

CARACTERIZAÇÃO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS (ENPS) NO MUNICÍPIO DE APARECIDA DE GOIÂNIA, GOIÁS

Bruno de Paula Silva

Alex Mota dos Santos

Universidade Federal de Goiás

Engenharia de Transportes

RESUMO

Este artigo tem como objetivo geral caracterizar as Estradas Não Pavimentadas (ENPs) do município de Aparecida de Goiânia, que é o único meio de deslocamento do campo para as cidades, levando em consideração que esse tipo de pesquisa é inexistente no município. Essa caracterização foi realizada a partir de imagens de sensoriamento remoto passivo de alta resolução espacial e, também, com imagens de sensoriamento remoto ativo da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Para a manipulação das imagens foram utilizados os softwares QGIS, versão 2.18.14, e o eCognition em sua versão *free trial* para estudantes. Os resultados obtidos da caracterização foram que grande parte das ENPs mapeadas não interceptam locais com ocorrência de fluxo acumulado de água, isso indica poucos problemas na infraestrutura, explicado em parte pelo relevo predominantemente plano. Além disso, o processo de identificação dessas estradas foi mais preciso pelo método manual, pois pelo método automático identificou-se confusão espectral de alvos em áreas de pastagens degradadas com as ENPs.

ABSTRACT

This article has a general objective to characterize Unpaved Roads (URs) of the municipality of Aparecida de Goiânia, which is the only means of displacement of the countryside to the cities, taking into consideration that this type of research does not exist in the municipality. This characterization was performed using passive remote sensing images of high spatial resolution and also with active remote sensing images of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). For the manipulation of the images were used the software QGIS, version 2.18.14, and eCognition in its version free trial for students. The results obtained from the characterization were that a great part of the mapped URs do not intercept places with occurrence of accumulated water flow, this indicates few problems in the infrastructure, explained in part by the predominantly flat relief. Besides that, the process of identification of these roads was more precise by the manual method, since by the automatic method it was identified the spectral confusion of targets in degraded pastures areas with URs.

1. INTRODUÇÃO

A localização privilegiada, com acesso facilitado a matéria prima, os incentivos fiscais, que motivaram a instalação de inúmeras empresas, contribuíram para que o município de Aparecida de Goiânia apresentasse aumento no crescimento econômico. Assim, segundo dados do Instituto Mauro Borges (IMB, 2015), esse município apresenta Produto Interno Bruto (PIB) de 11.518.67 milhões de reais, o terceiro mais elevado, que representa 6,6% do valor total para o estado de Goiás.

Contudo, o crescimento observado não gerou o desenvolvimento na mesma proporção na área rural, que apesar de sua pequena extensão, se comparada com a área urbanizada, é importante para a economia, especialmente para atividades vinculadas a criação de gado para corte e leite. Além disso, destaca-se modesta produção agrícola que, muitas vezes, como observado em campo, tem localização em áreas urbanizadas, o que gera conflitos de uso.

Assim, reconhecido a importância da zona rural para o abastecimento, mesmo que em pequena escala, esse trabalho visa caracterizar as Estradas Não Pavimentadas (ENPs) do município de Aparecida de Goiânia, único meio de deslocamento do campo para as cidades.

As pesquisas sobre as ENPs são inexistentes no município de Aparecida de Goiânia, mas no país, destaca-se os trabalhos de Viviani (1998), Fontenele (2001) e Góngora (2010). Além

disso, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017), no ano de 2017, as estradas não pavimentadas corresponderam a 78,7% (1.365.426 km) do total da malha rodoviária brasileira. Assim, Viviani (1998) afirma que as estradas não pavimentadas é o primeiro caminho a ser percorrido para que a produção agropecuária seja escoada, denominando-as de vias secundárias, coletoras ou alimentadoras. E, além de desempenhar o papel econômico, elas possuem fins sociais, ou seja, a comunidade que reside na zona rural utiliza essas estradas para deslocarem-se aos centros urbanos em busca de saúde, lazer, educação, etc. Ainda de acordo com Viviani (1998), mesmo com esses dois fatores envolvendo as ENPs, as condições delas são bastantes precárias, pois elas estão, em sua maioria, sob a responsabilidade dos municípios, que detém quantidade escassa de recursos para realizarem as manutenções. Nesse sentido, ainda segundo CNT (2017), rodovias em bom estado de conservação são fundamentais para o desenvolvimento do país, redução de acidentes e sustentabilidade.

Em seu trabalho, Fontenele (2001), revela as três categorias de estradas não pavimentadas e que foram propostas por Austroads (1991), sendo estradas não conformadas (aquelas que surgiram sob os materiais naturais do local e que possuem problemas de drenagem); conformadas (concebidas através de equipamento nivelador a fim de eliminar problemas de drenagem); e conformadas e revestidas (estradas conformadas revestidas com material que seja capaz de suportar o tráfego de veículos). Adicionalmente, Góngora (2010) cita duas características técnicas que as ENPs devem ter para cumprir o seu papel no contexto em que está inserida. São elas: capacidade de suporte (além de suportar os veículos, elas devem ser mais resistentes aos processos erosivos), condições de rolamento e aderência (relacionadas ao conforto e segurança dos veículos que transitam por ali).

Diante da falta de cobertura de material resistente, pois são estruturadas sobre leitos naturais, os problemas mais recorrentes das ENPs dizem respeito a análise do fluxo acumulado de água e a direção que este fluxo possui em sua área, pois assim determina-se os pontos críticos das estradas (atoleiros, locais passíveis de erosão) para que, posteriormente, possam ser feitos serviços de drenagem que evitem ou amenizem esses problemas. Segundo Oliveira *et. al.* (2010), a direção do fluxo determina as relações que a água possui entre diferentes pontos das bacias hidrográficas, sendo que ela é considerada pela linha que possui maior declividade no terreno. Já o fluxo acumulado representa a rede hidrográfica, que pode ser definida de acordo com as direções do fluxo (Mendes e Cirilo, 2001).

Desse modo, a caracterização física das ENPs pode ser realizada por métodos indiretos, a partir de dados de sensoriamento remoto manipulados em Sistema de Informação Geográfica (SIG). Alguns autores utilizaram essa metodologia para o estudo relacionado às ENPs, dos quais, Batista *et. al.* (2004), que determinou a proximidade dessas estradas com o sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica, em que os resultados permitiram identificar os efeitos de obras viárias próximas a esta área. Cazes *et. al.* (2005) utilizou imagens de sensoriamento remoto de média resolução espacial, com o intuito de fazer a detecção automática de estradas rurais. Contudo, a partir de produtos orbitais de alta resolução espacial tal caracterização pode ser mais adequada.

2. METODOLOGIA

Como referido, a metodologia para caracterização das estradas não pavimentadas se sustenta em imagens de sensoriamento remoto passivo de alta resolução espacial. A caracterização de

fluxo acumulado e direção de fluxo foi obtida da imagem de sensoriamento remoto ativo, no caso, a imagem do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

2.1. Área de estudo

A análise foi realizada no município de Aparecida de Goiânia (Figura 1), localizado na Região Metropolitana de Goiânia (RMG), situado entre as coordenadas $16^{\circ} 45' 09''$ e $16^{\circ} 51' 29''$ de latitude sul e $49^{\circ} 12' 02''$ e $49^{\circ} 22' 58''$ de longitude oeste, em uma altitude média de 808 metros, com a localização da BR-153 em seu perímetro urbano, permitindo fácil acesso as regiões Nordeste e Sul do país.

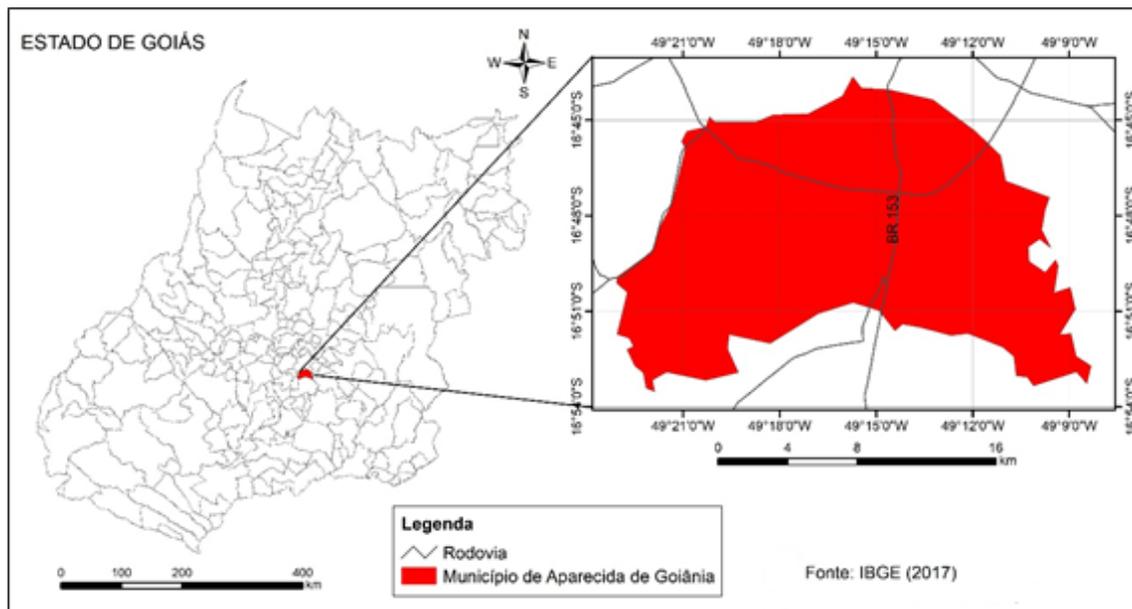


Figura 1: Localização da área de estudo.

Fonte: Os autores (2018).

2.2. Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos envolveram a manipulação das imagens de sensoriamento remoto no QGIS, versão 2.18.14, que é um *software* livre, ou seja, com código de fonte aberta e, também, no software eCognition Developer com a versão *free trial* para estudantes. As imagens do SRTM são disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS – *United States Geological Survey*) e obtidas através do *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e já vem georreferenciadas. A imagem de sensoriamento remoto passivo foi adquirida do Google Earth® e posteriormente foi georreferenciada no QGIS.

A técnica de georreferenciar (registrar no QGIS) imagens surgiu na década de 90, a partir do momento em que se percebeu que as fotografias aéreas adquiridas possuíam distorções em razão da inclinação das aeronaves e da variação de escala da imagem devido as mudanças de altitude do voo e, também, pelo fato da lente que captura a imagem estar desfocada (Araújo *et. al.*, 2014).

A partir da imagem de sensoriamento remoto passivo foi possível realizar a identificação das ENPs do município de Aparecida de Goiânia. Para essa etapa foi aplicado o Processamento Digital de Imagens (PDI) a partir da coleta de amostras e posterior classificação de imagens.

Para realizar o processo de classificação, é preciso, primeiramente, fazer a segmentação da imagem, que auxilia na coleta de amostras a partir de segmentos de mesma classe. O tipo de classificação realizada foi a supervisionada, que de acordo com Campbell (1996), é um método que permite classificar áreas com pixels desconhecidos, que possui como vantagem o controle total, por parte do analista, da área a ser estudada, do tipo e número de classes; e como desvantagem a identificação de áreas que são muito pequenas e que afetam substancialmente o resultado do processo. Já Papa (2008), diz que a classificação supervisionada se baseia em informações *a priori* para a realização do treinamento.

A outra etapa, elaborada a partir das imagens do SRTM objetivou, como referido, analisar o comportamento da água das chuvas sobre as estradas. Nesse sentido, aplicou-se o preenchimento de depressões, direção de fluxo e fluxo acumulado, como descrito na Figura 2.



Figura 2: Etapas realizadas para caracterização das ENPs

Fonte: Adaptado de Ayres *et. al.* (2010).

O preenchimento de depressões foi necessário, pois dependendo da topografia do local, podem haver erros em relação a inclinação do terreno e a ocorrência de corpos hídricos, que são denominados de *sinks* ou depressões. Sendo assim, a primeira etapa é preencher essas depressões para que os pixels vizinhos das imagens fiquem semelhantes, como mostra a Figura 3.

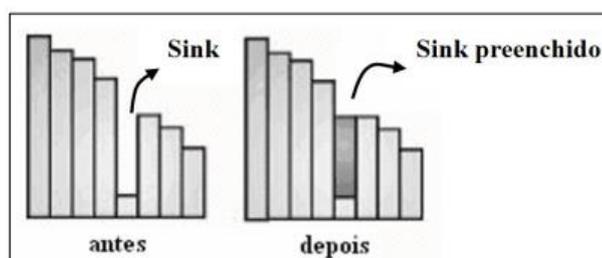


Figura 3: Preenchimento das depressões

Fonte: Ayres *et. al.* (2010).

Como dito anteriormente, a direção do fluxo determina as relações que a água possui entre diferentes pontos das bacias hidrográficas, sendo importante estudá-lo para entender como ocorre a drenagem das águas no terreno. Essa direção é obtida de acordo com a função *flow direction*, que gera uma grade numérica do pixel com maior declividade no terreno, em relação aos pixels vizinhos. Com a correção já feita no preenchimento das depressões, é possível visualizar o terreno e como o escoamento das águas ocorre. Por fim, o fluxo acumulado indica o local onde a água tem mais tendência a acumular, devido principalmente a inclinação do terreno. A Figura 4 mostra o fluxo acumulado e a direção preferencial desse fluxo.

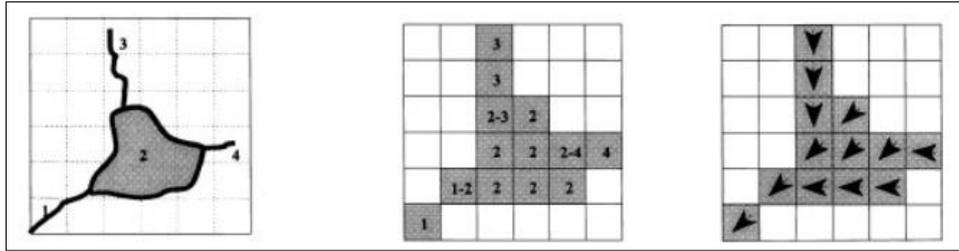


Figura 4: Fluxo acumulado e direção preferenciais
 Fonte: Ayres *et. al.* (2010).

3. RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS

A detecção manual das ENPs foi feita no QGIS, percorrendo as estradas e marcando-as com o auxílio de linhas e numerando-as de forma aleatória para a identificação dos segmentos. Após a identificação dessas estradas, foi gerada sua estatística básica descritiva. Sendo assim, a zona rural de Aparecida de Goiânia, que compreende uma área de 458,5 km², possui um total de 63,89 quilômetros de estradas não pavimentadas, distribuídos em 46 segmentos distintos. A espacialização desses dados está representada na Figura 5.

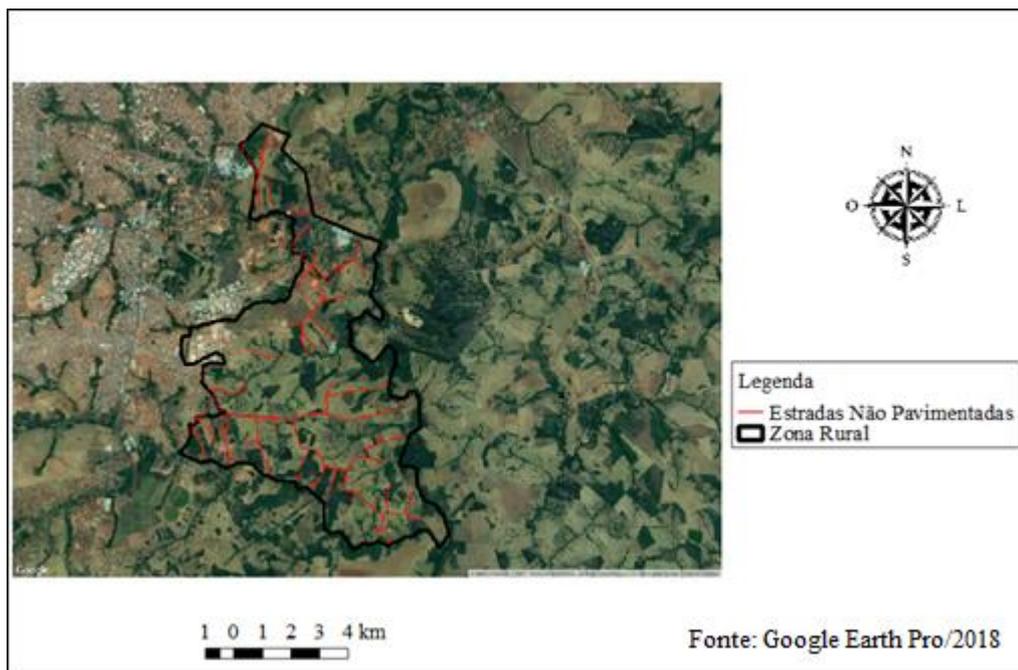


Figura 5: Estradas não pavimentadas.
 Fonte: Os autores (2018).

Com a imagem SRTM, foi possível fazer uma análise correlacionando os dados de fluxo acumulado e ENPs da cidade de Aparecida de Goiânia, como mostra a Figura 6. Esse tipo de dado permite determinar se as estradas são passíveis de acumulação de água em sua extensão e, posteriormente, se necessário, definir medidas mitigadoras para este problema que causa erosões e atoleiros em seu percurso.

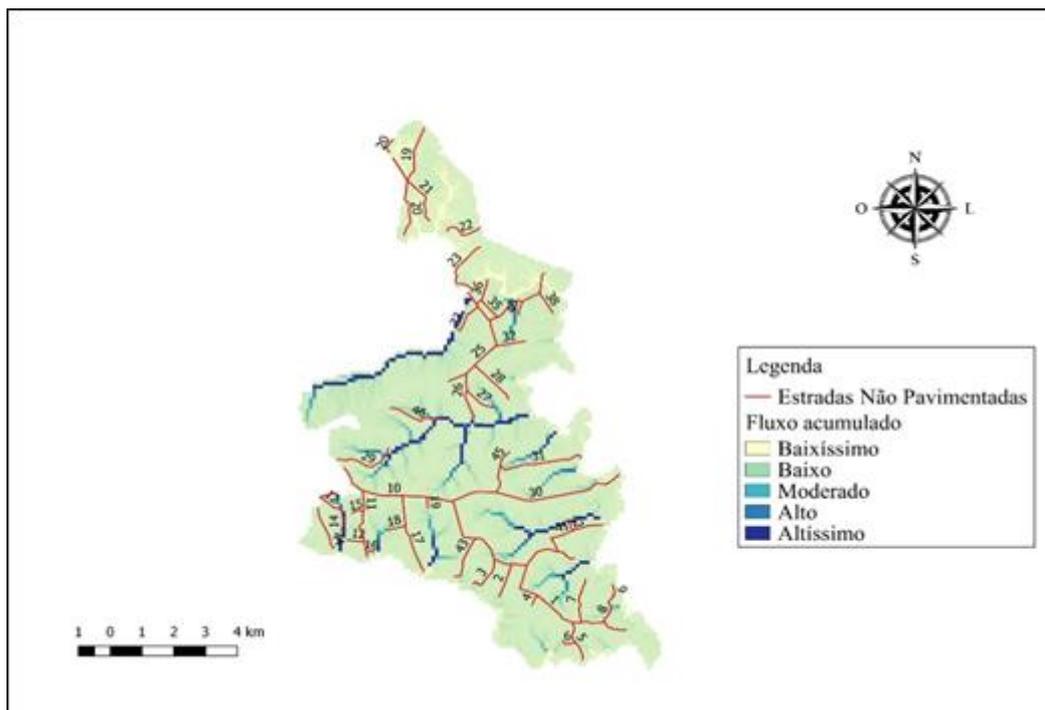


Figura 6: Relação entre fluxo acumulado e ENPs.

Fonte: Os autores (2018).

A espacialização dos dados acima mostra que o fluxo acumulado mais elevado é representado pela cor azul escuro e o mais baixo pela cor bege. Analisando-se a Figura 6, a maioria das ENPs concentram-se em áreas de baixo fluxo acumulado, muitas vezes passando próximas às origens deles, contribuindo para o não acúmulo de água no trajeto das estradas. Mas, por outro lado, a proximidade dessas estradas com a origem do fluxo pode acarretar sérios problemas de ordem ambiental, pois a área ao seu redor passa constantemente por um processo de compactação do solo, prejudicando a nascente desses corpos d'água.

Os dados especializados na Figura 6 merecem atenção especial na porção sudoeste, mais especificamente no segmento de estrada de número 14, devido seu traçado acompanhar uma área de altíssimo fluxo acumulado, como mostra a Figura 7. Esse problema pode fazer com que surja erosões laminares (lavagem dos solo causada pela água da chuva ou pela ação dos ventos) no curso dessas estradas, prejudicando a boa trafegabilidade e aumentando os custos de manutenção.

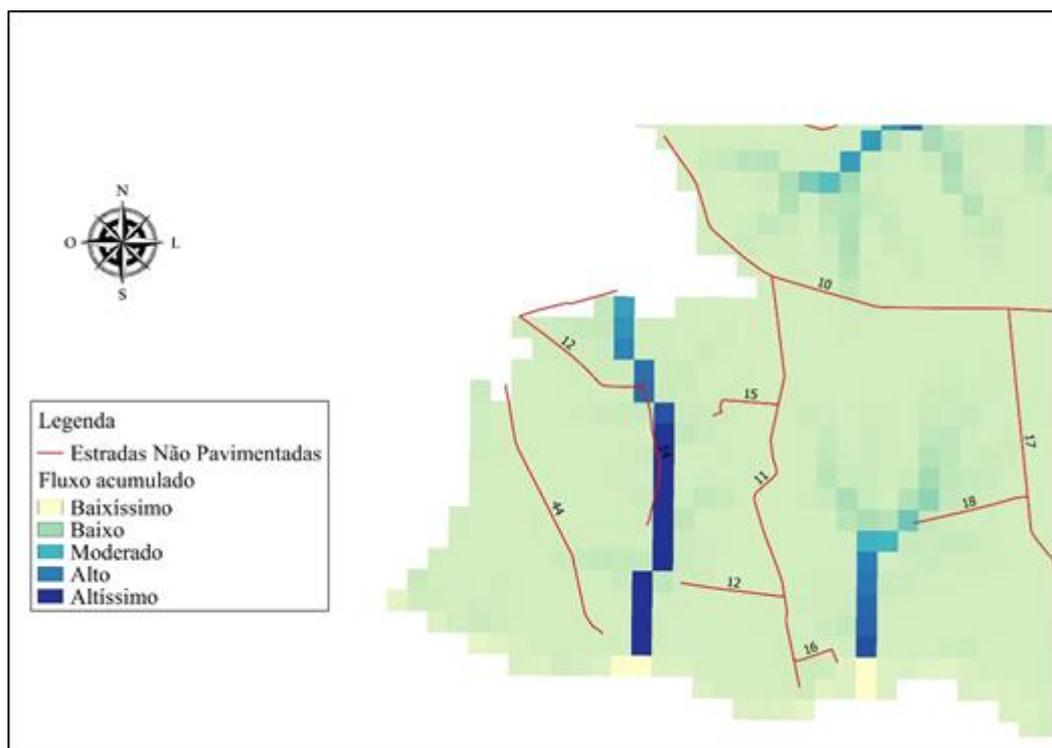


Figura 7: Área crítica de localização de ENP.

Fonte: Os autores (2018).

As erosões nas ENPs também podem ser causadas, de forma indireta, pela ação humana. No caso em tela, observou-se que nos segmentos, 10, 12, 19, 20, 25, 29, 44 e 46 (Figura 6) há conexões de estradas pavimentadas com estradas não pavimentadas. Desse modo, a falta de dispositivos de drenagem faz com que o fluxo de água, que escorre com grande energia nas estradas pavimentadas, atinja as estradas não pavimentadas, provocando erosões.

Ainda analisando os segmentos de ENPs da Figura 6, tem-se a Tabela 1, que trata da quantidade de estradas que cruzam ou não os cinco tipos de fluxos classificados. Os dados revelam que a maior parte delas (30 segmentos) não sofrem ação direta com a presença do fluxo acumulado, demonstrado que as ENPs de Aparecida de Goiânia podem passar por problemas de outra magnitude, não sendo, portanto, a presença da água de outros pontos.

Tabela 1: Cruzamento entre fluxo acumulado e ENPs

Tipo de fluxo	Quantidade de segmentos
Nenhum	30
Baixíssimo	4
Baixo	4
Moderado	1
Alto	3
Altíssimo	4

O resultado do processo de classificação está apresentado na Figura 8 e na Tabela 2. As classes foram divididas em ENPs, matas, pasto, solo exposto, área construída e vias pavimentadas, em que se observa o predomínio de pastagens e vegetação arbórea.

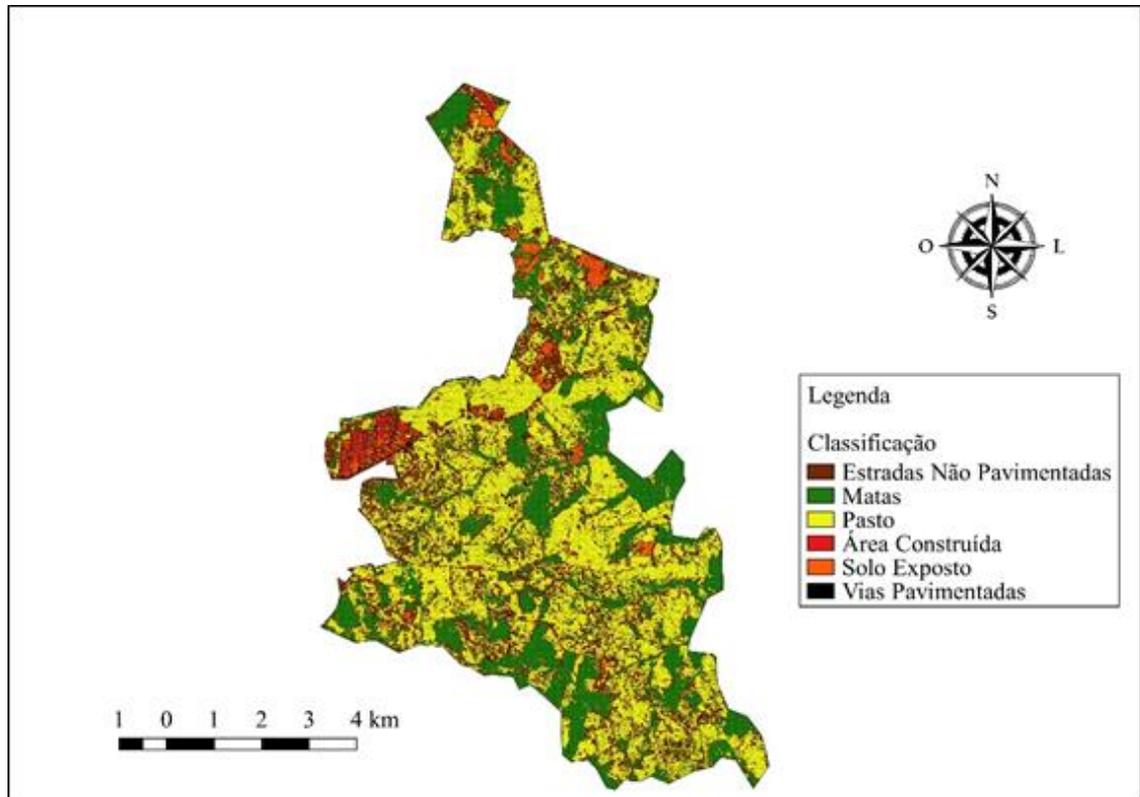


Figura 8: Classificação automática da zona rural de Aparecida de Goiânia.

Fonte: Os autores (2018).

Assim, a identificação de ENPs pelo método de classificação, denominado automático, não foi satisfatória, pois identificou-se confusão espectral de alvos. Contudo, outras técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), como restauração de imagens e Modelo Linear de Mistura de Pixel (MLMP), serão testadas em pesquisas futuras, aplicadas à caracterização de ENPs. Nesse sentido, a restauração melhora a resolução espacial aparente e o MLMP minimiza a confusão espectral do pixel em imagens de sensoriamento remoto.

Desse modo, a confusão espectral ocorreu por que as pastagens degradadas também se identificaram como solo exposto, decorrente do pisoteio do gado bovino, comum nas ENPs. Além do exposto, identificou-se o predomínio da classe de uso pasto, seguida das matas e ENPs (Tabela 2).

Tabela 2: Quantitativo da área de uso e cobertura do solo

Classes	Área (km ²)	%
Área Construída	0.68	1.1
ENPs	14.83	24.1
Matas	14.89	24.2
Pasto	28.11	45.6
Solo exposto	1.79	2.9
Vias pavimentadas	1.30	2.1
Total	61.60	100.0

Tal resultado foi também relatado por Cazes *et. al.* (2005) e Fernandes (2008), que concluíram que a detecção manual produz melhores resultados, pois as imagens utilizadas por eles apresentaram distorções e não se conseguiram obter informações precisas e fiéis.

4. CONCLUSÕES

As análises propostas, suportadas por geoprocessamento, especialmente o processamento digital de imagens, ofereceu recursos para análises na área de transportes, especialmente na caracterização da infraestrutura viária.

A zona rural de Aparecida de Goiânia é relativamente pequena, se comparada com a zona urbana, e, conseqüentemente, a quantidade de ENPs também. Isso deve-se ao fato da crescente urbanização que o município vem passando nos últimos anos. De acordo com a análise realizada, as imagens de sensoriamento remoto permitiram concluir que as estradas não pavimentadas foram construídas, em grande parte, em locais estratégicos, pois muitas delas não cruzam ou não acompanham o fluxo acumulado.

Em relação à identificação das ENPs, o método mais preciso, para este tipo de análise, foi o manual, de acordo com a Figura 5. Isso aconteceu porque a coleta de amostras de estradas na classificação automática é bastante dificultada, em razão das ENPs possuírem uma área bem pequena em relação as outras classes da imagem e, também, pela confusão espectral com o alvo pasto degradado.

Por fim, conclui-se que esse tipo de análise configura instrumento que pode ser aplicado à gestão da malha viária. Além disso, auxilia as prefeituras na implantação de novas estradas em locais que não são afetados pelo fluxo acumulado e na manutenção preventiva das estradas já existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, R. S.; D. Freitas; A. H. F. Klein e G. V. Silva (2014) Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina.
- AUSTROADS (1991) *Road Maintenance Practice* – 1995. Sidney, Austrália.
- Ayres, F. M.; P. T. S. Oliveira; D. B. B. Rodrigues e T. A. Sobrinho (2010) Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 30, n. 1, p. 46-57.
- Batista, G. T.; C. S. Catelani e M. S. Targa (2004) Uso do geoprocessamento na determinação da distância entre estradas rurais e a drenagem de uma microbacia hidrográfica: Rio das Antas. *In: Encontro de Iniciação Científica. Livro de Resumos*. Taubaté, SP.
- Campbell, J. B. e R. H. Wynne (1996) *Introduction to remote sensing*. Ed. The Guilford Press, New York.

- Cazes, T. B.; H. L. C. Coutinho; R. Q. Feitosa e O. F. M. Gomes (2005) Detecção automática de estradas não pavimentadas em imagens de média resolução. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, p. 3511 – 3518.
- CNT (2017) *Pesquisa CNT de rodovias 2017: relatório gerencial*. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, DF.
- Fernandes, A. F. (2008) Detecção de estradas não pavimentadas com o uso de imagens orbitais de média resolução espacial. Dissertação de Mestrado. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás.
- Fontenele, H. B. (2001) Estudo para adaptação de um método de classificação de estradas não pavimentadas às condições do município de São Carlos/SP. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Góngora, I. A. G. (2010) Utilização de geossintéticos como reforço de estradas não pavimentadas: influência do tipo de reforço e do material de aterro. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- IMB (2015) *PIB dos municípios goianos – 2015*. Instituto Mauro Borges, Goiânia, GO.
- Mendes, C. A. B e J. A. Cirilo (2001) *Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação*. Ed. ABRH, Porto Alegre.
- Oliveira, P. T. S.; D. B. B. Rodrigues; T. A. Sobrinho e J. L. Steffen (2010) Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 8, p. 819-825.
- Papa, J. P. (2008) Classificação supervisionada de padrões utilizando floresta de caminhos ótimos. Tese de Doutorado. Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas.
- Viviani, E. (1998) A utilização de um sistema de informação geográfica como auxílio à gerência de manutenção de estradas rurais não-pavimentadas. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Bruno de Paula Silva (brunodepaula_1998@hotmail.com).

Alex Mota dos Santos (alex.geotecnologias@gmail.com).

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Goiás.

Rua Mucuri, s/n – Setor Conde dos Arcos, Aparecida de Goiânia – GO, 74968-755.