composta, conforme Portaria n.º044/09 da Diretoria do IESA, pelos seguintes Professores: Presidente: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira, Membros: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Junior, Prof. Dr. Nilton Ricetti Xavier de Nazareno. Os examinadores argüíram na ordem citada, tendo o candidato respondido satisfatoriamente. Às 15:50 horas a Banca Examinadora passou a julgamento, em sessão secreta, tendo o candidato obtido os seguintes resultados:

**Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira- Ass.** 

Aprovado (  ) Reprovado (  )

**Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Junior - Ass.** 

Aprovado (  ) Reprovado (  )

**Prof. Dr. Nilton Ricetti Xavier de Nazareno - Ass.** 

Aprovado (  ) Reprovado (  )

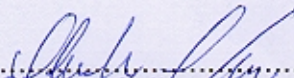
**Presidente da Banca - Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira**

Ass. 

Resultado final: Aprovado (  ) Reprovado (  )

Reaberta a Sessão Pública, o Presidente da Banca Examinadora proclamou os resultados e encerrou a sessão, da qual foi lavrada a presente ata que vai assinada por mim, secretário, e pelos membros da Banca Examinadora.

Secretário.....

  
**Charles Calisto Souza**  
Assist. em Administração - UFG )  
MAT. 1516387

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Ricardo e Dionilia que sempre me apoiaram e orientaram durante toda minha vida e hoje compartilham este importante momento comigo.

A minha esposa Olívia, meu presente, sem ela nenhum sonho seria possível ou valeria a pena.

Sempre agradeço a Deus por ter estas pessoas em minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Quero destacar que várias pessoas e instituições muito contribuíram ao longo do desenvolvimento de toda pesquisa, tornando possível sua realização. Cabe-me, então, manifestar meu reconhecimento e um agradecimento especial a todos:

Ao Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira, pela orientação e pela amizade ao longo do trabalho, principalmente pelo constante apoio e acolhimento nos momentos mais difíceis, auxiliando-me com idéias, sugestões e discussões valiosas.

Ao Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr., do Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás, cujo apoio foi fundamental para o desenvolvimento de grande parte desta pesquisa.

Aos amigos Cláudio Rodrigues da Silva e Maria Luiza Osório Moreira que, mercê da reconhecida capacidade técnica e também pela amizade que me distinguem, ofereceram valiosas considerações, que muito contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento - LAPIG e a Fundação de Apoio a Pesquisa - FUNAPE da Universidade Federal de Goiás, pelo imprescindível apoio institucional e financeiro.

À Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria de Indústria e Comércio do Estado de Goiás, ao Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas do Estado de Goiás, ao Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite da EMBRAPA e ao IBGE, que disponibilizaram dados fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

## RESUMO

O desenvolvimento sustentável é um dos grandes objetivos da sociedade atual, porém, ainda de difícil alcance devido a vários fatores, sendo que um deles se refere à intensidade da ocupação humana nos últimos anos, sem o devido planejamento e cuidado com o meio ambiente. Esta ocupação humana dos territórios, não tem garantido significativos desenvolvimentos sociais, econômicos e institucionais para todos os setores sociais, em muitas regiões do planeta. O objetivo deste trabalho é propor um índice de qualidade sócio-ambiental, que varia de zero a um, quantificando o nível de integração existente entre as variáveis sociais, econômicas, ambientais e institucionais, necessárias para o desenvolvimento sustentável. Este índice proposto foi aplicado nas bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal, explicitando o nível de dificuldade para a execução de políticas públicas que promovam o desenvolvimento sustentável nessas bacias hidrográficas. Após a resolução de várias questões inerentes aos processos de delineamento de bacias hidrográficas e processamentos de variáveis sociais, econômicas, ambientais e institucionais no domínio geográfico de bacias hidrográficas, foi encontrado para a área de estudo o valor médio do índice de qualidade sócio-ambiental igual a 0,406, sendo que, este índice possui valores entre zero e um. Este valor demonstra as inúmeras dificuldades a serem superadas na execução do desenvolvimento sustentável na área de estudo. O trabalho apresenta alguns cenários onde a variável ambiental sofre melhoria significativa, mas o valor médio do índice de qualidade sócio-ambiental não se altera muito, ficando evidente que a qualidade sócio-ambiental, está diretamente relacionada à melhoria das quatro variáveis consideradas, e não, a melhoria de apenas uma, indicando que o processo de desenvolvimento deve ser realizado de forma integrada, considerando além da questão ambiental, as questões sociais, econômicas e institucionais.

Palavras chaves: bacias hidrográficas, desenvolvimento sustentável, índice de qualidade sócio-ambiental, sistemas de informações geográficas.

## ABSTRACT

The sustainable development is one of the great objectives of the current society, however, still of difficult reach due to several factors, and one of them refers to the intensity of the human occupation in the last years, without the due planning and cares with the environment. This human occupation of the territories, it has not been assuring significant developments social, economical and institutional for all of the social sectors, in many regions of the planet. The objective of this work is to propose an index of social-environmental quality, which it varies from zero to one, quantifying the level of existent integration among the variables social, economical, environmental and institutional, necessary for the sustainable development. This proposed index was applied in the watersheds of the State of Goiás and Federal District, showing the level of difficulty for the execution of public politics that promote the sustainable development in those watersheds. After the resolution of several inherent subjects to the processes of watersheds delimitation and processing of variables social, economical, environmental and institutional in the geographical domain of watersheds, it was found for the study area the medium value of the index of social-environmental quality equal to 0.406, being than, this index possesses values between zero and one. This value demonstrates the countless difficulties to be overcome in the execution of the sustainable development in the study area. The work presents some scenarios where the environmental variable suffers significant improvement, but the medium value of the index of social-environmental quality doesn't alter a lot, being evident that the social-environmental quality, is directly related to the improvement of the four considered variables, and no, the improvement of only one, indicating that the development process should be accomplished in an integrated way, considering besides the environmental subject, the subjects social, economical and institutional.

Keywords: watersheds, sustainable development, index of social-environmental quality, geographic information systems.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Mapa de localização do bioma Cerrado, Estado de Goiás, Distrito Federal e bacias hidrográficas.-----   | 17 |
| Figura 2 - Mapa hipsométrico e rede de drenagem para o Estado de Goiás e Distrito Federal.-----   | 18 |
| Figura 3 - Mapa de uso do solo associado a relevo sombreado. -----  | 19 |
| Figura 4 - Etapas relativas à organização e análise dos dados. -----  | 23 |
| Figura 5 - Geração do mapa de direção de fluxo utilizando o modelo de ponto de vertente com 8 direções. -----   | 25 |
| Figura 6 - Representação física do mapa de direção de fluxo. -----  | 26 |
| Figura 7 - Mapa de acumulação de fluxo. -----   | 26 |
| Figura 8 - Definição da rede de drenagem utilizando o mapa de acumulação de fluxo.-----   | 27 |
| Figura 9 - Mapa de declividade SRTM com referências de nível da base cartográfica IBGE.-----  | 29 |
| Figura 10 - Padronização das áreas das bacias hidrográficas geradas automaticamente com as áreas das Ottobacias geradas manualmente. -----                          | 30 |
| Figura 11 - Limites das bacias utilizados na análise. O limite do Estado de Goiás e Distrito Federal não foram considerados na análise. -----                       | 31 |
| Figura 12 - Distribuições de freqüências mostrando as diferenças de altitude entre as referências de nível e os modelos digitais de elevação.-----                  | 33 |
| Figura 13 - Resultados das regressões lineares entre as referências de nível (x) e os modelos digitais de elevação (y).-----  | 34 |
| Figura 14 - Porcentagem de referências de nível com diferença de altitude entre 0 e 25 metros (em relação aos respectivos MDE's).-----                              | 35 |
| Figura 15 - Distribuições de freqüências em relação às diferenças de altitude entre o MDE SRTM e os MDE's gerados a partir da interpolação de curvas de nível.----- | 36 |
| Figura 16 - Distribuições de freqüências mostrando as diferenças de altitude entre as referências de nível e o MDE SRTM com relação ao uso do solo. -----           | 37 |
| Figura 17 - Distribuições de freqüências mostrando as diferenças de altitude entre o MDE SRTM e o MDE TopoGrid com relação ao uso do solo. -----                    | 38 |
| Figura 18 - Distribuições de freqüência mostrando as diferenças de altitude entre o MDE SRTM e o MDE TopoGrid com relação à declividade.-----                       | 39 |
| Figura 19 - Vão do Paranã região nordeste do Estado de Goiás. -----   | 41 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 20 - Limites das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal gerados automaticamente a partir dos modelos SRTM e TopoGrid sobrepostos aos limites das Ottobacias geradas manualmente.----- | 42 |
| Figura 21 - Mapa da População do Estado de Goiás e Distrito Federal - 2008. -----  | 46 |
| Figura 22 - Mapa do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal para o Estado de Goiás e Distrito Federal - 2000. -----   | 47 |
| Figura 23 - Mapa do Produto Interno Bruto per capita para o Estado de Goiás e Distrito Federal - 2000. -----   | 48 |
| Figura 24 - Mapa das sedes municipais e malha rodoviária do Estado de Goiás e Distrito Federal - 2008. -----   | 49 |
| Figura 25 - Mapa de uso do solo, conforme a divisão do Estado e Ottobacias nível 5 - 2002. -----   | 50 |
| Figura 26 - Principais etapas seguidas neste estudo.-----  | 55 |
| Figura 27 - Etapas relativas ao processamento dos dados, para a conversão de domínio espacial. -----   | 56 |
| Figura 28 - Mapa de áreas prioritárias para conservação e porcentagem de vegetação remanescente por bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal. -----  | 58 |
| Figura 29 - Mapa do indicador social para o Estado de Goiás e Distrito Federal.-----   | 60 |
| Figura 30 - Mapa do indicador social para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.-----  | 61 |
| Figura 31 - Mapa do indicador econômico para o Estado de Goiás e Distrito Federal. -----   | 62 |
| Figura 32 - Mapa do indicador econômico para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.-----   | 63 |
| Figura 33 - Mapa do indicador institucional para o Estado de Goiás e Distrito Federal.-----  | 64 |
| Figura 34 - Mapa do indicador institucional para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.-----   | 65 |
| Figura 35 - Mapa do indicador ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.-----   | 66 |
| Figura 36 - Mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.-----  | 67 |
| Figura 37 - Mapa do indicador ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 1). -----  | 68 |
| Figura 38 - Mapa do indicador ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 2). -----  | 69 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 39 - Mapa do indicador ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 3). -----    | 70 |
| Figura 40 - Mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 1). ----- | 71 |
| Figura 41 - Mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 2). ----- | 72 |
| Figura 42 - Mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 3). ----- | 73 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Classificação de documentos cartográficos através do PEC. -----  | 28 |
| Tabela 2 - Dados estatísticos dos modelos digitais de elevação utilizados. -----  | 32 |
| Tabela 3 - Análise das diferenças entre as referências de nível e os modelos digitais de elevação. -----  | 32 |
| Tabela 4 - Análise das diferenças entre o MDE SRTM e os MDE's gerados. -----  | 35 |
| Tabela 5 - Análise das diferenças entre as referências de nível e o MDE SRTM com relação ao uso do solo. -----  | 36 |
| Tabela 6 - Análise das diferenças entre o MDE SRTM e o MDE TopoGrid com relação ao uso do solo. -----   | 37 |
| Tabela 7 - Análise das diferenças entre o MDE SRTM e o MDE TopoGrid com relação à declividade. -----  | 38 |
| Tabela 8 - Porcentagem de limites de Ottobacias dentro de cada zona de influência dos limites gerados a partir dos MDE's. -----                                     | 39 |
| Tabela 9 - Porcentagem de limites de Ottobacias dentro da zona de influência de 500 metros dos limites gerados a partir dos MDE's para cada classe de relevo. ----- | 40 |
| Tabela 10 - Estatística descritiva dos indicadores. -----   | 66 |
| Tabela 11 - Estatística descritiva dos indicadores ambientais. -----  | 70 |
| Tabela 12 - Resultados do Teste t entre o índice sócio-ambiental e os índices sócio-ambientais gerados nos cenários. -----  | 74 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| APRESENTAÇÃO .....  | 12 |
| CAPÍTULO 1: Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas ..... | 15 |
| 1. Introdução .....   | 15 |
| 2. Área de Estudo .....   | 17 |
| 3. Metodologia .....  | 20 |
| 3.1. Base de Dados .....  | 20 |
| 3.1.1. SRTM .....   | 20 |
| 3.1.2. Base Cartográfica 1:100.000 .....  | 20 |
| 3.1.3. Uso do Solo .....  | 21 |
| 3.1.4. Ottobacias .....   | 21 |
| 3.2. Análise dos Dados .....  | 22 |
| 3.2.1. Aquisição e Organização dos Dados .....  | 22 |
| 3.2.2. Geração de MDE's a partir das Curvas de Nível .....  | 22 |
| 3.2.3. Delimitação de Bacias Hidrográficas .....  | 24 |
| 3.2.4. Análise dos Modelos Digitais de Elevação .....   | 27 |
| 3.2.5. Análise da Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas .....  | 30 |
| 4. Resultados e Discussões .....  | 32 |
| CAPÍTULO 2: Índice de Qualidade Sócio-ambiental por Bacia Hidrográfica .....                                    | 43 |
| 1. Introdução .....   | 43 |
| 2. Área de Estudo .....   | 46 |
| 3. Metodologia .....  | 51 |
| 3.1. Base de Dados .....  | 51 |
| 3.1.1. Dimensão Ambiental .....   | 51 |
| 3.1.2. Dimensão Social .....  | 52 |
| 3.1.3. Dimensão Econômico .....   | 53 |
| 3.1.4. Dimensão Institucional .....   | 53 |
| 3.1.5. Ottobacias .....   | 54 |
| 3.2. Análise dos Dados .....  | 54 |
| 4. Resultados e Discussões .....  | 60 |
| CONCLUSÕES .....  | 75 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 78 |
| ANEXO I   |    |

## APRESENTAÇÃO

Uma das principais características da sociedade humana atual é a capacidade de ocupar praticamente todas as áreas do planeta, não importando as características climáticas, hidrográficas, geológicas, da fauna ou da flora. Induzida por diversos fatores tais como economia, cultura, política, desenvolvimento tecnológico, entre outros, a sociedade humana tem ocupado praticamente todos os biomas terrestres, promovendo transformações em nível local, regional e global.

Um dos grandes problemas deste acelerado e agressivo processo de ocupação é que, na maioria das vezes este, ocorre sem muito planejamento, atendendo às necessidades presentes da sociedade ocupante, sem a devida preocupação com as possíveis necessidades das gerações futuras. Ou seja, sem a preocupação com o desenvolvimento sustentável da sociedade.

Devido as evidentes mudanças no meio ambiente global causadas pela sociedade moderna, o desenvolvimento sustentável é um dos grandes objetivos da sociedade atual. Este termo surgiu em 1980 e foi consagrado em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), conhecida como Comissão *Brundtland*, que produziu um relatório considerado a base para a definição desta noção e dos princípios que lhe dão fundamento. O Relatório *Brundtland* (WCED, 1987), publicado em 1988 pela FGV (Fundação Getúlio Vargas) com o título “Nosso Futuro Comum”, define desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (FGV, 1988, p. 46).

É possível afirmar que um dos insumos básicos e imprescindíveis para se promover tal desenvolvimento é a água, pois esta atende as necessidades presentes, mas se for explorada sem planejamento e racionalidade, fatalmente comprometerá a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades. Este recurso natural tem disponibilidade limitada, portanto se faz necessária a observação de todos os aspectos que se referem com a correta gestão das bacias hidrográficas que são reconhecidas como unidade espacial para planejamento e gestão do território.

No bioma Cerrado, situado predominantemente em zonas de planalto, encontram-se várias nascentes de rios (LIMA; SILVA, 2002; SANO, S. et al., 2008). Contudo, e apesar de ter uma boa rede de drenagem, muitos corpos d'água deixam a região ainda sem volume expressivo disponível para utilização. Além disso, o fato de se constituir em zona de

nascentes de seis das oito grandes bacias hidrográficas brasileiras (Bacia Amazônica, Bacia do Tocantins, Bacia Atlântico Norte/Nordeste, Bacia do São Francisco, Bacia do Atlântico Leste e Bacia do Paraná) torna-se indispensável o planejamento e correta gestão de seus recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos que são imprescindíveis para a sustentação de todos os outros recursos e, portanto, de toda a paisagem em suas várias esferas e escalas.

O desenvolvimento sustentável tem como objetivo garantir que os recursos naturais sejam o máximo possível preservados, ao mesmo tempo em que haja melhoria nas condições sociais e econômicas da população, o qual sempre tende a aumentar. Assim, faz-se necessário a qualidade, quantidade e integração de instituições, voltadas ao planejamento e execuções de políticas, responsáveis diretas pela gestão territorial. O desenvolvimento sustentável pressupõe a qualidade e integração das variáveis sociais, econômicas, ambientais e institucionais, que são consideradas na elaboração e execução de políticas públicas de planejamento e gestão territorial.

O principal objetivo deste trabalho é propor um índice de qualidade sócio-ambiental, capaz de quantificar o nível de integração existente entre as variáveis consideradas no desenvolvimento sustentável. Em particular, este índice retrata a situação sócio-ambiental das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal, ao mesmo tempo que explicita o nível de dificuldade para a execução de políticas públicas que promovam o desenvolvimento sustentável nessas bacias hidrográficas.

Especificamente, o primeiro capítulo desta dissertação discute a qualidade de dados altimétricos disponíveis para o delineamento automático de bacias hidrográficas. Com vista à responder esta questão, os dados altimétricos disponíveis para a área de estudo foram submetidos a uma grande quantidade de análises matemáticas e estatísticas comparativas em um ambiente computacional de Sistema de Informações Geográficas. A conclusão deste capítulo foi a de que a área de estudo possui dados altimétricos de boa qualidade para a escala 1:100.000, disponível gratuitamente em meio digital. O capítulo 1 desta dissertação foi transformado em artigo científico, submetido e aprovado para publicação na Revista Brasileira de Cartografia.

O capítulo 2 da dissertação propõe o índice de qualidade sócio-ambiental e o aplica para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal. Neste capítulo, são tratadas algumas importantes questões referentes ao processamento de dados geográficos sociais, econômicos, ambientais e institucionais no domínio de bacias hidrográficas. A aplicação do índice de qualidade sócio-ambiental nas bacias hidrográficas da área de estudo

aponta para a baixa qualidade sócio-ambiental das mesmas e, portanto a dificuldade na execução de políticas orientadas para o desenvolvimento sustentável na área de estudo. Uma análise de sensibilidade, com a geração de diferentes cenários, sugere que a viabilidade de um desenvolvimento sustentável requer a integração e melhoria de todas as variáveis consideradas.

## **CAPÍTULO 1: Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas**

### **1. Introdução**

A água é um recurso natural de disponibilidade limitada, essencial à vida, ao desenvolvimento e ao bem-estar social. Portanto, se faz necessária a observação dos aspectos qualitativos e quantitativos das bacias hidrográficas envolvendo a sustentabilidade do desenvolvimento regional, que deve se pautar pela garantia do equilíbrio entre as ações voltadas para a promoção do crescimento econômico e a conservação do meio ambiente (CARVALHO, 2005).

Ainda que desde o fim dos anos 60 do século XX, a bacia hidrográfica seja reconhecida como unidade espacial na Geografia Física (BOTELHO; SILVA, 2004), somente na última década essa unidade básica de análise passou a ser utilizada na pesquisa e na gestão territorial. Atualmente, vários profissionais se interessam pelo mapeamento de bacias hidrográficas (NEWSON, 1992). A bacia hidrográfica permite conhecer e avaliar seus diversos componentes, os processos e interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita na adoção desta unidade fundamental (BOTELHO; SILVA, 2004).

Em fato, o uso da bacia hidrográfica, como unidade de estudo e gestão territorial, para o gerenciamento das diferentes formas de ocupação têm como objetivo planejar, coordenar, executar e manejar as melhores formas de apropriação e exploração dos recursos ambientais (BORDALO, 1995).

Uma bacia hidrográfica pode ser entendida como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Nas depressões longitudinais se verifica a concentração das águas das chuvas, isto é, do lençol de escoamento superficial, formando o lençol concentrado – os rios. A noção de bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores d'água, cursos d'água principais, afluentes e subafluentes. Em todas as bacias hidrográficas deve existir uma hierarquização na rede, e a água escoar dos pontos mais altos para os mais baixos (GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J., 1997).

O Estado de Goiás e Distrito Federal estão integralmente inseridos na área central de distribuição do Cerrado. O Cerrado é um complexo mosaico de formações campestres, savânicas e florestais. Ocupa 23% do território Brasileiro, constituindo-se no maior conjunto de ecossistemas de savana neotropical no mundo, ao longo de 2.036.448 km<sup>2</sup> do Planalto

Central Brasileiro (IBGE, 2004). Apesar do pouco tempo de ocupação agropecuária, em torno de 40 anos, a região do Cerrado já contribui com 25% da produção de grãos e 40% do rebanho nacional (CARMO; GAMA, 2002; LIMA; SILVA, 2002).

No bioma Cerrado está situada grande parte das zonas de planalto e várias nascentes de rios. Contudo, e apesar de ter uma boa rede de drenagem, muitos corpos d'água deixam a região ainda sem volume expressivo disponível para utilização. Além disso, o fato de constituir zona de nascentes de seis das oito grandes bacias hidrográficas brasileiras, Bacia Amazônica, Bacia do Tocantins, Bacia Atlântico Norte/Nordeste, Bacia do São Francisco, Bacia do Atlântico Leste e Bacia do Paraná, torna-se indispensável a utilização racional de seus recursos naturais, pois nestas áreas, problemas como assoreamento, contaminação ou super-exploração dos recursos hídricos são realçados em função da baixa capacidade de suporte (LIMA; SILVA, 2002; SANO, S. et al., 2008).

A grande importância do bioma Cerrado e, em particular, do Estado de Goiás e Distrito Federal, em relação aos recursos hídricos do Brasil fazem com que os dados e as informações produzidas para o conhecimento científico e formulação de políticas públicas necessárias para a gestão territorial sejam orientadas às bacias hidrográficas.

Atualmente, com a disseminação de dados digitais e aplicativos de sistema de informações geográficas, técnicas automáticas de delimitação de bacias hidrográficas substituíram as antigas técnicas de delimitação manual. Modelos Digitais de Elevação (MDE), que podem ser obtidos por meio de vetorização e interpolação de curvas de nível, a partir de uma folha topográfica, e também através de dados aéreos e orbitais, são elementos fundamentais para a delimitação automática de bacias hidrográficas (DIAS et al., 2004; FURNANS, 2001). Ao mesmo tempo, vem ocorrendo um aumento significativo na oferta de dados altimétricos que podem ser utilizados na delimitação de bacias hidrográficas.

Tendo em vista a necessidade de se avaliar tais dados em relação aos custos e benefícios quanto à delimitação automática de bacias hidrográficas, neste trabalho comparamos as bacias hidrográficas geradas a partir do MDE oriundo da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com bacias derivadas de curvas de nível do Mapeamento Sistemático Nacional na escala 1:100.000, produzidos nas décadas de 70 e 80 do século passado através de levantamentos aerofotogramétricos.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo engloba o Estado de Goiás e o Distrito Federal, onde se localizam as nascentes de três grandes bacias hidrográficas nacionais, Bacia do Tocantins (57% da área de estudo), Bacia do Paraná (42% da área) e Bacia do São Francisco (1% da área), com população de aproximadamente sete milhões habitantes (90% residente em área urbana), compreendendo 246 municípios de Goiás, além do Distrito Federal (Figura 1).

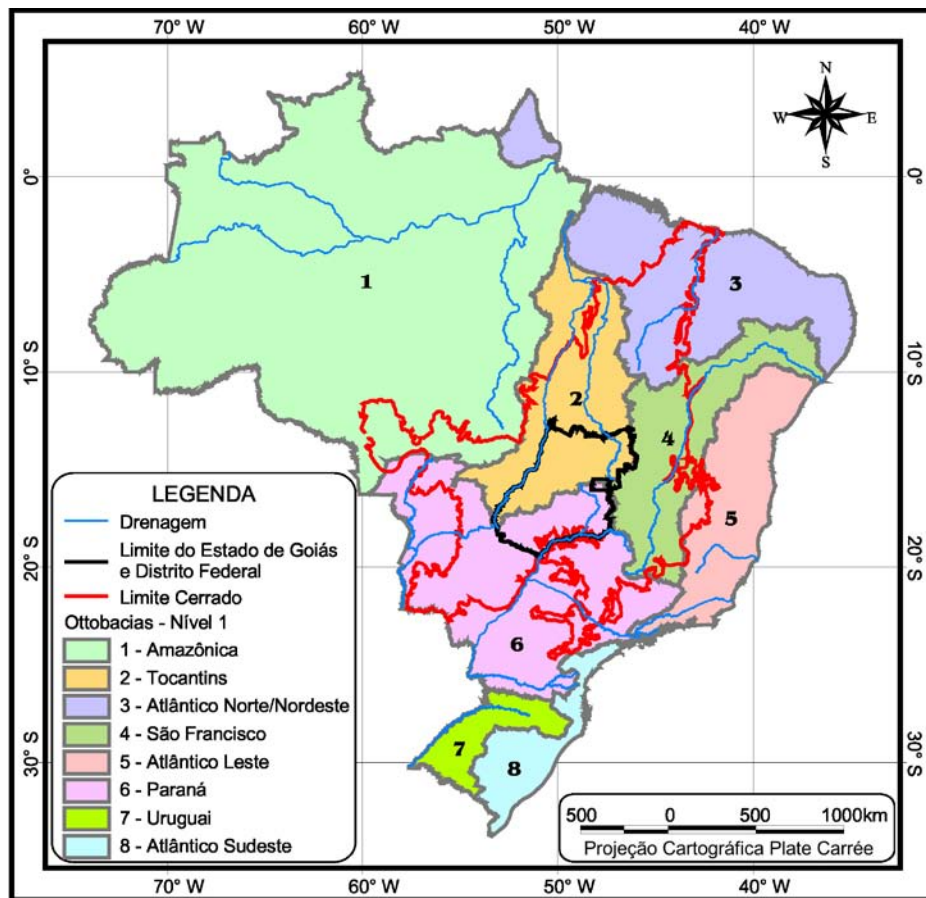


Figura 1 - Mapa de localização do bioma Cerrado, Estado de Goiás, Distrito Federal e bacias hidrográficas.

Fonte: SIEG/IBGE/ANA

Com aproximadamente 347.000 km<sup>2</sup>, a área de estudo apresenta uma diferença de elevação de 1.462 m (cota mínima 188 metros e cota máxima 1.650 metros), compreendendo assim, várias formas de relevo, desde áreas planas com pequena diferença de altitude (regiões oeste e noroeste) às áreas com relevo movimentado, com grandes diferenças de altitude (região nordeste) (figura 2).

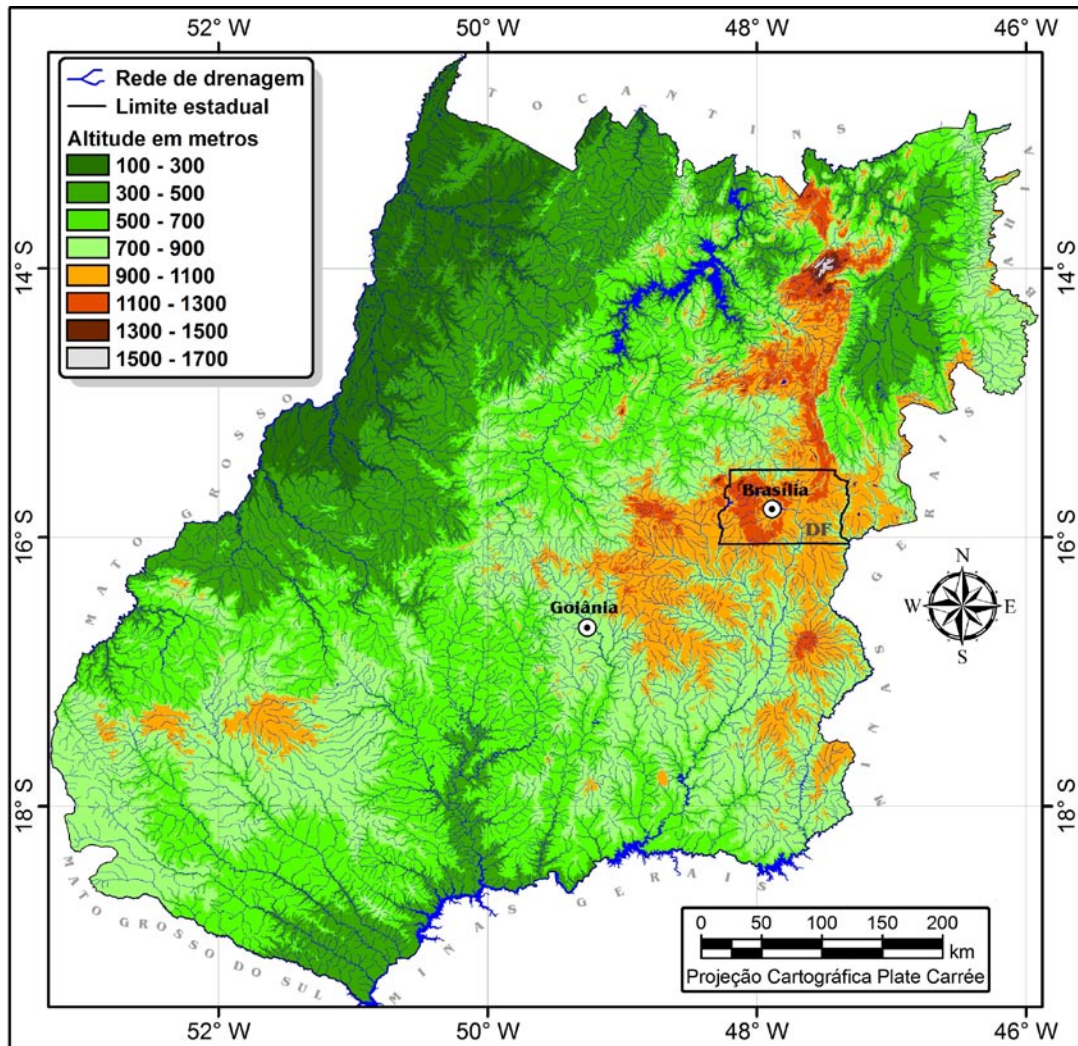


Figura 2 - Mapa hipsométrico e rede de drenagem para o Estado de Goiás e Distrito Federal.

Fonte: SIEG/EMBRAPA

Outra característica importante da área de estudo é a diversidade do uso do solo, onde 63% da área são utilizados para agricultura, área urbana e pastagem, 36% cobertos por vegetação remanescente (cerrado, floresta e formação pioneira) e 1% por corpos d'água (SANO, E. et al., 2008) (figura 3). Esta diversidade do uso do solo pode interferir de forma significativa na qualidade dos dados originários de equipamentos SAR (*Synthetic Aperture Radar*) interferométrico, como as imagens SRTM.



### 3. Metodologia

#### 3.1. Base de Dados

##### 3.1.1. SRTM

Os dados de elevação SRTM são resultado da missão realizada em conjunto pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imaging and Mapping Agency*), dos EUA, com participação das agências espaciais DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*), da Alemanha, e ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*), da Itália. Estes dados foram obtidos em fevereiro de 2000, a partir do ônibus espacial *Endeavour*, que levou em seu compartimento de carga um equipamento SAR interferométrico, operando nas bandas X ( $\lambda = 3,1$  cm) e C ( $\lambda = 5,6$  cm). Ao longo de 11 dias, utilizando a técnica de interferometria de uma passagem, com duas antenas receptoras do SAR presas à uma haste mecânica, foram recobertos 80% da superfície terrestre (entre os paralelos 60° N e 56° S), o que resultou em modelos tridimensionais com amplitude da grade de 30 metros (SRTM 1) e 90 metros (SRTM 3), projetados para uma acurácia vertical e horizontal absoluta de 16 e 20 metros, respectivamente, com 90% de confiança (BERRY, et al., 2007; CHIEN, 2000; LUDWIG; SCHNEIDER, 2006; NIMA, 2004; RABUS et al., 2003).

Os modelos em banda C com resolução espacial de 90 metros (SRTM 3) utilizados neste estudo foram adquiridos gratuitamente, em formato geotiff com unidade de altitude em metros e Sistema de Coordenadas Geográficas (articulação à escala de 1:250.000), *Datum* Horizontal WGS-84 (*World Geodetic System 1984*) e *Datum* Vertical EGM96 (*Earth Gravitational Model 1996*) (CGIAR, 2007; NIMA, 2004), junto ao Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite da EMBRAPA, no âmbito da Coleção “Brasil em Relevo” ([www.relevobr.cnpm.embrapa.br](http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br)), o qual realizou trabalhos de correção e padronização, eliminando depressões espúrias, picos e pontos anômalos e áreas com ausência de dados (MIRANDA, E., 2005).

##### 3.1.2. Base Cartográfica 1:100.000

Realizado nas décadas de 70 e 80 do século passado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro), através de levantamentos aerofotogramétricos, o Mapeamento Sistemático

Nacional, disponibilizado de forma analógica em diversas escalas, é tido como fonte de informações para o conhecimento do território, possibilitando, entre várias outras aplicações, a identificação, o mapeamento e gerenciamento de bacias hidrográficas.

A Secretaria de Indústria e Comércio (SIC) do Estado de Goiás, por intermédio da Gerência de Geoinformação da Superintendência de Geologia e Mineração (SGM), realizou a sistematização e revisão topológica, para estruturação em SIG (Sistema de Informações Geográficas), das 151 folhas do Mapeamento Sistemático Nacional na escala 1:100.000 que recobrem todo o Estado de Goiás e Distrito Federal. Os arquivos digitais vetoriais relativos a estas folhas foram adquiridos entre 2004 e 2007, em formato CAD (*Computer Aided Design*) a partir de licitação (82 folhas - custo de R\$ 90.000,00), *download* (47 folhas - IBGE) e cessão (22 folhas - Ministério do Meio Ambiente). Os temas curva de nível, referência de nível e drenagem, resultado do trabalho da SGM e utilizados neste projeto, foram adquiridos gratuitamente em formato digital *shapefile* em Sistema de Coordenadas Geográficas, *Datum* Horizontal SAD-69 (*South American Datum 1969*) e *Datum* Vertical Imbituba - SC.

### **3.1.3. Uso do Solo**

As informações sobre o uso do solo foram obtidas através do portal do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas do Estado de Goiás ([www.sieg.go.gov.br](http://www.sieg.go.gov.br)), em formato digital *shapefile*, em Sistema de Coordenadas Geográficas e *Datum* Horizontal SAD-69. Este mapeamento, à escala de 1:250.000, foi realizado pelo Consórcio WWF Brasil – IMAGEM, no âmbito do projeto “Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás”, com base na interpretação de imagens LANDSAT 7 ETM+ de 2001/2002, compilação de informações do projeto Radambrasil e reconhecimento de campo (SANO, E. et al., 2008).

### **3.1.4. Ottobacias**

O sistema de codificação de bacias hidrográficas, desenvolvido pelo engenheiro Otto Pfafstetter em 1989, no âmbito do extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), conhecido pelo nome de “Ottobacias”, caracteriza-se pela sua racionalidade. Este sistema associa um número de identificação único para cada bacia hidrográfica, as quais são organizadas em uma estrutura hierárquica, baseada na topografia da área drenada. Assim, é possível deduzir, através de uma pequena quantidade de números

(código), quais bacias hidrográficas se localizam a jusante e a montante daquela em estudo (GALVÃO; MENESES, 2005).

A compartimentação do Estado de Goiás em bacias hidrográficas, segundo esta metodologia, foi realizada pela SIC/SGM no ano de 2001 utilizando-se cartas topográficas do IBGE na escala 1:250.000 e formato analógico, sobre as quais foram traçadas as linhas dos divisores de água, ligando os pontos mais elevados da região em torno da drenagem considerada. Este conjunto de bacias, está disponível, em formato *shapefile*, através do portal SIEG, em sistema de coordenadas geográficas e *datum* horizontal SAD-69.

### **3.2. Análise dos Dados**

A metodologia para análise da delimitação automática de bacias hidrográficas a partir de dados oriundos da missão SRTM banda C e curvas de nível do Mapeamento Sistemático Nacional à escala de 1:100.000, estruturou-se em seis etapas, conforme descritas a seguir e ilustradas na figura 4.

#### **3.2.1. Aquisição e Organização dos Dados**

Após adquiridos, os dados foram organizados em ambiente SIG, utilizando-se o programa computacional *ArcGis* 9.2, que dispõe de ferramentas para delimitação automática de bacias hidrográficas, análise e cruzamento de dados altimétricos.

#### **3.2.2. Geração de MDE's a partir das Curvas de Nível**

Vários algoritmos de interpolação para geração de MDE, os quais podem ser construídos através de GRID (grades retangulares regulares) ou TIN (redes triangulares irregulares), são disponibilizados em programas computacionais de geoprocessamento, sendo que a escolha do melhor modelo depende diretamente da finalidade de uso, do tipo de terreno que se necessita estimar e da disponibilidade de dados de entrada.

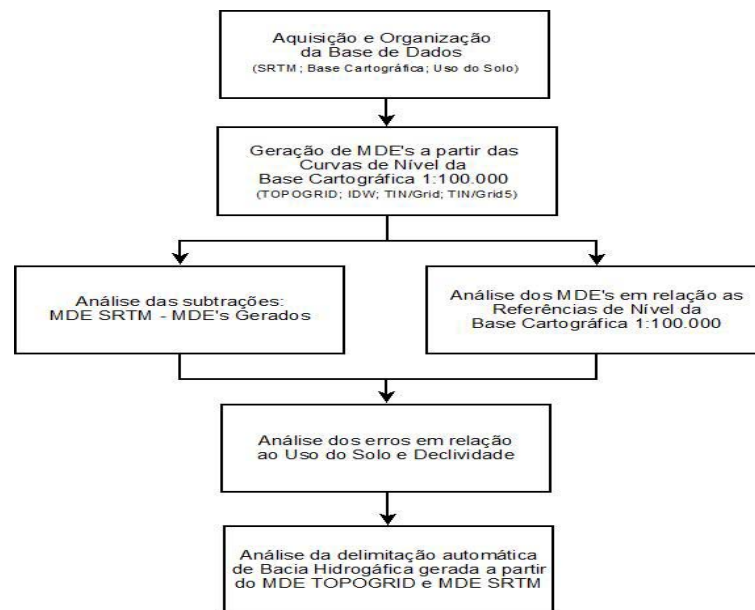


Figura 4 – Etapas relativas à organização e análise dos dados.

Especificamente, foram utilizados quatro algoritmos de interpolação, mundialmente consagrados, para geração de MDE (células de 90 metros) a partir das curvas de nível da base cartográfica 1:100.000, com vistas à comparação com o MDE SRTM 3 banda C. Os métodos foram:

✓ **IDW** (*Inverse Distance Weighted*) - Nesse método de interpolação, o valor do ponto ou célula que se deseja interpolar é calculado através da média ponderada entre os valores dos pontos vizinhos, onde os pontos vizinhos amostrados mais próximos do ponto interpolado recebem um peso maior do que os pontos mais distantes. Vários programas que utilizam a interpolação IDW permitem que o usuário informe parâmetros tais como, número máximo de pontos amostrais vizinhos, raio máximo de busca a pontos amostrais e aumento da potência para elevar o peso da distância (ESRI, 2006; FERREIRA, 2003; MIRANDA, J., 2005).

✓ **TopoGrid** - Módulo disponibilizado pelo *software ArcInfo Workstation 7.x.*, baseado no programa *ANUDEM* desenvolvido por Hutchinson (1989). Utiliza método de interpolação especificamente projetado para criar um MDE hidrologicamente correto a partir de dados altimétricos representados por pontos, linhas e polígonos. Este método usa a técnica de interpolação de diferença finita, aperfeiçoada para ter a eficácia computacional de um método de interpolação local, como o IDW, sem perder a continuidade da superfície dos métodos de interpolação globais, como *Splines* e *Kriging* (ESRI, 2006; FERNANDES; MENEZES, 2005; SINHA, 2000).

✓ **TIN/GRID** e **TIN/GRID<sup>5</sup>** - A rede de triângulos irregulares foi projetada por Peucker *et al.* (1978) para a modelagem de elevação digital usando pontos de elevação irregularmente espaçados para formar uma rede de facetas triangulares. Dentre os algoritmos que implementam a abordagem TIN, o mais utilizado é a triangulação de Delaunay. Comparado ao modelo GRID, a geração e manipulação do modelo TIN demanda um esforço computacional bem maior (FERREIRA, 2003; MIRANDA, J., 2005). Para este estudo, com base na rede de triângulos irregulares, foram gerados dois GRID's, utilizando-se um interpolador linear (TIN/GRID) e um interpolador de polinômio bivariado de quinto grau (TIN/GRID<sup>5</sup>).

### 3.2.3. Delimitação de Bacias Hidrográficas

Vários profissionais que tratam da gestão de recursos hídricos sempre necessitam do mapeamento de bacias hidrográficas (NEWSON, 1992). Antes do desenvolvimento e difusão dos mapas digitais e programas computacionais de Sistemas de Informações Geográficas, a delimitação de bacias hidrográficas era executada a partir de cartas topográficas analógicas, traçando-se, em torno da drenagem considerada e a partir dos pontos mais elevados da região, a linha dos divisores de água.

A precisão do limite de uma bacia está diretamente relacionada à subjetividade do traçado da mesma. Assim sendo, métodos automáticos que adotam critérios bem definidos e passíveis de serem reaplicados para outras regiões, mantendo um mesmo padrão de qualidade na geração do limite, podem obter um melhor resultado em relação ao método manual (DIAS *et al.*, 2004).

As operações para geração automática de bacias hidrográficas a partir de MDE com programas computacionais de SIG envolvem os seguintes procedimentos: eliminação de reentrâncias e saliências do MDE (*Fill Sinks*), produção do mapa de direção de fluxo (*Flow Direction*), elaboração do mapa de fluxo acumulado (*Flow Accumulation*), mapeamento da rede de drenagem (*Stream Networks*) e a delimitação da bacia hidrográfica (*Watershed Delineation*).

Em relação ao *Fill Sink*, este se faz necessário, haja vista que áreas com depressões rodeadas por elevações com valores de cotas superiores, em geral, imperfeições dos MDE's, provocam erros no mapeamento do fluxo de escoamento dos modelos (MENDES; CIRILO, 2001).

A segunda etapa consiste no mapeamento da direção de fluxo, que torna explícita a direção do fluxo de água para cada célula da estrutura de um MDE. Baseado no conceito de que há no máximo oito células vizinhas para cada célula dentro do MDE, gera-se um dado em estrutura matricial definindo um valor de direção, para cada célula, que indica a célula vizinha de maior declividade. O cálculo da declividade fundamenta-se no modelo de ponto de vertente com oito direções, o qual utiliza números binários ( $2^x \{0, 1, 2...7\}$ ) para representar a direção do fluxo de água, sendo o cálculo feito para cada célula do MDE, conforme ilustra a figura 5 (DIAS et al., 2004; ESRI, 2006; FURNANS, 2001).

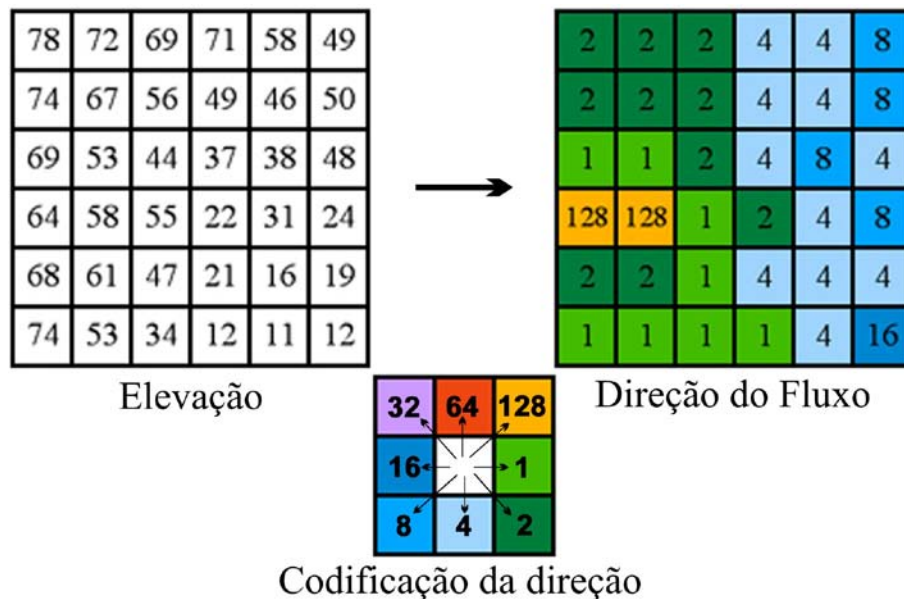


Figura 5 - Geração do mapa de direção de fluxo utilizando o modelo de ponto de vertente com 8 direções (adaptado ESRI, 2006).

Fica evidente o relacionamento topológico entre as células do MDE quando se utiliza setas, cuja direção é definida pelo modelo de ponto de vertente com 8 direções, para representar a rede de fluxo (figura 6). A rede de fluxo possibilita a determinação da conectividade a montante e a jusante do fluxo.

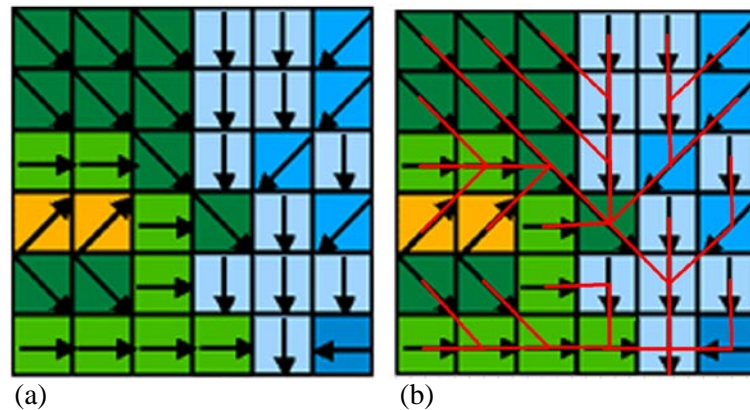


Figura 6 - Representação física do mapa de direção de fluxo - a) Com setas direcionais; b) Como uma rede de fluxo (adaptado FURNANS, 2001).

O mapa de acumulação de fluxo, criado a partir do mapa de direção de fluxo, armazena o número de células que drenam para cada célula do mapa, sendo então, a medida de quanto à jusante está a célula em relação à nascente de água. É a medida da magnitude relativa de fluxo que pode ser acumulada em cada célula. Células com valores altos são áreas de concentração de fluxo, possibilitando assim identificar os canais de drenagem. Já as regiões de altitudes mais elevadas dentro da bacia hidrográfica são representadas por células com valores zero, as quais definem a borda da bacia (figura 7) (DIAS et al., 2004; ESRI, 2006; FURNANS, 2001).

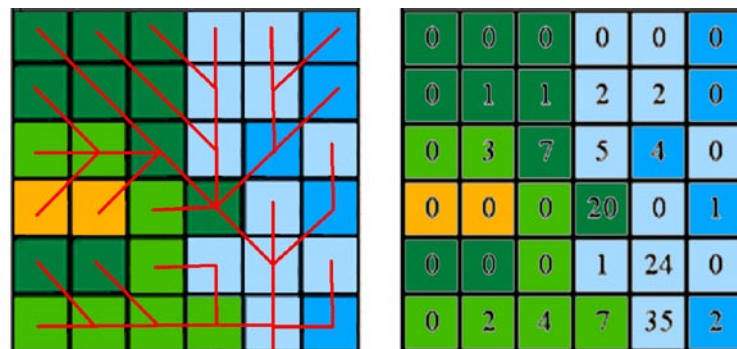


Figura 7 - Mapa de acumulação de fluxo - os valores representam o número de células que drenam para cada célula do mapa (adaptado ESRI, 2006).

A partir da geração dos mapas de direção e acumulação de fluxo, pode-se então obter a rede de drenagem e o limite da bacia. A rede de drenagem é gerada a partir de um valor de limiar, definido pelo usuário, aplicado ao mapa de acumulação de fluxo. Esse limiar classifica todas as células do mapa de acumulação de fluxo em zero (menor que o limiar) ou um (maior ou igual ao limiar), criando um mapa de rede de drenagem. Por exemplo, especificando um limiar de valor três, todas as células do mapa de acumulação de fluxo com

valores maiores ou iguais a três serão consideradas parte da rede de drenagem, conforme se pode observar na figura 8.

O valor do limiar define o número de células necessárias para formar um fluxo de drenagem, bem como a área da bacia a ser delimitada. Os MDE's utilizados neste trabalho possuem células de 90 metros, equivalentes à uma área de 8.100 m<sup>2</sup>. Então, se utilizarmos o limiar de valor três, como no exemplo anterior, serão delimitadas bacias com áreas de 24.300 m<sup>2</sup>. Quanto menor o valor desse limiar, maior será o número de bacias hidrográficas geradas.

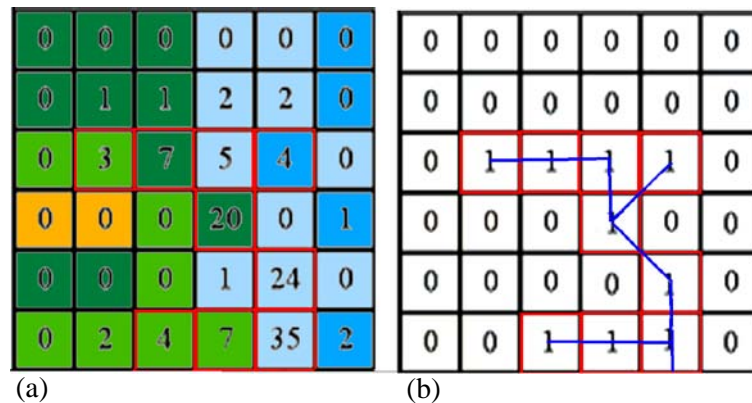


Figura 8 - Definição da rede de drenagem utilizando o mapa de acumulação de fluxo - a) em vermelho células com valores maiores ou iguais a três; b) mapa de rede de drenagem (adaptado FURNANS, 2001).

### 3.2.4. Análise dos Modelos Digitais de Elevação

As análises dos MDE's foram realizadas em ambiente "ArcGIS 9.2" utilizando-se a extensão "Spatial Analyst". Primeiramente, e com vistas à analisar a qualidade altimétrica dos MDE's, foram utilizadas as referências de nível da base cartográfica 1:100.000, que são estações geodésicas altimétricas determinadas através de nivelamentos geométricos de alta precisão. Posteriormente, foram utilizados os mapas resultantes das subtrações entre o MDE SRTM e os MDE's gerados a partir da base cartográfica 1:100.000 para análise de similaridade entre os mesmos.

Foram utilizadas 559 referências de nível para cruzamento com os MDE's, conforme se pode observar na figura 9. Utilizando ferramentas disponíveis em programas SIG, gerou-se uma tabela com as altitudes das referências de nível e as altitudes dos pontos homólogos nos MDE's. A altitude de referência foi subtraída das altitudes dos MDE's, obtendo-se valores positivos nas regiões onde os MDE's subestimam as referências de nível e valores negativos em regiões onde os MDE's superestimam as referências de nível.

De posse dos dados dos cruzamentos, foram realizadas análises estatísticas (regressão linear, média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor máximo e mínimo, erro médio quadrático e distribuições de frequências) para se avaliar a precisão de cada MDE com relação às referências de nível. Também foi utilizado o critério do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), definido nas Normas Técnicas da Cartografia Nacional (Tabela 1) Decreto nº 89.817 de 20 de Julho de 1984 (CONCAR, 1984), para classificar os MDE's quanto à sua exatidão altimétrica.

Tabela 1 - Classificação de documentos cartográficos através do PEC.

| Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrica |            |        |
|---|------------|--------|
| Categoria                                     | Tolerância | EMQ    |
| Classe A                                      | 25 m       | 16,6 m |
| Classe B                                      | 30 m       | 20 m   |
| Classe C                                      | 37,5 m     | 25 m   |

Obs: Valores para a escala 1:100.000

Subtrações entre dados matriciais (imagens diferença) são largamente utilizados para visualização da distribuição espacial dos erros. Desta forma, o MDE SRTM foi subtraído dos MDE's gerados a partir dos dados altimétricos da base cartográfica, obtendo-se um novo mapa em estrutura matricial, com valores positivos nas regiões onde os MDE's subestimam o MDE SRTM e valores negativos nas regiões onde os MDE's gerados superestimam o MDE SRTM.

A partir dos mapas resultantes das subtrações, também foram realizadas análises estatísticas (média, desvio padrão, coeficiente de variação, erro médio quadrático e valor máximo e mínimo e distribuições de frequência de erros) para se avaliar a similaridade dos MDE's gerados e o MDE SRTM.

Os dados de uso do solo e declividade foram utilizados para analisar o comportamento dos erros obtidos. Diversos autores (ex., LUDWIG; SCHNEIDER, 2006; RABUS et al., 2003) salientam a dependência da qualidade dos dados da SRTM em relação à topografia e uso do solo, haja vista as características do equipamento SAR interferométrico utilizado na missão SRTM.

Foram definidas três classes para análise da relação do uso do solo na qualidade dos dados SRTM: área ocupada, vegetação remanescente e corpo d'água. Das 559 referências de nível utilizadas neste trabalho, 466 se localizam em áreas ocupadas, 91 estão em áreas com vegetação remanescente e duas são localizadas em corpos d'água e, portanto, descartadas da análise. O mapa resultante da subtração entre o MDE SRTM e MDE TopoGrid foi

selecionado para análise da relação do uso do solo na qualidade dos dados da SRTM, devido a maior similaridade entre eles.

A partir do MDE SRTM, gerou-se o mapa de declividade utilizado para analisar a influência das inclinações do terreno na qualidade dos dados SRTM. Conforme o Sistema Brasileiro de Solos, foram definidas seis classes de relevo: plano (0% a 3% de declividade); suave ondulado (3% a 8%); ondulado (8% a 20%); forte ondulado (20% a 45%); montanhoso (45% a 75%) e escarpado (> 75%) (figura 9).

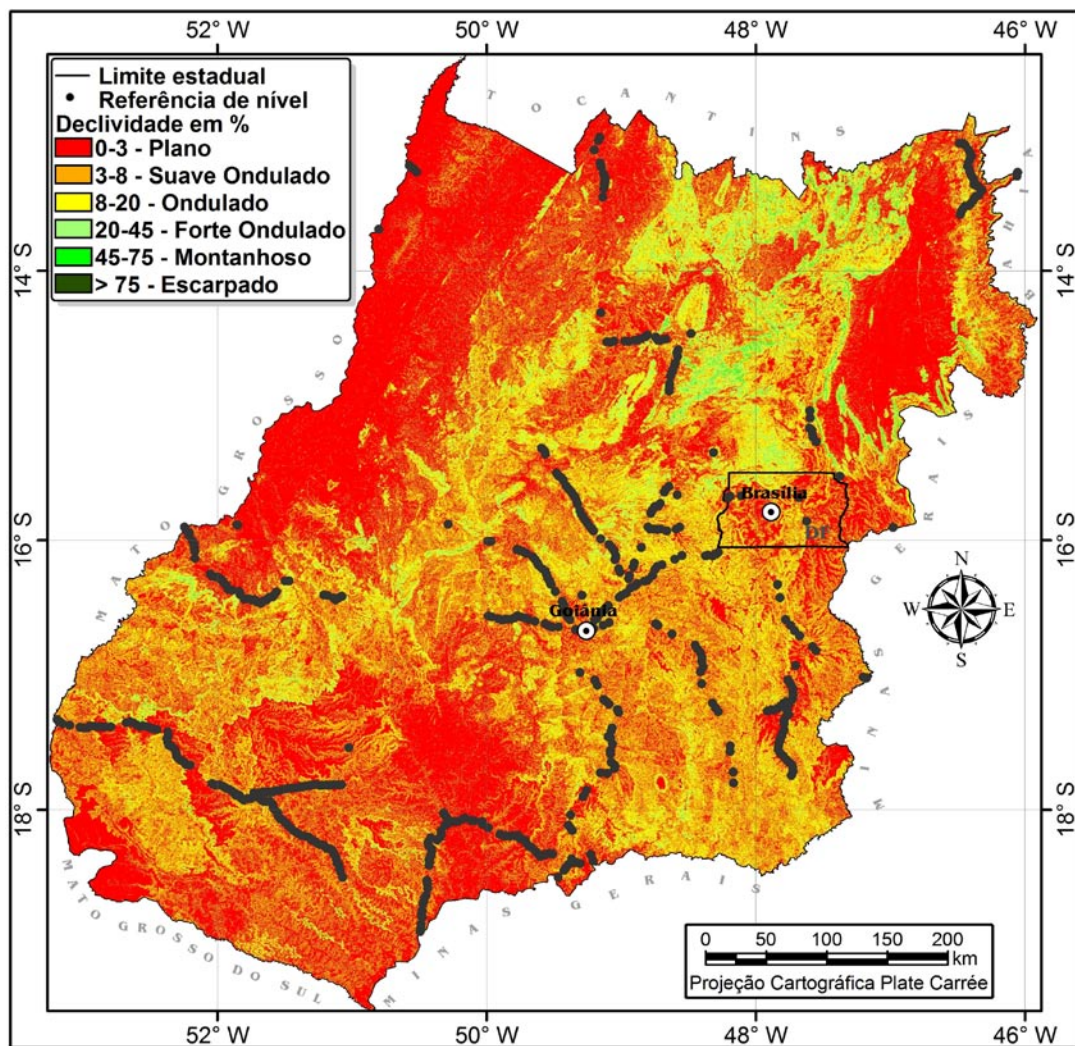


Figura 9 - Mapa de declividade com referências de nível da base cartográfica IBGE.

Fonte: SIEG/EMBRAPA

Devido quase 100% das referências de nível estarem localizadas em regiões de classe plano e suave ondulado, somente utilizou-se o mapa resultante da subtração entre o MDE SRTM e MDE TopoGrid para análise da influência da topografia na precisão do dado SRTM, utilizando os mesmos métodos de análise das etapas anteriores. A porcentagem de

cada classe para a área de estudo é de 32,9% plano, 40% suave ondulado, 20% ondulado, 6% forte ondulado, 1% montanhoso e 0,1% escarpado.

### 3.2.5. Análise da Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas

Foi utilizada a extensão “*Watershed Delineation Tools*” (Arcgis 9.2) para geração automática dos limites das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal a partir dos modelos digitais de elevação SRTM e TopoGrid. Com a aplicação de um limiar de 1.235 pixels, foi possível delinear bacias hidrográficas com áreas de aproximadamente 1.000 ha.

Após esta delimitação, foi executada uma padronização das áreas das bacias hidrográficas geradas automaticamente, conforme as áreas das Ottobacias (figura 10), com vistas à possibilitar a comparação entre a delimitação gerada automaticamente a partir dos modelos e os limites das Ottobacias delimitadas manualmente pela SGM/SIC com base nas cartas topográficas à escala de 1:250.000 elaboradas pelo IBGE.

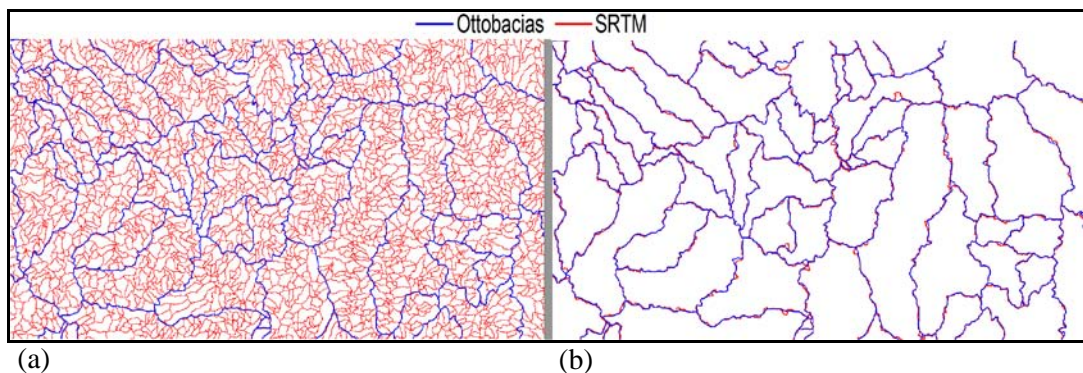


Figura 10 - Padronização das áreas das bacias hidrográficas geradas automaticamente com as áreas das Ottobacias geradas manualmente - a) limites das bacias geradas a partir do MDE SRTM sobrepostas pelos limites das Ottobacias; b) limites das bacias geradas a partir do MDE SRTM padronizadas pelos limites das Ottobacias.

Foram utilizadas técnicas de análise espacial para comparar a porcentagem de limites coincidentes entre as delimitações geradas automaticamente e as geradas manualmente. Executada a padronização, foram criadas cinco zonas de influência (*buffers*), i.e. 100 metros, 200 metros, 300 metros, 400 metros e 500 metros.

As zonas de influência foram utilizadas para recortar os limites das Ottobacias, sendo então medida a porcentagem de limites das Ottobacias dentro de cada zona de influência. Os limites do Estado de Goiás e Distrito Federal não foram considerados na análise, tendo sido utilizados somente os limites das bacias hidrográficas (figura 11).

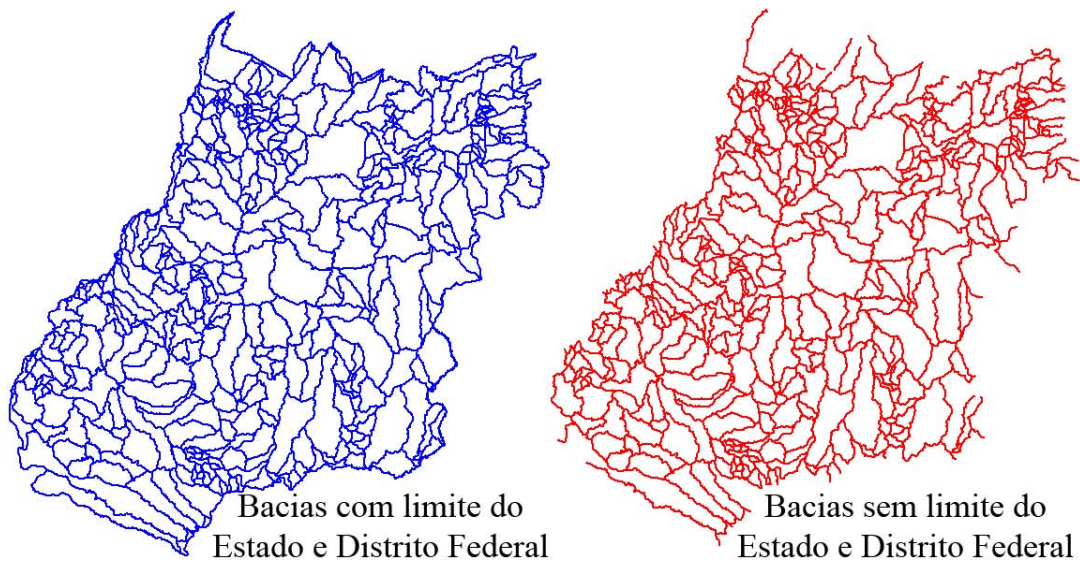


Figura 11 - Limites das bacias utilizados na análise. O limite do Estado de Goiás e Distrito Federal não foram considerados na análise.

A porcentagem de limites das Ottobacias dentro da zona de influência de 500 metros das bacias hidrográficas geradas automaticamente também foi quantificada em relação à compartimentação do relevo.

#### 4. Resultados e Discussões

Os MDE's gerados a partir da base cartográfica 1:100.000 por meio dos métodos de interpolação TopoGrid, IDW, TIN/GRID e TIN/GRID<sup>5</sup>, apresentaram grande similaridade em relação ao MDE produzido a partir dos dados SRTM, conforme se pode observar na tabela 2.

Tabela 2 - Dados estatísticos dos modelos digitais de elevação utilizados.

|                          | SRTM     | IDW      | TIN/GRID | TIN/GRID <sup>5</sup> | TopoGrid |
|--------------------------|----------|----------|----------|-----------------------|----------|
| Média                    | 636,40 m | 632,90 m | 633,48 m | 633,22 m              | 629,97 m |
| Desvio Padrão            | 225,43 m | 222,73 m | 222,56 m | 223,61 m              | 224,65 m |
| Coefficiente de Variação | 0,35 m   | 0,35 m   | 0,35 m   | 0,35 m                | 0,36 m   |
| Valor Máximo             | 1670 m   | 1680 m   | 1676 m   | 1680 m                | 1695 m   |
| Valor Mínimo             | 178 m    | 200 m    | 208 m    | 156 m                 | 192 m    |

Em relação às 559 referências de nível, e comparativamente aos MDE's obtidos a partir de interpolação de curvas de nível na escala 1:100.000, o MDE SRTM apresentou uma menor diferença (tabela 3).

Tabela 3 - Análise das diferenças entre as referências de nível e os modelos digitais de elevação.

|                          | RN - SRTM | RN - TopoGrid | RN - TIN/GRID | RN - TIN/GRID <sup>5</sup> | RN - IDW |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------------------------|----------|
| Média                    | -3 m      | 8 m           | 7 m           | 6 m                        | 7 m      |
| Desvio Padrão            | 10 m      | 13 m          | 17 m          | 17 m                       | 17 m     |
| Coefficiente de Variação | -3,33 m   | 1,63 m        | 2,43 m        | 2,83 m                     | 2,43 m   |
| Valor Máximo             | 53 m      | 58 m          | 81 m          | 96 m                       | 50 m     |
| Valor Mínimo             | -63 m     | -44 m         | -44 m         | -51 m                      | -47 m    |
| EMQ                      | 11 m      | 15 m          | 18 m          | 18 m                       | 18 m     |

Conforme a distribuição de frequência dos erros, calculados a partir das subtrações entre as referências de nível e os modelos digitais de elevação, é possível notar que a menor dispersão dos erros (em torno da média de -3 metros), ocorre entre as referências de nível e o modelo digital de elevação SRTM, enquanto que o MDE TopoGrid mostra a segunda menor dispersão (figura 12).

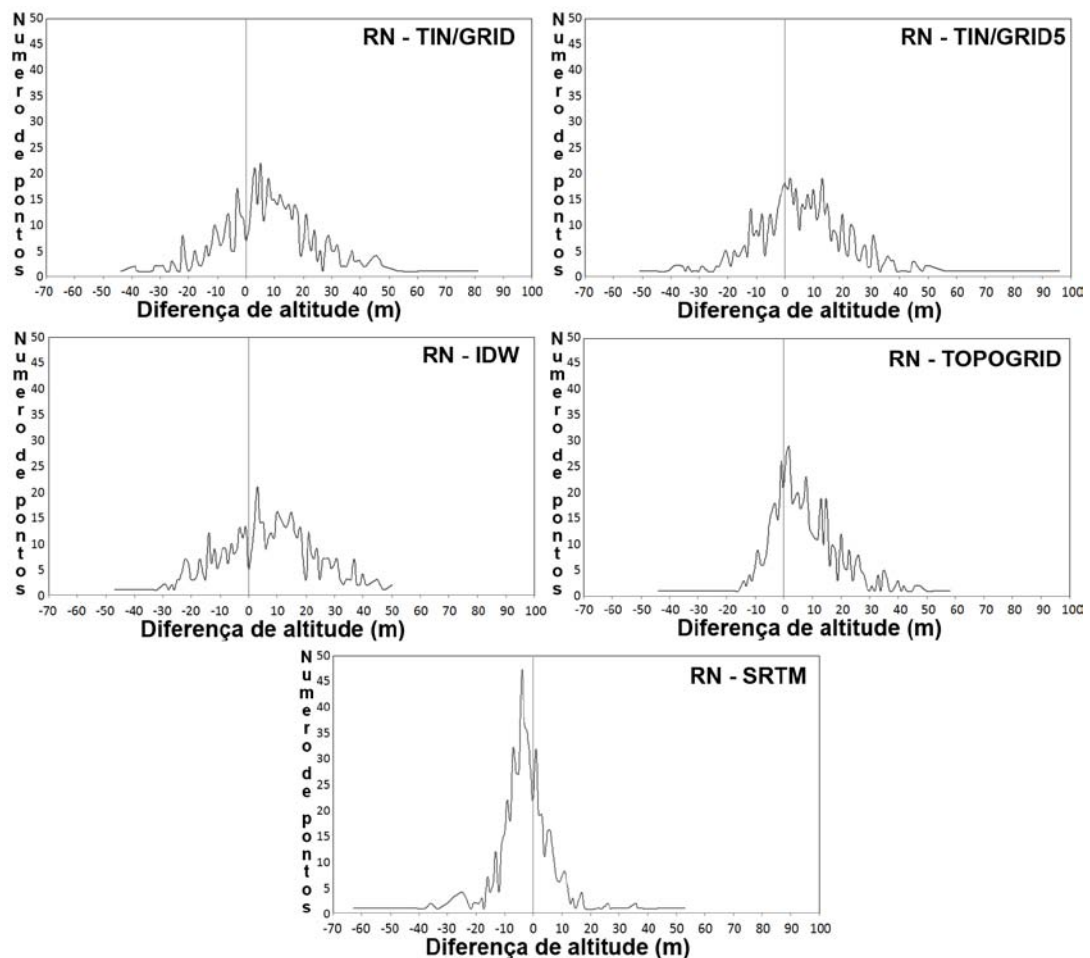


Figura 12 - Distribuições de freqüências mostrando as diferenças de altitude entre as referências de nível e os modelos digitais de elevação.

As análises por regressões lineares confirmam o excelente ajuste entre os modelos digitais de elevação utilizados e as 559 referências de nível existentes na área de estudo (figura 13). Os valores de  $r^2$  acima de 0,99 indicam que quase 100% das células dos modelos digitais de elevação, que geograficamente coincidem com as referências de nível, possuem grandezas compatíveis com àquelas das referências de nível, além de resíduos de baixa magnitude. É importante observar que a regressão linear entre o modelo digital de elevação SRTM e o conjunto de referências de nível foi o que apresentou melhor ajuste.

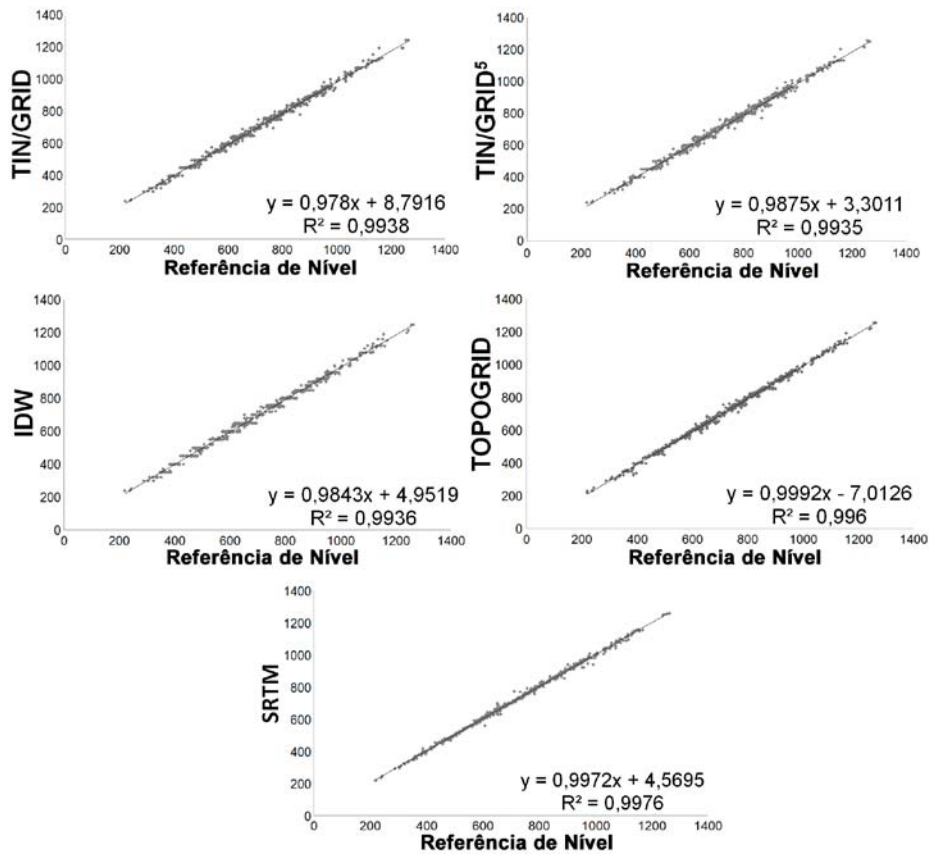


Figura 13 - Resultados das regressões lineares entre as referências de nível (x) e os modelos digitais de elevação (y).

Considerando as normas da cartografia nacional, somente o modelo digital de elevação da SRTM atingiu a classe A, i.e. em relação aos 559 pontos de referência de nível, 90% dos valores altimétricos apresentaram incertezas menores que 25 metros e erro médio quadrático inferior a 16,6 metros. No entanto, é importante ressaltar que os outros modelos digitais de elevação chegaram muito próximos da classe A, em particular, o modelo digital de elevação interpolado com a utilização do algoritmo TopoGrid, único com erro médio quadrático inferior a 16,6 metros (tabela 3), e TIN (polinômio de quinto grau) (figura 14).

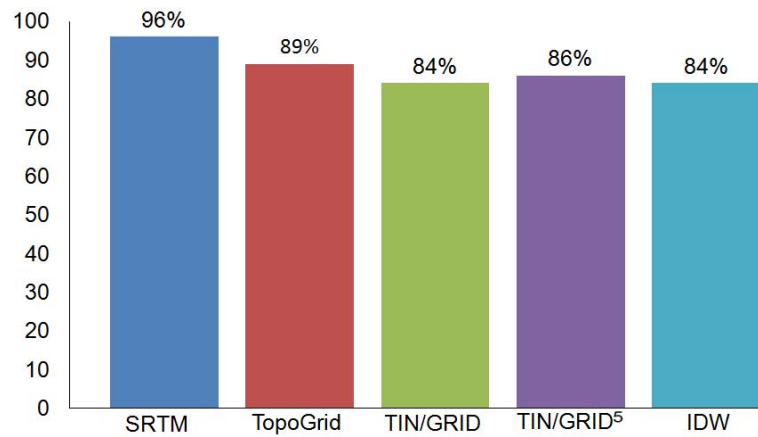


Figura 14 - Porcentagem de referências de nível com diferença de altitude entre 0 e 25 metros (em relação aos respectivos MDE's).

Em todos os resultados dos procedimentos de avaliação anteriormente descritos, o modelo digital de elevação produzido a partir de dados SRTM foi o que mais se ajustou aos 559 pontos de referência de nível distribuídos pela área de estudo. Assim, o MDE SRTM foi tomado como referência para a comparação com todos os outros MDE's obtidos por processos de interpolação distintos. Como se pode observar na tabela 4, o MDE produzido com o interpolador TopoGrid, ainda que tenha a maior média nas diferenças entre os MDE's, apresentou menores valores para desvio-padrão e erro médio quadrático, o que sugere um deslocamento constante entre os MDE's SRTM e TopoGrid. Contudo, as diferenças de nível entre estes dois MDE's são bastante equivalentes.

Tabela 4 - Análise das diferenças entre o MDE SRTM e os MDE's gerados.

|                          | SRTM - IDW | SRTM - TIN/GRID | SRTM - TIN/GRID <sup>5</sup> | SRTM - TopoGrid |
|--------------------------|------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| Média                    | 3,49 m     | 2,91 m          | 3,16 m                       | 6,43 m          |
| Desvio Padrão            | 21,25 m    | 21,21 m         | 21,6 m                       | 18,85 m         |
| Coefficiente de Variação | 6,09 m     | 7,29 m          | 6,84 m                       | 2,93 m          |
| Valor Máximo             | 290 m      | 304 m           | 320 m                        | 405 m           |
| Valor Mínimo             | -270 m     | -294 m          | -305 m                       | -320 m          |
| EMQ                      | 22 m       | 21 m            | 22 m                         | 20 m            |

As distribuições das diferenças de altitude entre os MDE's são apresentadas na figura 15, onde é possível notar que as diferenças entre os MDE's SRTM e TopoGrid apresentam as menores dispersão.

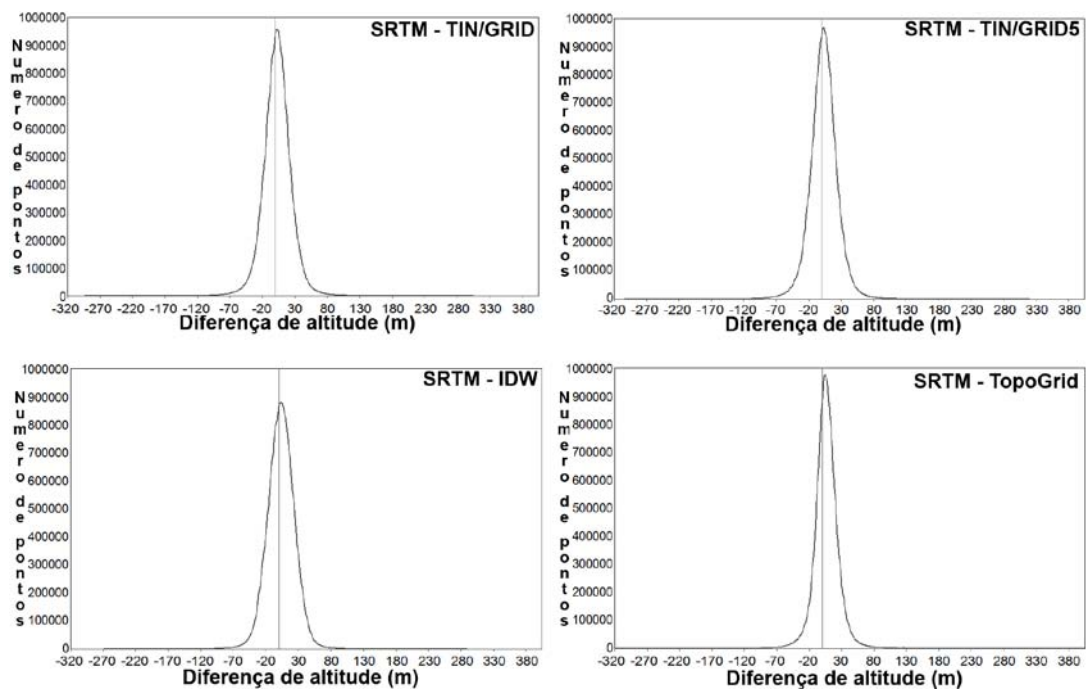


Figura 15 – Distribuições de frequências em relação às diferenças de altitude entre o MDE SRTM e os MDE's gerados a partir da interpolação de curvas de nível.

A análise das diferenças entre as 559 referências de nível e o MDE SRTM com relação ao uso do solo, onde 466 referências se localizam em áreas ocupadas e 91 referências em áreas com vegetação remanescente, mostrou não haver uma interferência significativa do tipo de uso do solo na qualidade do MDE SRTM (tabela 5), onde a média, desvio padrão e o erro médio quadrático apresentados são praticamente iguais para as duas classes de uso de solo definidas.

Tabela 5 - Análise das diferenças entre as referências de nível e o MDE SRTM com relação ao uso do solo.

|                          | Área Ocupada | Vegetação Remanescente |
|--------------------------|--------------|------------------------|
| Média                    | -3 m         | -2 m                   |
| Desvio Padrão            | 10 m         | 9 m                    |
| Coefficiente de Variação | -3,33 m      | -4,50 m                |
| Valor Máximo             | 53 m         | 32 m                   |
| Valor Mínimo             | -63 m        | -45 m                  |
| EMQ                      | 11 m         | 10 m                   |

A baixa correlação entre o tipo de uso do solo e a qualidade dos dados SRTM também pode ser observada através das respectivas distribuições de frequências (figura 16) dos erros calculados a partir da subtração entre as referências de nível e o modelo digital de elevação SRTM.

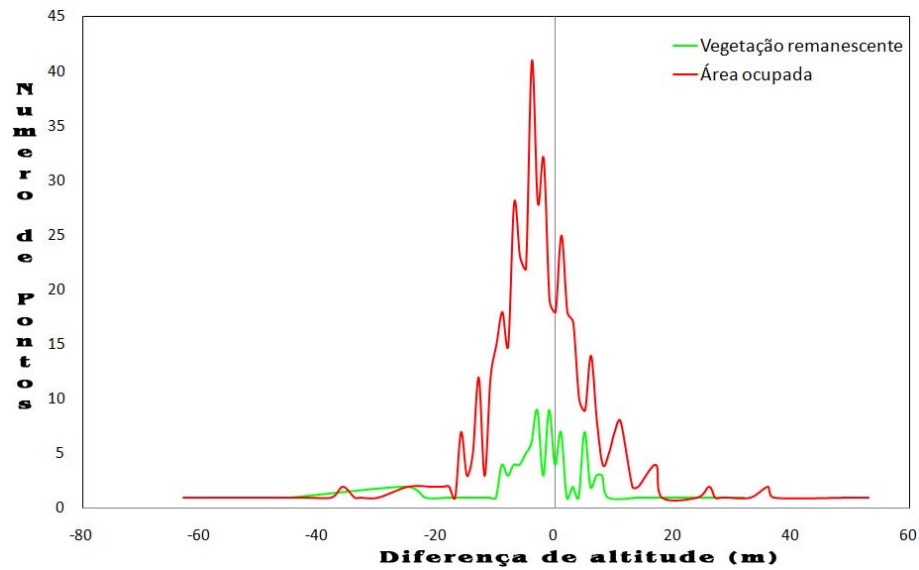


Figura 16 – Distribuições de frequências mostrando as diferenças de altitude entre as referências de nível e o MDE SRTM com relação ao uso do solo.

É interessante observar que a estrutura matricial, gerada a partir da subtração entre os MDE's SRTM e TopoGrid, também não apresenta correlação significativa com as classes de uso do solo (tabela 6 e figura 17).

Tabela 6 - Análise das diferenças entre o MDE SRTM e o MDE TopoGrid com relação ao uso do solo.

|                          | Área ocupada | Vegetação remanescente |
|--------------------------|--------------|------------------------|
| Média                    | 6,31 m       | 6,18 m                 |
| Desvio Padrão            | 16,56 m      | 21,73 m                |
| Coefficiente de Variação | 2,62 m       | 3,52 m                 |
| Valor Máximo             | 367 m        | 405 m                  |
| Valor Mínimo             | -283 m       | -320 m                 |
| EMQ                      | 14 m         | 13 m                   |

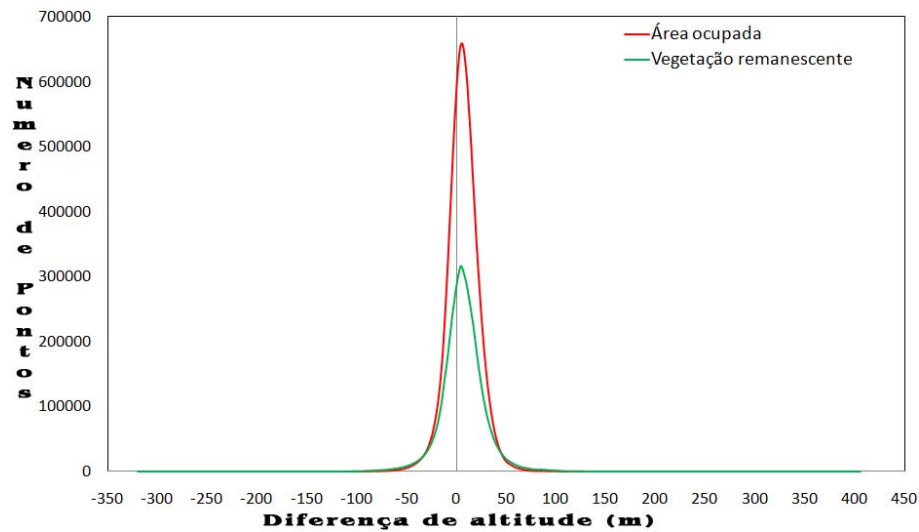


Figura 17 - Distribuições de frequências mostrando as diferenças de altitude entre o MDE SRTM e o MDE TopoGrid com relação ao uso do solo.

De acordo com as características do equipamento SAR interferométrico utilizado na missão SRTM, a topografia local é considerada um fator primário para determinar o ângulo de incidência local do sinal do radar, influenciando assim na qualidade do dado gerado. Conforme os dados mostrados na tabela 7, pode-se observar um aumento progressivo nos valores de desvio padrão e erro médio quadrático em função do aumento na declividade, o que confirma a dependência da qualidade dos dados SRTM em relação à topografia.

Tabela 7 - Análise das diferenças entre o MDE SRTM e o MDE TopoGrid com relação à declividade.

|                          | 0% - 3% | 3% - 8% | 8% - 20% | 20% - 45% | 45% - 75% | > 75%   |
|--------------------------|---------|---------|----------|-----------|-----------|---------|
| Média                    | 6,70 m  | 5,97 m  | 6,46 m   | 7,11 m    | 5,78 m    | 0,01 m  |
| Desvio Padrão            | 15,99 m | 16,65 m | 21,99 m  | 33,71 m   | 51,27 m   | 68,75 m |
| Coefficiente de Variação | 2,39 m  | 2,79 m  | 3,40 m   | 4,74 m    | 8,87 m    | 6875 m  |
| Valor Máximo             | 367 m   | 405 m   | 405 m    | 318 m     | 289 m     | 271 m   |
| Valor Mínimo             | -215 m  | -252 m  | -283 m   | -320 m    | -285 m    | 318 m   |
| EMQ                      | 17 m    | 18 m    | 23 m     | 34 m      | 52 m      | 69 m    |

Através da distribuição dos erros calculados a partir da diferença entre o MDE SRTM e o MDE TopoGrid para cada classe de relevo, é possível notar a alta correlação entre o aumento da dispersão dos erros e a declividade do terreno, onde quanto maior a declividade, maior a dispersão (figura 18). Para a classe de menor declividade, o erro médio quadrático foi de 17 metros, enquanto que para a classe de maior declividade, o erro médio quadrático foi de 69 metros.

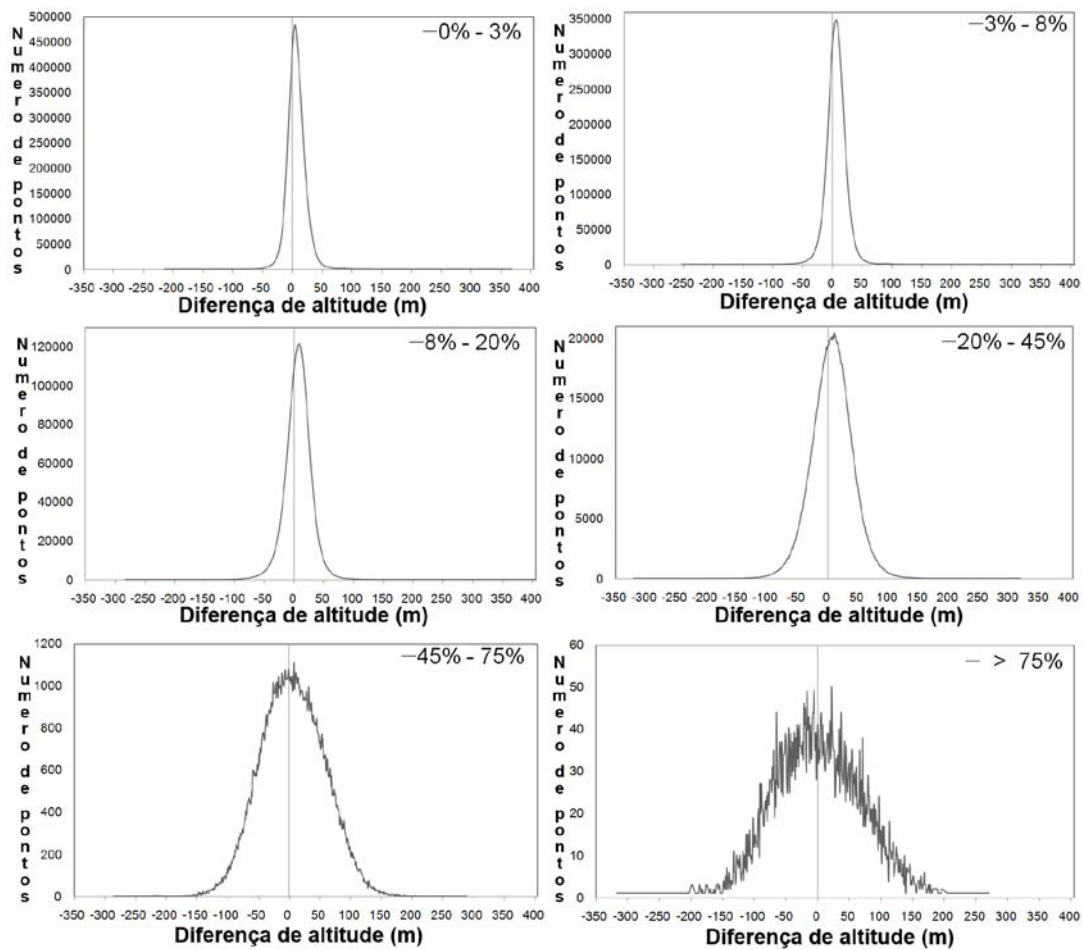


Figura 18 - Distribuições de frequência mostrando as diferenças de altitude entre o MDE SRTM e o MDE TopoGrid com relação à declividade.

As delimitações automáticas geradas a partir dos modelos digitais de elevação SRTM e TopoGrid, apresentaram boa simetria em relação à delimitação gerada manualmente pela SGM/SIC, tendo o MDE SRTM um melhor desempenho em três das cinco zonas de influência utilizadas, conforme se pode observar na tabela 8.

Tabela 8 - Porcentagem de limites de Ottobacias dentro de cada zona de influência dos limites gerados a partir dos MDE's.

| MDE      | 100 m | 200 m | 300 m | 400 m | 500 m |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SRTM     | 31%   | 52%   | 67%   | 76%   | 83%   |
| TopoGrid | 32%   | 53%   | 66%   | 75%   | 80%   |

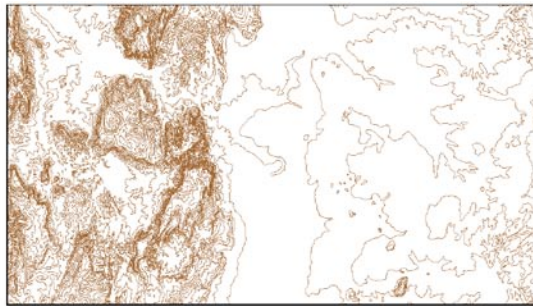
Em fato, os valores apresentados na tabela 8 podem ser considerados satisfatórios, haja vista que 2 milímetros na carta topográfica na escala de 1:250.000 (equivalente a 500 metros no terreno) é um erro possível de ocorrer na delimitação manual, devido a falta de informação de altitude entre as curvas de nível, o que aumenta a subjetividade no traçado do limite da bacia hidrográfica (figura 19a).

Essa simetria entre os limites também pode ser constatada na tabela 9, onde são apresentados, para cada classe de relevo, os valores da porcentagem de limites de Ottobacias dentro da zona de influência de 500 metros dos limites gerados a partir dos MDE's. É possível notar menor simetria entre os limites das Ottobacias e os limites gerados a partir dos MDE's SRTM e TopoGrid em regiões mais planas.

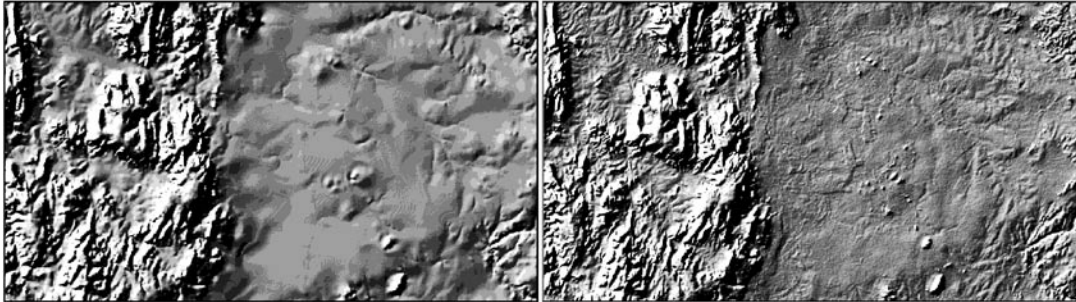
Tabela 9 - Porcentagem de limites de Ottobacias dentro da zona de influência de 500 metros dos limites gerados a partir dos MDE's para cada classe de relevo.

| Declividade | SRTM - <i>buffer</i> 500 m | TopoGrid - <i>buffer</i> 500 m |
|-------------|----------------------------|--------------------------------|
| 0% - 3%     | 80%                        | 76%                            |
| 3% - 8%     | 83%                        | 84%                            |
| 8% - 20%    | 87%                        | 87%                            |
| 20% - 45%   | 90%                        | 88%                            |
| 45% - 75%   | 92%                        | 87%                            |
| > 75%       | 87%                        | 81%                            |

Devido à característica do equipamento SAR interferométrico utilizado na missão SRTM, que obtém informações altimétricas de forma contínua da superfície, o MDE SRTM possui maior amostragem de informação altimétrica do que as cartas topográficas, onde o relevo é representado somente por curvas de nível e pontos altimétricos. Os relevos sombreados gerados a partir dos modelos digitais de elevação TopoGrid e SRTM (figuras 19b e 19c respectivamente) possibilitam a visualização dessa falta de informação altimétrica entre as curvas de nível, sendo possível observar maior detalhamento das feições dos elementos que compõem a paisagem no relevo sombreado gerado a partir do MDE SRTM, o que favorece a obtenção de limites de bacias hidrográficas mais coincidentes com a realidade.



(a) equidistância das curvas de nível de 40 metros



(b) elevação solar 45° e azimute solar 315°. (c) elevação solar 45° e azimute solar 315°.

Figura 19 - Vão do Paranã região nordeste do Estado de Goiás - a) curvas de nível da base cartográfica 1:100.000; b) relevo sombreado gerado a partir do MDE TopoGrid; c) relevo sombreado gerado a partir do MDE da SRTM.

Apesar dos valores obtidos nas análises estatísticas efetuadas demonstrarem boa simetria entre as delimitações das bacias hidrográficas geradas automaticamente e manualmente, foi observado alguns erros nas delimitações geradas automaticamente (figura 20), o que torna necessária a execução de correções, principalmente em regiões com pouca declividade, como a região da planície do Araguaia (figura 20a) e em regiões com presença de grandes corpos d'água, como na região do reservatório de Serra da Mesa (figura 20b). Por outro lado, a figura 20c demonstra uma região com boa simetria entre os limites das bacias hidrográficas.

No âmbito da inspeção visual realizada, foi possível observar uma maior quantidade de limites errôneos na delimitação gerada a partir do MDE TopoGrid em relação à delimitação gerada a partir do MDE SRTM.

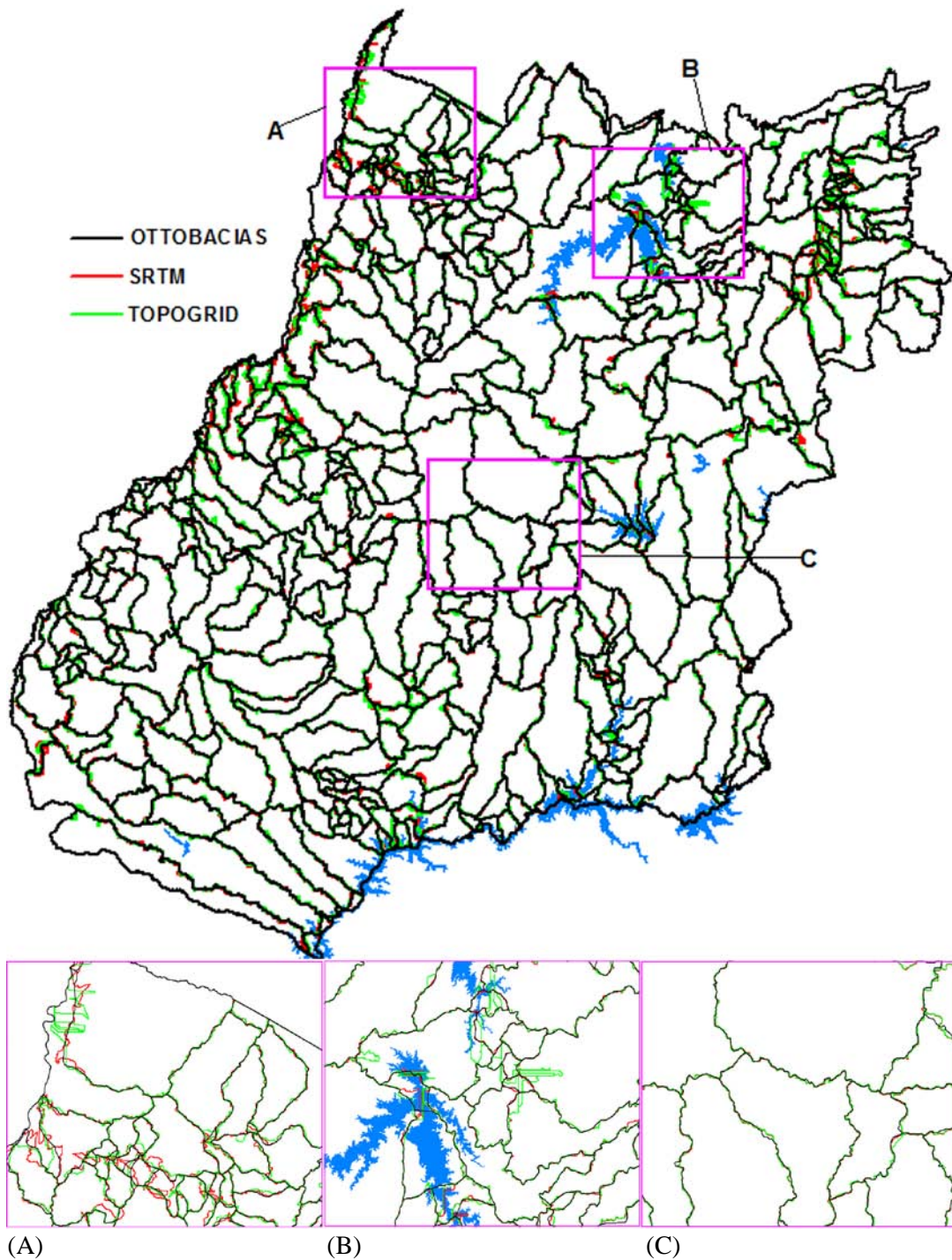


Figura 20 - Limites das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal gerados automaticamente a partir dos modelos SRTM e TopoGrid sobrepostos aos limites das Ottobacias geradas manualmente - A) região com baixa declividade; B) região com presença de grandes corpos d'água; C) região com boa simetria dos limites das bacias hidrográficas.

## CAPÍTULO 2: Índice de Qualidade Sócio-Ambiental por Bacia Hidrográfica

### 1. Introdução

A noção de sustentabilidade tem se firmado como o novo paradigma do desenvolvimento humano. Introduzido no encontro internacional *The World Conservation Strategy* (IUCN et al., 1980), o conceito de sustentabilidade passou a ser empregado com maior frequência, assumindo dimensões econômicas, sociais e ambientais.

O termo desenvolvimento sustentável surgiu em 1980 e foi consagrado em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), conhecida como Comissão *Brundtland*, que produziu um relatório considerado a base para a definição desta noção e dos princípios que lhe dão fundamento. O Relatório *Brundtland* (WCED, 1987), publicado em 1988 pela FGV (Fundação Getúlio Vargas) com o título “Nosso Futuro Comum”, define desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (FGV, 1988, p. 46).

Esse conceito passou a ser amplamente utilizado a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento (CNUAD), ocorrida em junho de 1992 no Rio de Janeiro, onde foi escrita a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que contém 27 princípios sobre os direitos e obrigações dos Estados. A partir daí, vários países apresentam o desenvolvimento sustentável como componente da sua estratégia política, conjugando ambiente, economia, aspectos sociais e institucionais (BIANCHINI, 2001; BRASIL, 1995; NAÇÕES UNIDAS, 2007; VAN KAICK, 2007).

A Agenda 21 é um dos resultados desta conferência, considerada o maior esforço internacional registrado até o presente e que reflete o consenso mundial. Dividida em 40 capítulos temáticos que funcionaram como uma matriz de identificação de temas e problemas ambientais, constitui um programa de ação voltado para a implementação dos princípios estabelecidos na declaração da Rio 92 (BIANCHINI, 2001; BRASIL, 1995).

A criação de instrumentos de mensuração, tais como indicadores de desenvolvimento, é um dos principais desafios da construção do desenvolvimento sustentável. Sendo os indicadores de desenvolvimento sustentável instrumentos eficazes para orientar a ação e auxiliar o acompanhamento e a avaliação do progresso obtido rumo ao desenvolvimento sustentável. A recomendação de desenvolvimento de indicadores para auxiliar nos processos de tomada de decisão foi estimulada e está explicitada na Agenda 21

(IBGE, 2008; NAÇÕES UNIDAS, 2007; OLIVEIRA; MENDES, 2004; VAN KAICK, 2007).

A etimologia do termo indicador origina-se do Latim *indicare*, que significa descobrir, estimar, anunciar. Segundo Hammond et al. (1995), os indicadores têm como objetivo principal agregar e quantificar informações de uma maneira que sua significância seja mais aparente, podendo assim comunicar ou informar acerca do progresso em direção a uma determinada meta. Também podem ser entendidos como um recurso que deixa mais perceptível uma tendência ou fenômeno que não seja facilmente detectável.

A Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico, um dos organismos pioneiros no desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade, entende como indicador todo parâmetro, ou valor derivado de outros parâmetros, que aponta e fornece informações sobre o estado de um fenômeno com uma extensão significativa (OECD, 1993).

Como ferramentas de auxílio à decisão, os indicadores são modelos simplificados da realidade, que transmitem um conjunto de informações sobre processos complexos, eventos ou tendências, facilitando assim a compreensão dos fenômenos. Os indicadores inserem-se em uma pirâmide de informação, cuja base é formada pelos dados primários desagregados e o topo da pirâmide corresponde ao grau máximo de agregação, que são os índices (ABOOT; GUIJT, 1999; GOUZEE et al., 1995; MAGALHÃES JUNIOR, 2007; SICHE et al., 2007).

Indicadores e índices são fornecidos por diversas instituições, tais como, Banco Mundial, que publica anualmente o Relatório sobre o Desenvolvimento Mundial e a Organização das Nações Unidas (ONU) através dos Relatórios de Desenvolvimento Humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), em nível mundial; o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA), em nível nacional, e a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás (SEPLAN), em nível estadual.

Entre os principais indicadores e índices, é possível destacar o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), proposto pelo economista paquistanês, Mahbub ul Hag no início dos anos 90 e que, rapidamente, tornou-se a mais conhecida das medidas de desenvolvimento e o PIB *per capita*, volume de bens e serviços produzidos anualmente por habitante em cada país (TORRES et al., 2003).

O IBGE apresentou em 2008 a publicação “Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil 2008” (IBGE, 2008), dando continuidade à série iniciada em 2002, Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para o Brasil, segundo recomendações da

Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS) da ONU. Na edição de 2008, encontram-se 60 indicadores de diferentes dimensões: Ambiental, Social, Econômica e Institucional. Porém, a proposta esbarra no desafio de integração entre as variáveis consideradas e na dificuldade de geração de dados para produção dos indicadores em nível municipal.

Por ser considerada um modelo do sistema natural aberto, onde se pode interpretar as trocas de energia e de materiais que ali se realizam, a bacia hidrográfica deve ser a unidade de caracterização, diagnóstico, planejamento e gestão ambiental, pois nela os impactos ambientais podem ser mensurados e mitigados mais facilmente (BORDALO, 1995; GIOMETTI, 1998; LANNA, 1985; SILVA, 1986; HANSEN; LANNA, 2001). A bacia hidrográfica permite que além de se conhecer e avaliar seus diversos componentes, se compreenda os processos e interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita na adoção desta unidade fundamental (BOTELHO; SILVA, 2004).

Para que se cumpra o objetivo do desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas, é necessário que as mesmas tenham qualidade sócio-ambiental. Ou seja, quanto maior for a qualidade sócio-ambiental de uma determinada bacia hidrográfica, mais viável é a implementação de ações para o desenvolvimento sustentável.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é propor um índice sócio-ambiental geograficamente referenciado no contexto de bacias hidrográficas que evidencia a situação sócio-ambiental das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal. Este índice utiliza variáveis sociais, econômicas, institucionais e ambientais, analisadas através de operadores de análise de dados espacialmente distribuídos em um sistema de informações geográficas (SIG).

## 2. Área de Estudo

O Estado de Goiás e Distrito Federal, localizados na região Centro-Oeste do Brasil, possuem uma área de aproximadamente 347.000 km<sup>2</sup>, que corresponde a 4,1% do território brasileiro (figura 21). Abriga uma população superior a sete milhões de habitantes (90% residente em área urbana), aproximadamente 4,4% da população brasileira. Em 2008 o Estado de Goiás possuía uma densidade populacional de 17,31 hab./km<sup>2</sup> e o Distrito Federal de 402,00 hab./km<sup>2</sup> a maior do Brasil segundo o IBGE.

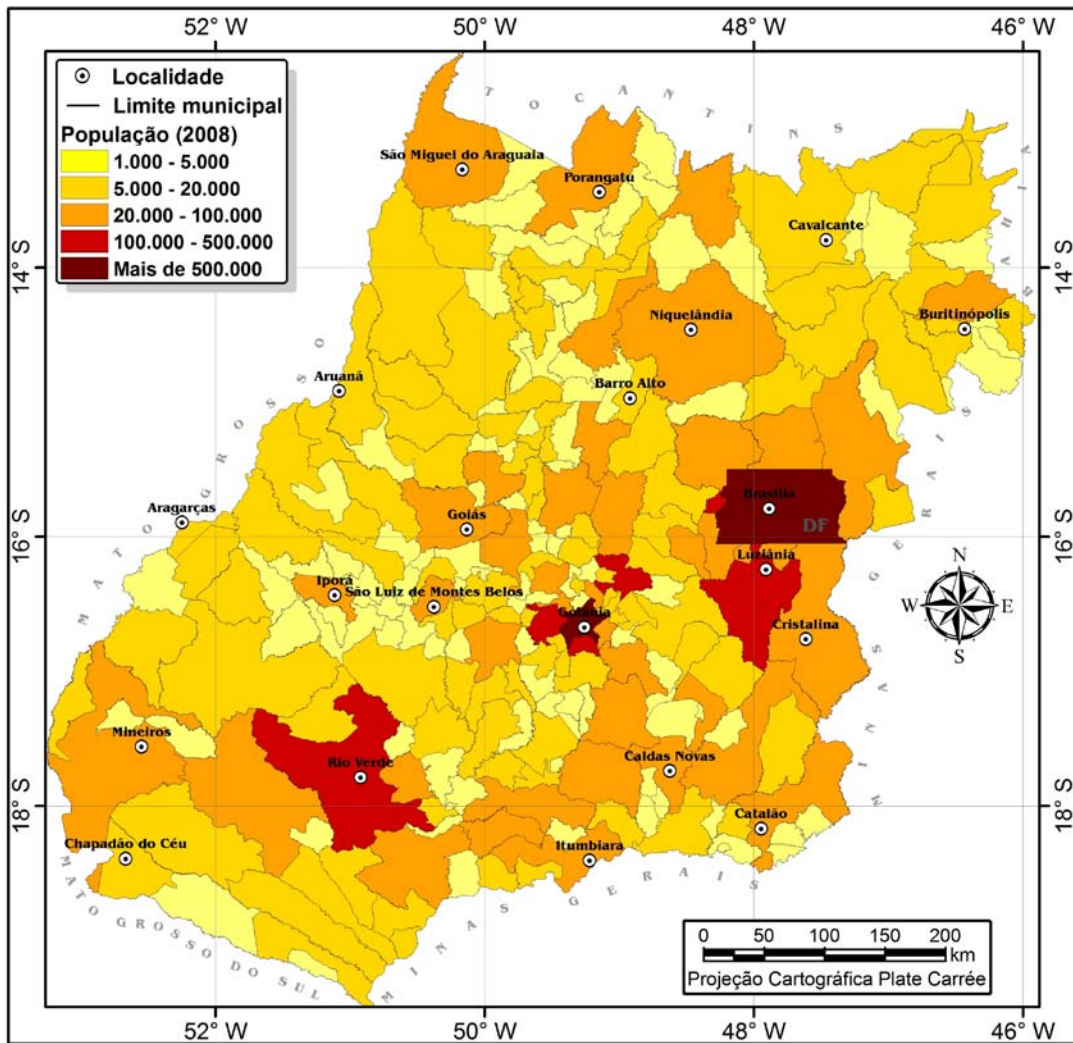


Figura 21 - Mapa da população do Estado de Goiás e Distrito Federal - 2008.

Fonte: SIEG/IBGE

Em 2000, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal médio do Brasil era 0,766. Utilizando a classificação de IDH definida pela ONU, nenhum dos municípios da área de estudo está no nível baixo (IDH com valores até 0,5). Dentre os 242 municípios do Estado de Goiás (246 a partir de 2001), o município com o maior valor era Chapadão do Céu, com

0,834, classificado como nível alto (IDH com valores acima de 0,8), enquanto o município com o menor valor era Buritinópolis, com 0,600 classificado como nível médio (IDH com valores de 0,5 a 0,8), localizados nas regiões sudoeste e nordeste, respectivamente. O Distrito Federal, com valor de 0,844, possuía o maior valor IDH do Centro-Oeste (figura 22) (NOVAS et al., 2008; PNUD; IPEA, 2002).

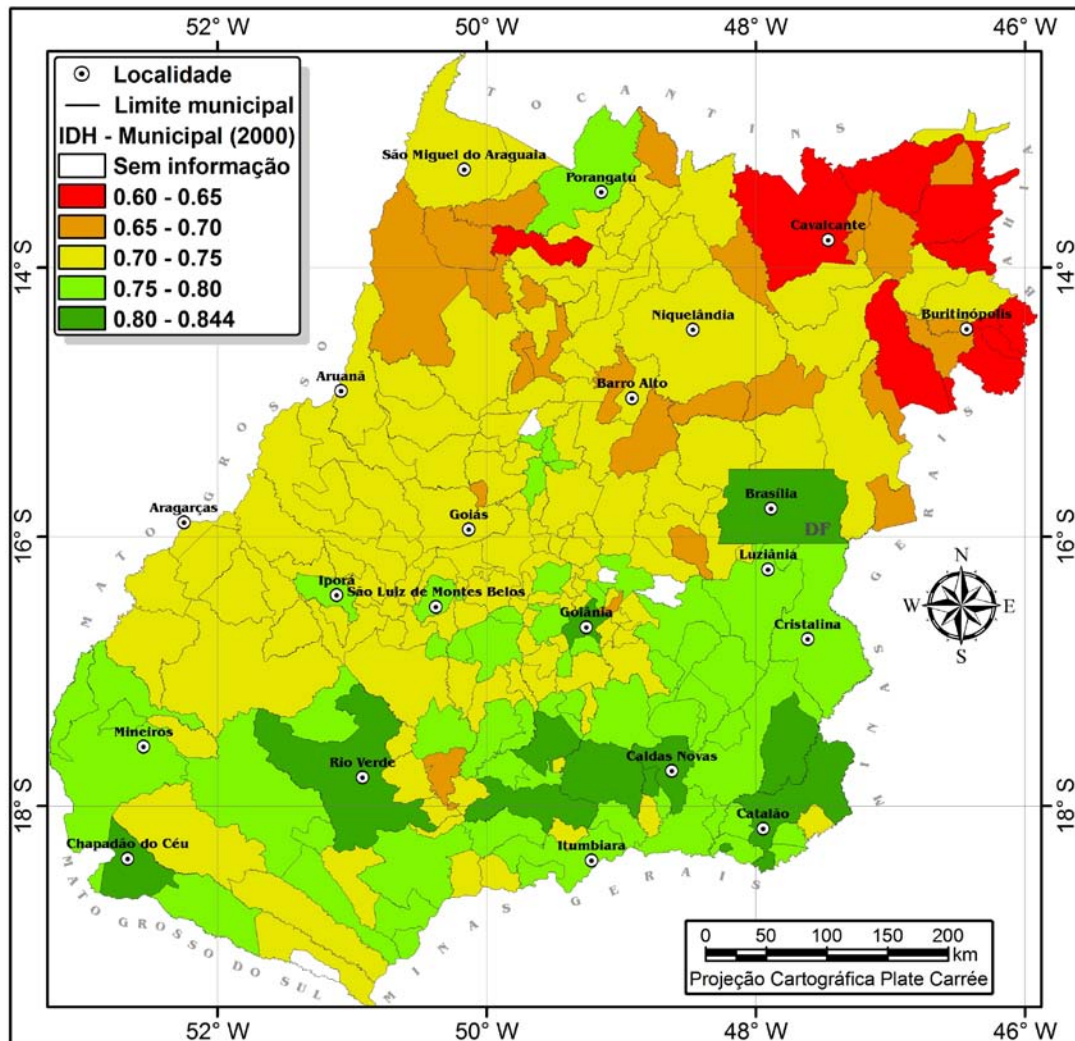


Figura 22 - Mapa do índice de desenvolvimento humano municipal para o Estado de Goiás e Distrito Federal - 2000.

Fonte: SIEG/PNUD/IPEA

A taxa de crescimento econômico da área de estudo é superior à verificada para a economia nacional, refletindo na ampliação da participação do Estado de Goiás e Distrito Federal na formação do PIB brasileiro nas últimas décadas (GOIÁS, 2005; GOIÁS, 2008). A atividade agropecuária é a mais desenvolvida no estado, seguida do comércio, extração mineral, indústrias de mineração, alimentícia e de confecções, mobiliária, metalurgia e madeireira.

O PIB *per capita*, para o ano 2000, do Distrito federal e dos 242 municípios do Estado de Goiás são apresentados na figura 23. A área de estudo apresenta uma diferença de valores de até R\$ 26.709,00 (valor mínimo R\$ 191,00 e valor máximo R\$ 26.900,00) para o volume de bens e serviços produzido anualmente por habitante.

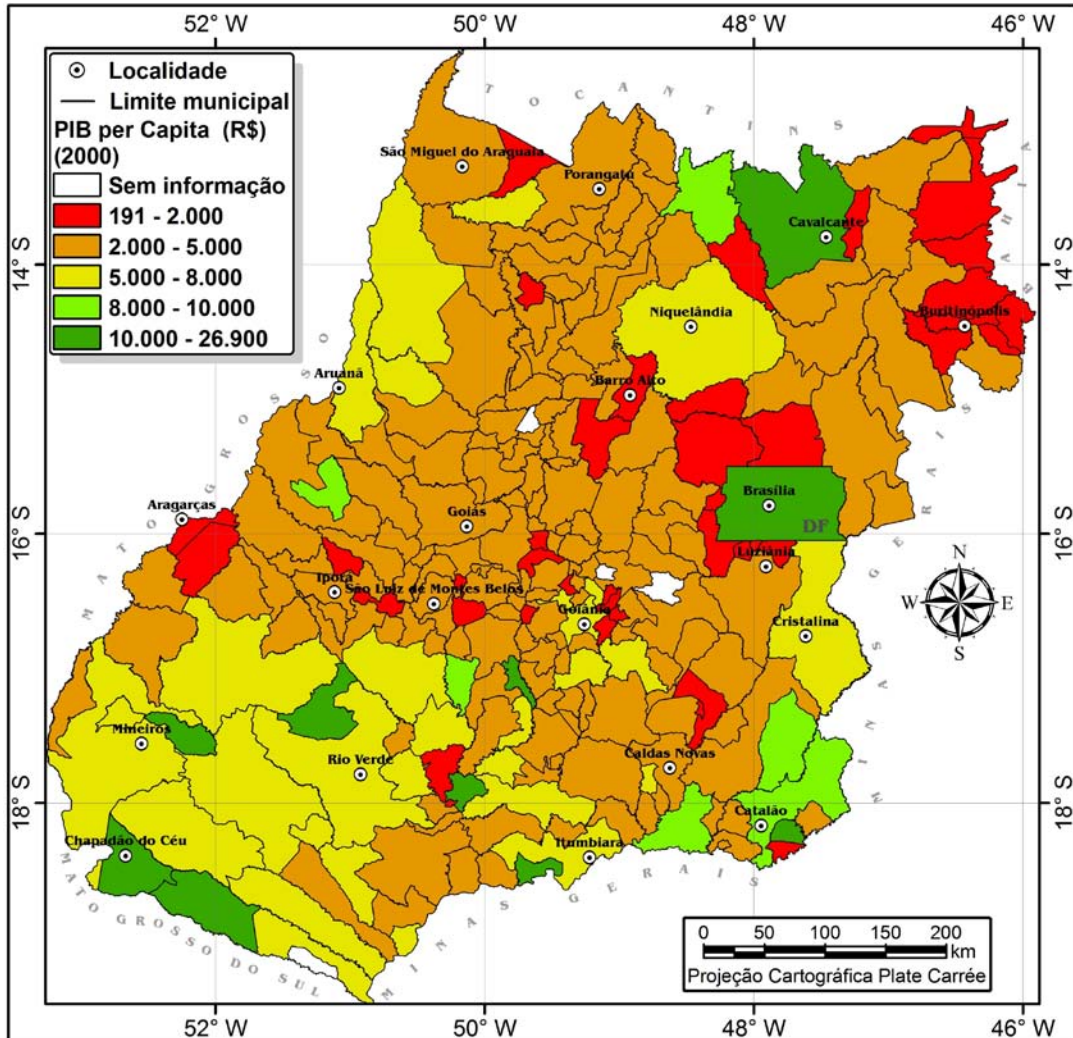


Figura 23 - Mapa do produto interno bruto *per capita* para o Estado de Goiás e Distrito Federal - 2000.

Fonte: SIEG/IBGE

A área de estudo possui uma extensa malha viária, entre rodovias federais, estaduais, distritais e municipais. Conta com 13.199 quilômetros de rodovias pavimentadas e 16.954 quilômetros de rodovias em situação de leito natural (figura 24), o que totaliza 30.153 quilômetros de rodovias segundo mapa rodoviário de 2008, à escala de 1:250.000, disponibilizado pelo Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas do Estado de Goiás (SIEG).

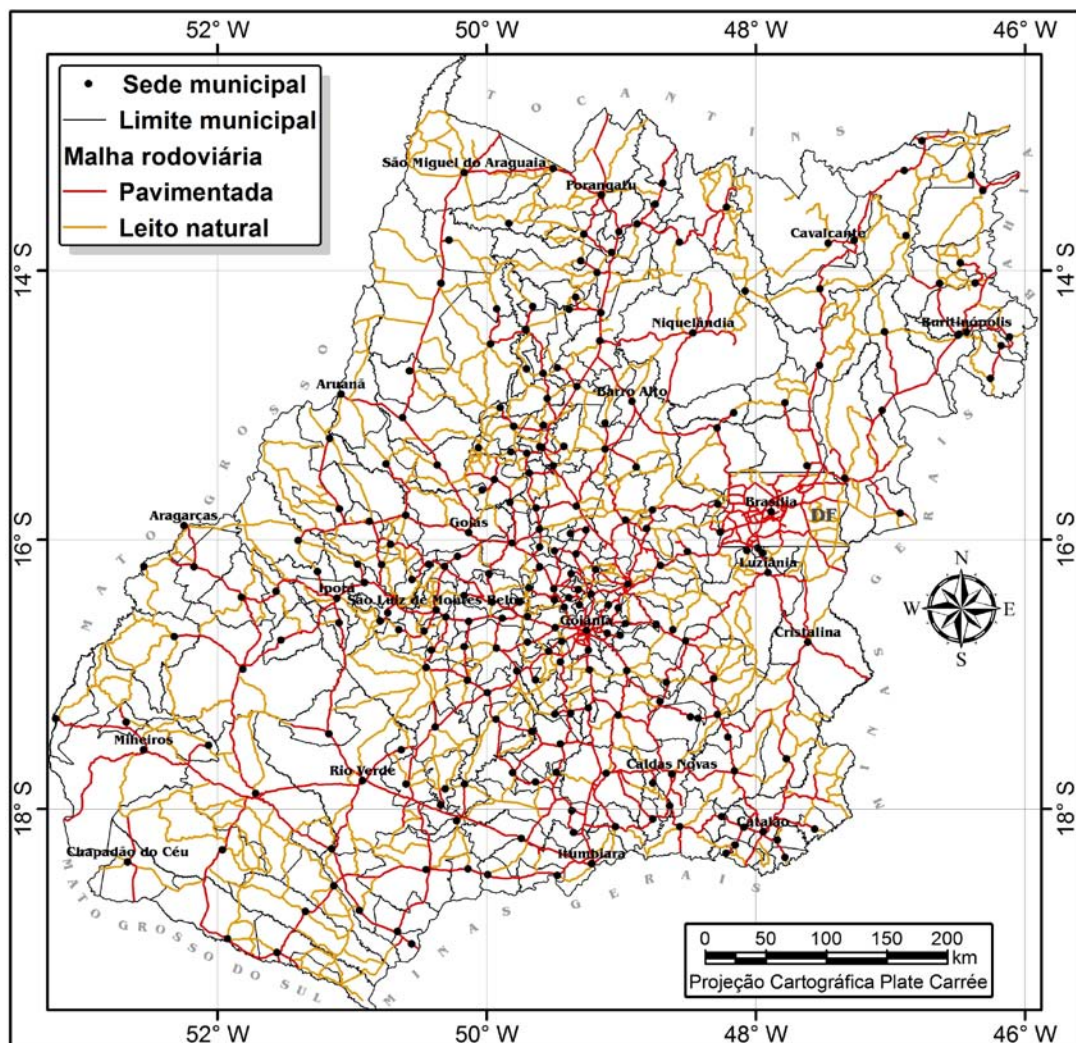


Figura 24 - Mapa das sedes municipais e malha rodoviária do Estado de Goiás e Distrito Federal - 2008.

Fonte: SIEG

O desenvolvimento econômico ocorrido nas últimas décadas na região Centro-Oeste brasileira também provocou grandes transformações ambientais, particularmente evidenciados através da redução na cobertura vegetal natural. Conforme o mapa de cobertura e uso do solo, produzido no âmbito do projeto “Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás” (SANO, E. et al. 2008), em 2002 a área de estudo possuía apenas 36% da vegetação remanescente (cerrado, floresta e formação pioneira) (figura 25).

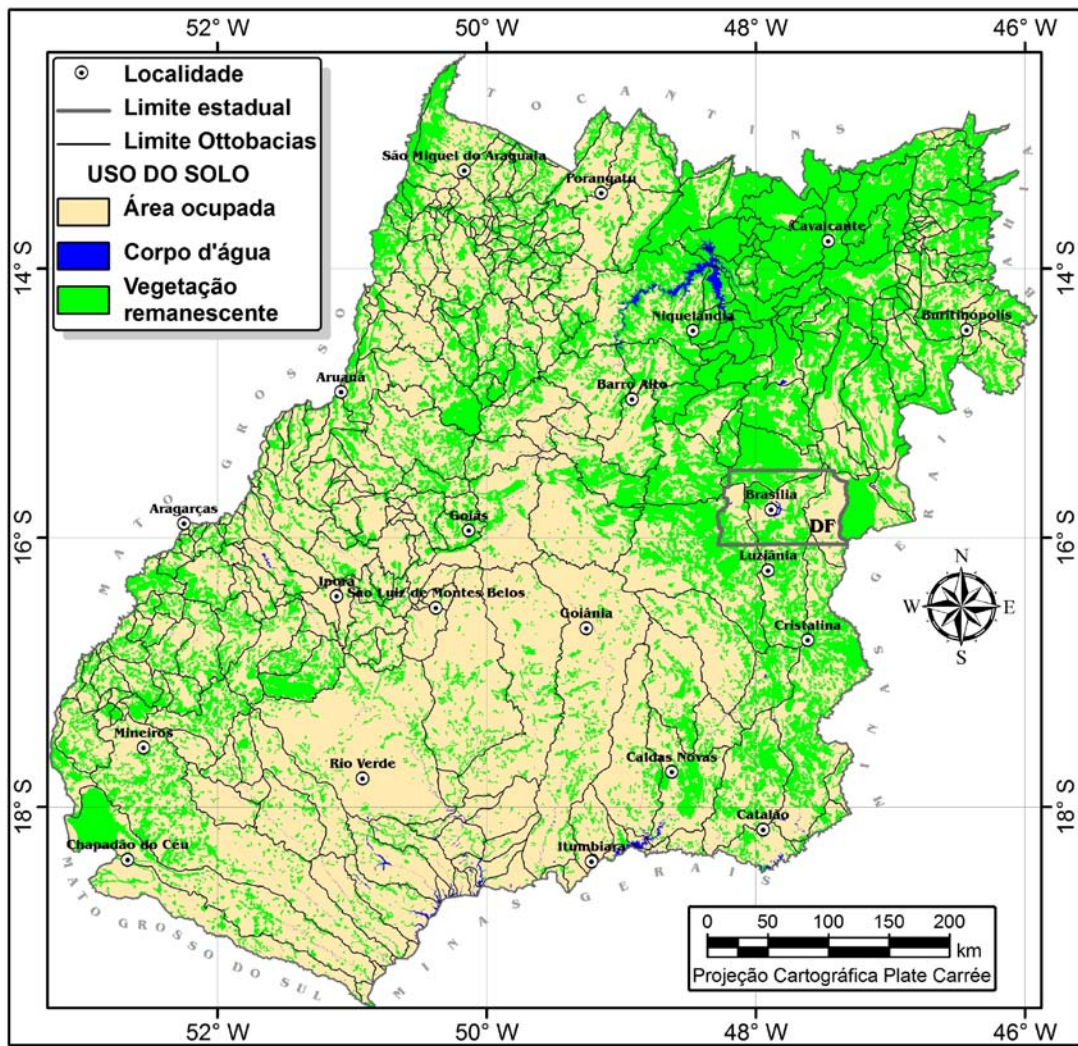


Figura 25 - Mapa de uso do solo, conforme a divisão do Estado e Ottobacias nível 5 - 2002.

Fonte: SIEG

### 3. Metodologia

#### 3.1. Base de Dados

A apresentação dos indicadores segue o marco ordenador proposto pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável - CDS, das Nações Unidas, que os organiza em quatro dimensões: Ambiental, Social, Econômica e Institucional (NAÇÕES UNIDAS, 2007).

##### 3.1.1. Dimensão Ambiental

As variáveis utilizadas para geração do indicador ambiental empregado no presente trabalho foram: a porcentagem de cobertura vegetal remanescente presente em cada bacia hidrográfica e a declividade média de cada bacia.

O dado sobre a cobertura vegetal remanescente utilizado na geração do indicador foi extraído do mapeamento do uso do solo, à escala de 1:250.000, realizado pelo Consórcio WWF Brasil – IMAGEM, no âmbito do projeto “Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás”, com base na interpretação de imagens LANDSAT 7 ETM+ de 2001/2002, compilação de informações do projeto Radambrasil e reconhecimento de campo (SANO, E. et al., 2008)<sup>1</sup>.

O mapa de declividade foi gerado a partir do MDE (Modelo Digital de Elevação) SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) banda C com resolução espacial de 90 metros (SRTM 3) que foi disponibilizado, em formato geotiff com unidade de altitude em metros, pelo Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite da EMBRAPA, no âmbito da Coleção “Brasil em Relevo” ([www.relevobr.cnpm.embrapa.br](http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br)), o qual realizou trabalhos de correção e padronização, eliminando depressões espúrias, pontos anômalos e áreas com ausência de dados (MIRANDA, E., 2005).

---

<sup>1</sup> Disponível através do portal do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas do Estado de Goiás (SIEG) ([www.sieg.go.gov.br](http://www.sieg.go.gov.br)), em formato digital *shapefile*, em Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum Horizontal SAD-69.

### 3.1.2. Dimensão Social

O indicador social utilizado foi o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) (2000), disponível no Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil (PNUD; IPEA, 2002), que baseia-se em dados do Censo Demográfico do IBGE, realizado a cada dez anos.

Criado por Mahbub ul Haq com a colaboração de Amartya Sen, ganhador do Prêmio Nobel de Economia de 1998, o IDH pretende ser uma medida geral e sintética do desenvolvimento humano. Apesar de ter sido publicado pela primeira vez em 1990, pela Organização das Nações Unidas, o IDH foi recalculado para os anos anteriores, a partir de 1975. Aos poucos, o IDH tornou-se referência mundial. É um índice-chave dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas.

O IDH utiliza três componentes: renda, longevidade e educação. Para aferir a longevidade, utiliza números de expectativa de vida ao nascer. O item educação é avaliado pelo índice de analfabetismo e pela taxa de matrícula em todos os níveis de ensino. A renda é mensurada pelo PIB *per capita* em dólar por Paridade do Poder de Compra (PPC), que elimina as diferenças de custo de vida entre os países. Essas três dimensões têm a mesma importância no índice, que varia de zero a um.

No Brasil, tem sido utilizado também o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), disponível através do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, um banco de dados eletrônico com informações sócio-econômicas sobre os 5.507 municípios do país, os 26 Estados e o Distrito Federal. O IDH-M utiliza os mesmos critérios do IDH, embora alguns dos indicadores usados sejam diferentes. Embora meçam os mesmos fenômenos, os indicadores considerados no IDH municipal são mais adequados para avaliar as condições de núcleos sociais menores.

Para a avaliação da componente renda, o critério usado é a renda municipal *per capita*, ou seja, a renda média de cada residente no município. O cálculo da renda municipal *per capita* é feito a partir das respostas ao questionário expandido do Censo, um questionário mais detalhado do que o universal, aplicado a uma amostra dos domicílios visitados pelos recenseadores. Para avaliar a componente educação, o cálculo do IDH-M considera dois indicadores, com pesos diferentes, taxa de alfabetização de pessoas acima dos 15 anos de idade (com peso dois) e a taxa bruta de frequência à escola (com peso um). Para a avaliação da componente longevidade, o IDH municipal considera o mesmo indicador do IDH, i.e. a esperança de vida ao nascer.

Uma vez escolhidos os indicadores, são calculados os índices específicos de cada uma das três dimensões analisadas: IDHM-E, para educação, IDHM-L, longevidade e IDHM-R, para renda. O IDH-M de cada município é resultado da média aritmética simples desses três sub-índices. Os municípios são classificados de acordo com três níveis de desenvolvimento definidos pela PNUD/ONU: baixo (até 0,5), médio (de 0,5 a 0,8) e alto (acima de 0,8).

### **3.1.3. Dimensão Econômica**

O indicador econômico utilizado foi o Produto Interno Bruto *per capita* municipal (2000), que indica o nível médio de renda da população em um município. Expressa a razão entre o PIB e a população residente.

O Produto Interno Bruto (PIB) é o valor, a preços de mercado, de todos os bens e serviços finais produzidos num determinado período de tempo. Seu resultado propicia um melhor conhecimento da realidade econômica de cada região, evidenciando sua vocação e a magnitude da riqueza produzida (GOIÁS, 2005; GOIÁS, 2008).

As estimativas do Produto Interno Bruto *per capita* dos Municípios, abrangendo o período de 1999-2002 é resultado do trabalho realizado pelo IBGE, em parceria com os órgãos estaduais de estatística e secretarias estaduais de governo. No caso do Estado de Goiás, o trabalho foi realizado em parceria com a SEPLAN por meio da Superintendência de Estatística, Pesquisa e Informação (SEPIN), que disponibiliza os dados através do portal SIEG.

O PIB Municipal baseia-se na distribuição, entre os municípios, do Valor Adicionado (VA) das atividades econômicas calculadas para o estado, deduzindo o Serviço Financeiro Indiretamente Medido (SIFIM) e somando a esse valor os Impostos Indiretos (VA - SIFIM + Impostos) (GOIÁS, 2005). Dividindo-se esse valor pela população municipal, obtém-se um valor médio *per capita*.

### **3.1.4. Dimensão Institucional**

Os indicadores institucionais utilizados foram a população municipal (2000) e a malha rodoviária (2008). No caso da primeira variável, assumiu-se o pressuposto que os municípios com maior quantidade de habitantes também podem possuir maior quantidade e qualidade de instituições, devido à demanda pela população por serviços essenciais na sede do

município. No caso da segunda variável deste indicador, ela tem o objetivo de expressar a acessibilidade dos habitantes residentes em cada bacia hidrográfica às instituições. Os dados referentes à população municipal e malha rodoviária foram obtidos através do portal do SIEG, em formato digital *shapefile*, em Sistema de Coordenadas Geográficas e *Datum* Horizontal SAD-69.

### **3.1.5. Ottobacias**

O sistema de codificação de bacias hidrográficas, desenvolvido pelo engenheiro Otto Pfastetter em 1989 no âmbito do extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), conhecido pelo nome de “Ottobacias”, caracteriza-se pela sua racionalidade. Este sistema associa um número de identificação único para cada bacia hidrográfica, as quais são organizadas em uma estrutura hierárquica, baseada na topografia da área drenada. Assim, é possível deduzir, através de uma pequena quantidade de números (código), quais bacias hidrográficas se localizam a jusante e a montante daquela em estudo (GALVÃO; MENESES, 2005).

A compartimentação do Estado de Goiás em bacias hidrográficas segundo esta metodologia foi realizada pela SIC/SGM no ano de 2001 utilizando-se cartas topográficas do IBGE na escala 1:250.000 em formato analógico, sobre as quais foram traçadas as linhas dos divisores de água, ligando os pontos mais elevados da região em torno da drenagem considerada. Este conjunto de bacias está disponível, em formato *shapefile*, através do portal SIEG, em sistema de coordenadas geográficas e *datum* horizontal SAD-69.

## **3.2. Análise dos Dados**

Primeiramente foram definidas e planejadas as etapas a serem desenvolvidas para geração do índice sócio-ambiental das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal, desde a pesquisa bibliográfica até a obtenção do resultado final. As principais etapas seguidas neste estudo são ilustradas na figura 26.

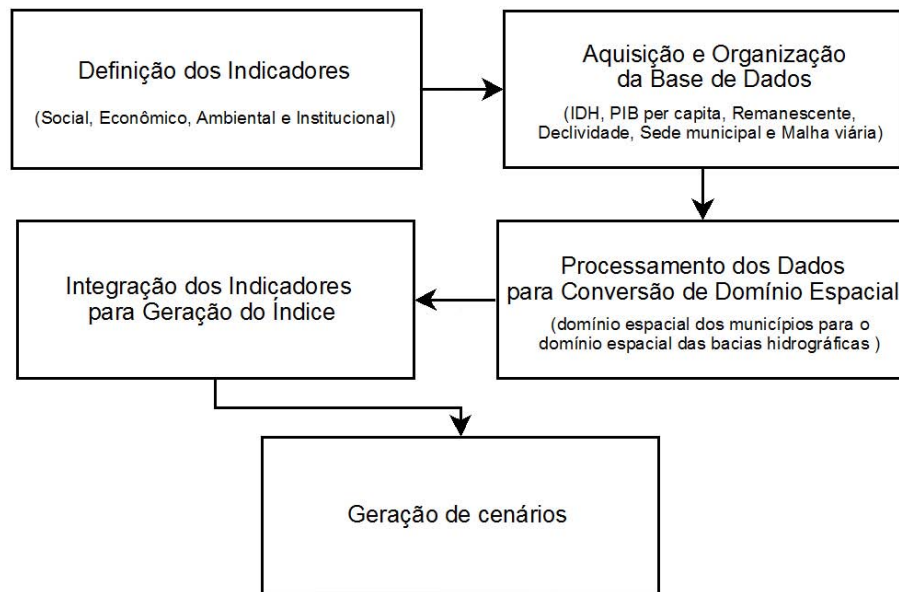


Figura 26 - Principais etapas seguidas neste estudo.

A definição dos indicadores utilizados para gerar o Índice Sócio-Ambiental foi o primeiro passo do trabalho. Especificamente foram definidas quatro categorias de indicadores: Ambiental (porcentagem de cobertura vegetal remanescente e declividade média da bacia), Social (IDH-M), Econômico (PIB *per capita*) e Institucional (população municipal e malha rodoviária), utilizando como referência as quatro dimensões de sustentabilidade utilizadas pelo IBGE para definição dos Indicadores de Desenvolvimento Sustentável do Brasil (IBGE, 2008).

Após aquisição, os dados foram organizados em ambiente SIG, onde foram utilizadas diferentes técnicas de processamentos de dados espaciais, para a conversão de dados sociais, econômicos, ambientais e institucionais, do domínio espacial dos municípios para o domínio espacial das bacias hidrográficas, conforme as etapas descritas a seguir e ilustradas na figura 27.

Especificamente, no caso do IDH-M utilizado para geração do Indicador Social, foi utilizado o algoritmo de interpolação IDW (*Inverse Distance Weighted*) (ESRI, 2006; FERREIRA, 2003; MIRANDA, J., 2005) para conversão de domínio espacial. Utilizou-se a sede dos municípios do Estado de Goiás e a sede do Distrito Federal, representadas geometricamente por pontos, como sendo amostras para geração, a partir da interpolação, do mapa em estrutura matricial (com células de 500m X 500m) contendo um valor de IDH-M, que varia entre zero (baixo IDH-M) e um (alto IDH-M), para cada célula.

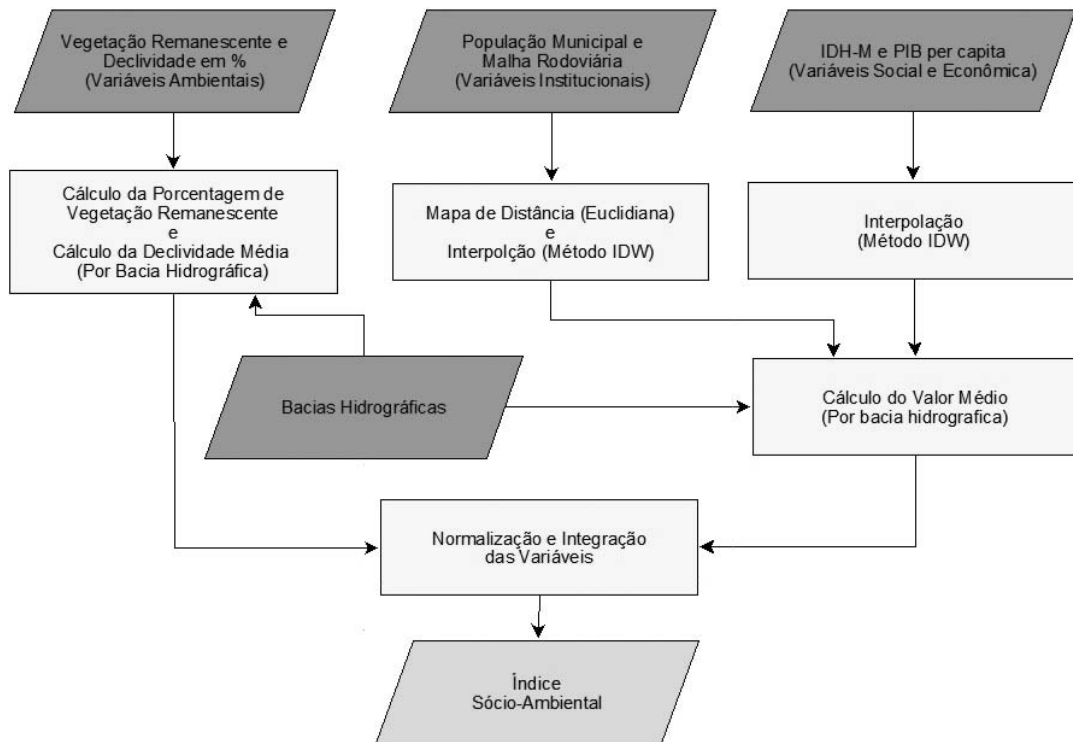


Figura 27 - Etapas relativas ao processamento dos dados, para a conversão de domínio espacial.

Após a interpolação, foi realizado o cálculo do valor médio de IDH-M por bacia hidrográfica (Ottobacias nível 5). Os mesmos procedimentos foram executados para a conversão de domínio espacial da variável PIB *per capita*, para geração do Indicador Econômico. Porém, no caso do PIB *per capita*, foi necessário a normalização da informação gerada, para valores que variam entre zero (baixo PIB *per capita*) e um (alto PIB *per capita*).

O Indicador Ambiental foi obtido através da média aritmética entre os mapas normalizados de porcentagem de vegetação remanescente e de declividade média por bacia hidrográfica. A geração do mapa de porcentagem de vegetação remanescente por bacia hidrográfica foi executada a partir da união topológica dos mapas das Ottobacias (nível 5) e de vegetação remanescente, representados geometricamente por polígonos. Após a união topológica dos mapas calculou-se a porcentagem de vegetação remanescente para cada bacia. Sendo o mesmo convertido para formato matricial, com células de 500 m X 500 m, e normalizado para valores que variam entre zero (menor porcentagem de vegetação remanescente) e um (maior porcentagem de vegetação remanescente), para posterior integração com o mapa de declividade média por bacia hidrográfica, gerado a partir do MDE SRTM, também em formato matricial com células de 500 m X 500 m, e normalizado, para valores que variam entre zero (maior declividade do terreno) e um (menor declividade do terreno).

Para geração do indicador institucional, utilizaram-se duas variáveis: o mapa da população municipal e o mapa de distância da malha rodoviária. A sede municipal foi utilizada como ponto de amostra para espacialização dos dados da população para área de estudo através do algoritmo de interpolação IDW. O mapa de distância da malha rodoviária foi gerado através do algoritmo de distância euclidiana, o qual calcula a distância do centro da célula fonte para o centro das células vizinhas (ESRI, 2006).

Realizou-se a normalização dos dois mapas em estrutura matricial gerados, com células de 500m X 500m, para valores que variam entre zero (menor número de habitantes e maior distância da malha rodoviária) e um (maior número de habitantes e menor distância da malha rodoviária). A integração foi realizada através da média aritmética entre os mapas. Posteriormente, realizou-se o cálculo do valor médio de acessibilidade institucional por bacia hidrográfica, para obtenção do Indicador Institucional.

A normalização executada no processo de geração de todos os indicadores se faz necessária porque as variáveis utilizadas neste trabalho são mensuradas em diferentes unidades. O objetivo é a transformação das variáveis em uma escala comparável. Ademais, variáveis com valores maiores podem ter maior influência na análise do que outras, embora não sejam necessariamente mais significativas para o problema. Sendo assim, este problema é contornado através da normalização dos valores das variáveis.

De posse dos indicadores social, econômico, ambiental e institucional por bacia hidrográfica, foi realizada a etapa de integração para geração do Índice Sócio-Ambiental. A integração foi realizada por meio do cálculo da média aritmética dos indicadores:

$$ISA = (IS + IE + IA + II) / 4 \text{ onde:} \quad (1)$$

ISA é o Índice Sócio-Ambiental;

IS é Indicador Social;

IE é Indicador Econômico;

IA é Indicador Ambiental; e

II é Indicador Institucional.

A última etapa do trabalho foi a geração de cenários, a partir da manipulação da variável ambiental, considerando a preservação das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade, o código florestal e no último cenário apenas as áreas de preservação permanente. No primeiro cenário, foram acrescentadas ao mapa de vegetação remanescente, a partir de união topológica, as áreas prioritárias para conservação da biodiversidade, classificadas como: prioridade máxima e altamente prioritária, para o cálculo da porcentagem de remanescente por bacia hidrográfica, figura 28.

Para elaboração do segundo cenário utilizou-se a lei n° 4.771 de 1965 (código florestal), a qual define que a área de reserva legal para região do Cerrado deve ser de 20% e considera área de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural situada ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água e as áreas com declividade maiores que 25° (neste trabalho, para geração do segundo cenário, assumiu-se o pressuposto de que a áreas de preservação permanente ocupam cerca de 10% da área da bacia hidrográfica). Neste contexto, as bacias hidrográficas com menos de 30% de vegetação remanescente, tiveram seus percentuais alterados para 30%, enquadrando-se no código florestal, para o cálculo do indicador ambiental, figura 28.

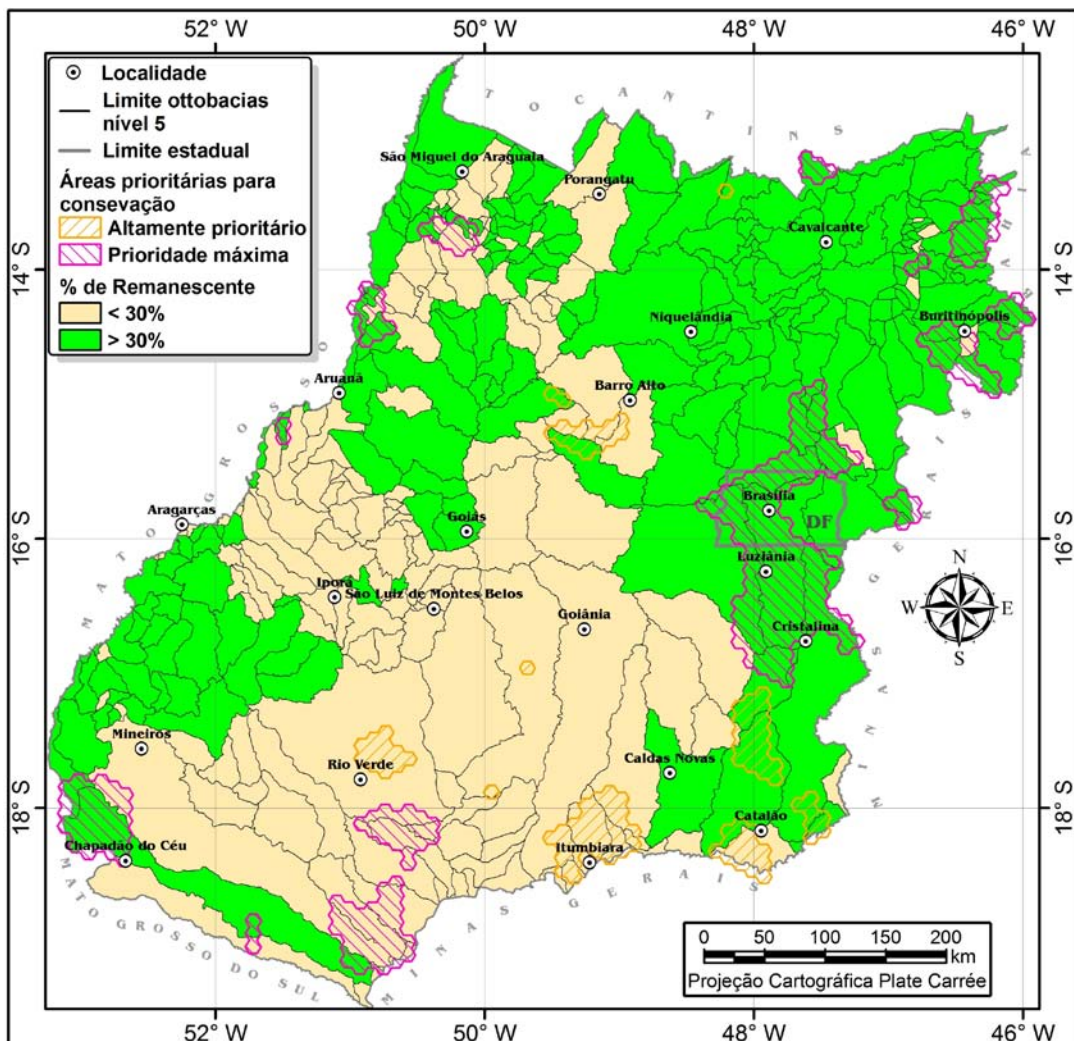


Figura 28 - Mapa de áreas prioritárias para conservação e porcentagem de vegetação remanescente por bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.

O último cenário proposto baseia-se na geração de áreas de preservação permanente, segundo o código florestal, tendo por base a distância de até 100 metros ao redor de cada corpo d'água, bem como as áreas com declividade maiores que 25°. Sendo estas,

acrescentadas ao mapa de vegetação remanescente, para o cálculo da porcentagem de remanescente por bacia hidrográfica. Utilizou-se a rede de drenagem da base cartográfica 1:100.000 e o mapa de declividade, gerado a partir do MDE SRTM, para geração das áreas de preservação permanente.

A geração do indicador ambiental a partir da alteração da variável ambiental, porcentagem de vegetação remanescente, para os três cenários gerados foi executado utilizando-se a mesma metodologia aplicada anteriormente.

Buscando avaliar se tais mudanças efetuadas nos indicadores ambientais nos três cenários propostos foram significativas no índice sócio-ambiental, aplicou-se o teste estatístico t de *Student*, cujo objetivo é testar a igualdade entre médias e verificar se o grau de diferença obtido entre os dois conjuntos avaliados são significativos. O teste supõe independência e normalidade das observações.

#### 4. Resultados e Discussões

Como resultados, serão apresentados os mapas gerados no processo de obtenção de cada um dos indicadores social, econômico, institucional e ambiental, do índice sócio-ambiental e dos cenários propostos.

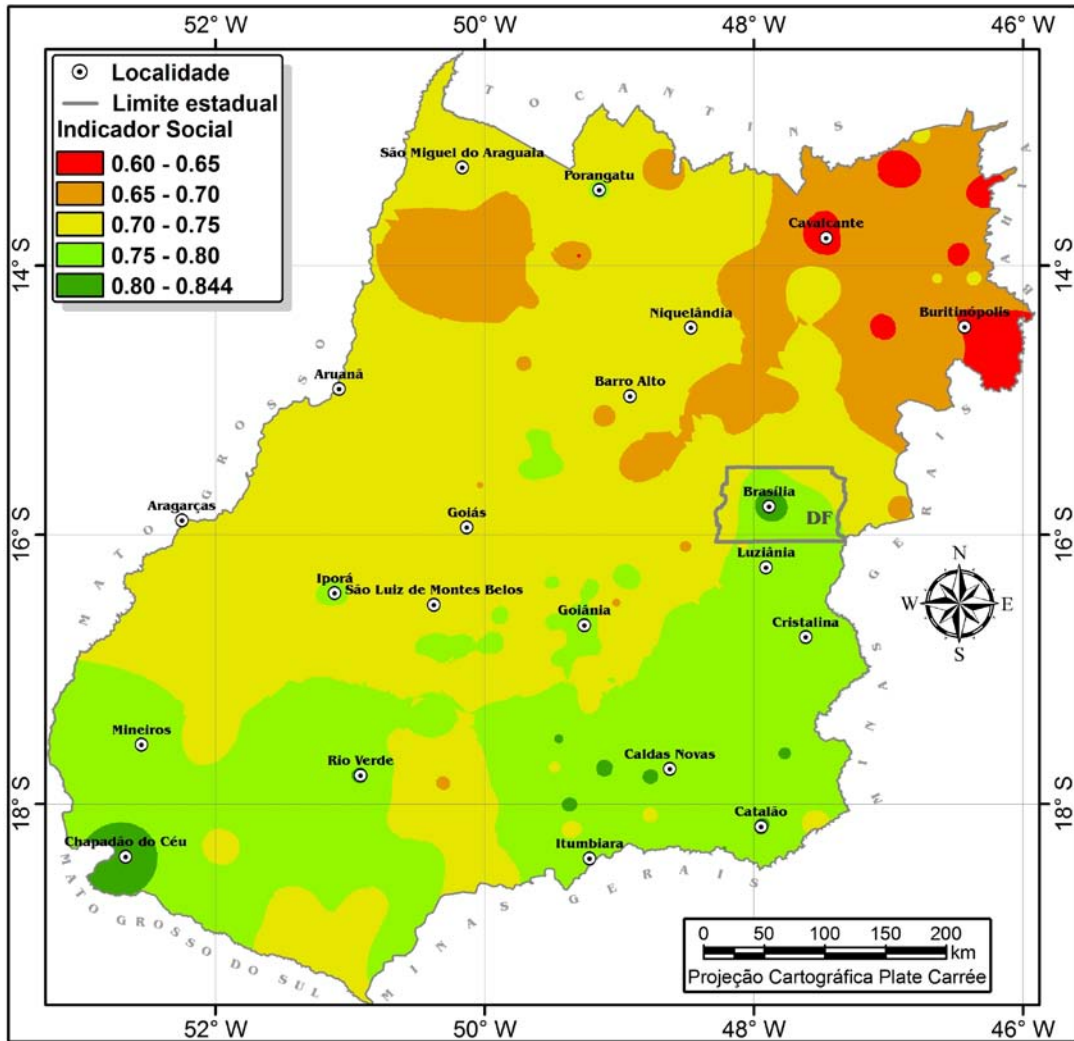


Figura 29 - Mapa do indicador social para o Estado de Goiás e Distrito Federal.

O processo de interpolação da variável social IDH-M, resultou no mapa do indicador social para o Estado de Goiás e Distrito Federal, figura 29. Pode-se observar que os maiores valores para o indicador social são encontrados nas regiões sul, sudeste e sudoeste, o valor médio obtido para o Estado de Goiás e Distrito Federal foi de 0,732 (valor máximo 0,844 e valor mínimo 0,600).

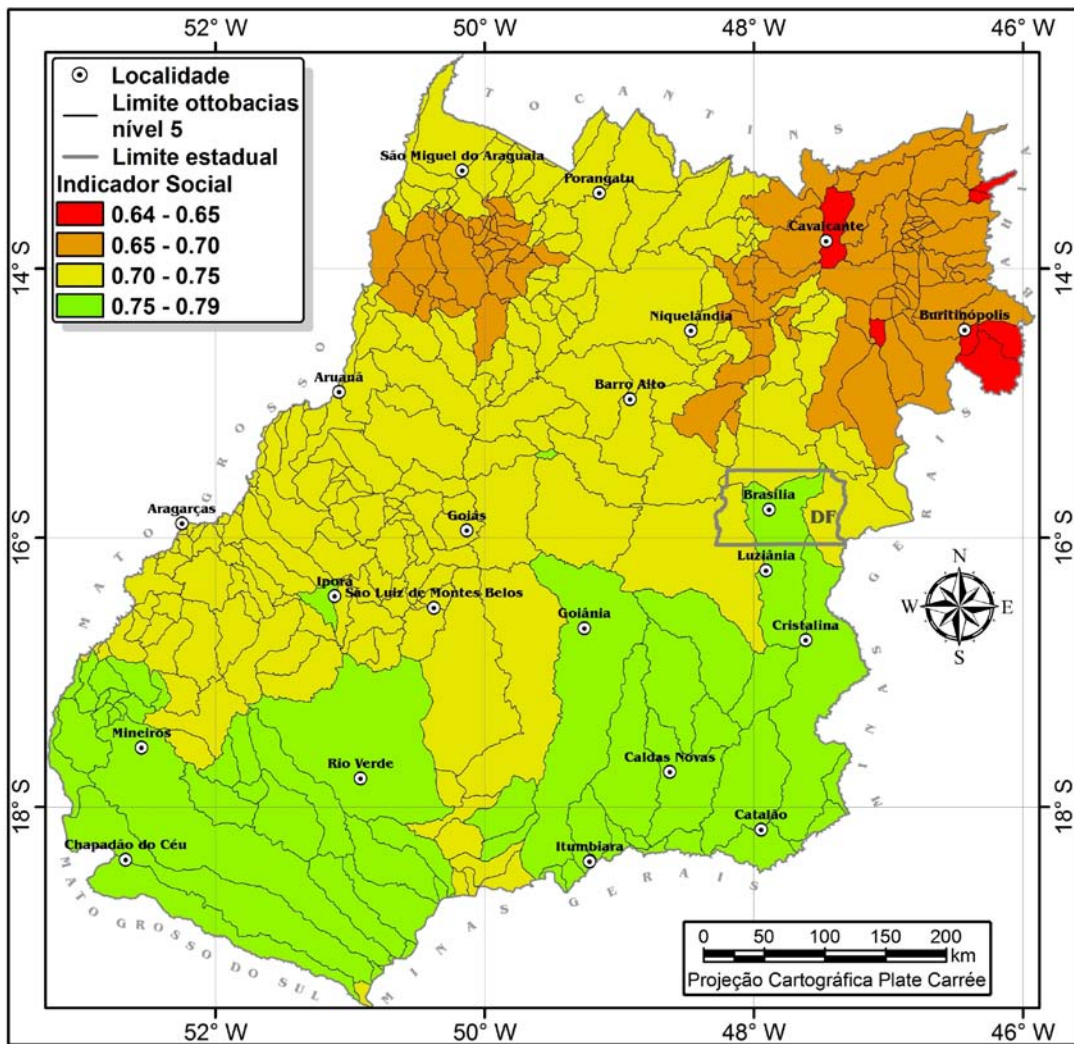


Figura 30 - Mapa do indicador social para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.

O resultado do cálculo do valor médio de IDH-M para as bacias hidrográficas (Ottobacias nível 5) do Estado de Goiás e Distrito Federal é apresentado figura 30. A bacia com o maior valor médio de IDH-M (0,79) está localizada na região sudoeste, e as bacias com o menor valor (0,640) estão localizadas na região nordeste. O valor médio do indicador social para as bacias hidrográficas foi de 0,717. Sendo que, 56% (219 bacias) possuem valores entre 0,70 e 0,75 e somente 14% (56 bacias) apresentam valores superiores a 0,75.

O mapa do indicador econômico para o Estado de Goiás e Distrito Federal, gerado a partir do processo de interpolação da variável PIB *per capita* é apresentado na figura 31. O resultado obtido para o indicador econômico na área de estudo demonstra que o nível médio de renda da população é mal distribuído por toda região, apresentado uma média de 0,166. A região de Chapadão do Céu, no extremo sudoeste do Estado de Goiás, detém os maiores valores de PIB *per capita*, com valores entre 0,6 a 1,0, enquanto os valores mais baixos são

apresentados no entorno do Distrito Federal e nas regiões nordeste, centro-norte, oeste, na região de Aragarças, com valores de PIB *per capita* entre 0,0 a 0,1.

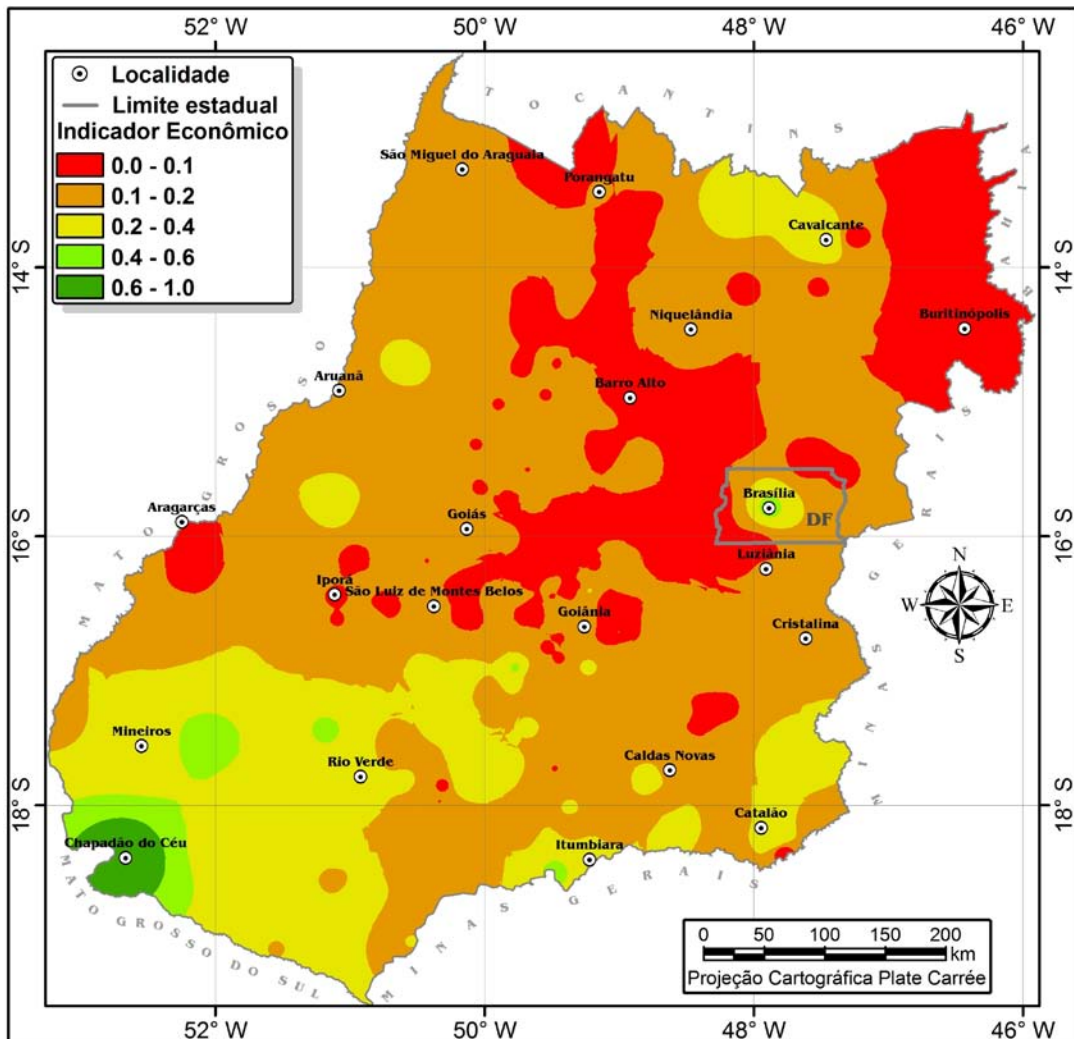


Figura 31 - Mapa do indicador econômico para o Estado de Goiás e Distrito Federal.

De acordo com o mapa do indicador econômico para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal, obtido a partir do cálculo do valor médio de PIB *per capita*, percebe-se que as bacias hidrográficas localizadas na região sudoeste goiano apresentam os maiores valores de PIB *per capita*, com valores entre 0,3 a 0,5, figura 32. O maior valor obtido entre todas as bacias foi de 0,5, na divisa com o Estado de Mato Grosso do Sul.

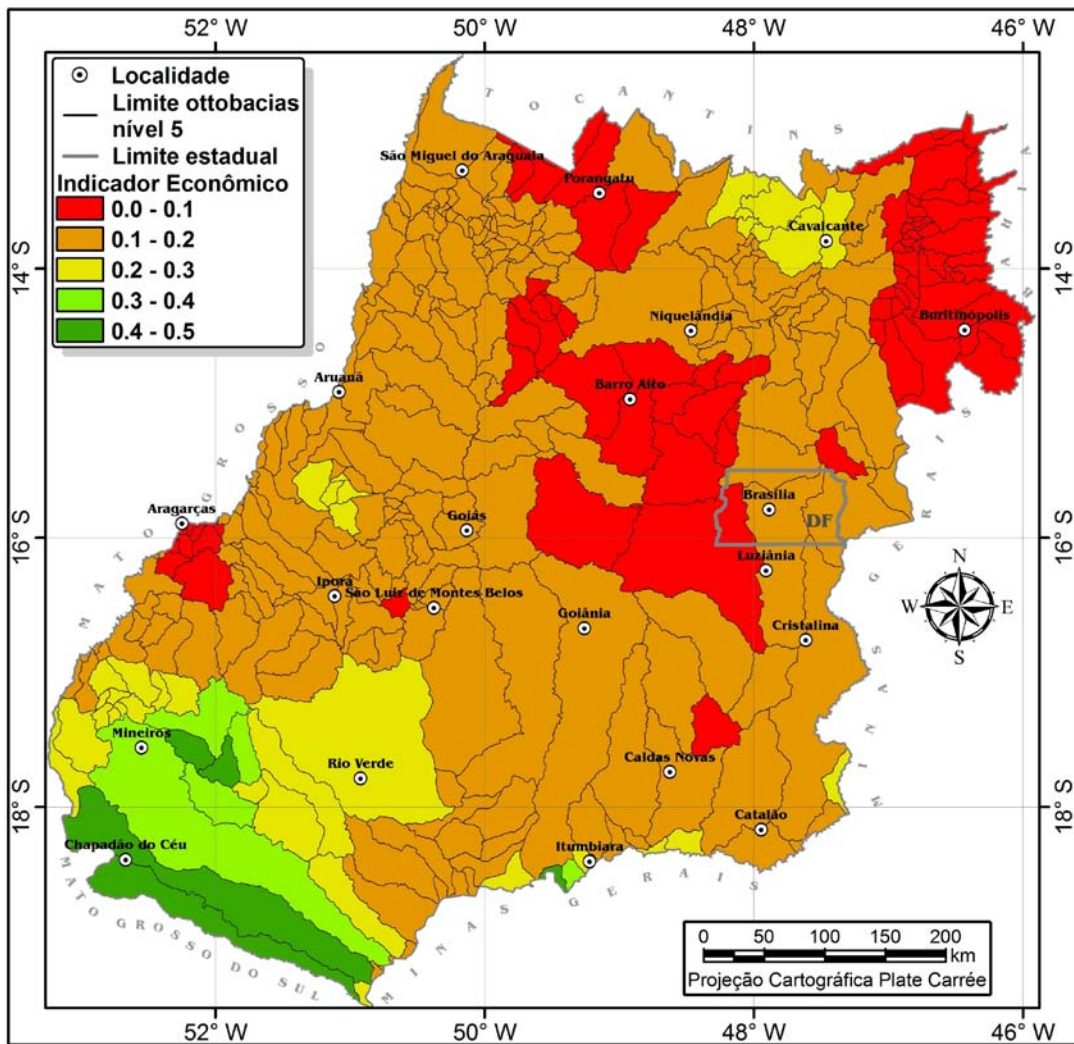


Figura 32 - Mapa do indicador econômico para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.

No mapa do indicador econômico para as bacias hidrográficas, das 387 bacias hidrográficas, 88,3% (342 bacias) possuem baixos, valores menores que 0,2, e menos de 2% das bacias (5 bacias) possuem valores regulares, entre 0,4 e 0,5. A média do indicador econômico por bacia é de 0,143, sendo uma bacia, localizada na região nordeste, na divisa com o Estado da Bahia, a que apresenta pior valor, 0,02.

O mapa do indicador institucional foi obtido a partir da integração do mapa da população municipal com o mapa de distância da malha rodoviária, o qual representa a disponibilização e a acessibilidade institucional, figura 33.

O Distrito Federal e a região metropolitana de Goiânia foram as regiões com maior concentração de valores altos de acessibilidade institucional. O valor médio do indicador institucional para área de estudo foi de 0,153, evidenciado, principalmente, o baixo nível de acessibilidade institucional para o Estado de Goiás. Observa-se no mapa diversas

áreas, localizadas nas regiões nordeste, norte, noroeste e oeste do Estado, com baixo valor de acessibilidade institucional.

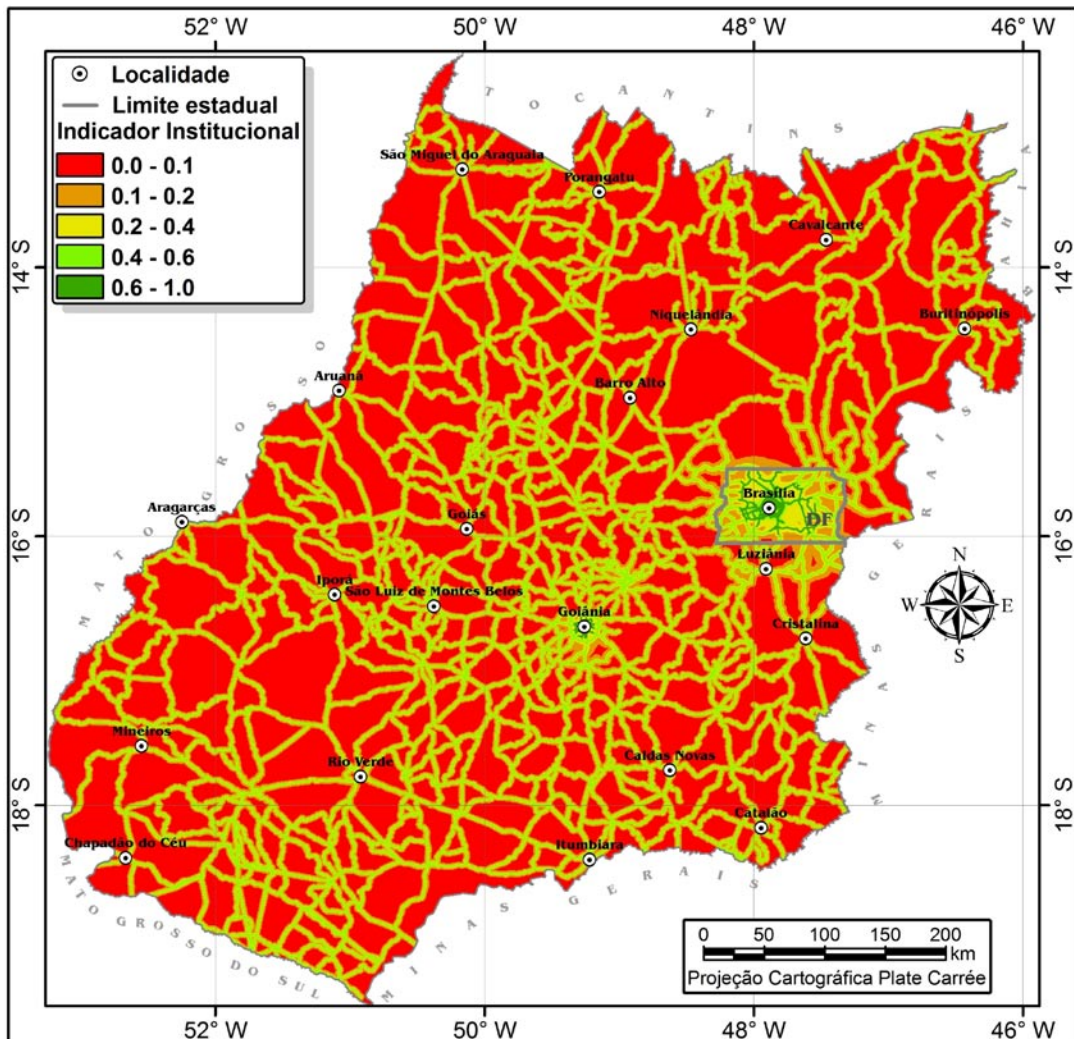


Figura 33 - Mapa do indicador institucional para o Estado de Goiás e Distrito Federal.

De acordo com o mapa do indicador institucional para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (figura 34), percebe-se que as bacias hidrográficas localizadas no entorno do Distrito Federal, na região metropolitana de Goiânia, na região oeste, próximo a cidade de São Luiz de Montes Belos, na região noroeste, próximo a cidade de Ceres, foram as que apresentaram melhor índice de acessibilidade institucional, com valores de 0,20 a 0,4, porém os valores obtidos são baixos. O valor médio obtido para as bacias hidrográficas foi de 0,136. Das 387 bacias analisadas, 84% (326 bacias) possuíam valor menor ou igual a 0,2.

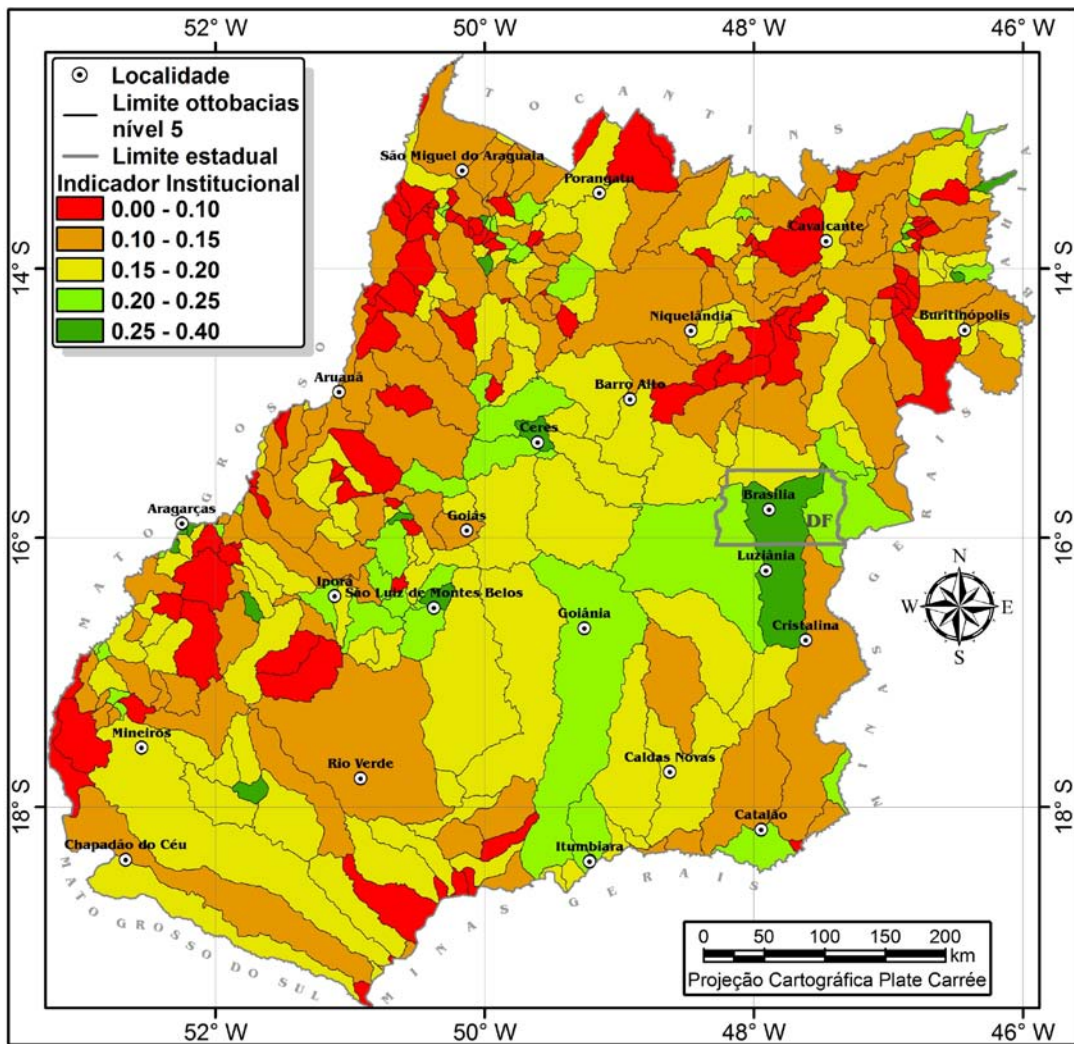


Figura 34 - Mapa do indicador institucional para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.

O resultado do processo de geração do indicador ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal, é apresentado na figura 35. O valor médio do indicador ambiental para área de estudo foi de 0,629 (valor mínimo 0,390 e valor máximo 0,994). As bacias hidrográficas da região nordeste do Estado de Goiás apresentam os maiores valores, sendo as bacias da região centro-sul e sudoeste do Estado as com piores valores.

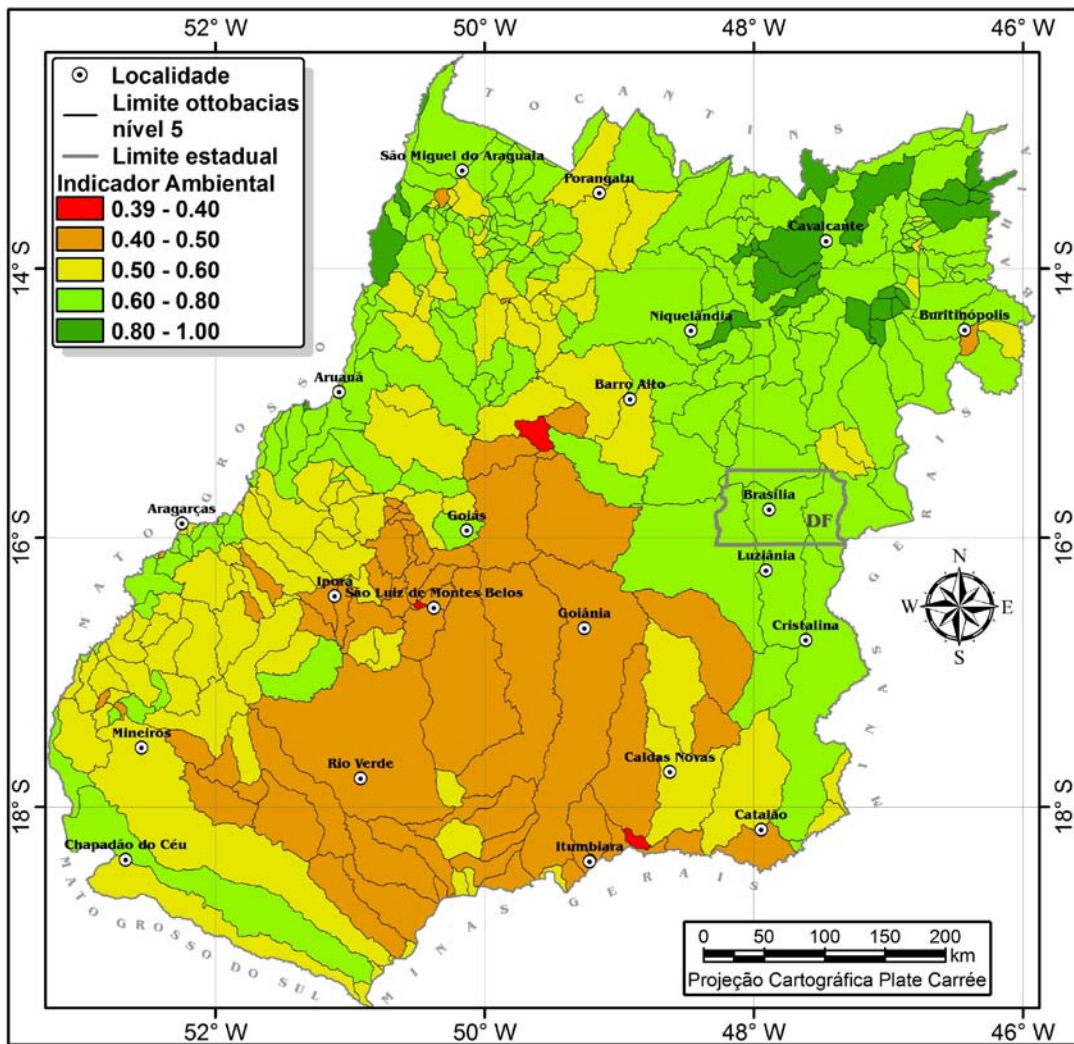


Figura 35 - Mapa do indicador ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.

A descrição das estatísticas dos indicadores considerados para geração do índice sócio-ambiental é apresentada na tabela 10. Nota-se que os melhores resultados alcançados são obtidos no indicador social e ambiental, sendo o indicador institucional o pior.

Tabela 10 - Estatística descritiva dos indicadores.

|               | Indicador Social | Indicador Econômico | Indicador Institucional | Indicador Ambiental |
|---------------|------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| Média         | 0,717            | 0,143               | 0,136                   | 0,629               |
| Desvio Padrão | 0,032            | 0,064               | 0,070                   | 0,127               |
| Valor Máximo  | 0,790            | 0,500               | 0,400                   | 0,994               |
| Valor Mínimo  | 0,640            | 0,023               | 0,009                   | 0,393               |

A situação da qualidade sócio-ambiental das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal, materializada na forma de um índice, pode ser observada na figura 36.

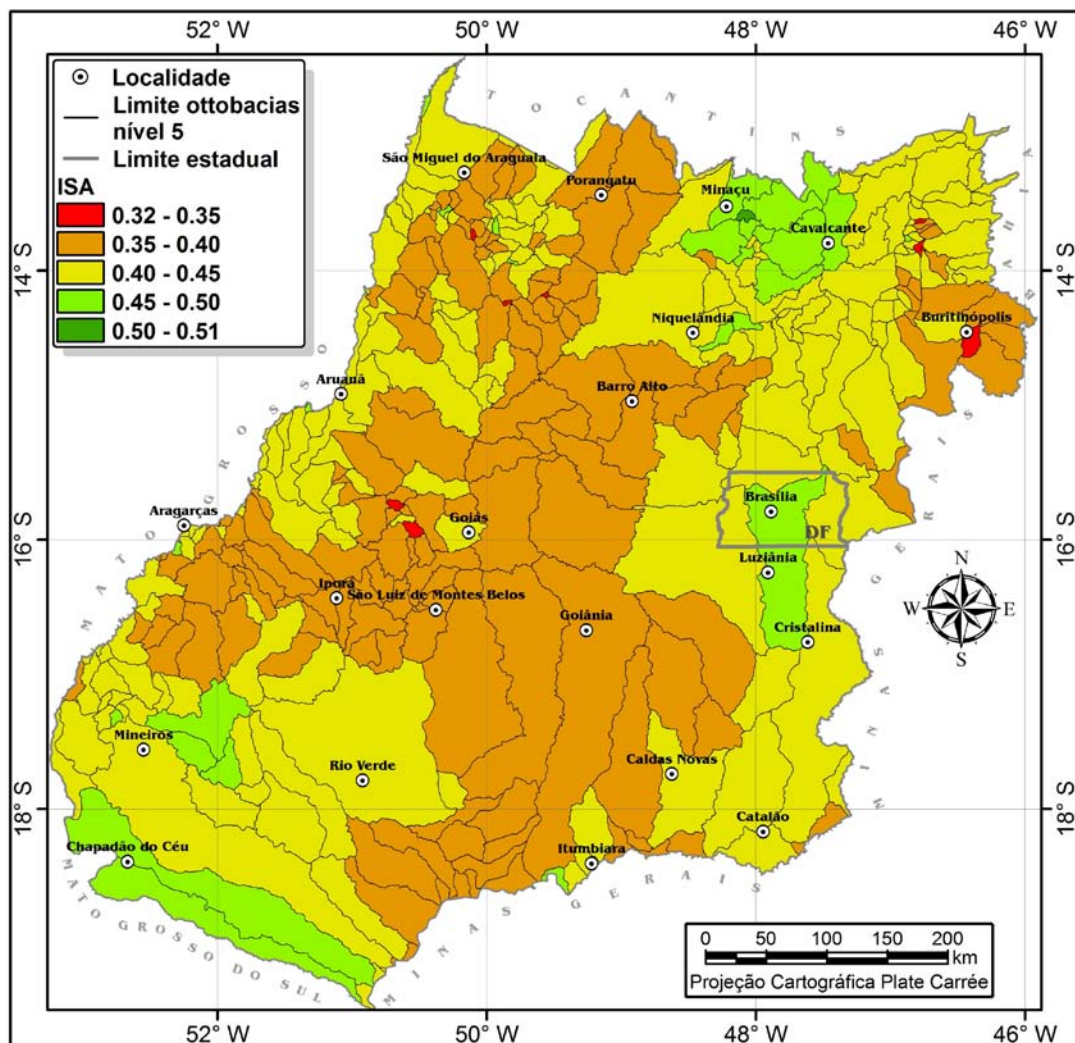


Figura 36 - Mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal.

O valor médio do índice sócio-ambiental foi de 0,406, sendo que uma bacia, localizada na região norte do Estado de Goiás, próximo a cidade de Minaçu, a com melhor índice sócio-ambiental, com valor de 0,51. O pior resultado obtido foi por uma bacia localizada próximo a cidade de Buritinópolis na região nordeste do Estado de Goiás, com valor de 0,32.

Os indicadores ambientais obtidos a partir da alteração da variável ambiental, porcentagem de vegetação remanescente por bacias hidrográficas, utilizados para geração dos cenários propostos no trabalho, são mostrados nas figuras 37 a 39. No primeiro cenário, as 98 bacias contempladas com acréscimo das áreas prioritárias tiveram uma melhora nos seus valores ambientais, figura 37.

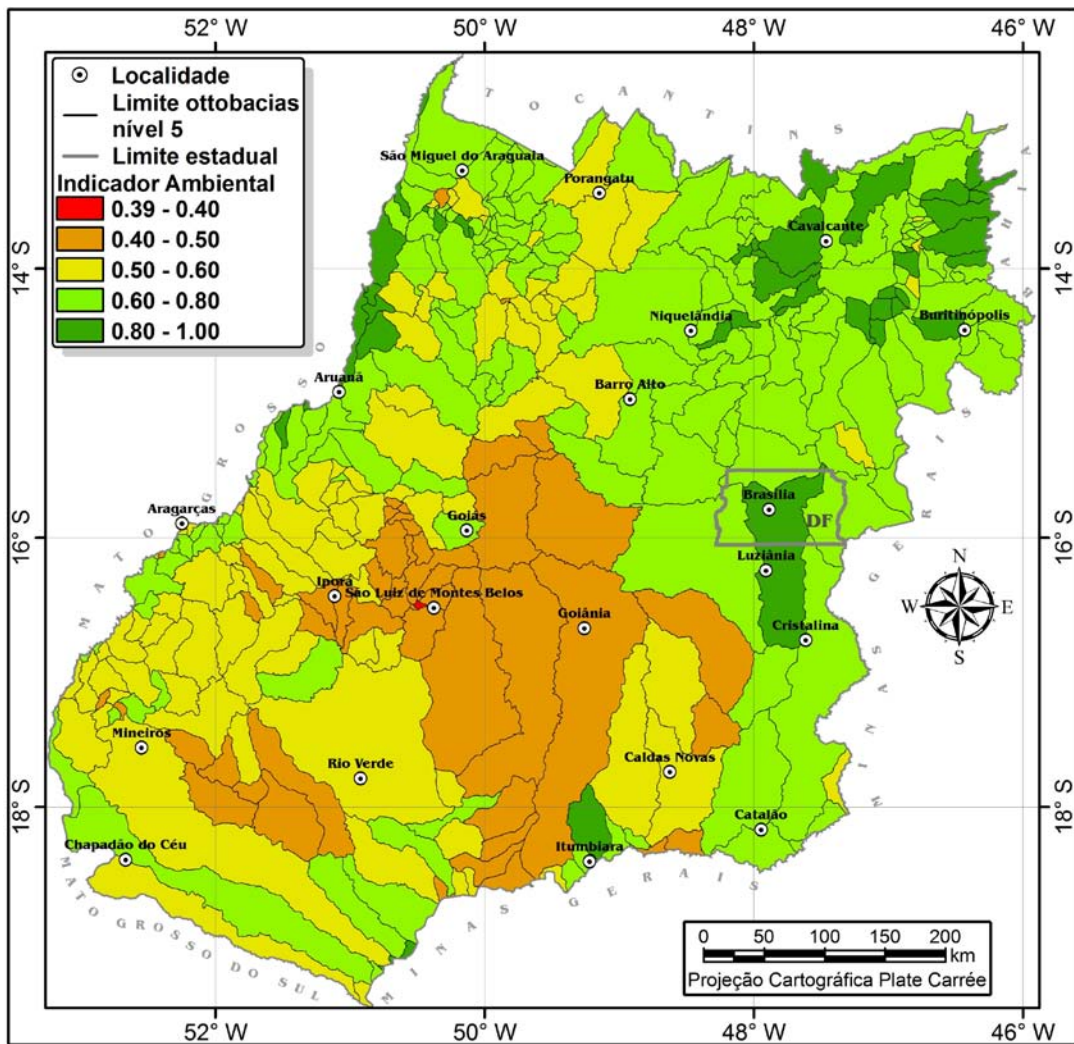


Figura 37 - Mapa do indicador ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 1).

Para o segundo cenário, observa-se que a adequação das 159 bacias hidrográficas com menos de 30% de vegetação remanescente ao código florestal proporciona uma significativa melhora no indicador ambiental. Na figura 38 é perceptível a elevação do nível de qualidade ambiental das bacias. Neste caso, somente as bacias com passivo ambiental tiveram seus percentuais alterados.

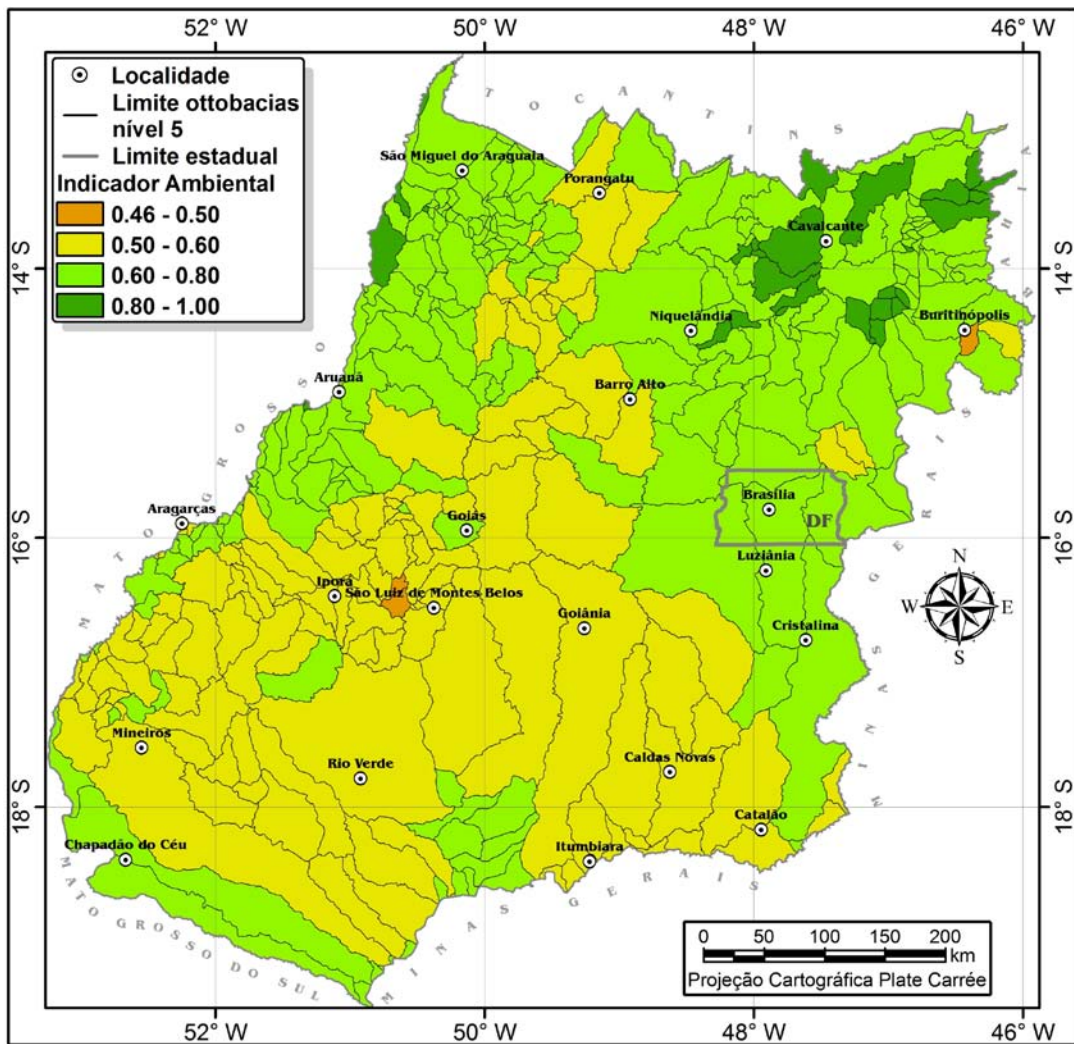


Figura 38 - Mapa do indicador ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 2).

Fundamentado na recuperação das áreas de preservação permanente, o terceiro cenário apresenta resultado similar ao cenário 2, das 387 bacias 362 bacias apresentaram melhoria no seu valor de indicador ambiental, figura 39.

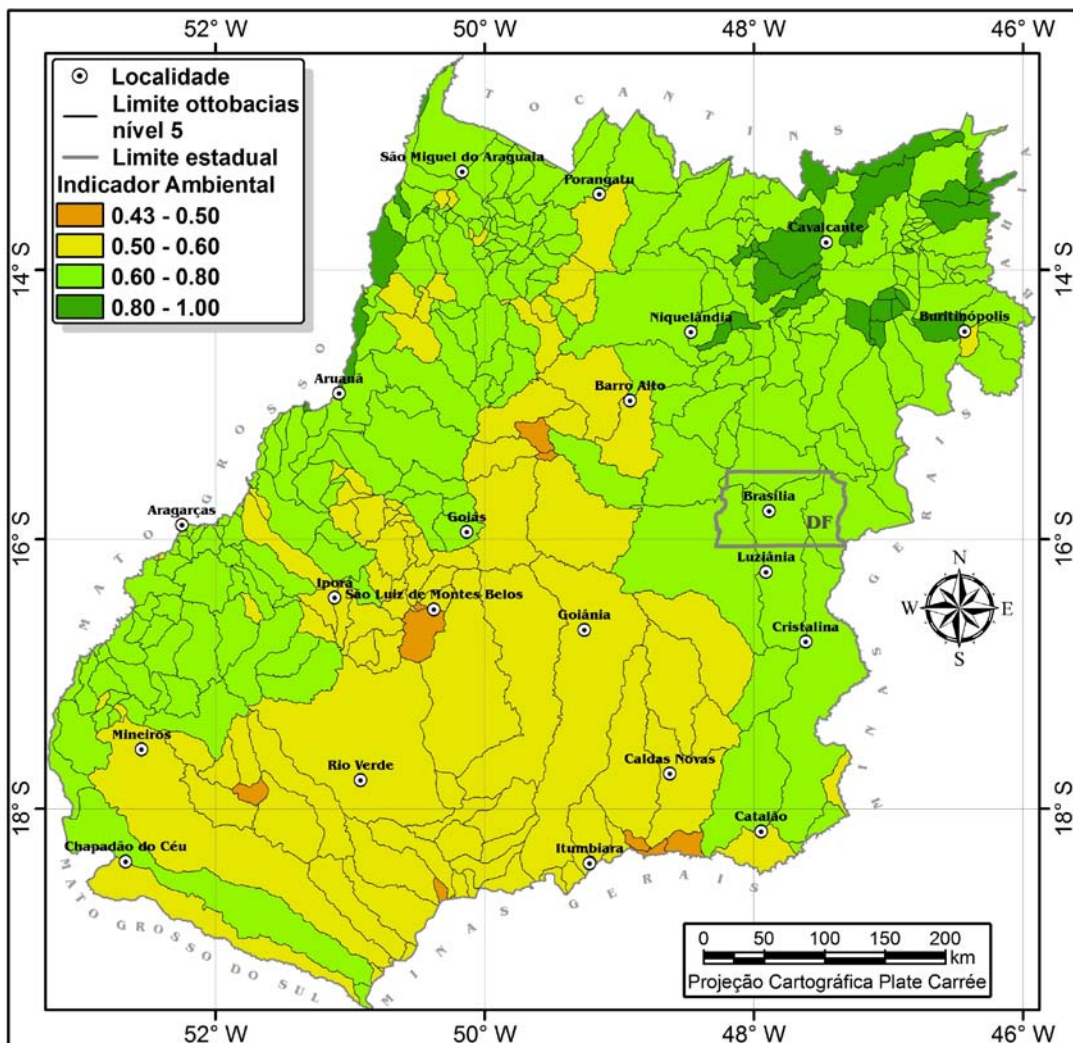


Figura 39 - Mapa do indicador ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 3).

A descrição das estatísticas dos indicadores ambientais gerados no trabalho é apresentada na tabela 11. Percebe-se que os melhores resultados foram obtidos pelos indicadores ambientais dos cenários 2 e 3, o quais, apresentaram resultados bem similares.

Tabela 11 - Estatística descritiva dos indicadores ambientais.

|               | IA<br>Situação atual | IA<br>Cenário 1 | IA<br>Cenário 2 | IA<br>Cenário 3 |
|---------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Média         | 0,629                | 0,654           | 0,658           | 0,667           |
| Desvio Padrão | 0,127                | 0,134           | 0,100           | 0,106           |
| Valor Máximo  | 1,00                 | 1,00            | 1,00            | 1,00            |
| Valor Mínimo  | 0,393                | 0,395           | 0,466           | 0,439           |

No entanto quando se analisa a variável porcentagem de vegetação remanescente separadamente, nota-se a presença de bacias hidrográficas com passivo ambiental no primeiro e o terceiro cenário, 134 e 96 bacias, respectivamente.

O mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal para o Cenário 1 é apresentado na figura 40.

O valor médio do índice sócio-ambiental no cenário 1 foi de 0,413, sendo a bacia localizada no entorno do Distrito Federal a com melhor índice sócio-ambiental, com valor de 0,52. O pior resultado obtido foi pela bacia localizada próximo a cidade de Uirapuru na região noroeste do Estado de Goiás, com valor de 0,32.

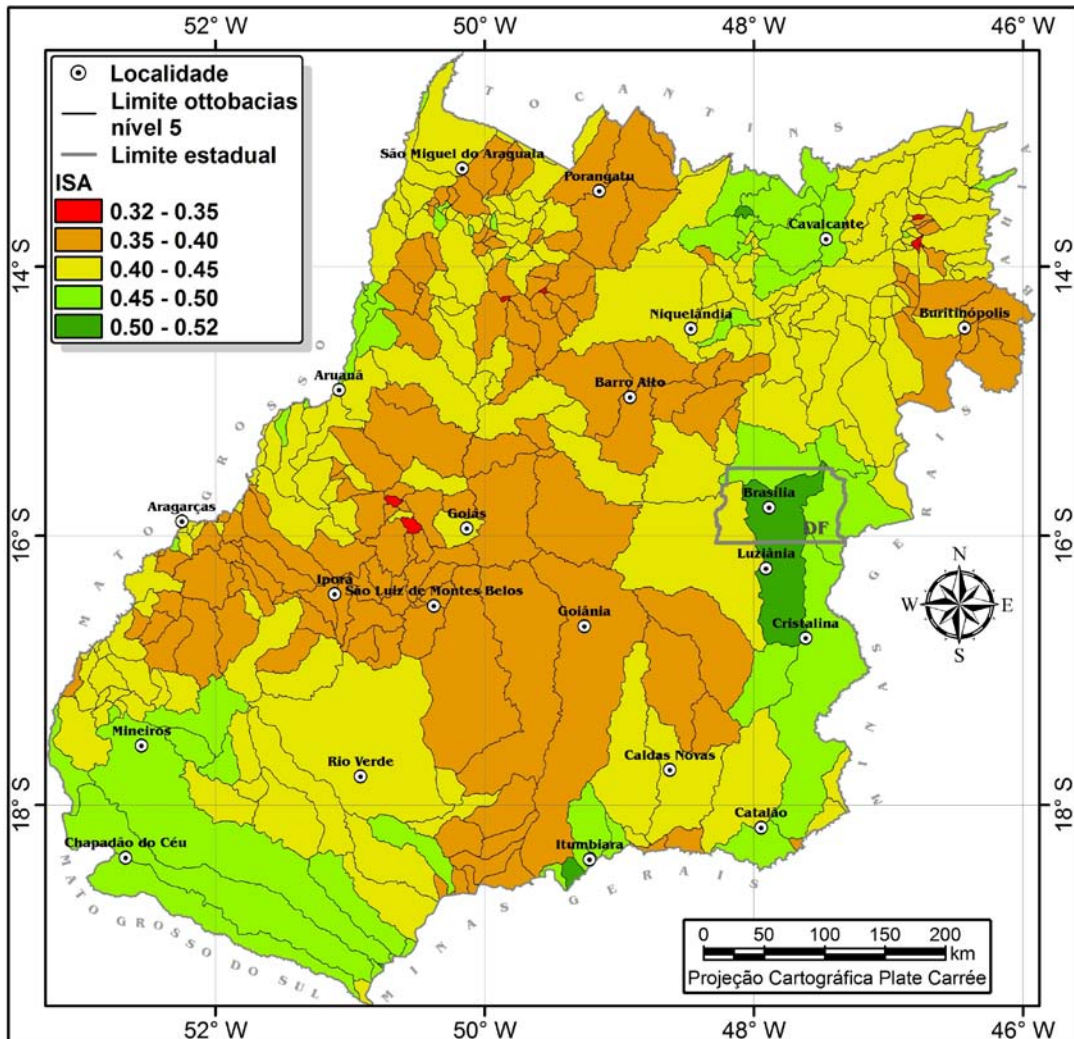


Figura 40 - Mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 1).

O mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal para o Cenário 2 é apresentado na figura 41.

O valor médio do índice sócio-ambiental no cenário 2 foi de 0,414, sendo a bacia localizada na região norte do Estado de Goiás, próximo a cidade de Minaçu, a com melhor índice sócio-ambiental, com valor de 0,51. O pior resultado obtido foi pela bacia localizada próximo a cidade de Buritinópolis na região nordeste do Estado de Goiás, com valor de 0,34.

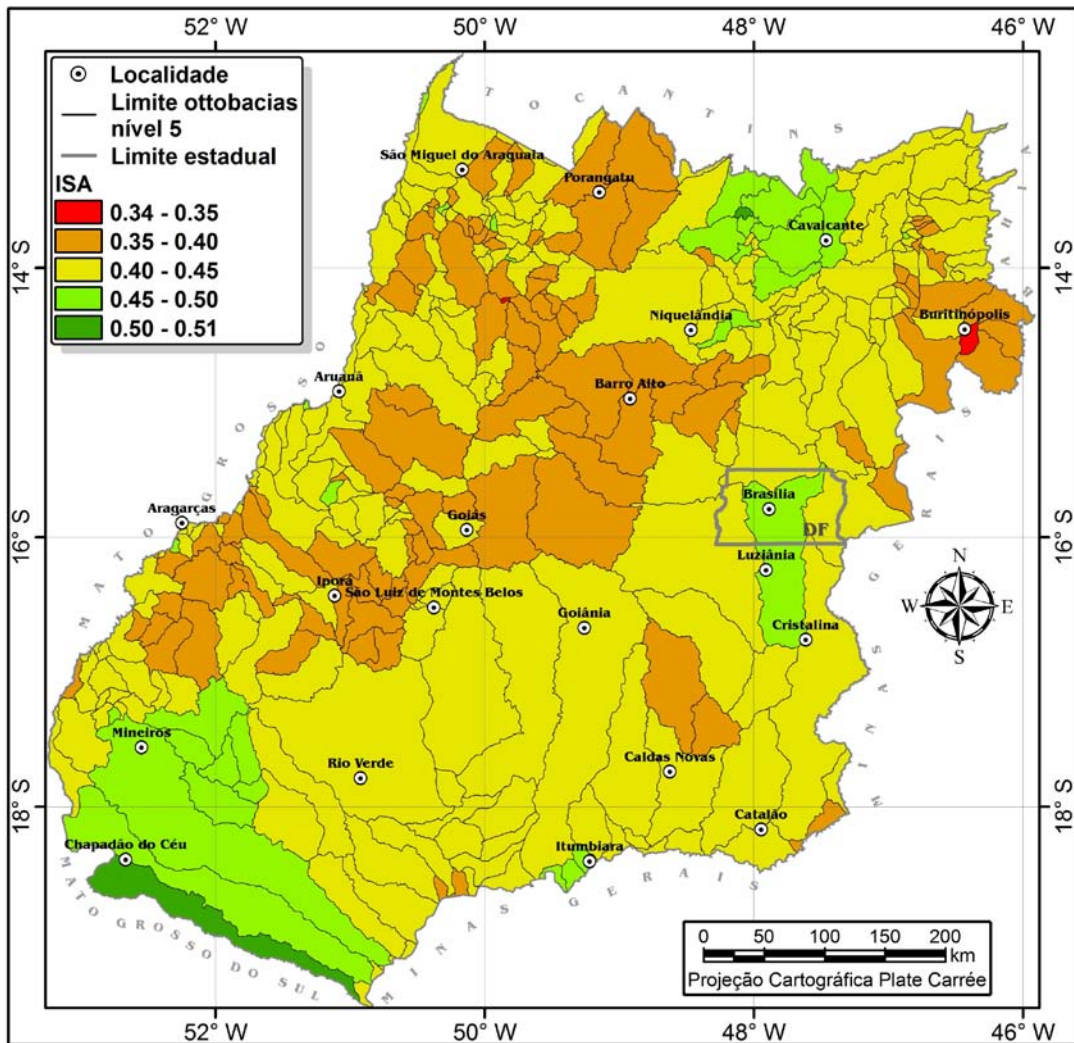


Figura 41 - Mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 2).

O mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal para o Cenário 3 é apresentado na figura 42.

O valor médio do índice sócio-ambiental no cenário 3 foi de 0,416, sendo a bacia localizada na região norte do Estado de Goiás, próximo a cidade de Minaçu, a com melhor índice sócio-ambiental, com valor de 0,51. O pior resultado obtido foi pela bacia localizada próximo a cidade de Uirapuru na região noroeste do Estado de Goiás, com valor de 0,34.

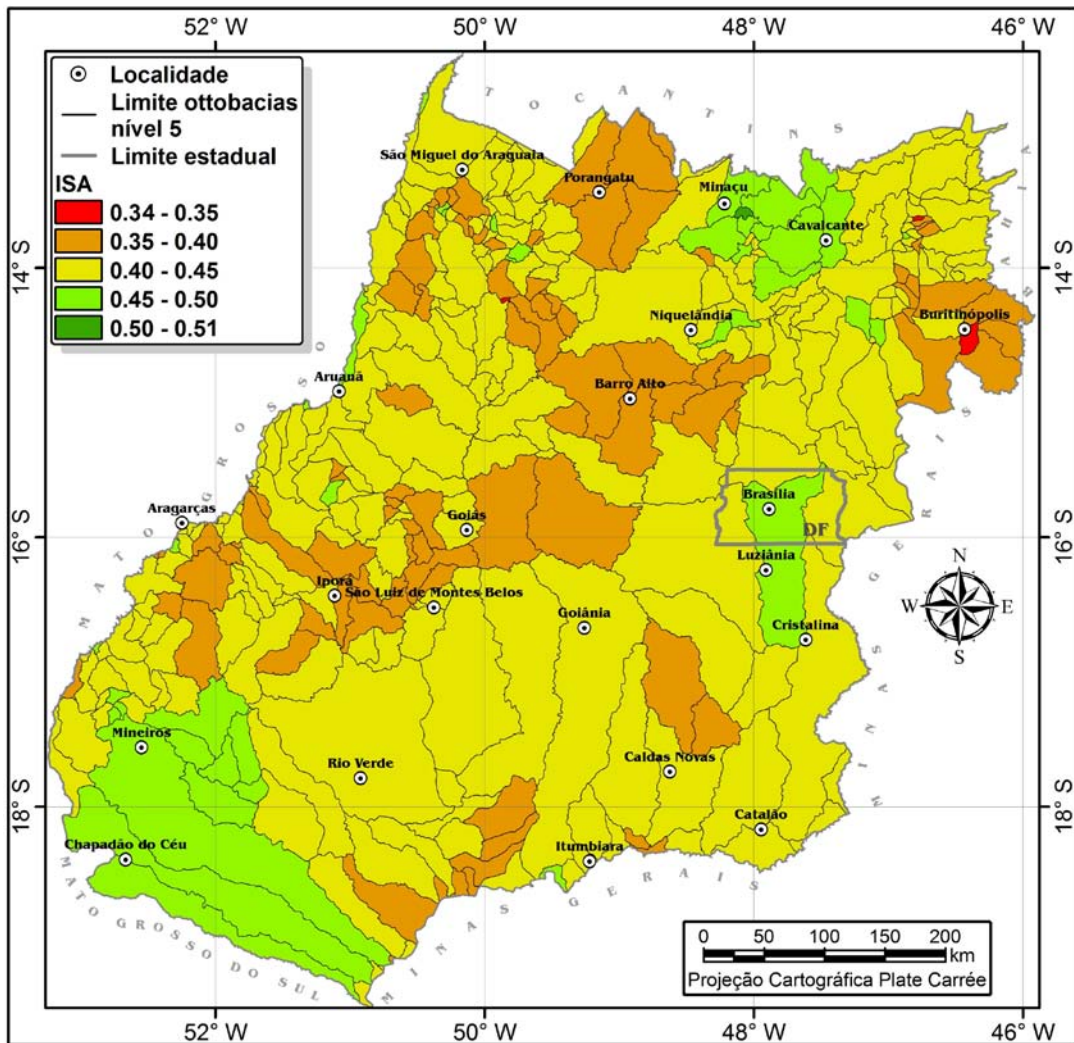


Figura 42 - Mapa do índice sócio-ambiental para as bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal (Cenário 3).

Através dos resultados do teste estatístico *t* de *Student* entre o índice sócio-ambiental e os índices sócio-ambientais gerados nos cenários, conclui-se que em todos os cenários houve mudança significativa. Sendo os cenários 2 e 3 os que apresentaram maiores valores, com 29,848 e 28,103, respectivamente, tabela 12. O ganho sócio-ambiental com a implementação de algum desses dois cenários, seria mais significativo que a implementação do cenário 1, que obteve valor de 6,943.

Tabela 12 - Resultados do Teste t entre o índice sócio-ambiental e os índices sócio-ambientais gerados nos cenários.

| Índice         | ISA<br>Cenário 1            | ISA<br>Cenário 2            | ISA<br>Cenário 3            |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Média          | 0,006                       | 0,044                       | 0,010                       |
| Desvio Padrão  | 0,017                       | 0,029                       | 0,007                       |
| t calculado    | 6,943                       | 29,848                      | 28,103                      |
| t tabelado 95% | 1,646                       | 1,646                       | 1,646                       |
| Conclusão      | Há mudança<br>significativa | Há mudança<br>significativa | Há mudança<br>significativa |

Talvez a implementação do cenário 3 pudesse ser mais facilmente atingida, devido a sua relevância na conservação dos recursos hídricos, pois todas as formas de áreas de preservação permanente estão ligadas, diretamente ou não, à conservação de recursos hídricos (BONNET et al., 2007), o que representaria para a bacia hidrográfica como para o proprietário rural um ganho na disponibilidade hídrica, tanto em quantidade como em qualidade. Porém, esse cenário não atende a legislação florestal vigente.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que o MDE SRTM, além da facilidade de aquisição e manipulação dos dados, apresenta melhores resultados altimétricos, comparativamente aos MDE's gerados a partir da base cartográfica na escala 1:100.000, podendo ser considerado uma excelente fonte de informação altimétrica para o Estado de Goiás e Distrito Federal. Em fato, e conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrica definido nas Normas Técnicas da Cartografia Nacional, o MDE SRTM pode ser classificado como padrão classe A (para escala 1:100.000).

Em relação aos modelos gerados a partir da base cartográfica por meio dos métodos de interpolação TopoGrid, IDW, TIN/GRID e TIN/GRID<sup>5</sup>, estes foram classificados como padrão classe B (escala 1:100.000) segundo o PEC - Altimétrico. O método de interpolação TopoGrid obteve o melhor desempenho entre os métodos de interpolação utilizados, sendo o único MDE gerado a partir da base cartográfica com erro médio quadrático inferior a 16,6 metros quando comparado com as referências de nível.

A qualidade dos dados SRTM não apresentou variação significativa em função do tipo de cobertura e uso do solo. Por outro lado, a precisão destes dados é altamente correlacionada à declividade, onde quanto maior a declividade, menor a precisão.

Apesar de ser necessária a execução de correções nas delimitações geradas automaticamente pela extensão "*Watershed Delineation Tools*" (ArcGIS 9.2) a partir do MDE SRTM, devido a ocorrência de erros, principalmente em regiões com pouca declividade ou com presença de grandes corpos d'água, a delimitação gerada demonstrou uma boa simetria em relação aos limites das Ottobacias delimitadas manualmente. Comparativamente à delimitação gerada a partir do MDE TopoGrid, o uso do MDE SRTM resultou em uma delimitação mais precisa dos limites, ainda que em termos gerais, os resultados tenham sido bastante similares.

As regiões com baixa declividade resultaram em menor simetria entre os limites gerados e os limites das Ottobacias. Enquanto 80% dos limites das Ottobacias estão a uma distância de 500 metros dos limites gerados a partir do MDE SRTM na classe de relevo plano, na classe de relevo montanhoso, esta "coincidência" chega a 92% dos limites.

Considerando os resultados obtidos, pode-se afirmar que a utilização de programa computacional de SIG para geração automática de bacias hidrográficas a partir dos dados SRTM apresenta uma excelente relação custo-benefício, pois, ao mesmo tempo que

proporciona uma economia de tempo e recursos financeiros, automatizando processos mecânicos, diminui a subjetividade da delimitação.

Em relação ao índice sócio-ambiental, os quatros indicadores e os três cenários gerados, geograficamente referenciados por bacias hidrográficas, foram inteiramente obtidos a partir de um sistema de informações geográficas, utilizando-se operadores de análise de dados espacialmente distribuídos. Demonstrando o grande potencial do uso de SIG para modelagem de dados espaciais. De acordo com os resultados obtidos a partir da estatística descritiva dos indicadores (tabela 10), pode-se concluir que o indicador institucional e econômico foram os que apresentaram os piores resultados, sendo os melhores resultados obtidos pelo indicador social e ambiental.

Em relação ao indicador institucional, 84% das bacias apresentaram valores muito baixos, menor ou igual a 0,2. Igualmente ao indicador institucional o indicador econômico apresenta uma elevada quantidade de bacias hidrográficas com valores muito baixos, 88,3% das bacias, evidenciando a necessidade de melhora dessas duas dimensões.

O indicador ambiental apresentou uma maior variação de valores comparativamente aos outros indicadores, no entanto aproximadamente 50% das bacias, ainda estão com valores ambientais regulares. O resultado apresentado pelo o indicador social foi o que apresentou menor variação de valores, apresentando uma média de 0,717.

O melhor valor possível do ISA é um; no caso das bacias hidrográficas do Estado de Goiás e Distrito Federal, o valor máximo obtido foi de 0,51, sendo, portanto considerada como regular, isto demonstra a necessidade de ações a serem realizadas nestas bacias hidrográficas nas quatro dimensões tratadas no índice. Os resultados obtidos pelo índice sócio-ambiental fornecem importantes elementos para a reflexão do processo de desenvolvimento do Estado de Goiás e Distrito Federal.

Os cenários baseados na mudança da variável ambiental melhoram o índice sócio-ambiental, porém não atinge patamares de melhora. A implementação do terceiro cenário talvez seja mais significativa sob o ponto de vista da preservação dos recursos hídricos, mas mesmo assim não seria atendida a legislação ambiental vigente.

Considerando os resultados obtidos nos cenários, percebe-se que a melhoria da qualidade sócio-ambiental das bacias hidrográficas, está diretamente relacionada à melhoria das quatro dimensões, e não, a melhoria de apenas uma dimensão, evidenciando que o processo de desenvolvimento deve ser realizado de forma integrada, considerando as quatro dimensões da sustentabilidade. A grande importância do bioma Cerrado, do Estado de Goiás e Distrito Federal em relação aos recursos hídricos do Brasil fazem com que os dados e as

informações produzidas para o conhecimento científico e formulação de políticas públicas necessárias para a gestão territorial, sejam orientadas aos recursos hídricos e, portanto às bacias hidrográficas. A não consideração dos recursos hídricos pode causar situações futuras de insustentabilidade ambiental, econômica, social e institucional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUT, J; GUIJT, I. *Novas visões sobre mudança ambiental: abordagens participativas de monitoramento*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1999. 96p.
- BIANCHINI, V. Estratégias para o desenvolvimento rural. In: BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário/ Conselho Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável/ Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. *O Brasil Rural precisa de uma estratégia de desenvolvimento*. Brasília, 2001. p, 71-108.
- BERRY, P.A.M.; GARLICK, J.D.; SMITH, R.G. Near-global validation of the SRTM DEM using satellite radar altimetry. *Remote Sensing of Environment*, v.106, p.17-27, 2007.
- BONNET, B.R.P.; Ferreira, N.C.; Ferreira, L.G.; Ampliação de ambientes ripários como alternativa às reservas legais: conciliando política florestal e conservação dos recursos hídricos no bioma cerrado. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v.27, n.1, p. 97-115, 2007.
- BORDALO, C. A. L. *Gestão Ambiental em Bacias Hidrográficas: Gestão Ambiental da Microbacia do Igarapé Murutucum-PA*.1995. 178 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - NUMA/UFGA. Belém, 1995.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE , A. C.; GUERRA , A. J. T. (orgs.). *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p.153-192.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Conferência Pan-Americana sobre Saúde e Ambiente no Desenvolvimento Humano Sustentável. *Plano Nacional de Saúde e Ambiente no Desenvolvimento Sustentável - Diretrizes para Implementação*. Brasília, 1995. Disponível em: <<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Planonac.pdf>> Acesso em: 04 agosto 2007.
- CARMO, R. L.; GAMA, I. População e Recursos Hídricos no Centro-Oeste: Disponibilidade, Demandas e Conflitos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS O CENTRO-OESTE, 2, 2002. Campo Grande (MS). Anais... Campo Grande (MS), 2002. 1CD.
- CARVALHO, P. R. S. Expansão urbana na bacia do Ribeirão Mestre d'Armas (DF) e a qualidade da água. *Estudos Geográficos*, Rio Claro (SP), v. 3, n. 1, p. 71-91, 2005.
- CGIAR - Consultative Group on International Agricultural Research. *SRTM Data Processing Methodology*. Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org/SRTMdataProcessingMethodology.asp>>. Acesso em: 26 fev. 2007.
- CHIEN, P. Endeavour maps the world in three dimensions. *Geoworld*, n.37, p.32-38, 2000.
- CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia. Decreto nº89.817 de 20 de Julho de 1984. Disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 24 fev. 2007.
- DIAS, L. S. O., ROCHA, G. A., BARROS, E. U. A., MAIA, P. H. P. Utilização do Radar Interferométrico para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas. In: *Bahia Análise & Dados*. Salvador, v.14, n.2, p.265-271, set. 2004.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. *ArcGIS Desktop help*. Redlands, 2006.

FERNANDES, M. C.; MENEZES, P. M. L. Comparação entre Métodos para Geração de MDE para a Obtenção de Observações em Superfície Real no Maciço da Tijuca - RJ. *Revista Brasileira de Cartografia*, n.57/02, p.154-161, 2005.

FERREIRA, N. C. *Princípios para elaboração de MDT*. Goiânia, 2003. (Nota de aula).

FURNANS, J. E. *Topologic Navigation and the Pfafstetter System*. 2001. 214f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia) - The University of Texas, Austin, 2001.

GALVÃO, W. S.; MENESES, P. R. *Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12; 2005, Goiânia (GO). Anais... Goiânia (GO), 2005. p. 2511-2518.

GIOMETTI, A. B. R. *Diagnóstico e prognóstico ambiental como subsídio para a gestão da bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos ou da Cachoeira - SP*. 1998. 341 p. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento. *Produto Interno Bruto dos Municípios Goianos: 1999-2002*. - Goiânia, 2005. 67p.; il. Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/down/Pibmun2002.pdf>> Acesso em: 9 de setembro 2008.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento. *Estado de Goiás no Contexto Nacional*. - Goiânia, 2008. 63p.; il. Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/down/goiascn2008.pdf>> Acesso em: 9 de setembro 2008.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 648 p.

GOUZEE, N.; MAZIIN, B.; BILLHARZ, S. *Indicators of sustainable development for decision-making*. Brussels: Federal Planning Office of Belgium, 1995, 34p.

HAMMOND, A. et al. *Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*. Washington, DC: World Resources Institute, 1995. 42p.

HANSEN, M. A. F.; LANNA, A. E. L. Zonas e zoneamento ecológico-econômico na gestão de recursos hídricos. In: PROGRAMA ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO: Diretrizes metodológicas para o zoneamento ecológico-econômico do Brasil. Brasília: MMA/Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável, 2001. 1 Cd-Rom.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, n.106, p.211-232, 1989.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de Biomas do Brasil*. Escala 1:5.000.000, 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2008*. Rio de Janeiro; 2008. 472 p. Disponível em: <<ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursosnatura/ids/ids2008.pdf>>. Acesso em: 01 de novembro 2008.

IUCN - International Union for Conservation of Nature; UNEP - United Nations Environment Programme; WWF - World Wide Fund for Nature. *THE World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development*. Gland (Switzerland), 1980. 77p. FGV - Fundação Getúlio Vargas. *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro, 1988, 430p.

LANNA, A. E. L. *Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos*. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995. 171p.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Contribuição Hídrica do Cerrado para as Grandes Bacias Hidrográficas Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS O CENTRO-OESTE, 2; 2002. Campo Grande (MS). Anais... Campo Grande (MS), 2002. 1CD.

LUDWIG, R.; SCHNEIDER, P. Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v.60, p. 339-358, 2006.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P. *Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2007. 688p. ; il.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. *Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001, 536 p.

MIRANDA, E. E. de (Coord.). *Brasil em Relevô*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 22 Jul. 2007.

MIRANDA, J. I. *Fundamentos de Sistemas de Informação Geográficas*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425p.

NAÇÕES UNIDAS. Divisão para o Desenvolvimento Sustentável. *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies 2007*. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf>>. Acesso em: 15 de novembro 2008.

NEWSON, M. *Land, Water, and Development: Sustainable Management of River Basin Systems*. London: Routledge, 1992. 351p.

NIMA - National Imaging and Mapping Agency . Information about WGS84 and EGM96, 2004. Disponível em: <<http://www.nima.mil/>>. Acesso em: 04 ago. 2007.

NOVAS, P. C.; LOBO, F.; FERREIRA, M. E. Pobreza, desenvolvimento e conservação da biodiversidade em Goiás. In: FERREIRA, L. G. (Org.). *A encruzilhada socioambiental - biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado*. Goiânia: Ed. UFG, 2008. p.127-149.

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development. *Environmental indicators: basic concepts and terminology*. Paris, 1993. 150p.

OLIVEIRA, A. A. B.; MENDES I. A. A abordagem sistêmica na construção de indicadores de sustentabilidade para a gestão de bacias hidrográficas. In. SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNESP, 4, 2004. Rio Claro (SP). Anais... Rio Claro (SP), 2004. p. 275 - 291.

PEUCKER, T. K. et al. The triangulated irregular network. In: *AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY DIGITAL TERRAIN MODELS SYMPOSIUM*, 1978, St. Louis. Proceedings. St. Louis: American Society of Photogrammetry, 1978. p.516-540.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento; IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Atlas do desenvolvimento humano no Brasil*. Brasília, 2002. (Software).

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topography Mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v.57, p.241-262, 2003.

SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, G. C.; BRITES, R. S. Padrões de cobertura de solos do estado de Goiás. In: FERREIRA, L. G. (Org.). *A encruzilhada socioambiental - biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado*. Goiânia: Ed. UFG, 2008. p.91-106.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. *CERRADO: Ecologia e Flora*. Brasília: Ed. Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1, 406p.; il.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & Sociedade*, Campinas, v. X, n. 2, p. 137-148, jul./dez. 2007.

SILVA, T. C. *Proposta metodológica de estudos integrados para o diagnóstico dos recursos naturais e problemas ambientais*. Salvador, 1986. 14 p.

SINHA, J. *Creating DEMs using TopoGrid*. 2000. Disponível em: <[http://www.geog.ubc.ca/courses/geog570/talks\\_2000/topogrid.html](http://www.geog.ubc.ca/courses/geog570/talks_2000/topogrid.html)>. Acesso em: 12 mar. 2007.

TORRES, H. G.; FERREIRA, M. P.; DINI, N. P. *INDICADORES SOCIAIS: por que construir novos indicadores como o IPRS*. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v.17, n. 3-4, p. 80-90. 2003.

VAN KAICK, T. S. *Análise crítica dos indicadores ambientais oficiais relacionados ao saneamento básico, tendo como estudos de caso quatro comunidades rurais do litoral norte do Estado do Paraná - Brasil*. 2007. 177f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

WCED - World Commission on Environment and Development. *Our common future*. Oxford: ED. Oxford University Press, 1987. 352p.

ANEXO I

Comprovante de submissão e aceite do artigo “**Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas**” para publicação na Revista Brasileira de Cartografia

Artigo **RBC** - Retorno Avaliação Caixa de entrada | X

★ de **Revista Brasileira de Cartografia** <rbc@rbc.ufrj.br> [ocultar detalhes](#) 16/10/08 [Responder](#) | ▼

para levindocm@gmail.com,  
laerte@iesa.ufrj.br

data 16 de outubro de 2008 11:27

assunto Artigo RBC - Retorno Avaliação

enviado por rbc.ufrj.br

Prezado Autor:

A Revista Brasileira de Cartografia - **RBC** tem a satisfação de informar que seu artigo AVALIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, foi aceito para publicação e envia os formulários das avaliações de seu trabalho.

Solicitamos realizar as modificações cabíveis e reenviar para este mesmo e-mail no mais breve espaço de tempo, para que possamos dar continuidade ao processo de publicação.

Atenciosamente

Conselho Executivo **RBC**.


**RBC** - Revista Brasileira de Cartografia


Formulários das avaliações do trabalho **RBC**

--  
Sociedade Brasileira de Cartografia  
Revista Brasileira de Cartografia  
Conselho de Editores Executivo

---

2 anexos — [Baixar todos os anexos](#)

 **A147\_FormularioRevisor1.doc**  
53K [Exibir como HTML](#) [Abrir como documento do Google](#) [Download](#)

 **A147\_FormularioRevisor2.doc**  
53K [Exibir como HTML](#) [Abrir como documento do Google](#) [Download](#)

[Responder](#) [Responder a todos](#) [Encaminhar](#)