

GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AREIAS, NO ESTADO DO TOCANTINS, BRASIL

Arnon Batista Nunes

Professor do Instituto Federal do Piauí, Mestrando em Geografia no Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal/Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia
E-mail: arnonge@ufu.br

Emerson Figueiredo Leite

Professor da Unidade II/Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Doutorado em Geografia pelo Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia
E-mail: emerson.leite@ufms.br

Resumo: Esta pesquisa apresenta um mapeamento com apoio de técnicas de Geoprocessamento por meio de (SIGs) – Sistemas de Informações Geográficas no estudo de erosão, com fins de analisar e caracterizar os aspectos físicos e ambientais da hidrográfica do Rio Areias, Tocantins, com apoio de técnicas de Geoprocessamento. Essa pesquisa foi baseada na combinação de elementos relacionados à erosão através de procedimentos operacionais a partir de (SIGs) gratuitos. Para as avaliações de erosividade média anual foram realizadas procedimentos geoestatísticos de interpolação no *software QGIS*, estes partiram de dados climatológicos de precipitação das estações climatológicas circunvizinhas da área de estudo utilizando-se o interpolador IDW – (Inverso do Quadrado da Distância). A partir dos mapas de erodibilidade dos solos e de declividade foi determinado o mapa preliminar das áreas de suscetibilidade à erosão laminar. O resultado final foi à carta de síntese que expressa informações das fragilidades a erosão laminar e indicações do potencial a erosão laminar, o qual se correlaciona diretamente da integração do uso, ocupação e cobertura do solo com a suscetibilidade dos terrenos em desenvolver erosão laminar. Deste resultado notou – se que o médio potencial está associado às classes de cobertura e uso da Terra que incluem as culturas anuais, tais como: soja, milho e outros. Cabe ressaltar que o uso supracitado do solo apesar de ser incompatível com suscetibilidade à erosão laminar é possível de ser controlada com práticas conservacionistas adequadas.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Erosão laminar; Geoprocessamento.

GEOPROCESSING APPLIED TO THE STUDY OF PHYSICAL AND ENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION OF THE CATCHMENT AREA OF THE RIVER SANDS, IN TOCANTINS STATE

Abstract: This research presents a mapping with the support of Geoprocessing techniques by means of (SIGs) - Geographic Information Systems in the study of erosion, with the purpose of analyzing and characterizing the physical and environmental aspects of the Areias River, Tocantins river basin, with support of Geoprocessing techniques. This research was based on combining elements related to erosion through free operating procedures (SIGs). For the annual mean erosivity assessments, geostatistical interpolation procedures were performed in the QGIS software, which started from precipitation climatological data of the surrounding climatological stations of the study area using the IDW - (Inverse of Distance Square) interpolator. From the soil erodibility and slope maps, the preliminary map of areas of susceptibility to laminar erosion was determined. The final result was the letter of synthesis that expresses information on the weaknesses of the laminar erosion and indications of the potential for laminar erosion, which correlates directly with the integration of land use, occupation and cover with the susceptibility of the lands to develop laminar erosion. From this result it

was noticed that the average potential is associated to the classes of coverage and use of the Earth that include the annual crops, such as: soybean, corn and others. It should be noted that the aforementioned use of the soil despite being incompatible with susceptibility to laminar erosion is possible to be controlled with adequate conservation practices.

Key-words: The Water Catchment Area; Laminar erosion; Geoprocessing.

Introdução

No artigo em evidência, apresenta-se um resultado da aplicação de técnicas de geoprocessamento no estudo de erosão por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), com fins de determinar a suscetibilidade a erosão laminar e, mais além, expõe a carta de potencial à erosão laminar da bacia hidrográfica do rio areias, no estado do Tocantins.

O avanço da tecnologia de Sensoriamento Remoto e o uso de SIG's, no século 21 proporcionaram diferentes aplicações de modelos geoestatísticos que utiliza de variáveis correlacionadas a erosão dos solos, como por exemplo, os estudos de Equação Universal de Perdas de Solo EUPS, suscetibilidade a movimento massa, desastres naturais, cartografia geotécnica dentre outros.

Para Meneses (2012), o acelerado avanço que o Sensoriamento Remoto se desenvolveu em poucas décadas deve-se à evolução nos meios de se observar a Terra numa escala global e periódica e na rapidez da monitoração dos fenômenos dinâmicos e das mudanças das feições terrestres. A determinação das fragilidades ou potencialidades por meio de geoprocessamento traz a possibilidade de uma análise integrada da paisagem, sob uma perspectiva da análise ambiental integrada dos componentes físicos da paisagem.

Nesse sentido, a análise espacial da distribuição da suscetibilidade a erosão laminar e a carta potencial, constituem um produto cartográfico a ser utilizado no zoneamento ambiental que trata-se de um instrumento de ordenamento territorial que permite apontar diretrizes para o planejamento ambiental e orientar os parâmetros de ocupação de um determinado espaço geográfico, sendo este um elemento básico de auxílio na tomada de decisão por parte dos planejadores, ao se detectar por meio destes estudos as potencialidades e fragilidades de um determinado território, seja ele uma bacia hidrográfica ou um município.

De acordo com Guerra (2005), o processo erosivo causado pela água da chuva tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta.

A aplicação do geoprocessamento nos modelos de estudos da erosão, segundo Araújo (1996, p. 30), pode ser efetuada com a utilização de (SIG's), que possibilita a obtenção de resultados na forma de mapas com a distribuição espacial da erosão na área estudada.

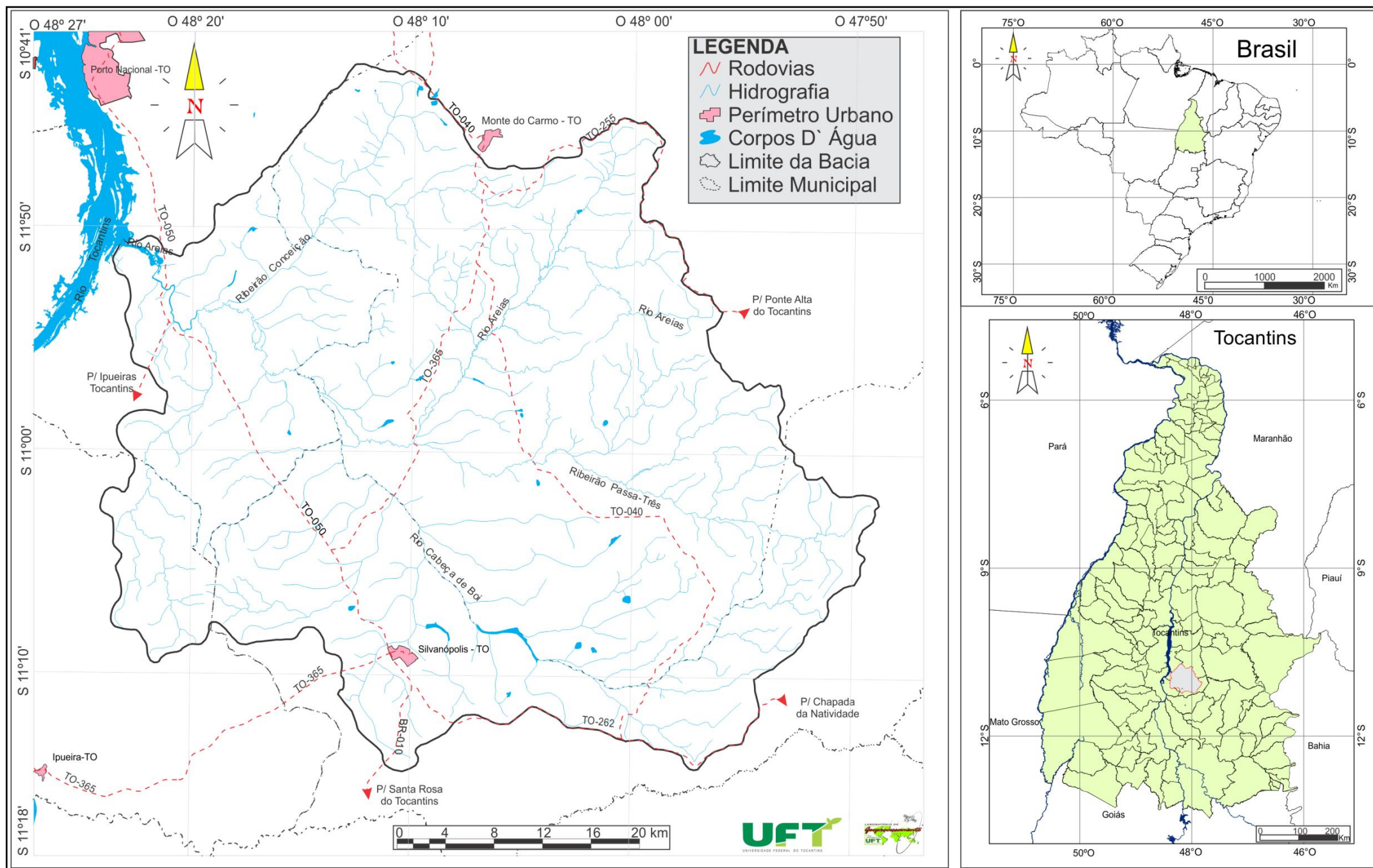
Considerando que o solo como recurso natural proporciona ao homem o cultivo de alimento

para seu sustento, Bertoni e Lombardi (1999, p. 73), salientam que o homem, ao explorar o solo, destrói a vegetação protetora, rompe com o arado a superfície do terreno para semear as espécies vegetais úteis às suas necessidades de alimentação e abrigo e submete terra a aração periódica com as ferramentas de preparo do solo, então o processo erosivo adquire velocidade e intensidade.

A área adotada para estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Areias, no Estado do Tocantins. Esta bacia possui uma área aproximada de 239.700,0000 hectares. Abrange áreas territoriais dos municípios de Porto Nacional Tocantins, Monte do Carmo Tocantins, Silvanópolis do Tocantins e Ipueiras do Tocantins Figura 1. Conforme caracterizado pela Secretaria de Planejamento e Orçamento do Tocantins SEPLAN (2008), a bacia situa-se na regionalização climática *C2wa'a'* – caracterizado como clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada. No médio e baixo curso, a bacia hidrográfica caracteriza-se pela presença de vastas áreas de relevo plano com declividade <6%, na unidade de relevo depressão no médio Tocantins, essa área é marcada pela presença de Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA).

Já no sentido (NW-SE), a área de estudo caracteriza pela predominância de Plintossolos Pétricos (FF) coincidindo respectivamente com a unidade geológica caracterizada pelo CPRM, (2004) como Formação Pimenteiras: Grupo Canindé, essa é a penúltima formação do período Devoniano da era *EON* Paleozóico, da Bacia sedimentar do Parnaíba, tendo litologias de argilito e siltito com intercalações de arenito ferruginoso e lentes de conglomerado basal com idade de 389 m.a.

Figura 1: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Areias, Tocantins



Metodologia do Trabalho

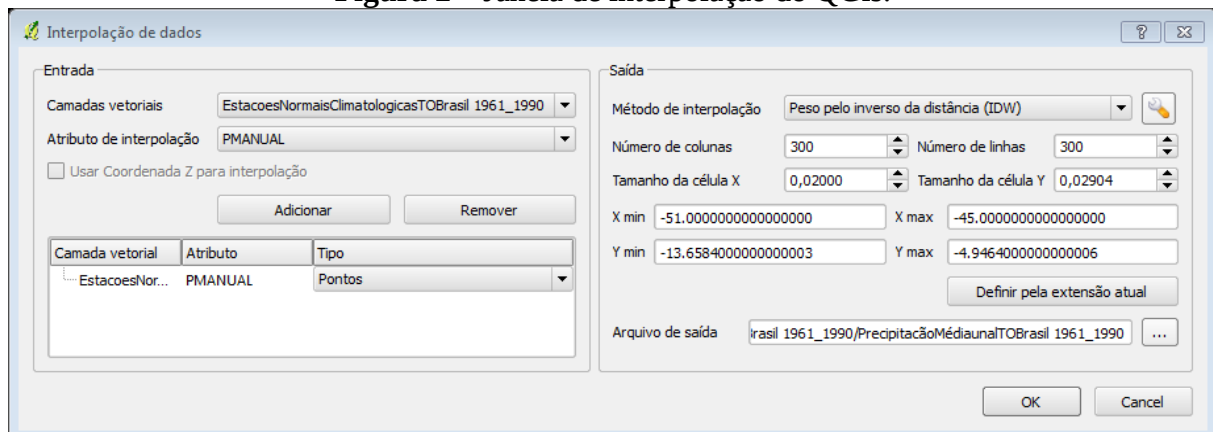
Na preparação de base cartográfica e temática, foram (compilados) os mapas Geológicos, Geomorfológicos e Pedológicos. Este procedimento é descrito pelo IBGE (1998, p. 107), como o método utilizado para atualização a partir de documentação cartográfica existente sendo denominada (compilação), o qual visa essencialmente analisar os documentos cartográficos já existentes em outros órgãos que trabalham na produção de cartas e mapas.

As principais características geológicas da Bacia do Rio Areias foram compiladas de dados geográficos em formato *shapefile* referentes às litologias das folhas: (SC-22 e SC-23), originários do Programa Geologia do Brasil, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na escala de 1/1.000. 000, disponibilizados gratuitamente no *site* (CPRM).

O mapa de solos foi confeccionado a partir dos dados de Pedologia adquiridos via *Download no Site* (SEPLAN), sendo estes referentes a da Base de Dados Geográficos do Tocantins - atualização 2012, disponíveis no formato *shapefile*, em escala de 1:1. 000.000.

Os estudos climáticos foram elaborados a partir dos dados climatológicos conforme Tabela 1 das normais climatológicas do Brasil, período 1961-1990, através de métodos geoestatísticos de interpolação, (IDW), – Inverso do Quadrado da Distância no *software Quantum GIS Desktop* (1.8.0), conforme Figura 2.

Figura 2 – Janela de interpolação do QGis.



Fonte: elaborado pelo autor.

Por meio da relação da equação $E = 6,866 (p^2/P)^{0,85}$ com base nos dados de precipitação média mensal (p) e na precipitação média anual (P), usando desta equação ao analisar os dados dos anos 1961 a 1990, estabeleceu – se os valores de erosividade da chuva para setes estações ao entorno da bacia hidrográfica do Rio Areias, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Dados Climatológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Areias, Tocantins.

Estação climatológica	Precipitação Média anual (P)	Precipitação Média mensal (p)	Erosividade (E)
Porto Nacional – TO	1601	134,5	53,926
Palmas – TO	1301,2	108,4	44,572
Paranã – TO	1298,2	108,4	44,659
Pedro Afonso – TO	1720,5	143,3	56,496
Peixe – TO	1601,1	133,4	53,176
Taguatinga – TO	1615,2	134,9	53,794
Alto Parnaíba – MA	1378,9	114,9	46,843

Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, (2009).

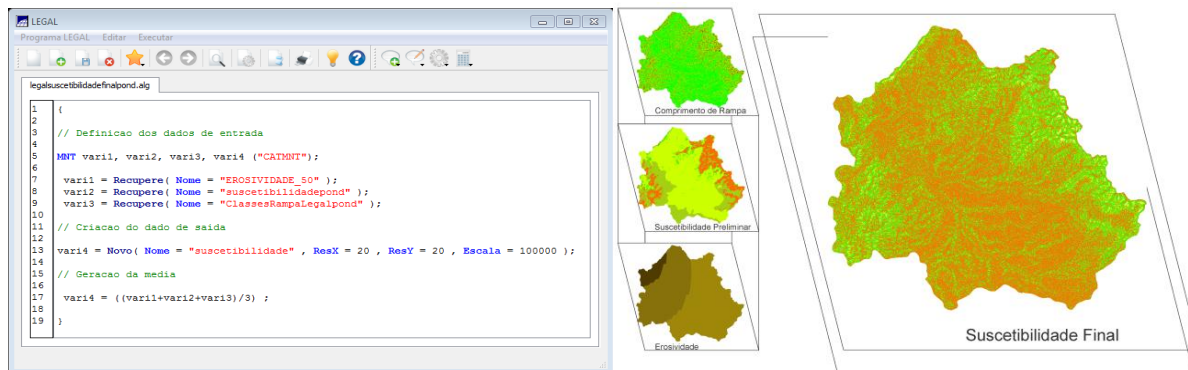
Concluída o procedimento de interpolação no *Quantum GIS* a imagem foi exportada em formato *raster*, e na sequência importada para um banco de dados geográficos do *Spring* no modelo (MNT), em seguida sendo fatiado em classes temáticas, contendo a variância numérica resultado da interpolação.

A partir da formulação metodológica para cálculo da erosividade média anual os dados foram adicionados ao arquivo de *shapefile* no *software Quantum GIS*, em seguida, gerou – se o mapa dos dados numéricos utilizando o interpolador (IDW), sendo importado para um banco de dados geográficos no *software Spring*. Deste arquivo gerou – se o mapa final de erosividade da bacia hidrográfica do Rio Areias.

Para definição dos pesos de declividade e comprimento de rampa foi aplicado o cálculo que determina o fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solos EUPS. Essa equação é empregada para a determinação do fator (LS) descrito que foi adaptada por Bertoni e Lombardi Neto (2008), na aplicação da EUPS. Tal equação permite calcular as perdas médias de solos para vários graus de declives e comprimento de rampa, expressa por $LS=0,00984 \cdot (L^{0,63}) \cdot (S^{1,18})$, onde LS= Fator topográfico; L = Comprimento de rampa em m; S - declive em percentagem.

A partir dos mapas de erodibilidade dos solos e declividade das encostas, foi determinado o mapa preliminar de estimativa das áreas de suscetibilidade à erosão laminar, sendo este conferido com visualização em campo objetivando a confirmação e ajustes necessários na definição das classes de suscetibilidade, posteriormente, essas informações foram correlacionadas através da LEGAL, Figura 4, com: erosividade e comprimento de rampa dando origem ao mapa final de suscetibilidade a erosão laminar.

Figura 3 - Operação de cruzamento matricial em LEGAL no Spring na confecção do mapa final de suscetibilidade



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a confecção do mapa de cobertura e uso da Terra foi utilizada a imagem do satélite *Resourcesat* – sensor P6-LISS3. Este satélite possui resolução espacial de 23,5m, a cena escolhida data de 10 abril do ano de 2012, órbita ponto 327/084-L2, na composição colorida das bandas espectrais 3R4G2B.

Segundo Moreira (2011), esse método utiliza as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade para as classes apontadas no treinamento. Em seguida, avalia, para cada região, a distância de *Bhattacharya* entre as classes.

Conforme Câmara (1996), a medida da distância de *Bhattacharya* é usada neste classificador para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. Para o autor, o princípio é análogo ao utilizado para o classificador *Isoseg*, porém a medida de distância usada é a distância de *Bhattacharya*, ao contrário do *Isoseg* que é automático, requer interação do usuário através do treinamento, neste caso, as amostras serão as regiões formadas na segmentação de imagens.

O potencial à erosão laminar pode assim ser definido como o resultado da integração entre a suscetibilidade dos terrenos em desenvolver erosão e a ocupação atual, para tanto segundo Salomão (2005) cita que o critério adotado para o estabelecimento das classes de ocupação deverá ser o porte da cobertura vegetal e a intensidade da ação antrópica no manejo da terra. O autor ainda explica que por meio do cruzamento matricial das classes de suscetibilidade à erosão laminar com as classes de Uso e Ocupação da Terra, será possível a determinação de três classes de potencial atual à erosão laminar, conforme Quadro 1

Na metodologia Salomão (2005) o autor define que a carta potencial à erosão laminar terá como resultado três classes, que são expressas no mapa final de potencial à erosão laminar representando o alto potencial, médio potencial e baixo potencial, sendo descritas com as seguintes recomendações: classe I: alto potencial – uso atual do solo incompatível com a

Geoprocessamento aplicado ao estudo de caracterização física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Areias, no estado do Tocantins, Brasil

suscetibilidade à erosão laminar; classe II: médio potencial – uso atual do solo incompatível com suscetibilidade à erosão laminar, possível de ser controlada com práticas conservacionistas adequadas; classe III: baixo potencial – uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão laminar.

Quadro 1 – Matriz de definição das classes de potencial à erosão laminar.

Suscetibilidade à Erosão Laminar	Cobertura, uso e ocupação atual da Terra				
	1. Muito forte	2. Forte	3. Médio	4. Fraco	5. Muito fraco
1. Extremamente suscetível	I	I	I	II	–
2. Muito suscetível	I	II	II	III	–
3. Modernamente suscetível	II	II	II	III	–
4. Pouco suscetível	II	III	III	III	–
5. Pouco ou não suscetível	III	III	III	III	III

Fonte: Baseado em Salomão (2005) e (IPT-1999), Autor: Arnon Batista Nunes, 2013.

Resultados e discussão

De acordo com o CPRM (2004) a área de estudo é caracterizada pelos aspectos de unidades geológicas distribuídas entre as eras do Paleoproterozóico ao Cenozóico, com idade máxima de mais ou menos (2500 Ma), representadas por: Coberturas Detrito-Lateríticas ferruginosas, Depósitos aluvionares, Pimenteiras, Grupo Canindé, Corpo Granito Lajeado, Granito Areias, Granitóide Carmo, Santa Tereza, Ortognaisses do Oeste de Goiás, Gabro-Anortositica Carreira Comprida, Monte do Carmo, e Rio dos Mangues, Quadro 2 e Figura 6.

As primeiras classes geológicas correspondem a suítes graníticas anorogênicas da Formação Monte do Carmo, Carbo Careira Comprida e Complexo Rio dos Mangues, de idade do período Riaciano da era Paleoproterozóico.

As classes seguintes situam – se na região (SE) da bacia que coincidem respectivamente com a maioria das nascentes, caracterizada pela unidade Ortognaisse Oeste de Goiás, marcada pela presença de litologias compostas por biotita gnaisse, de composição granítica a tonalítica, do Período Toniano (899 7 - 856 13 Ma), no final da era Neoproterozóico.

Quadro 2: Coluna estratigráfica da Bacia do Rio Areias, Tocantins

PROVÍNCIA TOCANTINS							
EON	ERA	PERÍODO	EPOCA	IDADE (Ma)	SIMBOLOGIA	UNIDADE E HIERARQUIA	LITOLOGIA
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	NEOGENO	MIOCENO		N1dl	Coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas	Arenito e conglomerado.
			HOLOCENO		Q2a	Depósitos aluvionares	Sedimento arenoso e argiloso-arenoso localmente com areia, argila e lentes de cascalho.
	PALEOZÓICO	DEVONIANO	MÚDIO	375 a 389	D2p	Formação: Pimenteiras, Grupo (Canindé)	Argilito e siltito com intercalações de arenito ferruginoso e lentes de conglomerado basal
PROTEROZÓICO	NEOPROTEROZÓICO	EDIACARANO		546	NP3_gamma_2la	Corpo: Granito Lajeado	Granito, álcaligranito, granito pórfiro e granitoide.
				541 a 547	NP3_gamma_2 ^a	Corpo: Granito Areias	Granito, álcaligranito, granito pórfiro e granitoide.
				541 a 611	NP3_gamma_2cr	Corpo: Granitóide Carmo	Granito, álcaligranito, granito pórfiro e granitoide.
				541 a 650	NP3_gamma_2st	Suíte: Santa Tereza	Alcaligranito porfirítico, leucogranito e tonalito.
	TONIANO	856 a 899		NP1_gamma_1gn	Unidade: Ortognaisses do Oeste de Goiás	Biotita gnaiss, de composição granítica a tonalítica.	
	PALEOPROTEROZÓICO	RIACIANO		2051 a 2071	PP2_delta_cc	Suíte: Gabro-Anortositica Carreira Comprida	Metanorito, metadiorito, metanortosito, metaquartzodiorito, metatonalito, metagabro, metagabronorito e piroxenito.
				2020 a 2127	PP2_gamma_rm	Complexo: Rio dos Mangues	Ortognaiss tonalítico a granodiorítico, parcialmente migmatizado, anfibolito e granitoide.
				2020 a 2130	PP23mca	Formação: Monte do Carmo	Riolito, riocacito, dacito, Arenito e conglomerado

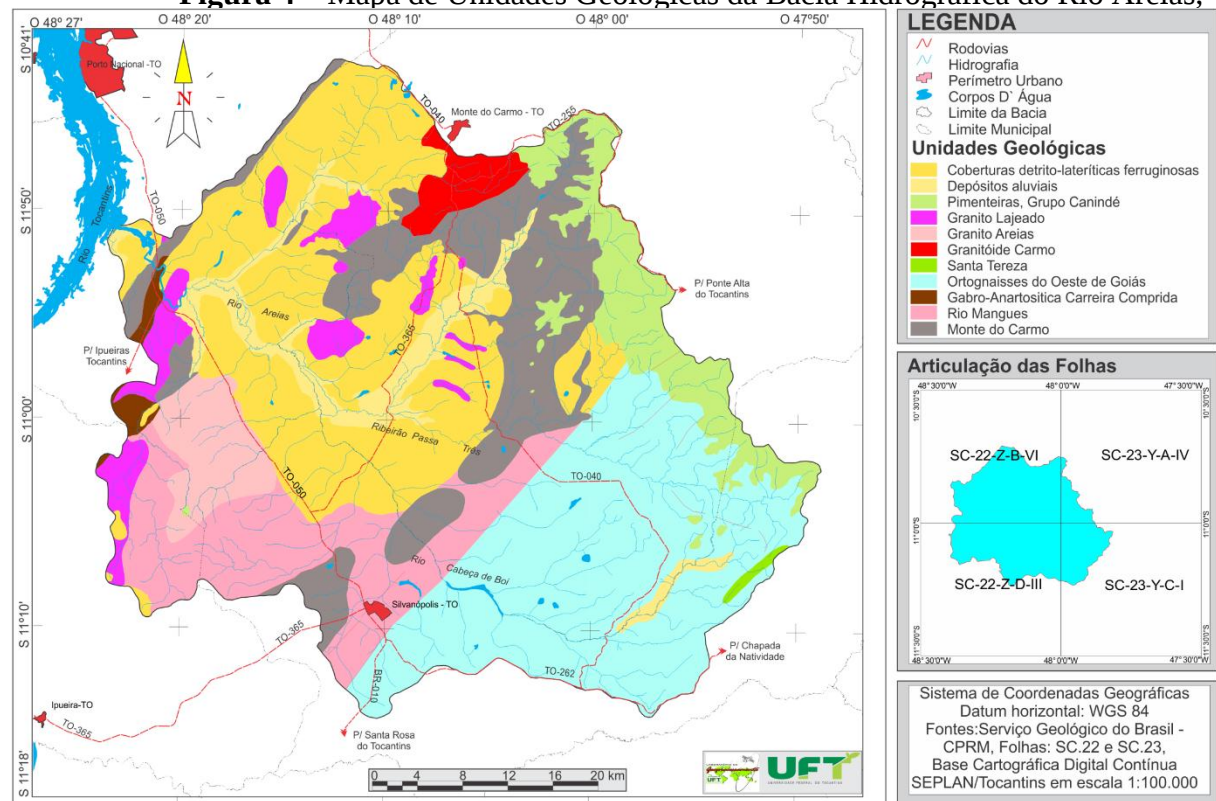
Fonte: (CPRM 2004), Autor: Arnon Batista Nunes, 2013.

A Terceira hierarquia de deposição e composta por Granitos *Sin A Tardiorogenéticos Brasileiro III*, caracterizada pela (Suíte Santa Tereza) – alcaligranito porfirítico, (corpo Lajeado, Areias, Granitóide Carmo) – leucogranito e tonalito, granito, álcaligranito, granito

pórfiro e granitoide, o qual são rochas do (Neoproterozóico III) – primeiro período referente à era Neoproterozóico.

A quarta sequência de unidades geológicas situa – se no sentido (NW-SE) da área de estudo caracteriza pela (formação Pimenteiras, Grupo Canindé) essa é a penúltima formação do período Devoniano da era *EON* Paleozóico, da Bacia sedimentar do Parnaíba com idade de 389 m.a, tendo litologias de argilito e siltito com intercalações de arenito ferruginoso e lentes de conglomerado basal.

Figura 4 – Mapa de Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Areias,



Fonte: (CPRM 2004), Autor: Arnon Batista Nunes, 2013.

Conforme o mapa de unidade geológicas do médio ao baixo curso da bacia Hidrográfica do Rio Areias, a Geologia caracteriza pelas pela unidade de (N1dl) Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas - arenito e conglomerado, caracterizado como material residual superficial e sedimento inconsolidado (Figura 6) estes tipos de cobertura são fortemente presentes na bacia o qual representam remanescentes de crostas Lateríticas, situadas em áreas de Latossolos Vermelho-Amarelos em altitudes que variam de 200 a 300 metros.

Figura 5 – Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas.

Foto: Arnon Batista Nunes, 2013.

Já a classe (Q2a) - Depósitos Aluvionares – sedimento arenoso e argiloso-arenoso localmente com areia, argila e lentes de cascalho, característicos de sistemas de sedimentação de Leque aluvial e Fluvial anastomosado, essas duas unidades, pertence ao (Pleistoceno e Holoceno), do Período Quaternário da Era Cenozóico, sem idade definida.

Em trabalhos de mapeamentos geomorfológicos do Tocantins realizado pela SEPLAN (2012) a geomorfologia da bacia do Rio Areias caracteriza-se por Domínios morfoestruturais: (Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas) – Planalto Dissecado do Tocantins, (Depósitos Sedimentares Inconsolidados) – Planícies Fluviais, (Embasamentos em Estilos Complexos) – Depressão do Alto Tocantins, (Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares) – Serras de Santo Antônio - João Damião.

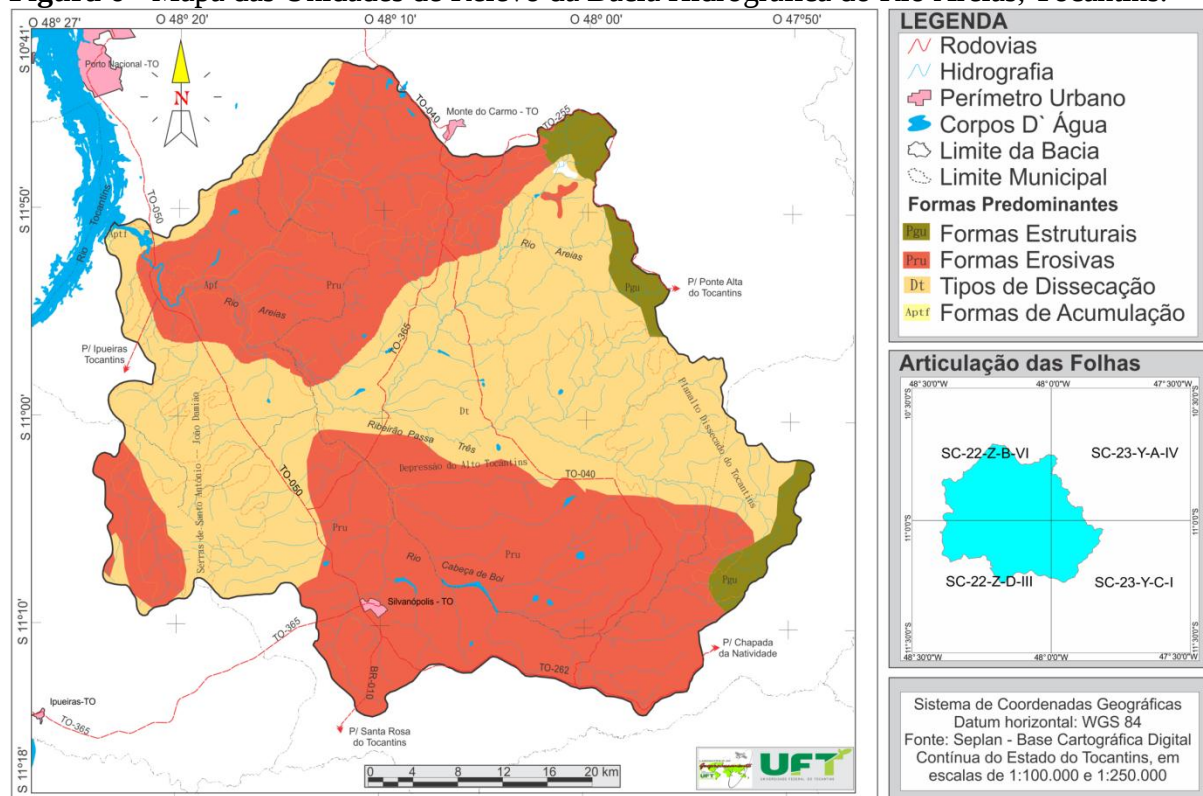
A unidade Planalto Dissecado do Tocantins, em trabalhos delineados pelo projeto RADAM/BRASIL (1974), CPRM, (2004) e SEPLAN (2012), está constituída pela representação de relevos residuais de altitudes médias entre 300 a 750 metros, correspondendo as Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas, Figura. 6.

As Serras de Santo Antônio e João Damião – caracterizadas por Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas, descritas em trabalhos efetuados pelo projeto Radam/Brasil (1974), CPRM, (2004) e SEPLAN (2012), possuem áreas de nascentes onde prevalece o padrão dendrítico de rede de drenagem em elevações que variam de 350 a 650 metros de altitude, caracteriza-se pela presença de Tipos de dissecação: Dissecação Homogênea com Feições do Topo Tabulares – (Dt) e Formas erosivas: Aplanamento de Pediplano Degradado Inumado – (Pru), Figura 6.

Na bacia do Rio Areias essa classe geomorfológica situa – se no sentido NE-SW onde são encontradas formas estruturais Aplanamento de Pediplano Degradado Desnudado – (Pgu) e tipos de Dissecção Homogênea com Feições do Topo Tabulares – (Dt), sobre rochas sedimentares da (formação Pimenteiras) em rochas (Argilito e siltito com intercalações de arenito ferruginoso e lentes de conglomerado basal) essa unidade está caracterizada pela predominância de litologias do final do período devoniano, pertencentes à borda da Bacia Sedimentar do Parnaíba.

A unidade Depressão do Alto Tocantins – é marcada pela altitude que varia de 150 a 350, caracteriza por Embasamentos em Estilos Complexos, tendo como formas estruturais: (Pgu) – Aplanamento de Pediplano Retocado Desnudado e Tipos de dissecção: (Dt) – Dissecção Homogênea com Feições do Topo Tabulares. Esta Unidade configura por extensas áreas em relevos declividade que varia de 0 a 12% prevalece Latossolos Vermelho Amarelo, Latossolos vermelho e Plintossolos Pétricos, conforme figura 7.

Figura 6 - Mapa das Unidades de Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Areias, Tocantins.



Fonte: SEPLAN, 2012. **Autor:** Arnon Batista Nunes, 2013.

As Planícies Fluviais – distinguir-se por Formas de acumulação (Aptf) Acumulação Fluvial de Planície e Terraço, tendo como predominância os Gleissolos Háplicos, localizada as margens dos cursos d'água, sobretudo em áreas de Depósitos aluvionares: (Sedimento

arenoso e argiloso-arenoso localmente com areia, argila e lentes de cascalho) são áreas de acumulação fluvial de forma plana em declividades de 0 a 6%, caracterizada pela em vegetação densa como Mata de Galeria ou Veredas (Figura 9).

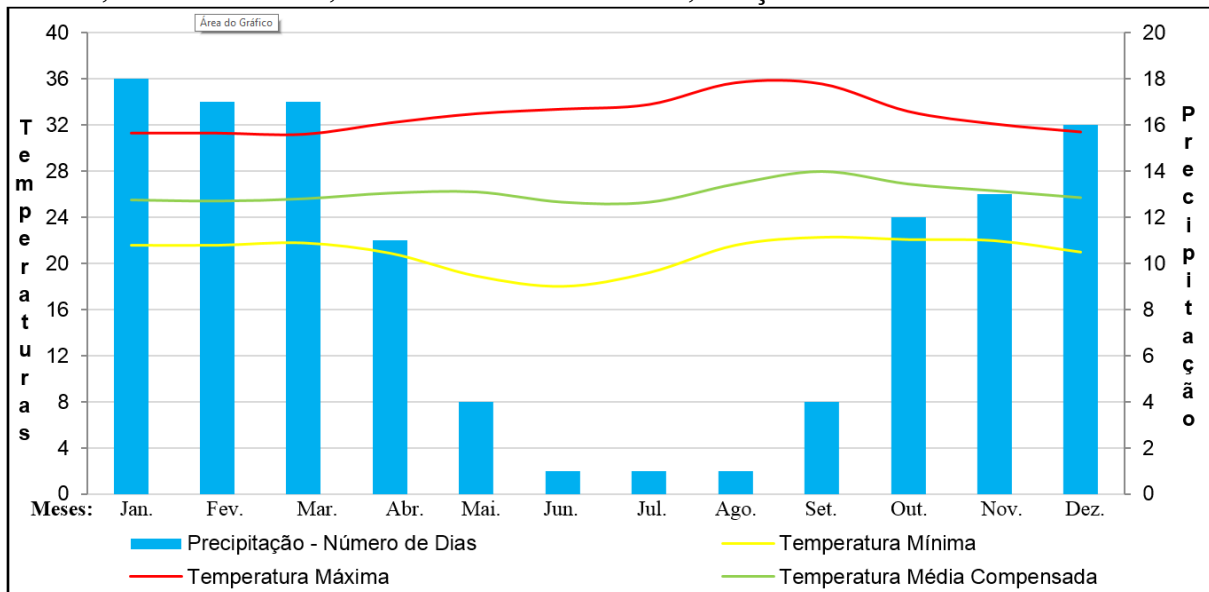
Figura 7 - Vereda na área em planície Fluvial.



Foto: Arnon Batista Nunes, 2013.

Conforme caracterizado pela SEPLAN –TO (2012), a Bacia hidrográfica do Rio Areias, situa-se na regionalização climática C2wA'a' – caracterizado como clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada (Figura 9).

Figura 8 – Gráfico com as médias mensais de número de dias de precipitação, temperatura mínima, máxima e média, dos últimos trinta dos anos, estação de Porto Nacional - TO.



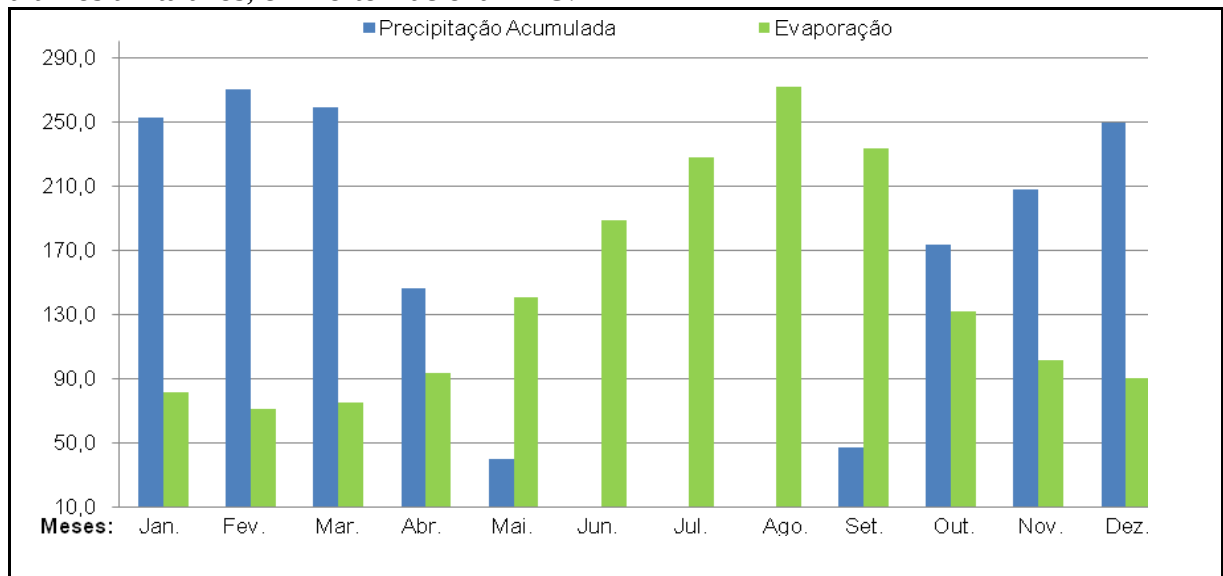
Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, (2009).

A partir da análise dos dados das Normais Climatológicas 1961-1990, pode-se ter noção da variabilidade da temperatura e do número de dias chuvosos dos dados referentes à estação climatológica de Porto Nacional Tocantins, no qual se observa o maior acúmulo de dias dos meses de novembro a março, já a temperatura máxima tem uma variação de 31.3 a 35°C, nas médias anuais de Porto Nacional, conforme o Figura 10.

Como pode ser observado na figura 10, há uma demonstração dos dados de precipitação acumulada e evaporação em Porto Nacional ilustrando uma situação atípica do clima semiúmido com 4 a 5 meses secos, esse clima característico da zona tropical do Brasil central, sendo essa região quente com (média > 18° C em todos os meses do ano).

Ainda de acordo com figura 9, é possível obter uma compreensão da situação de precipitação acumulada dos últimos trinta anos, em que os meses de destaque das chuvas observadas são de outubro a março, enquanto a evaporação situa – se mais elevada nos meses consequentemente mais quentes e poucos chuvosos como podemos verificar no referido gráfico. A maior evaporação, sobretudo, nos meses de junho agosto e setembro, varia de 188 a 271 mm, já os demais meses prevalecem variando de 70 a 130 mm.

Figura 9 – Gráfico com dados de Precipitação acumulada e evaporação média mensal dos últimos trinta anos, em Porto Nacional –TO.



Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, (2009).

Na área de estudo foram mapeados os seguintes tipos de solos: Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos, Neossolos Litólicos, Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos Háplicos. Estes solos são apresentados na figura 11.

Os solos da classe Neossolos Quartzarênicos ocupam uma área que corresponde a cerca de 1,17% da área total. Segundo a Embrapa (2009 p. 212), esta classe apresenta “solos sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até contato lítico que são essencialmente quartzosos”.

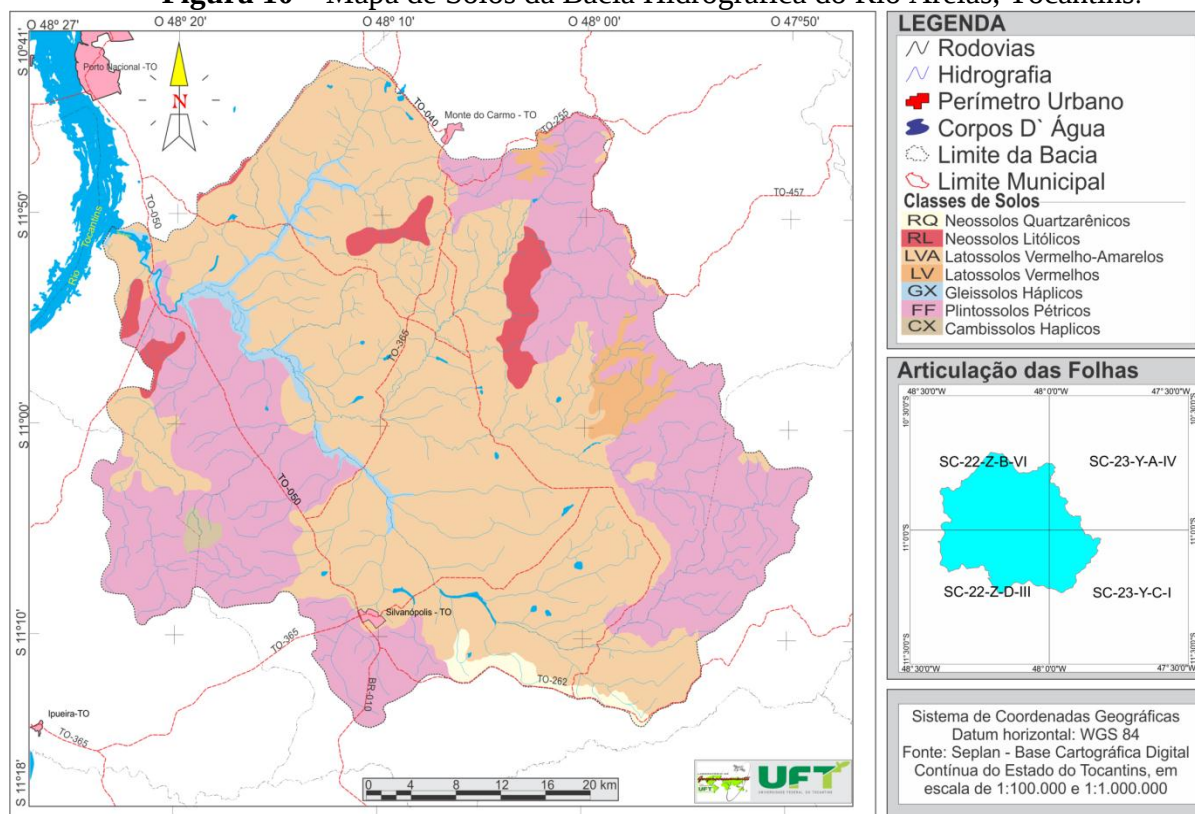
Os solos da classe Gleissolos compreendem solos hidromórficos, constituídos por material mineral que apresentam horizonte glei dentro dos primeiros 150 cm da superfície do solo. Essa classe de solo encontra-se nas proximidades dos cursos d’água da bacia Hidrográfica. Tal classe refere-se à Gleissolos Háplicos, representando 2,19% da área da bacia. São os que se caracterizam pela forte gleização a qual implica na manifestação de cores acinzentadas, devido à redução e solubilização do ferro, permitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila, ou ainda precipitação de compostos ferrosos.

Os Neossolos Litólicos, correspondem a 2,70% do mapeamento pedológico da bacia. Conforme SBCS (2009, p. 211) este são solos com horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume), ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que

2 mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo.

Já os Latossolos Vermelho-Amarelos correspondem a 55,27 %, portanto sendo a classe de solo de maior expressividade na bacia. Segundo o IBGE (2009, p. 290) esse solo tem cores vermelho-amareladas, são profundos, com boa drenagem e normalmente baixa fertilidade natural, quando de textura argilosa são muito explorados com lavouras de grãos mecanizadas e quando de textura média são usados basicamente com pastagens”, Figura 11. Ainda, os Latossolos Vermelhos perfazem uma área de 4.818, 0000 ha ou ainda 2,01% da área total da bacia. São solos vermelhos, geralmente com grande profundidade, homogêneos, de boa drenagem e quase sempre com baixa fertilidade natural, contudo necessitam de correções químicas para aproveitamento agrícola.

Os solos da classe Cambissolos Haplicos ocupam apenas 0,37%, da área da bacia, compreendendo cerca de 897, 2000 hectares. Conforme o IBGE (2009, p. 278), estes são solos que apresentam grande variação no tocante a profundidade, ocorrendo desde rasos a profundos, além de apresentarem grande variabilidade também em relação às demais características. A drenagem varia de acentuada a imperfeita e podem apresentar qualquer tipo de horizonte A sobre um horizonte B incipiente (Bi), também de cores diversas. Muitas vezes são pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos.

Figura 10 – Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Areias, Tocantins.

Fonte: SEPLAN, 2012. Autor: Arnon Batista Nunes, 2013.

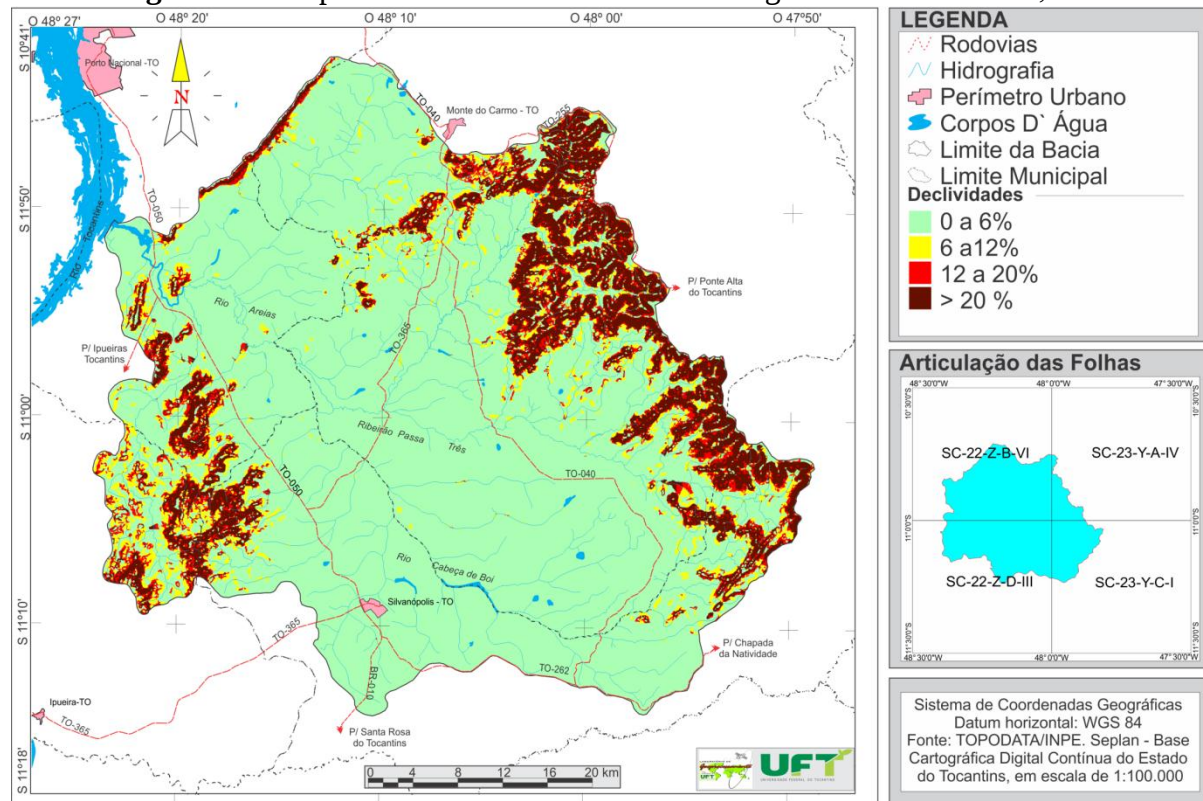
Por fim, os Plintossolos Pétricos compreendem cerca de 36,28% da área da bacia. Segundo a Embrapa (2009) são solos Concrecionários ou Concrecionários Lateríticos, geralmente de melhor drenagem, caracterizam-se pela presença no perfil dos horizontes diagnósticos concrecionário e/ou litoplântico, no entanto, geralmente são usados apenas para pastoreio extensivo quando sob vegetação campestre ou de Campo Cerrado, ou com pasto plantado com espécies forrageiras rústicas.

Conforme Valeriano (2008), a declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal seus valores podem variar de 0° a 90°, e devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), a declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial.

O mapa de declividade (Figura 12) nos mostra que a classe IV (<6%) corresponde 77,66% da área total da bacia sendo referente a 186.146,4900 ha, caracterizando por relevo plano. Enquanto o restante da área da bacia do Rio Areias corresponde a 22,38% sendo a que a classe I (>20%) representa 11,56%, apresentando-se com relevos fortemente ondulados, situados nas Serra João Damião e Serra do Carmo.

A classe II (12 a 20%) corresponde um total de 4,69% sendo caracterizados como as áreas abruptas. Por fim a classe III (6 a 12%) está correspondendo 6,09% da área total da bacia sendo área com relevo suave – ondulado (Figura 12).

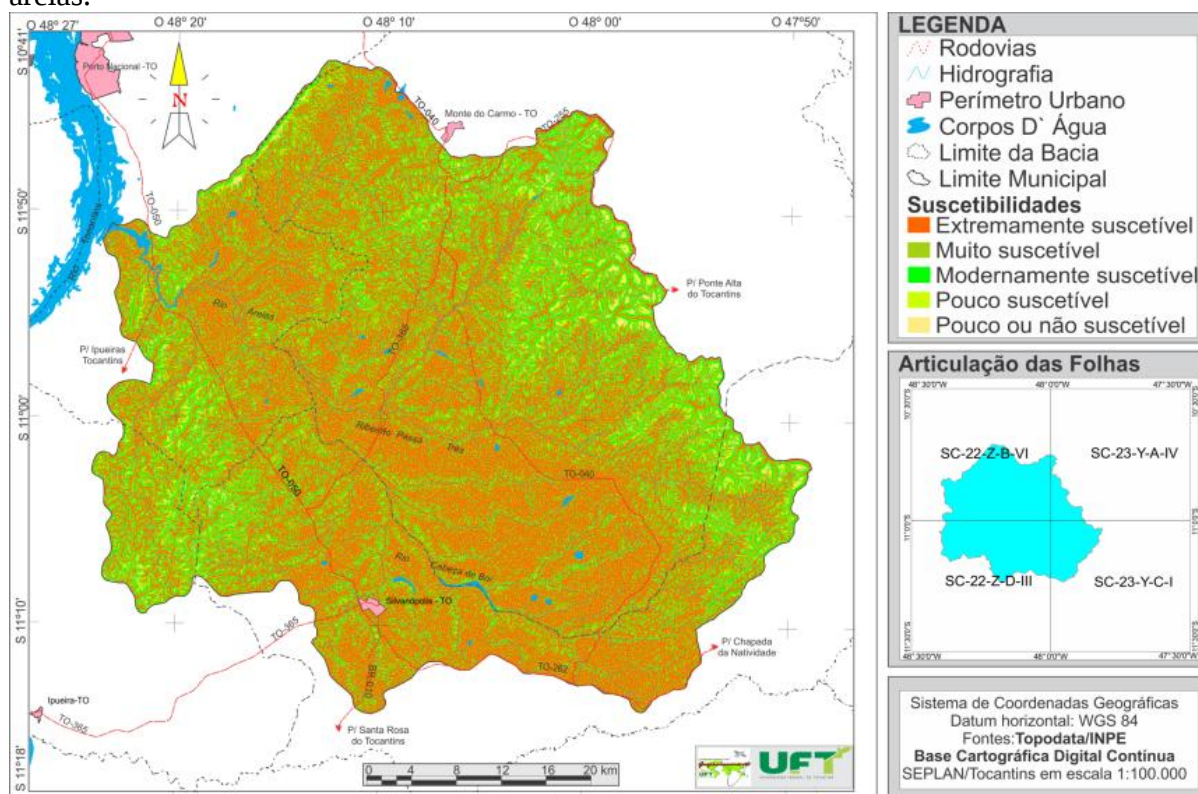
Figura 11 - Mapa de Declividades da Bacia Hidrográfica do Rio Areias, Tocantins.



Fonte: SEPLAN, 2012. Autor: Arnon Batista Nunes, 2013.

A análise do mapa de suscetibilidade a erosão laminar, (Figura 13) nos mostra que a distribuição das áreas mais suscetíveis se concentra em áreas de maiores declividades, por conseguinte, nos solos Plintossolos Pétricos, sendo que à medida que aumenta o grau de declividade acrescenta proporcionalmente o de suscetibilidade.

Figura 12 – Mapa final de suscetibilidade à erosão laminar da bacia hidrográfica do rio areias.



Fonte: SEPLAN, 2012. Autor: Arnon Batista Nunes, 2013.

O resultado do mapeamento de cobertura, uso e ocupação da Terra (Figura 14), mostra a predominância da classe pasto sujo sendo aos remanescentes de pastagens abandonadas e as formações campestres, tais como, os três tipos fisionômicos principais: Campo Sujo, Campo Rupestre e o Campo Limpo, sendo estes definidos pela Embrapa (1998, p. 130) como Campo Sujo e caracterizando-se pela presença marcante de arbustos e substratos entremeados nos estratos herbáceos.

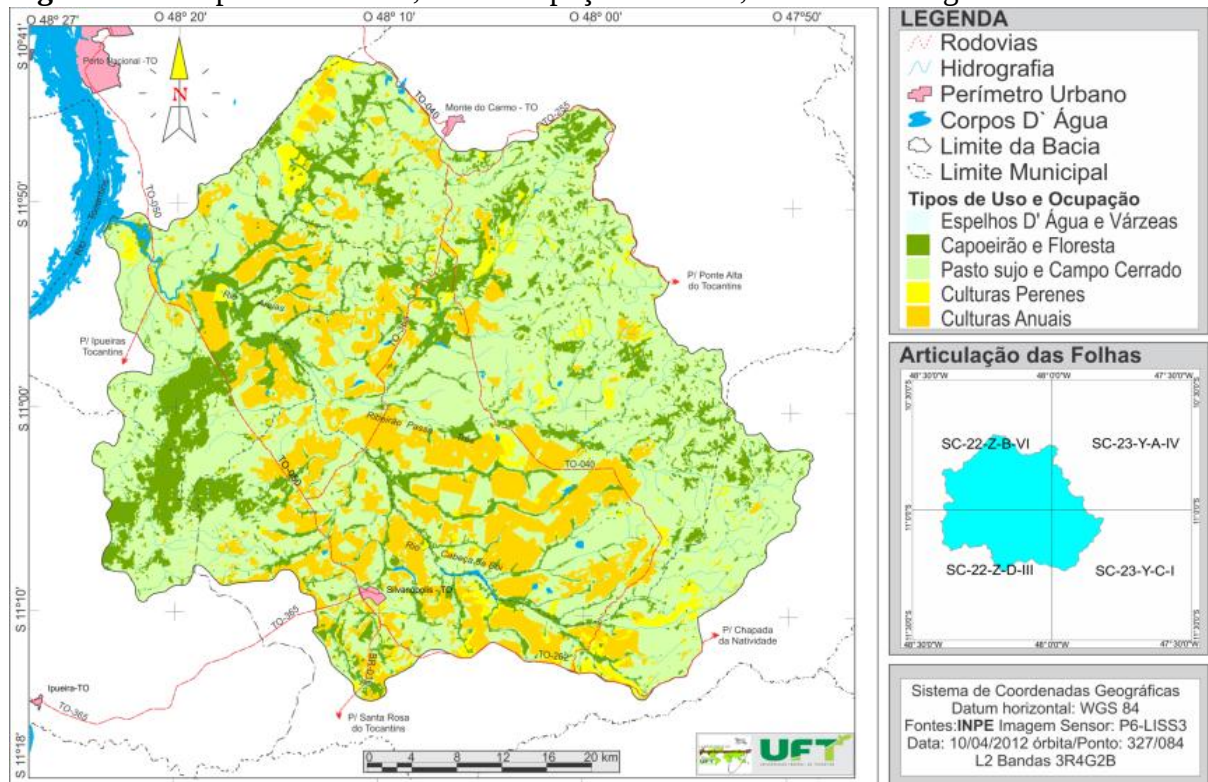
Segundo definição feita pela Embrapa (1998) o Campo Rupestre possui estrutura similar ao Campo Sujo, diferenciando-se tanto pelo estrato, composto por afloramento de rocha, quanto pela composição florística, que inclui muitos endemismos. Já no Campo Limpo, a presença de arbustos e subarbustos é insignificante o que nos permite concluir que essa classe é equivalente à vegetação de baixo porte sem floresta-de-galeria, sujeita ao fogo anual.

A classe I – Culturas anuais, representa cerca de 18.76% são geralmente lavouras alimentares para comercialização de soja, milho, e outros, tendo uma porção representativa de 449.767,200 hectares na área de estudo, sendo presente nas áreas de relevos planos associados à Latossolos Vermelho-Amarelos.

Conforme classificado, a classe II está distribuída nas lavouras semi permanentes como a mandioca e pastagens. São áreas cuja vegetação apresenta baixa e médio porte onde solo na maioria das vezes apresenta vegetação de gramíneas, com atividades antrópicas moderadas, destinadas ao pastoreio do gado. No resultado da medição de classes verifica-se que ela representa 3.72 %, a classe V, ocupa um valor abaixo cerca de 1%, pouco menos que a média das outras constituindo 3,71% sendo as áreas de espelhos d' água e várzeas.

Por fim, as áreas que compõem a classe IV representam uma porcentagem de 16.09 %, sendo capoeirão, Floresta Densa e reflorestamento, que consistem em formações arbóreas, estando distribuída nas margens dos cursos d' água da bacia hidrográfica, associados aos Gleissolos, como pode ser observado no mapa de cobertura, uso e ocupação da Terra.

Figura 13 – Mapa de cobertura, uso e ocupação da Terra, da Bacia hidrográfica do rio areias.



Fonte: SEPLAN, 2012. Autor: Arnon Batista Nunes, 2013.

Já com relação aos estudos do Potencial a Erosão Laminar, a classe I: Alto potencial – definida por Salomão (2005) como uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, por conseguinte relacionadas nas classes: extremamente suscetível à erosão laminar, juntamente com áreas de culturas anuais correspondeu a 1,62%, da área da Bacia hidrográfica do rio areias.

A classe II: Médio potencial – compreendem as classes de cobertura, uso e ocupação da Terra: Capoeirão, Floresta em áreas (Extremamente suscetível), juntamente com cobertura vegetal (Capoeirão, Floresta, Pasto sujo e Campo Cerrado) em áreas muito suscetíveis.

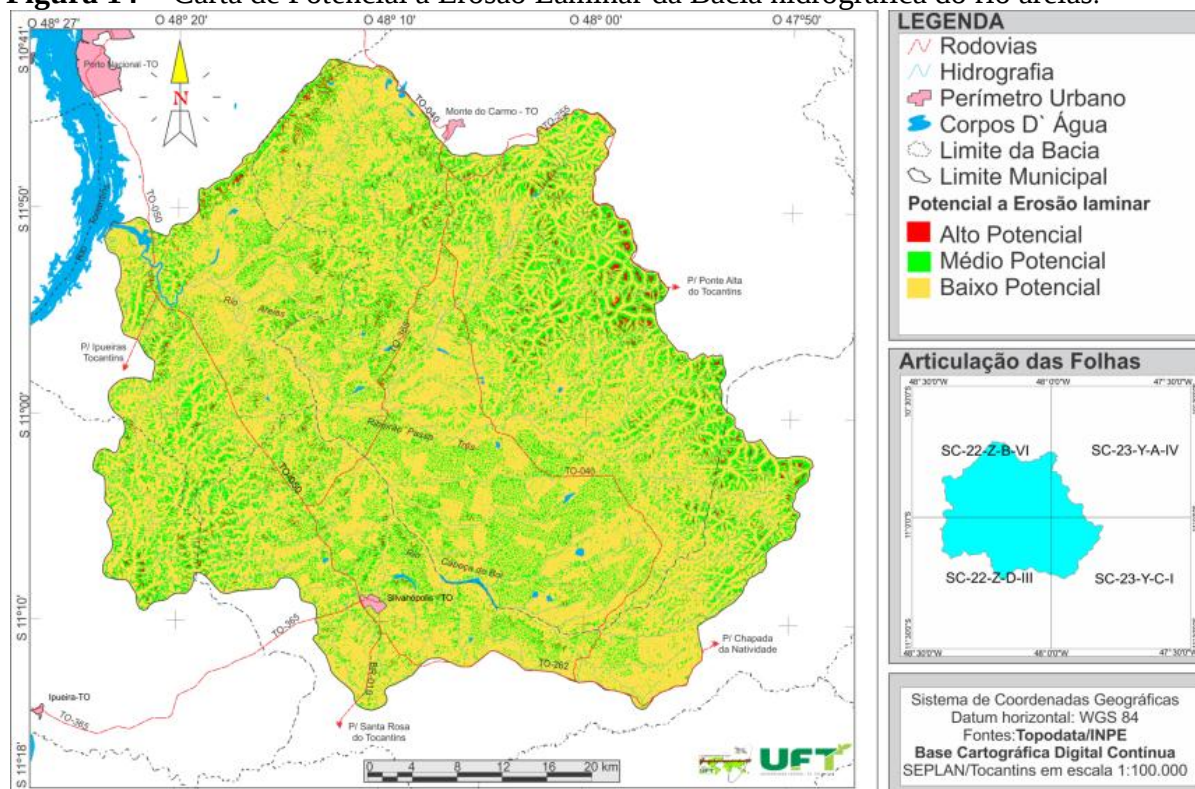
Ainda sobre o mapeamento Potencial a Erosão Laminar, (Tabela 2 e Figura 15), incluem também no (Médio potencial) a associação das classes Modernamente Suscetível e Pouco suscetível, associados a uso/ocupação e cobertura da terra, por Culturas Anuais, Culturas Perenes Pasto Sujo e Campo Cerrado, como: nos usos agrícolas de soja, milho, e outros sujeitos o uso atual do solo incompatível com suscetibilidade à erosão laminar, mas possível de ser controlada com práticas conservacionistas adequadas.

Tabela 2. Classes de Potencial à Erosão Laminar.

Potencial a Erosão Laminar	Área e hectares	Porcentagem
I : Alto Potencial	3.885,200	1,62%
II : Médio Potencial	57.668,000	24,06%
III : Baixo Potencial	178.146,800	74,32%
Área total das classes	239.700,000	100%

Fonte: SEPLAN, 2012. Autor: Arnon Batista Nunes, 2013.

Figura 14 - Carta de Potencial a Erosão Laminar da Bacia hidrográfica do rio areias.



Fonte: SEPLAN, 2012. Autor: Arnon Batista Nunes, 2013.

A classe III: baixo potencial (Figura 15), abrange todas as áreas das Pouco ou não suscetível, associados a uso/ocupação e cobertura da terra como de culturas perenes e | Geoprocessamento aplicado ao estudo de caracterização física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Areias, no estado do Tocantins, Brasil

vegetação campestres em relevos planos com declividade de 0 a 6%, e comprimentos de rampas de até 125 metros, ao qual o uso atual da terra é compatível com a suscetibilidade à erosão laminar.

Considerações Finais

Os resultados decorrentes da pesquisa mostram que os estudos por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento utilizando a LEGAL é possível chegar aos resultados com eficiência e rapidez e, assim, possibilita obter uma melhor compreensão da suscetibilidade à erosão laminar permitindo determinar o potencial à erosão laminar.

O mapeamento elaborado nessa pesquisa pode ser uma importante ferramenta na análise das condições de fragilidades ambientais da bacia, cabe ressaltar que a análise dessas informações é imprescindível aos estudos ordenamento e gestão territorial, sendo possível identificar a partir destes dados gerados a quantificação de potencial a erosão laminar.

A análise espacial da distribuição da suscetibilidade à erosão laminar pode se constituir, junto à carta potencial, em um produto cartográfico a ser utilizado no zoneamento ambiental. A configuração da determinação do resultado do potencial à erosão, caracteriza-se conforme as zonas ou áreas com variados potenciais ao desenvolvimento da suscetibilidade à erosão laminar com um mesmo nível de suscetibilidade ocupado de maneira diferente, em cobertura e uso ocupação, como o caso da classe de médio potencial que está associado às classes de cobertura e uso culturais anuais.

O mapa de suscetibilidade a erosão laminar nos mostra que a distribuição das áreas mais suscetíveis se concentra em áreas de maiores declividades, por conseguinte, nos solos Plintossolos Pétricos, sendo que à medida que aumenta o grau de declividade acrescenta proporcionalmente o de fragilidade.

Por fim, ressaltamos que este tipo de mapeamento pode ser um instrumento importante na análise das condições de fragilidades ambientais da bacia, sendo relevante aos estudos de ordenamento e gestão territorial, a ser utilizado no zoneamento ambiental, nos processos de avaliação ambientais das áreas territoriais dos municípios de Porto Nacional, Monte do Carmo, Tocantins Silvanópolis do Tocantins e Ipueiras do Tocantins.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal do Tocantins – UFT, durante a realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. P. de. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento** / Elienê Pontes de Araújo. – São José dos Campos: INPE, 2006. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.89p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999.
- BOAVENTURA, R. S. **Geomorfologia**. In: Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha SC.22 Tocantins. Rio de Janeiro: Radambrasil, 1974. (Levantamento dos Recursos Naturais).
- CÂMARA, Gilberto et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- COSTA; FIDALGO; et al. Comunicado técnico 61: **Procedimentos para elaboração de mapas de declividade e comprimento de rampa para os estados da região Sul do Brasil**. SOLOS, Embrapa. 2011. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58014/1/comtec61-elaboracao-mapas.pdf>> acesso em 19 de junho de 2016.
- DO BRASIL, CPRM-Serviço Geológico. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: **Tocantins**. 2004.
- DO BRASIL, CPRM-Serviço Geológico. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: **Rio São Francisco**. 2004.
- GUERRA, A. T.; DA SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Bertrand Brasil, 2009.
- JOÃO, J. B.. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Processos erosivos, Vertentes, Movimentos de Massa, Atividade endógena, Superfícies de erosão, Compartimentação do relevo, depósitos correlativos e Ambientes Fluviais. Vol.3. Cap.15 2003
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4.ed. – Viçosa: UFV, 2011.
- NETO, J. B. F. L. **Conservação do Solo**. São Paulo. Editora Ícone, 1999.
- PAULO, R. M. Princípios de Sensoriamento Remoto. In: Paulo Roberto Meneses & Tati de Almeida (org.) **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília 2012, 1-31.
- RAMOS, A. M; DOS SANTOS, L. A. R; FORTES, L. T. G. (Ed.). **Normais climatológicas do Brasil, 1961-1990**. Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA, 2009
- RIBEIRO, J. F. et al. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. **Cerrado: ambiente e flora**, 1998.
- ROSS, J. L. S.. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do departamento de geografia, v. 8, p. 63-74, 2011.

SALOMÃO, FX de T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA et al. **Erosão e conservação dos solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p 229-267.

SEPLAN: Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente, Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. Atlas do Tocantins. Subsídios ao planejamento da gestão territorial. 6a ed. Palmas, SEPLAN 2012.

SOLOS, Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, v. 412, 1999.