

AVALIAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS URBANAS IMPERMEABILIZADAS

*Paulo Rafael Alves¹ Bernard Silva de Oliveira² Wellington Nunes de Oliveira³
& Nilson Clementino Ferreira⁴*

Resumo – Esse trabalho objetiva comparar sensores com diferentes resoluções espaciais no mapeamento de áreas de solo impermeáveis na capital de Goiânia-GO. Devido a comportamentos sazonais da vegetação do cerrado foi necessário considerar tais características na metodologia através de processamento de imagens obtidas em períodos secos e chuvosos na área de estudo. O trabalho foi desenvolvido em etapas, inicialmente, as imagens brutas dos sensores CDD ,HRC e TM, tomadas a bordo dos satélites CBERS-2B e Landsat 5, foram pré-processados, depois sendo feito índice espectrais, sendo eles o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) para a identificação de área impermeáveis. Considerou-se inicialmente que as áreas com maior impermeabilização do solo geralmente possuem menor cobertura vegetal, assim, observando o NDVI obtido pelo processamento de imagens envolvendo as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, foi possível identificar preliminarmente as áreas que poderiam ser mais ou menos impermeáveis por meio de inspeções visuais, considerando o índice de vegetação e imagens originais obtidas. Os resultados mostraram que em Goiânia a impermeabilização da cidade é mais notória nas regiões centrais nos diferentes tipos de sensores, tendo uma maior densidade na Avenida Anhanguera, atingindo neste setor um nível mais elevado em relação às demais áreas.

Abstract – This paper aims to compare imagery obtained by sensors with different spatial resolutions in mapping impermeable soil in Goiânia-GO. Due to the seasonal behavior of the cerrado vegetation was necessary to consider these characteristics in the methodology by processing images obtained in dry and wet periods in the study area. The work was developed in stages, initially, the raw image sensor CDD, HRC and TM, taken on board the CBERS-2B and Landsat 5, were pre-processed, then the spectral index being done, and they NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) for impervious area identification. It was felt initially that areas with greater impervious surfaces generally have a lower canopy, thus observing the NDVI obtained by image processing involving the near-infrared and red bands, it was possible to preliminarily identify areas that could be impermeable through visual inspection, considering the vegetation index and original images obtained. The results

¹ Tecnólogo em Geoprocessamento, SEMARH-GO - paulorafaelalves@gmail.com

² Tecnólogo em Geoprocessamento, so_geoprocessamento@yahoo.com.br

³ Tecnólogo em Geoprocessamento, Mestrando em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA/UFG - wellington.wno@gmail.com

⁴ Eng.º Cartógrafo, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA/UFG - nclferreira@gmail.com

showed that impermeable areas in Goiânia city are more distinguished in the central regions by the different types of sensors, having a higher density on Anhanguera avenue, reaching this sector on a higher level compared to other areas.

Palavras-Chave – uso do solo, impermeabilização, sensoriamento remoto

Introdução

Aproximadamente 70% da superfície terrestre são recoberta com vegetação. Além disso, a vegetação é um dos mais importantes componentes dos ecossistemas (Weiers, 2004).

Somente 26% da superfície terrestre são de terras expostas. Os restantes 74% são cobertos por água (incluindo ilhas interiores, lagos, reservatórios e rios). Quase toda a humanidade vive sobre uma base sólida terrestre composta de rochas ou de rochas intemperizadas, que chamamos de solos. Desta forma, é importante possuir informações as mais precisas possíveis sobre a localização, a qualidade e a abundância dos solos, dos minerais e das rochas, com o objetivo de conservar da melhor forma possível esses recursos naturais não renováveis. O sensoriamento remoto pode desempenhar importante função na identificação, inventário e mapeamento dos solos superficiais terrestres, especialmente quando não estão recobertos por vegetação (Jensen, 2009).

Segundo Small (2004) "As paisagens urbanas são compostas por um conjunto diversificado de materiais (concreto, asfalto, metal, plástico, telhas de madeira, vidro, água, grama, vegetação arbustiva, árvores e solo) dispostos de maneira complexa pelo Homem para a construção de habitação, sistemas de transporte, estabelecimentos de comércios e serviços, instalações industriais e áreas para recreação". Em muitos casos, a urbanização se dá em um ritmo acelerado, frequentemente desprovido de um desenvolvimento planejado.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1950 a população rural era de 63,84% e a população urbana era de 36,16%, respectivamente. Atualmente, a população está em torno de 80% e a perspectiva é que esse valor aumente ainda mais. A concentração de grande parcela da população do país em áreas urbanas faz com que em muitas vezes a ocupação do solo e do espaço urbano seja realizada de forma desordenada.

As migrações e o crescimento populacional, e as aglomerações em torno dos centros urbanos, acarretam, entre outras modificações, a transformação na cobertura do solo. Esse solo que em seu estado natural permitia a infiltração da água, neste outro momento apresenta-se como uma superfície impermeável, trazendo como consequência um aumento na quantidade e na velocidade do escoamento superficial da água da chuva. Com isso, os sistemas de drenagem pluvial, que antes

suportavam uma determinada carga de escoamento, não conseguem mais dar vazão a todo o volume e água que chega pela superfície, causando, entre outros problemas, as enchentes urbanas (Alves, 2004).

Diante deste contexto este trabalho tem como objetivo identificar, quantificar e mapear as áreas de solos impermeáveis em todo o município de Goiânia, capital do Estado de Goiás, utilizando imagens disponíveis gratuitamente na Internet, em diferentes resoluções espaciais. A metodologia aplicada para a identificação das áreas impermeáveis é feita através da utilização de sensores orbitais, o uso de imagens CBERS-2B (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) sensores CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução) e HRC (Câmera Pancromática de Alta Resolução) e o Satélite Landsat 5 por meio do sensor TM (Thematic Mapper).

Área de Estudo

O município de Goiânia (Figura 1), capital do Estado de Goiás, foi fundado em 24 de outubro de 1933, por Pedro Ludovico Teixeira. Segundo o IBGE (2009), possui uma área de 739 Km², sua população em 2009 era de 1.281.975 habitantes e estão localizados na latitude 16°40' 43" Sul e longitude 49°15' 14" Oeste.

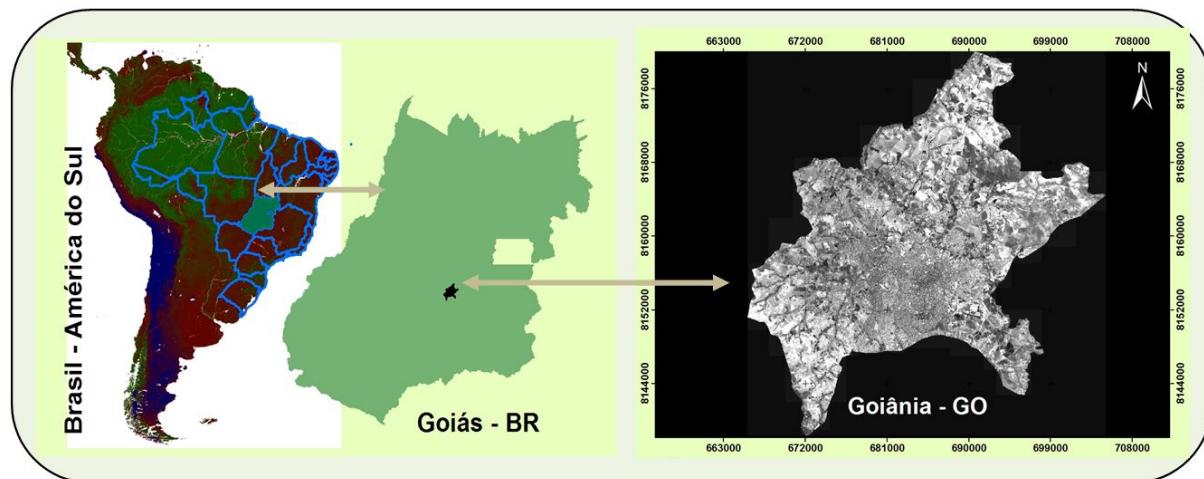


Figura 1. Localização da área de estudo.

Material e Métodos

Neste trabalho foram utilizados dados vetoriais (formato shapefiles), a Ortofotografia de Goiânia (elaborada em 2006) do MUBDG (Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia) fornecidos pela Prefeitura de Goiânia, dados shapefiles do SIEG (Sistema Estadual de Estatísticas e de Informações Geográficas de Goiás), mapeamento de relevo do município com resolução espacial de 5 metros e as imagens do satélite CBERS 2B e LANDSAT 5 fornecidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Foram utilizados os softwares SPRING 4.3.3 (Sistema de Processamento de Informações Geográficas) para a restauração das imagens CBERS-2B sensor CCD, ENVI 4.6 (Environment for Visualizing Images) para correção atmosférica destas imagens e ArcGIS 9.3 (ESRI - Environmental Systems Research Institute) para todas as outras etapas de processamento e análise das imagens. As operações envolvidas nesta metodologia são apresentadas na figura 2.

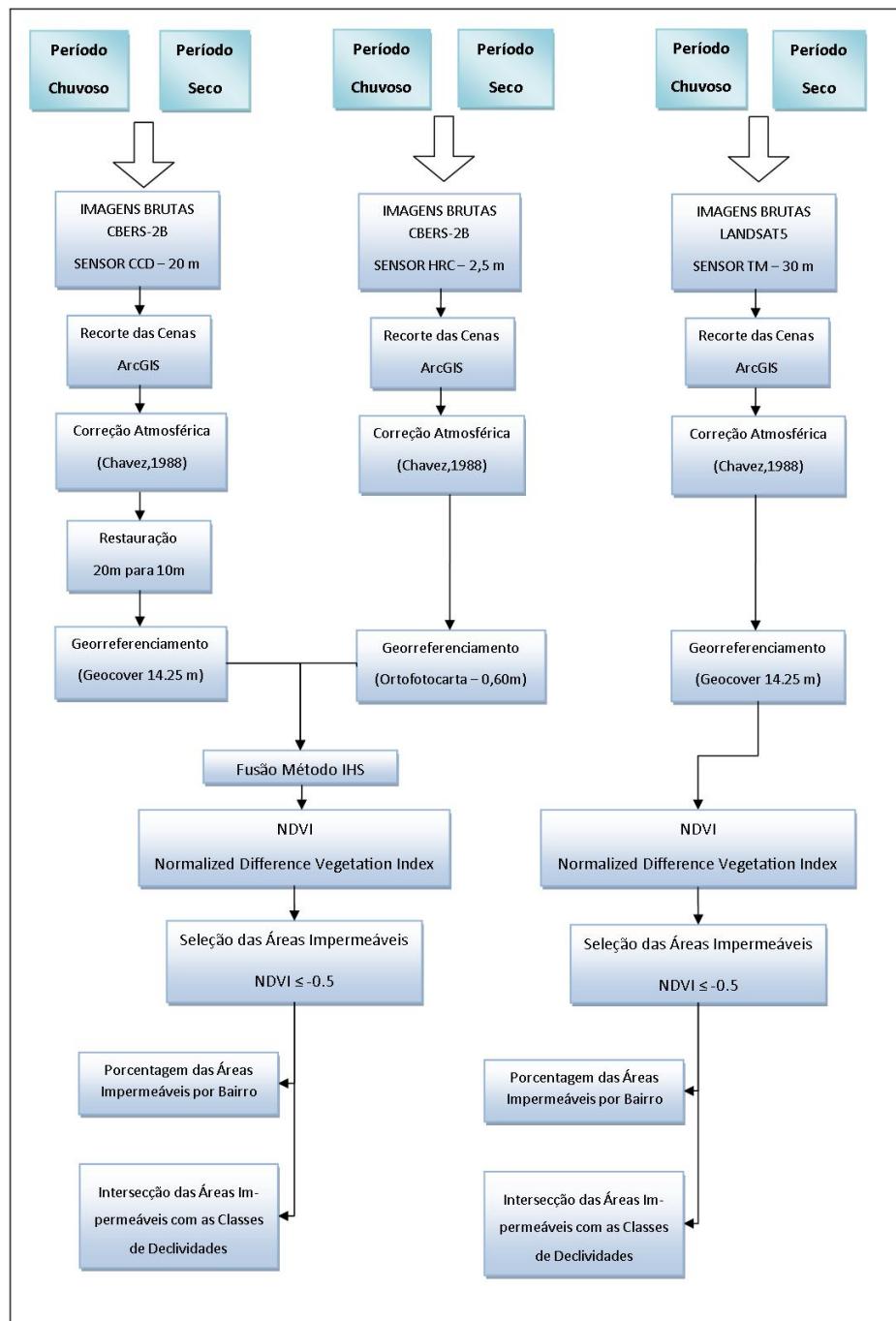


Figura 2. Roteiro metodológico das atividades desenvolvidas.

Pré-Processamento dos Dados

Zullo Jr. et al. (1994), Kuntschik et al. (2001) e Rosatti (2006), citam a importância da correção atmosférica em imagens de satélites para estudos ambientais como a aplicação de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI).

Para o pré-processamento foram utilizadas imagens de dois períodos seco e chuvoso, adquiridas pelos sensores CCD e HRC, colocado a bordo do satélite CBERS 2B e o sensor TM abordo do satélite LANDSAT 5.

Aplicou-se a correção atmosférica (Chavez, 1988) nas imagens brutas do sensor CCD, HRC e TM, segundo o método de correção do histograma por seus valores mínimos (Histogram Minimum Method – HMM), através software ENVI 4.6. Em seguida foram aplicadas técnicas de restauração nas imagens do sensor CCD interpolando o pixel de 20m para 10m, através do software SPRING 4.3.3. Os resultados são mostrados na figura 3 e 4.

Correção Geométrica

Em seguida, foi realizada a correção geométrica, que tem a função de reorganizar os “pixels” da imagem em relação a um determinado sistema de projeção cartográfica. Ela objetiva minimizar as distorções geométricas, provenientes das características do sensor utilizado e das variações decorrentes do movimento do mesmo durante a passagem sobre o alvo (Luiz et al, 2003).

Para o georreferenciamento utilizou-se como base a Ortofotocarta de Goiânia com resolução espacial de 0,60m para o sensor HRC e as imagens Geocover (formato MrSid) com resolução espacial de 14,25m para o sensor CCD e TM

Fusão IHS

Na etapa seguinte, foi realizada a fusão de imagens pelo método IHS, que segundo Fonseca et. al. (2000), tem como objetivo melhorar a resolução espacial. A paisagem urbana é composta por um vasto número de elementos e materiais definindo tal paisagem como sendo radiometricamente heterogênea e complexa (Small, 2005).

O método IHS (intensidade, matiz e saturação) é uma forma alternativa ao espaço RGB de representação de cores. A fusão por IHS foi executada a partir de uma transformação das composições coloridas R3G4B2, resultando em 3 bandas: I (Intensity) – Intensidade, H (Hue) – Matiz e S (Saturation) – Saturação. Na transformação IHS inversa foi substituída a componente I pela banda pancromática do sensor HRC de 2,5 metros de resolução espacial e inseridas as componentes He S. Segundo os testes feitos na área de estudo o método citado foi o que obteve o melhor desempenho espectral e visual.

Índice da Diferença Normalizada da Vegetação – NDVI

Em seguida, foi realizado o cálculo do índice de vegetação, que é uma técnica de realce da vegetação através de operações matemáticas simples, usada em processamento digital de imagens de sensoriamento remoto (CRÓSTA, 1992).

O NDVI é o resultado da composição matemática entre a banda do vermelho e do infravermelho próximo e tem a seguinte expressão (equação 1):

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{ivp}} - \rho_{\text{v}}) / (\rho_{\text{ivp}} + \rho_{\text{v}}) \quad (1)$$

Onde: ρ_{ivp} é a reflectância no infravermelho próximo; ρ_{v} é a reflectância no vermelho.

NDVI é adimensional, sendo que os seus valores oscilam entre -1 e +1, que correspondem às características de estresse hídrico (próximo a -1) a uma vegetação exuberante (próximo de +1). As funções booleanas utilizam operadores lógicos (booleanos) e permitem realizar cruzamentos entre dois ou mais planos de informação (Câmara et al., 1998). Para o mapeamento das áreas impermeáveis foi usada a seguinte operação booleana na imagem NDVI, período seco e chuvoso:

$$\text{NDVI} \leq -0,5 \quad (2)$$

Cálculo da Declividade

Finalmente, foi elaborado o mapa de declividade, a partir do modelo digital de elevação do município com resolução espacial de 5 metros que cobrem todo o município de Goiânia, primeiramente realizou-se um recorte por máscara segundo o limite municipal de Goiânia e em seguida foi utilizado à ferramenta Slope (declividade) resultando em uma imagem com quatro classes.

Resultados e Discussões

Na tabela 1 são mostrados os valores das áreas impermeáveis, em relação à área total do município de Goiânia. Os bairros que tiveram maior índice foram: Setor Central, Campinas, Rodoviário, Aeroporto, Oeste, Leste Vila Nova, Novo Mundo, Nova Suíça, Ipiranga, Jardim Nova Esperança, Guanabara, Vila Finsocial dentre outros.

Tabela 1. Percentagem da Área Impermeabilizada no Município de Goiânia.

Período	Impermeabilização (ha)	Porcentagem (%)	Sensor	Satélite	Resolução Espacial(m)
Chuvoso/2009	22.933,50	31,56	Fusão HRC/CCD	CBERS-2B	2,5
Seco/2008	13.669,61	18,81	Fusão HRC/CCD	CBERS-2B	2,5
Seco/2008	16.466,34	22,66	TM	LANDSAT 5	30
Chuvoso/2009	22.495,52	30,95	TM	LANDSAT 5	30

Nas figuras 3, 4, 5,6 são apresentadas as áreas impermeáveis no município de Goiânia:

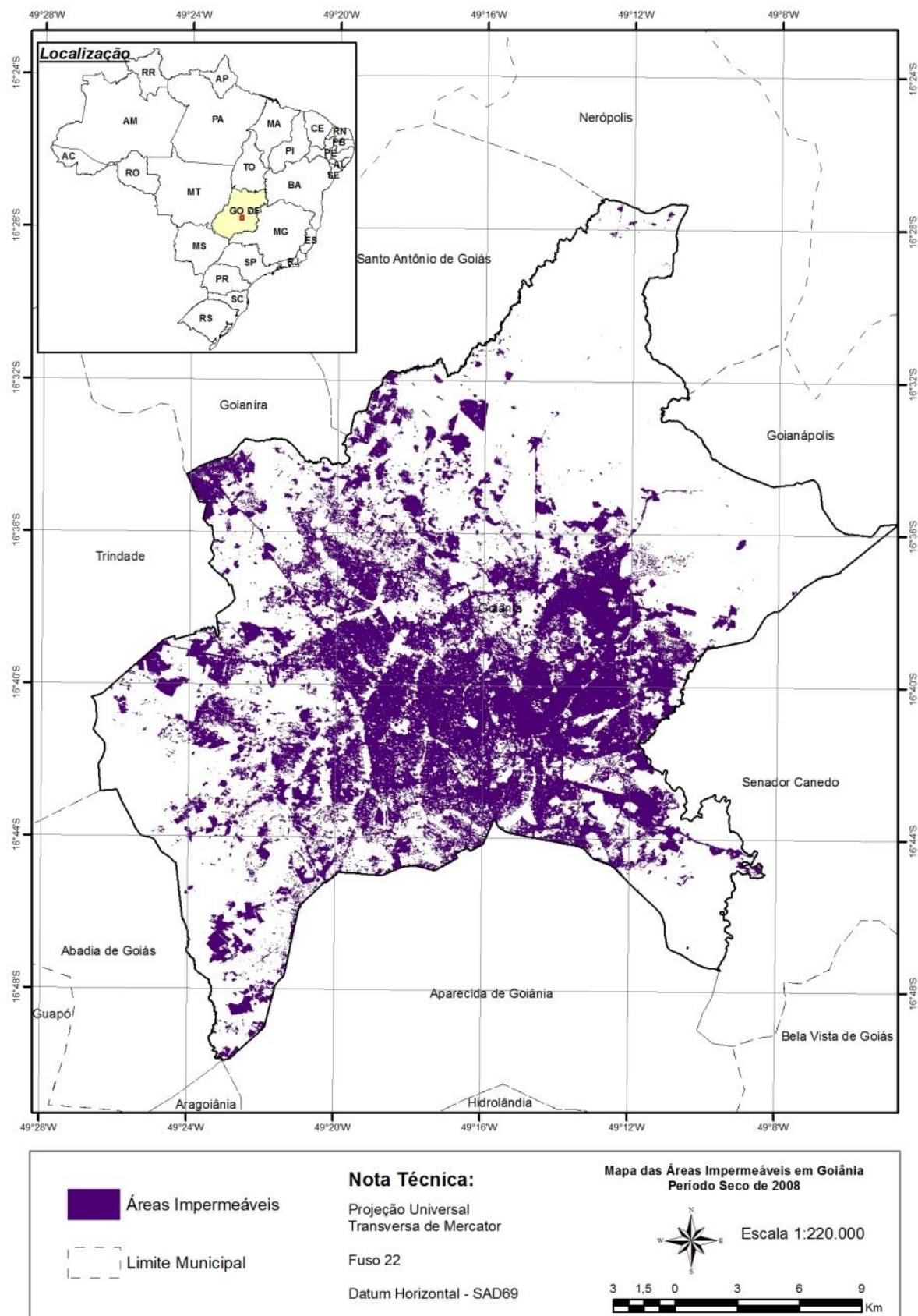


Figura 3. Áreas Impermeáveis do Município de Goiânia (Período Seco de 2008) extraída pela Fusão HRC/CCD abordo do satélite CBERS 2B .

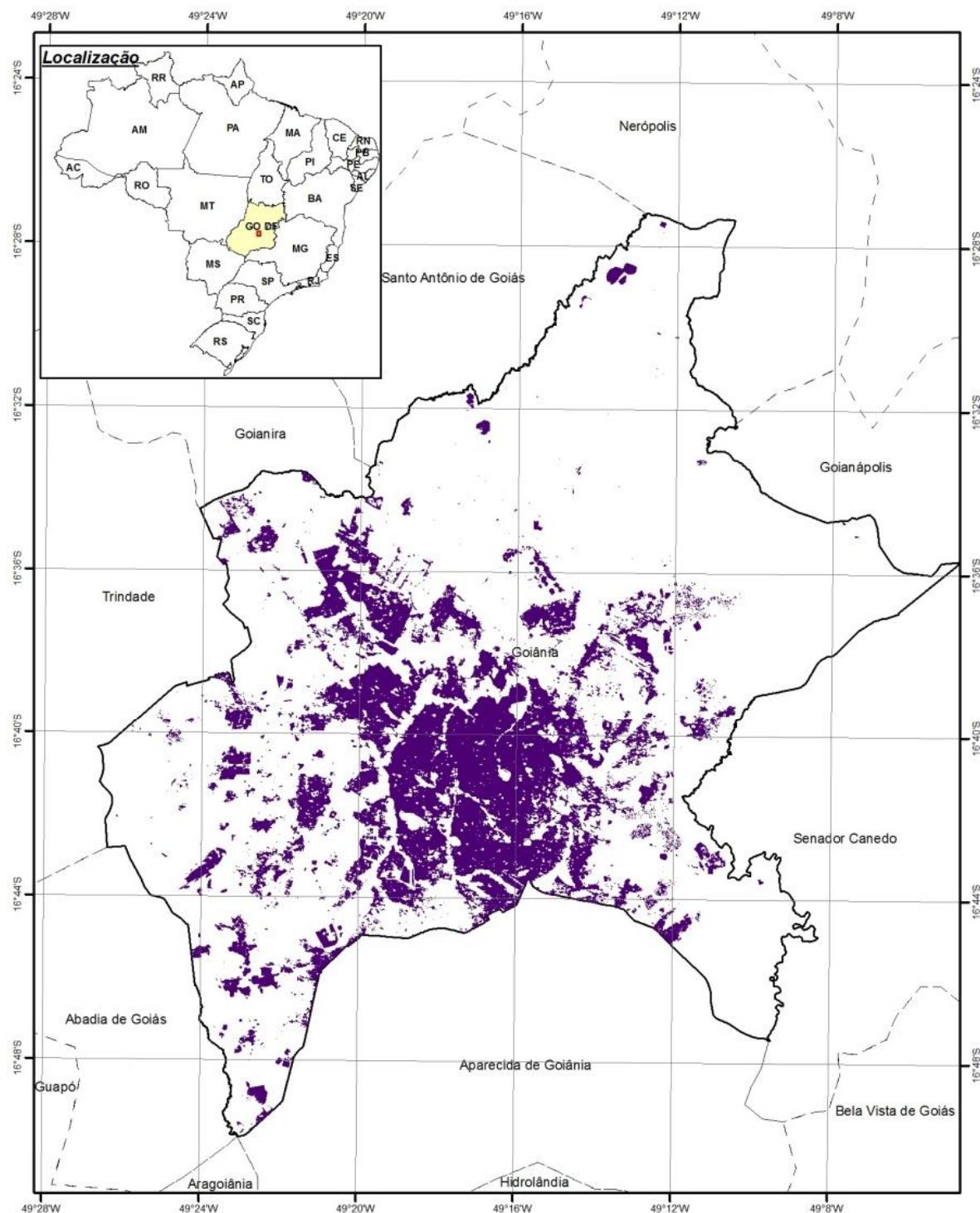


Figura 4. Áreas Impermeáveis do Município de Goiânia (Período Chuvoso de 2009) extraída pela Fusão HRC/CCD abordo do satélite CBERS 2B.

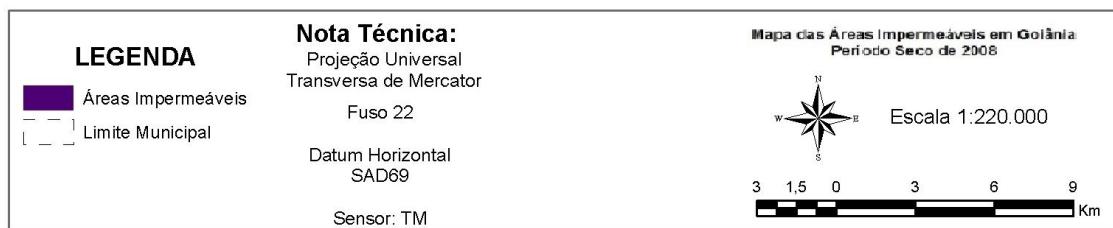
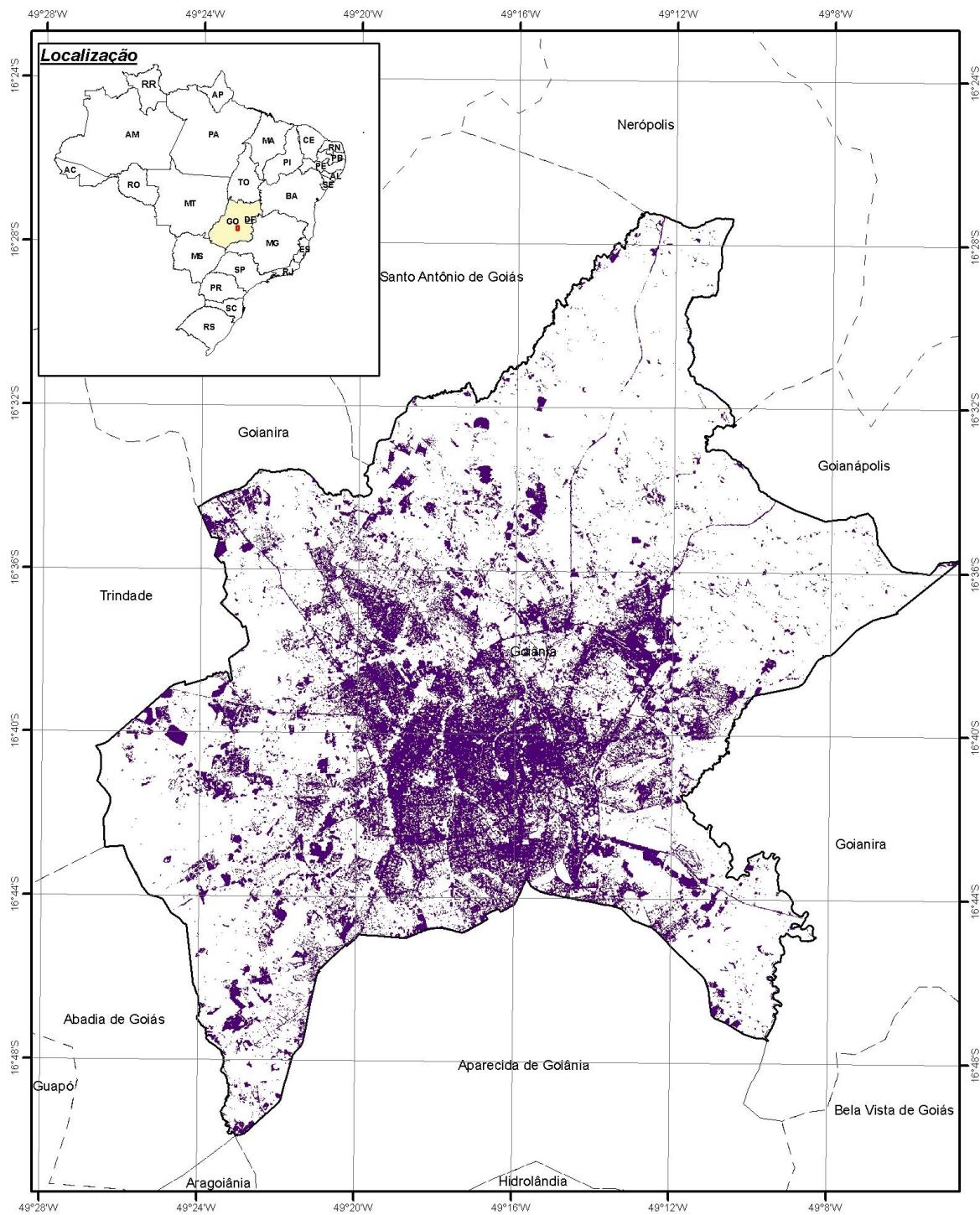


Figura 5. Áreas Impermeáveis do Município de Goiânia (Período Seco de 2008) extraída pelo sensor TM.

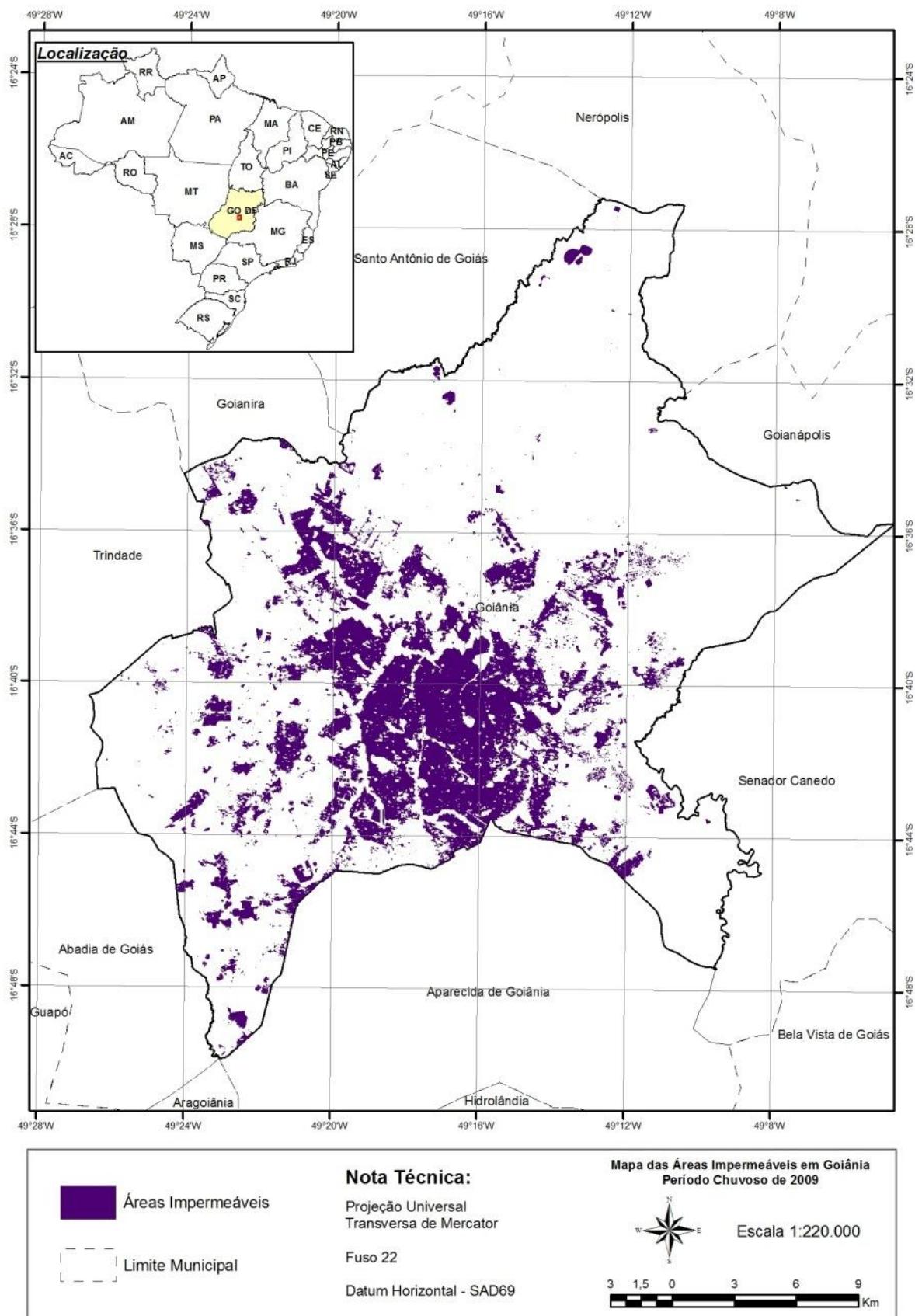


Figura 6. Áreas Impermeáveis do Município de Goiânia(Período Chuvoso de 2009) extraída pelo sensor TM .

Na figura 7, observa-se uma tendência de adensamento urbano, comum nas capitais brasileiras, no setor central da cidade e uma ocorrência maior de adensamento no eixo anhanguera (avenida anhanguera – sentido oeste-leste na figura 7). Esta ocorrência é bem observada no período seco de 2008, pois devido sua história a cidade de Goiânia originou-se no Setor Campinas e expandiu ao longo das principais avenidas como a avenida anhanguera.

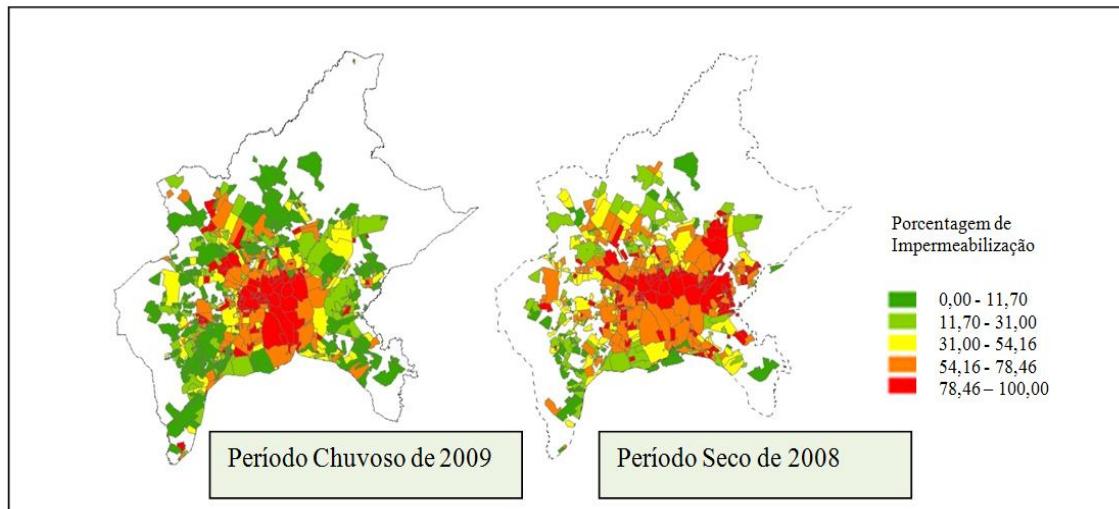


Figura 7. Porcentagem de Área Impermeabilizada por Bairro extraída pela Fusão HRC/CCD.

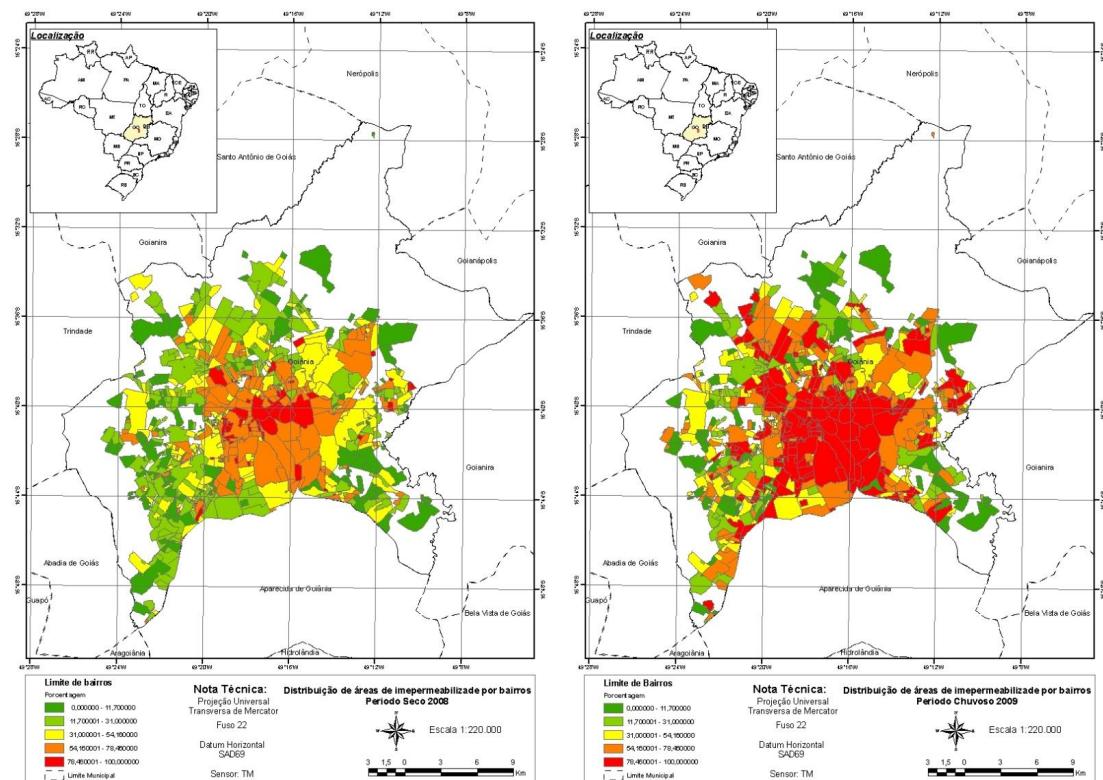


Figura 8. Porcentagem de Área Impermeabilizada por Bairro extraída pelo sensor TM no período de 2008 (Seco) e 2009 (Chuva).

A tabela 2 mostra a quantidade de área impermeabilizada, em relação à área total do município.

Tabela 2: Percentual da Área Impermeabilizada por Declividade no Município de Goiânia

Declividade em (%)	Período Chuvoso (ha)	Porcentagem (%) Chuvoso	Período de Seca (ha)	Porcentagem (%) Seca	Sensor
0 a 3	10291,08	14,16	15.570,25	21,43	Fusão HRC/CCD
0 a 3	15.923,99	21,90	11.393,26	15,68	TM
3 a 8	3143,28	4,32	6.441,21	8,86	Fusão HRC/CCD
3 a 8	5.962,53	8,20	4.387,29	6,04	TM
8 a 20	200,25	0,275	816,11	1,12	Fusão HRC/CCD
8 a 20	530,99	0,73	587,42	0,81	TM
Acima de 20	31,29	0,00040	102,51	0,14	Fusão HRC/CCD
Acima de 20	63,21	0,086	83,91	0,11	TM

A maior concentração de área impermeável está na classe de declividade suave (0 a 3%), em relação à área total do município demonstrada nas figuras 9, 10, 11 e 12 a seguir.

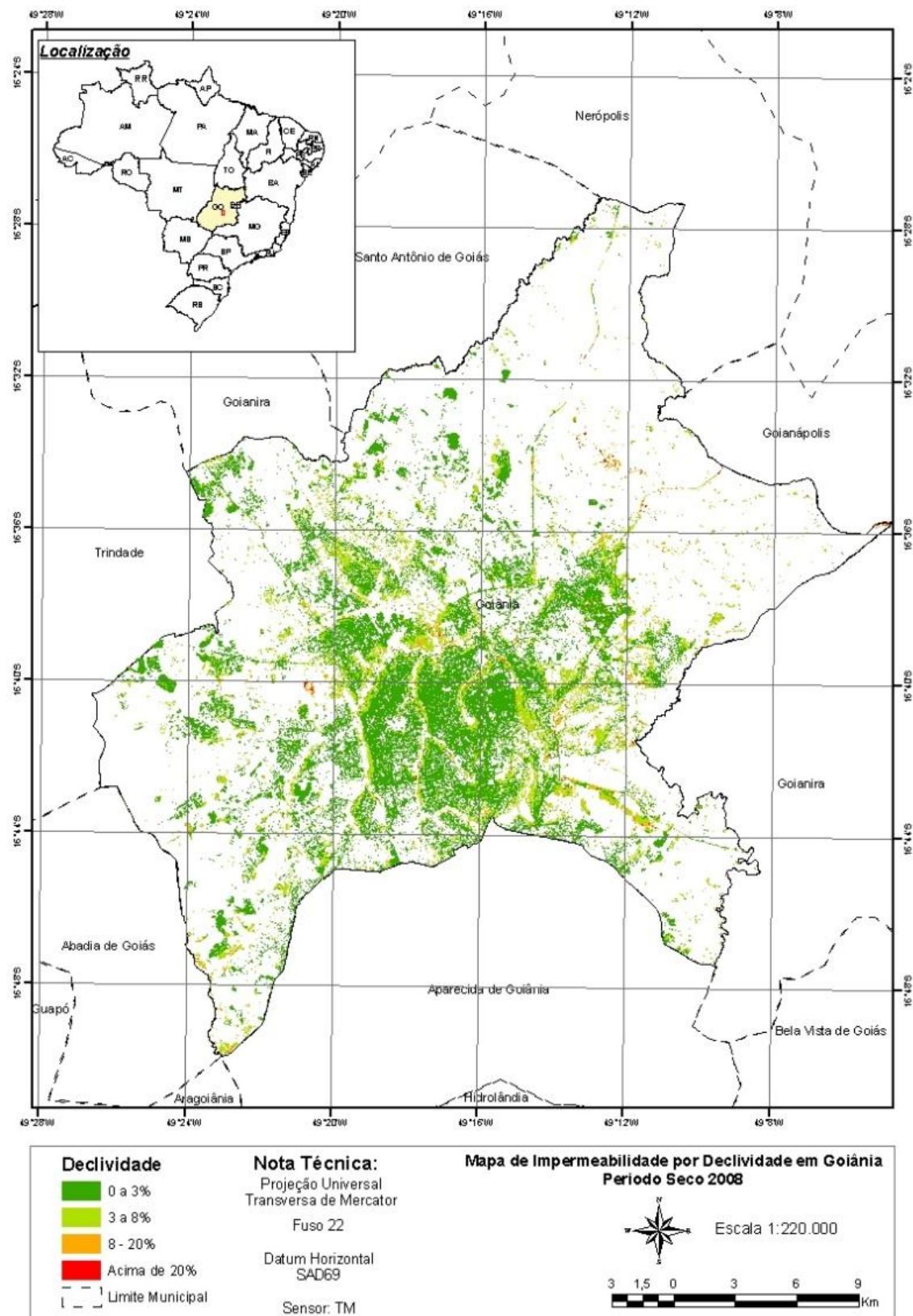
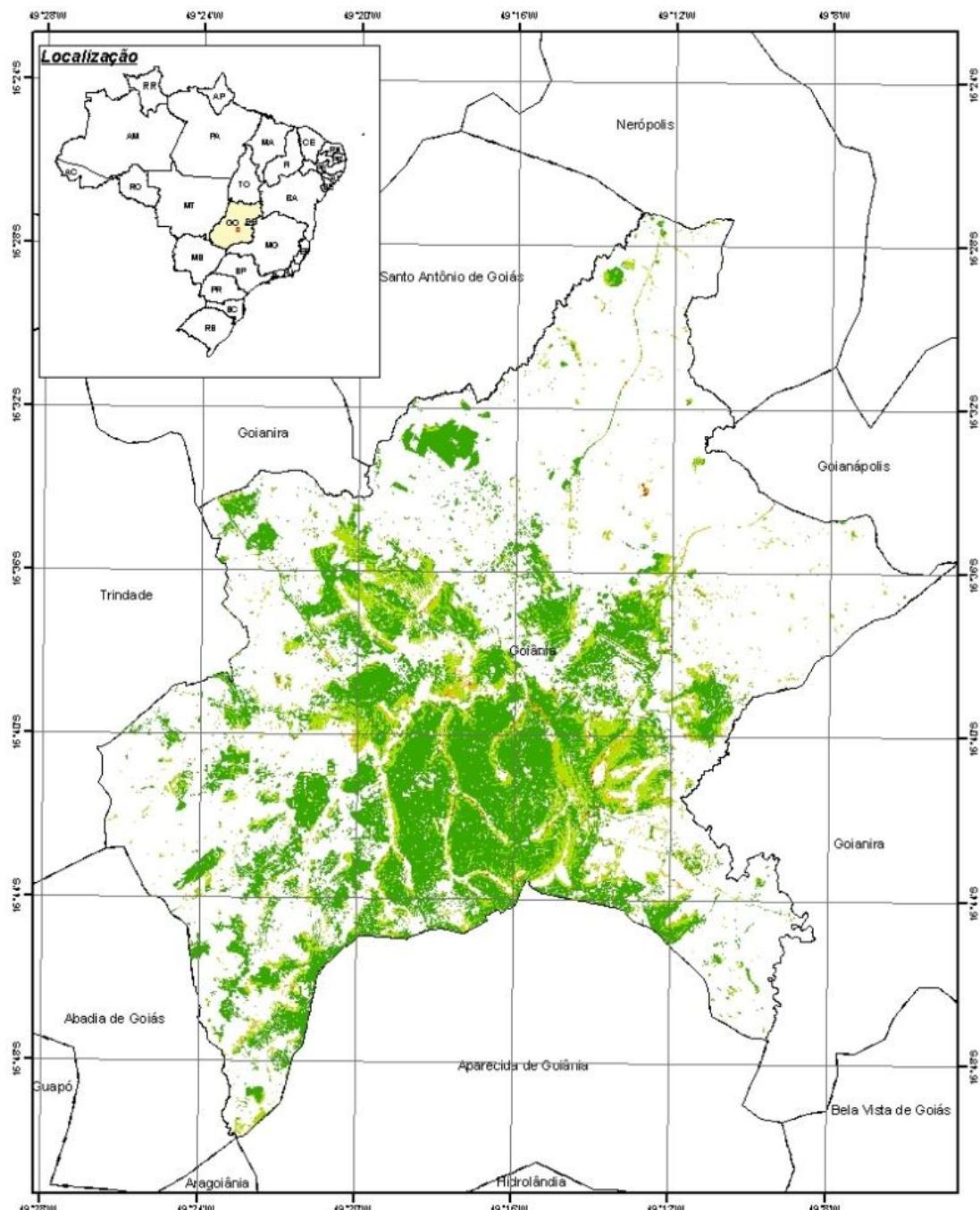


Figura 9: Mapa de integração das áreas impermeáveis no município de Goiânia com as classes de declividade (Período Seco de 2008) com sensor TM (Landsat 5).



Declividade

- 0 a 3%
- 3 a 8%
- 8 - 20%
- Acima de 20%
- Limite Municipal

Nota Técnica:

Projeção Universal

Transversa de Mercator

Fuso 22

Datum Horizontal

SAD69

Sensor: TM

Mapa de Impermeabilização por Declividade em Goiânia

Período Chuvoso 2009



Escala 1:220.000

3 1,5 0 3 6 9 Km

Figura 10: Mapa de integração das áreas impermeáveis no município de Goiânia com as classes de declividade (Período Chuvoso de 2009) com sensor TM (Landsat 5).

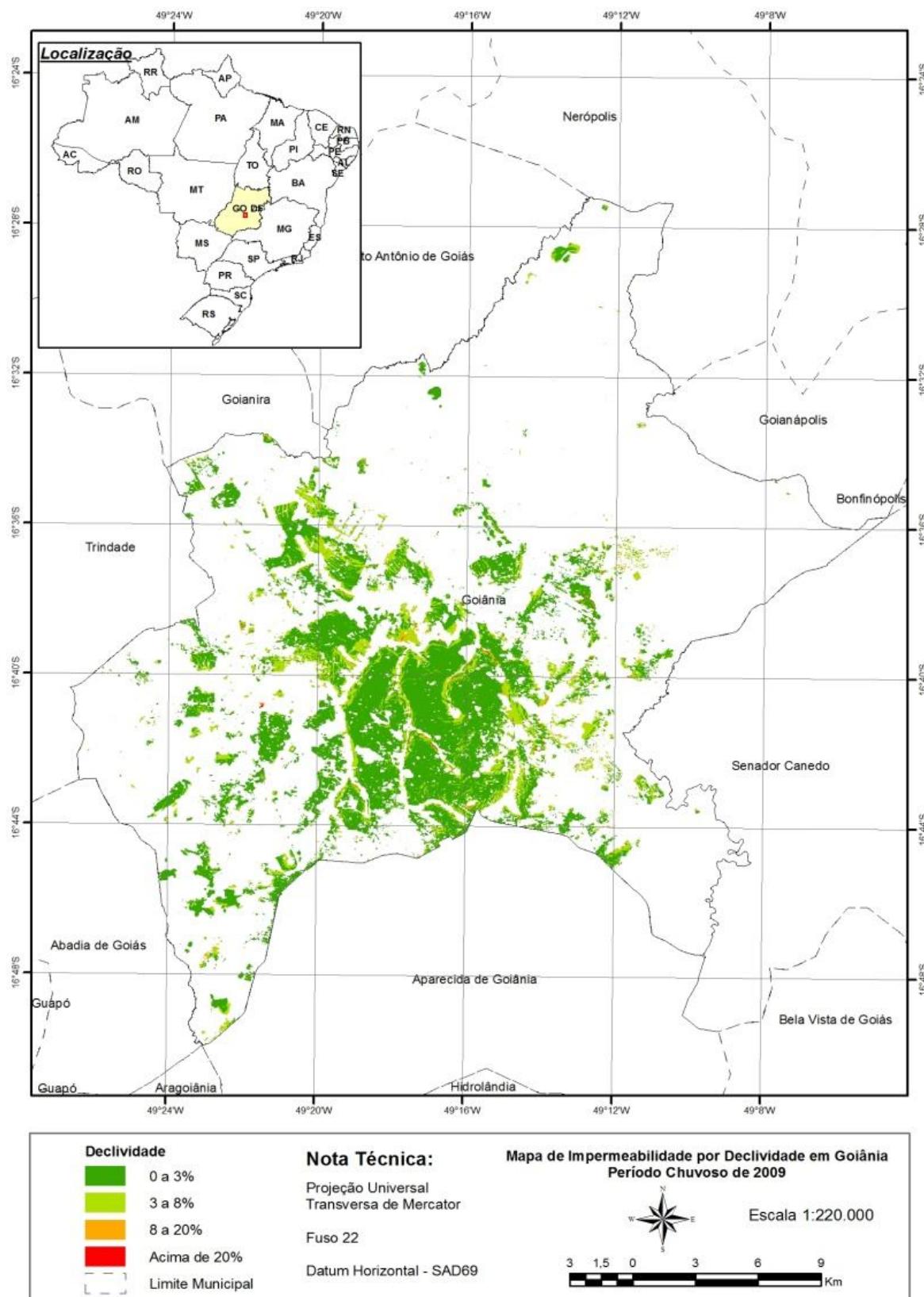


Figura 11: Mapa de integração das áreas impermeáveis no município de Goiânia com as classes de declividade (Período Chuvoso de 2009) com Fusão HRC/CCD.

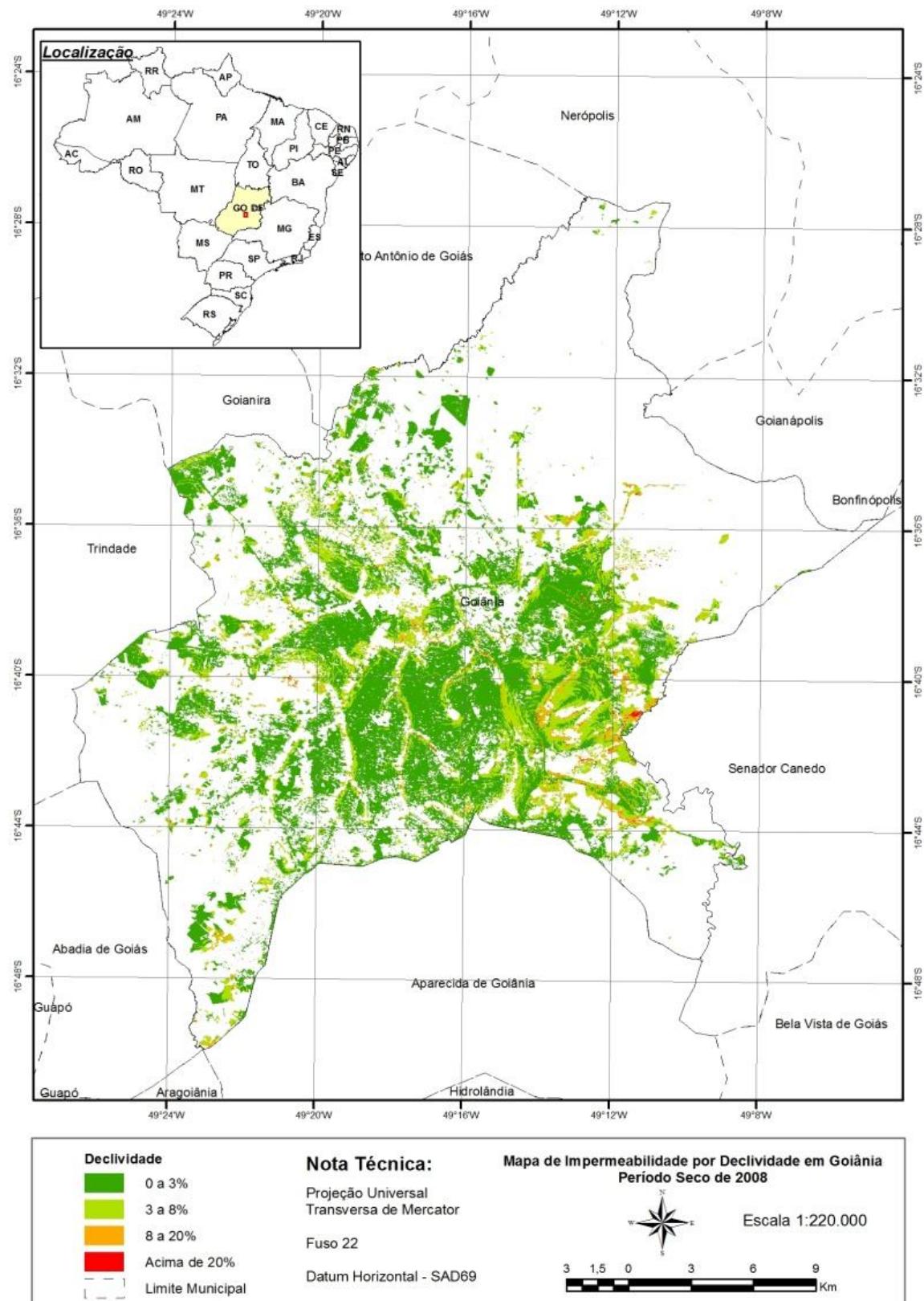


Figura 12: Mapa de integração das áreas impermeáveis no município de Goiânia com as classes de declividade (Período Seco de 2008) com Fusão HRC/CCD.

Considerações Finais

Neste trabalho foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, com o intuito de analisar as áreas impermeáveis no município de Goiânia, no período de 2008-2009.

Os resultados referentes ao estudo deste trabalho mostraram que as impermeabilizações do solo ocorrem em áreas planas, e há um adensamento de área construída nos principais eixos como avenida anhanguera, avenida T-9, avenida T-7, GO 070 e nos setores em direção ao município de Goianira.

A variação da área impermeável foi considerável, em 2008 atingiu 13.669,61 hectares para o sensor CCD/HRC e 16.466,34 hectares e para o sensor TM, já em 2009 atingiu 22.933,50 hectares para os sensores CCD/HRC e 22.495,52 hectares nos sensor TM, representando um aumento de 67% para os dados obtidos pelo satélite CBERS 2B e um aumento de 36% para os dados do satélite LANDSAT 5.

Em relação à diferença das resoluções espaciais, nota-se que as regiões onde obteve valores de porcentagem foram aproximadas, porém devido ao recobrimento da área imageada pelo sensor TM muitas áreas foram agrupadas. Por exemplo, no período de 2009, onde a região central teve mais áreas impermeáveis nos dois sensores, o sensor TM adquiriu uma área maior devido ao recobrimento do Pixel que é de 900 m², e o sensor HRC dentro dessa área detalharam mais o perímetro.

Agradecimentos

Agradecemos a SEPLAM (Secretaria de Planejamento Municipal) de Goiânia, pelos dados necessários para a elaboração deste trabalho e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa (2) para o quarto autor.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, C. A.; *Estimativa da área impermeável dentro da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio* (Porto Alegre/RS) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. 2004. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

CÂMARA, G. Medeiros, J. S.; *Geoprocessamento para projetos ambientais*. In: Câmara, G.; Barbosa, C. C. F.; Freitas, U. M (ed.) *Operações de Análise Geográfica*. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/3opera.pdf> Acesso em: 08 set.2010.

CHAVEZ, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.24, n.3, p.459- 79, 1988.

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

Jensen, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 357-572 p.

KUNTSCHIK, G.; BITTENCOURT, M. D.; *Correção de imagens Landsat TM5 e avaliação do erro decorrente do uso de imagens NDVI não corrigidas*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10., 2001, Foz do Iguaçu, Brasil Anais. São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 1277-1284. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00016-1. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.20.17.42/doc/1277.1284.250.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2010.

LUIZ, S.; OLIVEIRA, C. G. O.; OKIDA, R. *Comparaçao entre diferentes métodos de correção geométrica em imagem RADARSAT-1 no Flona Tapajós*, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte, Brasil. Anais. São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 325-332. CD-ROM On-line. ISBN 85-1-00017-X. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.17.05/doc/03_205.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2010

Orthorectified Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Compressed Mosaics. Disponível em: <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

ROSATTI, J. C.; *Detecção Da Doença “Mela-Das-Sementes Da Braquiária” Em Gramíneas Forrageiras Através De Técnicas De Sensoriamento Remoto*. 2006. 56-133 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2006.

SMALL, C., 2004. *The Landsat ETM+ Spectral Mixing Space*. *Remote Sensing of Environment*, 93: 1-17.

SMALL, C. *A global analysis of urban reflectance*. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 4, p. 661–681, 2005

ZULLO JR., J. *Correção Atmosférica de Imagens de Satélite e Aplicações*. 1994. 135-143 p. Tese de Doutorado, DCA/FEE/UNICAMP, 1994. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica).

WEIERS, S.; BOCK, M.; WISSEN, M and G. Rossner. *Mapping and Indicator Approaches for the Assessment of Habitats at Different Scales using Remote Sensing and GIS Methods, Landscape and urban Planning*, 2004, 67:43-65.