

Resultados preliminares da elaboração de um modelo digital de superfície (MDS) para a avaliação do potencial eólico em uma área do sul do Brasil

Everton de Almeida Lucas¹
Marcelo Romero de Moraes¹
Vivian Teixeira Alves Branco¹
Davidson Martins Moreira²
Alexandro Gularte Schafer¹

¹ Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
CEP 96413 – 170 - Bagé - RS, Brasil
evertonlucas1990@hotmail.com, marceloromero@unipampa.edu.br,
viviantabranco@gmail.com, alexandro.schafer@unipampa.edu.br

SENAI CIMATEC
CEP 41650-010 – Salvador – BA, Brasil
davidson.moreira@gmail.com

Abstract. This work presents the preliminary results of the development of a digital surface model (DSM), that will be used to assessing the wind potential in an area partially covered by the municipalities of Aceguá, Bagé, Candiota, Hulha Negra and Dom Pedrito, in the state of Rio Grande do Sul. For the development of MDS, we used data from Landsat 8 and Topodata. The study area encompasses two distinct scenes of Landsat 8 (orbit / point 222/82 and 223/82). To compose the mosaic of the study area, we search for recent images, of near dates. The images were imaged on 25/09/2014 (222/82) and 10/02/2014 (223/82). Initially, techniques of digital image processing were applied. For the supervised classification, we used the method of maximum likelihood. The resulting image has undergone a process of post-classification, in which the confusion generated in the previous step was corrected, particularly with respect to urban areas and areas that had exposed soil. The resulting image has achieved kappa coefficient of 0.9949. The next step was to assign roughness values for each class of land use and land cover, generating the roughness map of the study area, and the MDS. Finally, the MDS file was inserted into a micrositeing software that is used to evaluate wind potential.

Palavras-chave: remote sensing, roughness length, digital surface model, wind energy, sensoriamento remoto, comprimento de rugosidade, modelo digital de superfície, energia eólica.

1. Introdução

Atualmente, uma das principais preocupações mundiais é a busca pela redução da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre. Esta preocupação tem causado mudanças no âmbito político e social, visto que o assunto em questão está ligado a serviços essenciais que afetam diretamente o modo de vida da população como um todo. Exemplo disso são os combustíveis utilizados em veículos automotores e as fontes de geração de energia elétrica. No âmbito energético tem-se buscado a introdução de fontes de energias alternativas, também conhecidas como energias renováveis, as quais são extraídas a partir de fontes naturais como o vento, sol e água.

O território brasileiro possui um grande potencial para a introdução de energias renováveis devido à sua diversidade climática e considerável extensão. Buscando fortalecer e fornecer uma maior robustez ao sistema de geração de energia elétrica, é de suma importância a diversificação das fontes de energias alternativas, dentre elas a energia eólica, que vem se destacando no cenário nacional.

Para realizar a introdução deste tipo de energia renovável na matriz energética brasileira, é necessário realizar um estudo aprofundado sobre a área de interesse para a implantação dos complexos eólicos ou parques eólicos. Este tipo de estudo serve de base para

os projetos apresentados em leilões de energia, que são realizados anualmente no Brasil pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Atualmente a metodologia dos levantamentos de potencial eólico está cada vez mais desenvolvida, seja por métodos de simulações numéricas ou pelos métodos de aquisição de dados necessários para tal análise. De acordo com Benelli et. al (2009), a avaliação técnico-econômica da implantação de empreendimentos de geração eólica de uma área inicia-se com o seu mapeamento temático e a obtenção de produtos como os modelos digitais do terreno (MDT) e os modelos digitais de superfície (MDS).

Segundo Custódio (2013), os dados sobre o terreno são fundamentais no projeto e implantação de uma fazenda eólica, uma vez que as características topográficas e orográficas do local de implantação afetam o comportamento do vento e, conseqüentemente a produção de energia elétrica a partir deste. Nesse contexto, os modelos digitais de terreno (MDT) fornecem informações sobre a altimetria do terreno, e os modelos digitais de superfície (MDS) possuem os dados de rugosidade de terreno. Os MDS contêm a informação sobre a rugosidade do terreno, fornecendo a informação relacionada à magnitude dos obstáculos presentes na superfície do solo que afetam a desenvoltura do fluxo do vento na camada limite atmosférica. O parâmetro de medida para a rugosidade de terreno de determinado local é chamado de comprimento de rugosidade (Z_0), que representa a altura média das saliências do solo que são responsáveis pela força de atrito, que se opõe ao movimento da massa de ar.

A rugosidade está é diretamente associada a cobertura superficial do terreno. O sensoriamento remoto e as técnicas de processamento digital de imagens são comumente utilizados para o mapeamento da cobertura superficial do terreno. Conforme descrito por Araújo et. al (2009) uma das aplicações do sensoriamento remoto é distinguir e identificar as composições de diferentes materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas entre outros. Dentro deste contexto, torna-se de suma importância a utilização de tais técnicas para a identificação da cobertura superficial do terreno e, conseqüentemente, dos valores de comprimento de rugosidade.

O presente trabalho aborda a elaboração de um modelo digital de superfície (MDS) com resolução espacial de 30 metros visando a aplicação em estudos de avaliação de potencial eólico de uma área abrangida parcialmente pelos municípios de Aceguá, Bagé, Candiota, Dom Pedrito e Hulha Negra, no estado do Rio Grande do Sul.

2. Materiais e método

2.1 Área de estudo

Na figura 1, apresenta-se a localização da área de estudo.

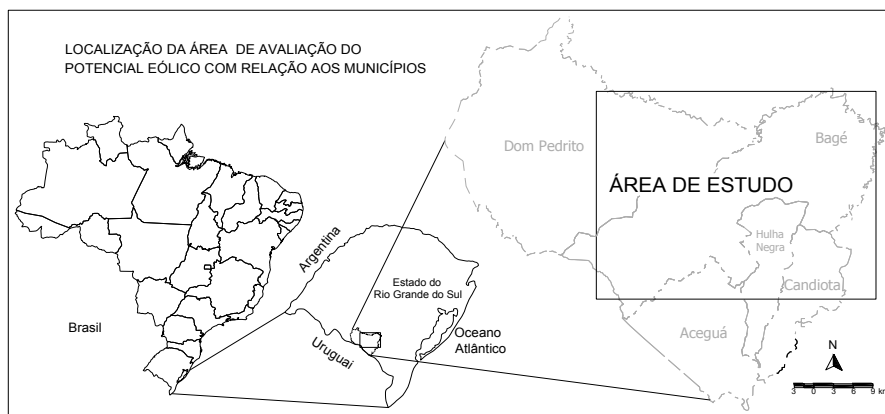


Figura 1: Localização da área de estudo.

A área de estudo está localizada no estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 54°45'30" e 53°42'44" W e 31°48'20.88" e 31°06'00" S, abrangendo parcialmente os municípios de Aceguá, Bagé, Candiota, Dom Pedrito e Hulha Negra, ocupando aproximadamente 8.000 Km². Esta área vem sendo cotada para a implantação de parques eólicos.

2.2 Método

O método adotado no presente estudo está sintetizado no fluxograma apresentado na figura 02. Em linhas gerais, compreende quatro etapas: (I) definição da área de estudo; (II) processamento das imagens de satélite; (III) classificação supervisionada das imagens de satélite; e (IV) determinação e aplicação dos valores de comprimento de rugosidade (Z_0).

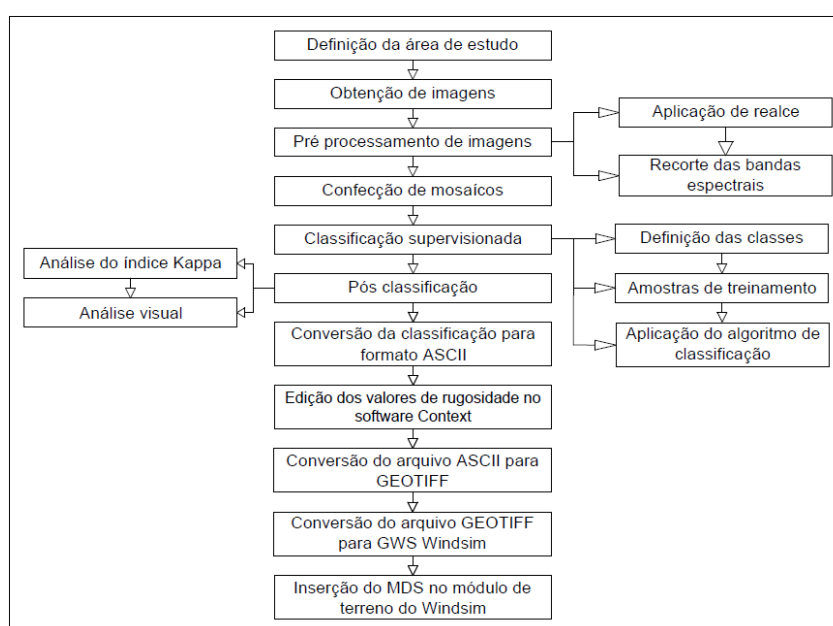


Figura 2. Fluxograma do método para o desenvolvimento do modelo digital de superfície.

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa dos satélites que disponibilizassem imagens gratuitas com uma resolução espacial que pudesse estar compreendida dentro de um estudo de microescala, que necessitam de imagens com resolução espacial inferior a 1000 metros. Imagens com 30 metros de resolução espacial foram utilizadas no estudo, sendo as mesmas selecionadas no catálogo de imagens do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), provenientes do satélite Landsat 8, referente a duas cenas adjacentes (órbita 222 e 223, ponto 82). Foram consideradas duas condições para seleção das cenas: cenas imageadas em datas próximas e pouca cobertura de nuvens na área de estudo. A cena de órbita 222 foi imageada no dia 25 de setembro de 2014, e a cena de órbita 223 foi imageada no dia 02 de outubro de 2014.

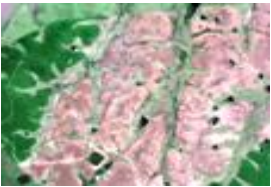









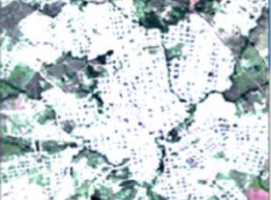

Todos os arquivos estavam disponíveis em projeção UTM e Datum WGS 1984, sendo os mesmos disponibilizados em formato GeoTIFF. Para a elaboração do mapa e arquivo DSM foram utilizadas 7 bandas multiespectrais de 30 metros de resolução espacial e de resolução radiométrica de 16 bits.

Em estudos que envolvem a união de duas cenas distintas quase sempre faz-se necessário o pré-processamento das imagens. Para tanto, foi aplicado um realce linear de 2% em todas as bandas da órbita 222. Posteriormente, todas as bandas das cenas (222/082,223/082) foram

recortadas para delimitar um retângulo com área de aproximadamente 8000 Km². Com as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 recortadas, foi realizado o mosaico de cada uma das bandas das cenas 222 e 223.

A próxima etapa do trabalho consistiu na classificação supervisionada da cobertura superficial do terreno na área em estudo. Para tanto, foram utilizadas as bandas 1 a 7 do Landsat 8. As classes definidas para o mapeamento foram: Agricultura, Água, Campo, Mata Nativa, Reflorestamento, Urbano e Urbano_2. O quadro 1 apresenta a chave de interpretação, considerando a composição colorida R4G3B2 das bandas do Landsat 8. Foram determinadas duas classes “urbano”, devido ao fato de que a cidade de Bagé possui construções e prédios de maior envergadura e maior densificação, o que não se encontra para as outras cidades encontradas na área de abrangência do estudo, que são Aceguá, Candiota e Hulha Negra. A classe “Urbano” se refere a área urbana da cidade de Bagé e “Urbano_2” a área urbana de Aceguá, Candiota e Hulha Negra.

Quadro 1. Chave de interpretação – imagem Landsat 8 R4G3B2.

Classe	Coloração	Amostra	Verdade terrestre
Agricultura	Tons de rosa		
Água	Azul escuro Tons de roxo		
Campo	Verde claro		
Mata Nativa	Verde escuro		
Reflorestamento	Preto		
Urbano	Branco		



A coleta das amostras de treinamento no software foi baseada nas características exibidas no Quadro 1, e também em conhecimentos adquiridos durante saídas de campo, realizadas no decorrer do mapeamento. Nesta etapa buscou-se definir as assinaturas espectrais das classes a serem mapeadas. Foram coletados em torno de 2000 pixels para cada uma das sete classes de uso e ocupação do solo. Em seguida, procedeu-se a aplicação da classificação supervisionada, com a utilização do algoritmo classificador máxima verossimilhança (Maxver).

As classes “Urbano”, “Urbano_2” e “Agricultura” foram editadas na etapa de pós-classificação, utilizando uma rotina que permite ao usuário alterar a classe de um determinado conjunto de pixels a partir de uma interface gráfica.

O grau de confiabilidade dos resultados obtidos no processo de classificação e correção no módulo “*Class Edit*” foi analisado de forma qualitativa e quantitativa. Na análise qualitativa, foi realizada uma comparação entre a imagem original e a imagem classificada, visando verificar a coerência das classes com a realidade. Já na análise quantitativa, foram avaliados parâmetros gerados pelo software, a matriz confusão, analisando o coeficiente kappa que mede a qualidade da classificação considerando os intervalos desenvolvidos por Landis e Koch (1977).

O comprimento de rugosidade (Z_0) pode ser descrito como sendo a altura acima da superfície onde a velocidade horizontal do vento é zero. Lettau (1969) estabeleceu uma relação entre os elementos de rugosidade e o comprimento de rugosidade (Z_0).

Apresenta-se na Tabela 1 os valores de comprimento de rugosidade adotados para a confecção do MDS nesta pesquisa. Os valores foram obtidos com base na relação entre os tipos de cobertura superficial do terreno e comprimentos de rugosidade sugeridos por Wieringa (1993).

Tabela 1. Relação entre classes cobertura superficial do terreno e valores de comprimento de rugosidade utilizados nesta pesquisa.

Classes de Uso e Cobertura do Solo	Comprimento de Rugosidade (Z_0)
Agricultura	0,1500
Água	0,0002
Campo	0,0400
Mata Nativa	0,4000
Reflorestamento	1,2000
Urbano	1,1000
Urbano_2	0,5500

Inicialmente, o arquivo contendo a classificação da cobertura superficial do terreno foi convertido para o formato ASCII. Em seguida, foram identificados os valores numéricos relacionados a cada classe no arquivo final de classificação. Esta informação foi útil para editar os valores de rugosidade do software Context[®], onde cada pixel atribuído a uma determinada classe de uso e cobertura do solo recebeu um valor de comprimento de rugosidade compatível com a sua designação. Esta identificação de pixels para as classes foi feita no software ENVI[®], com auxílio da ferramenta editor espacial de pixel (*Spatial Pixel Editor*).

No software Context[®] foram editados os valores de rugosidade para cada um dos pixels das sete classes identificadas na área em estudo. O processo de atribuição se deu simplesmente pela substituição de valores unitários que designavam cada classe para valores de comprimento de rugosidade. Os valores atribuídos geraram um arquivo ASCII apresentado na Figura 3.

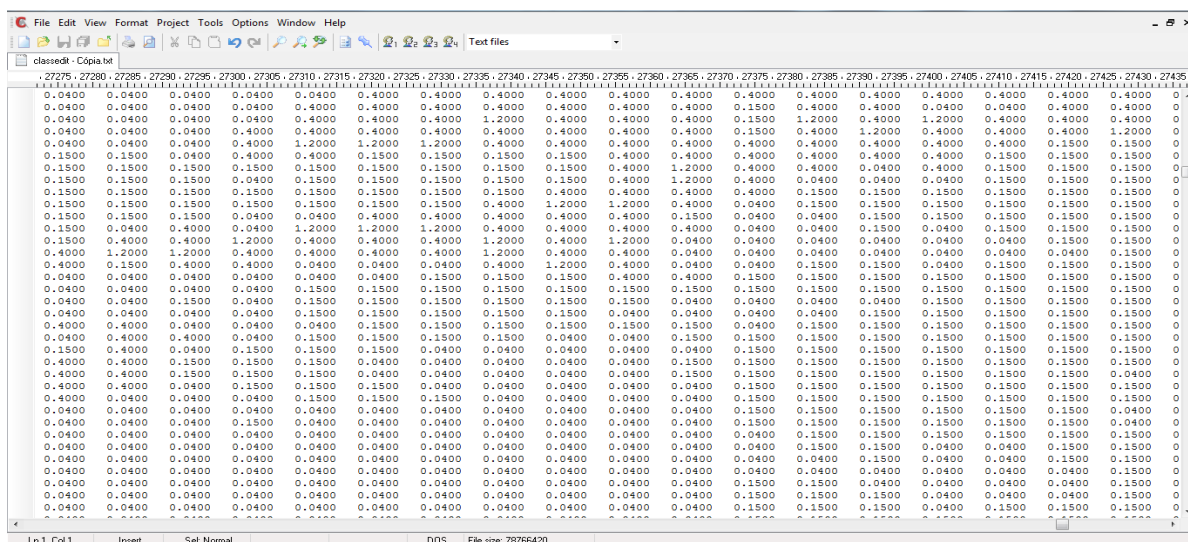


Figura 3. Arquivo ASCII contendo valores de comprimento de rugosidade (Z_0) para cada pixel da área em estudo, o qual pôde ser editado no software Context[®].

Ao final do processo de edição do arquivo no formato ASCII, gerou-se o arquivo do modelo digital de superfície, contendo os dados de comprimento de rugosidade de terreno (Z_0) para cada pixel de resolução espacial de 30 metros.

Para verificar a aceitação do arquivo MDS em software de *micrositing*, foram feitas duas conversões nos formatos dos dados de saída. No software ENVI o arquivo ASCII foi convertido para formato TIFF. A próxima conversão se deu do arquivo TIFF para o formato *Elevation GRID Format*, mais precisamente para o formato *Windsim GWS Roughness/Elevation File*, sendo esta etapa realizada no software Global Mapper. Utilizando-se a versão de avaliação do software Windsim[®], o modelo digital de superfície elaborado neste trabalho foi aberto juntamente com o modelo digital de terreno elaborado, pelo Topodata.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 4, apresenta-se o mapa de uso e ocupação do solo na área de estudo, referente ao mês de setembro de 2014.

A classificação supervisionada da cobertura superficial do terreno, utilizando o método MaxVer, obteve coeficiente Kappa igual a 0,8732. Este valor de coeficiente Kappa, na classificação de Landis e Koch (1977), demonstra a exatidão da classificação como de excelente qualidade. Entretanto, dada a confusão entre as classes “Urbano” e “Agricultura” (nas áreas ocupadas por solo exposto na época do imageamento), foi necessário recorrer a edição manual da classificação. Após a edição manual do arquivo classificado, o valor do coeficiente Kappa passou de 0.8732 para 0,9949. Para a exatidão global, obteve-se um valor de 89%.

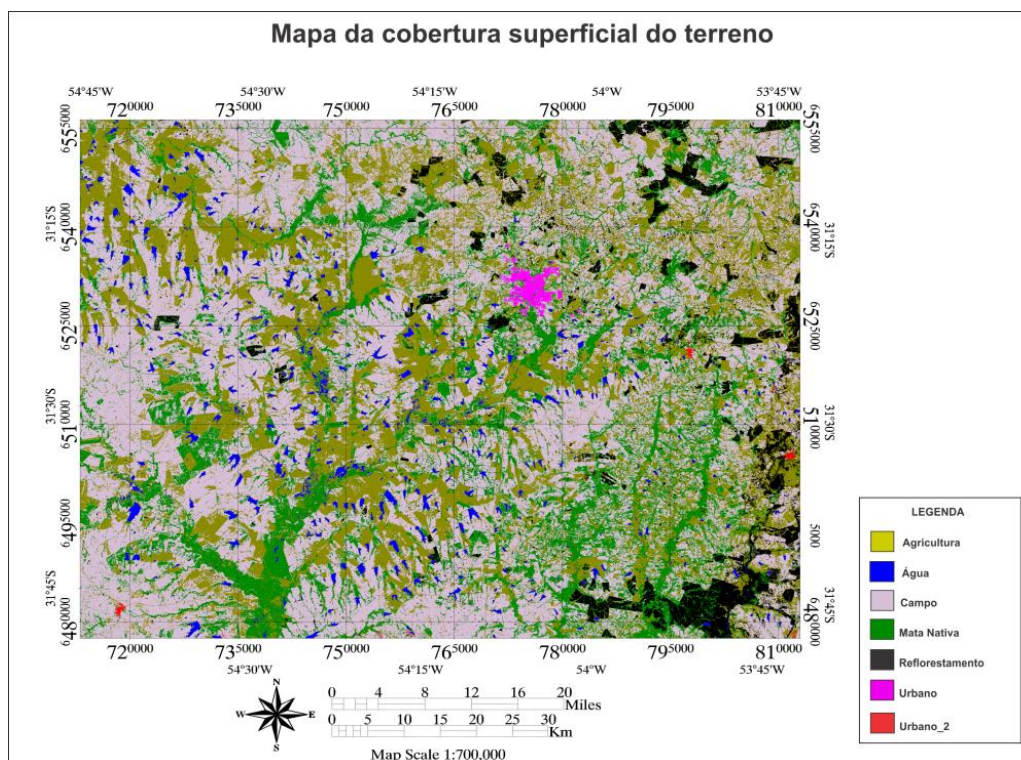


Figura 4. Mapa de classificação da cobertura superficial do terreno.

O Modelo Digital de Superfície (MDS) da área de estudo, produzido nesta pesquisa, é apresentado na Figura 5.

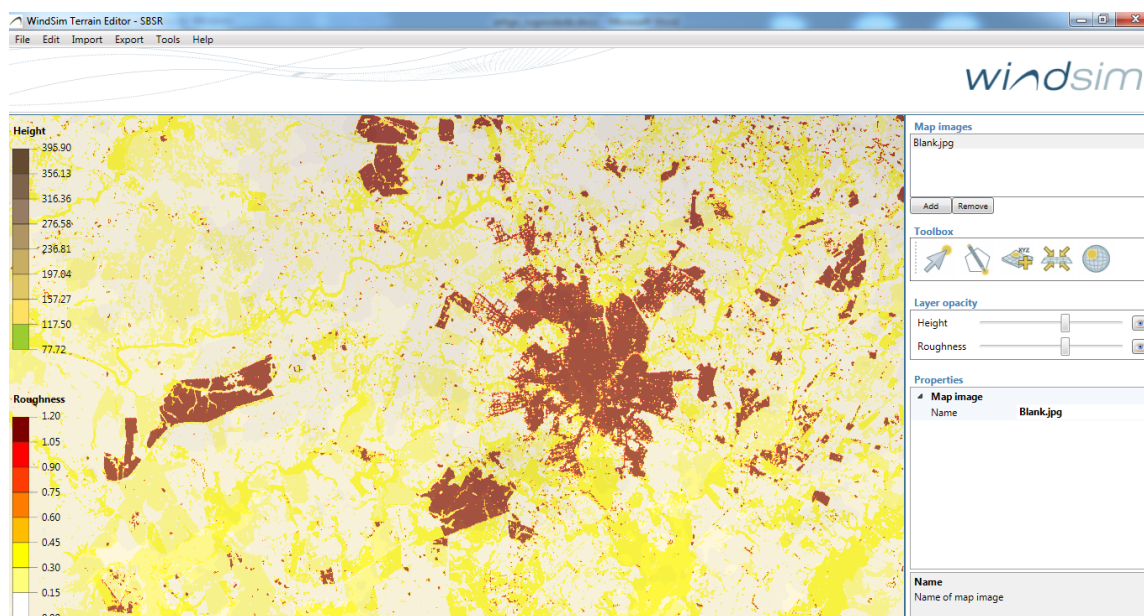


Figura 5. Arquivo DSM (*Roughness*) e DTM (*Height*) com resolução de 30 metros sendo abertos no módulo *Windsim Terrain Editor*.

Através de uma análise detalhada do MDT e MDS no módulo de terreno do software *Windsim*[®], percebeu-se o sucesso das informações inseridas no MDS e a validação do método utilizado nesse estudo. A Figura 5 ilustra o fato descrito acima, onde tanto o MDS elaborado no presente trabalho como o MDT elaborado pelo Topodata possuem a resolução espacial de 30 metros.

4. Conclusões

Neste estudo, apresentou-se a metodologia e os resultados preliminares do desenvolvimento do Modelo Digital de Superfície (MDS) da área em estudo, que abrange parcialmente os municípios de Aceguá, Bagé, Candiota, Dom Pedrito e Hulha Negra, todos municípios do estado do Rio Grande do Sul.

Utilizando a metodologia proposta, foi possível identificar e estabelecer critérios para a produção do modelo digital de superfície (MDS) a partir de imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8. Fazendo a relação entre as diferentes classes de cobertura superficial do terreno e valores de comprimento de rugosidade, foi possível elaborar um arquivo MDS de resolução compatível para aplicações em estudos de energia eólica de microescala.

O método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança foi útil para o trabalho, pois apresentou alto valor de coeficiente kappa.

A metodologia apresentada neste estudo pode ocasionar uma diminuição de custos na execução de levantamentos de potencial eólico, já que o modelo digital de superfície pode ser elaborado com base em imagens de satélite gratuitas. Além disso, têm-se um maior controle e conhecimento sobre o MDS gerado, inclusive tendo controle sobre a atualização do mesmo.

Para trabalhos futuros se buscará aumentar a resolução do modelo digital de superfície através de imagens de satélites de maior resolução, o que garantirá o aumento da resolução das informações relacionadas ao comprimento de rugosidade para a avaliação do potencial eólico da área em estudo.

Agradecimentos

Agradecemos aos colegas do Laboratório de Modelagem e Simulação Computacional (LMSC) da Universidade Federal do Pampa (Unipampa), Campus Bagé/RS. Agradecemos também à FAPERGS e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Referências bibliográficas

- Araújo, G. K. D.; Johann, J. A.; Rocha, J. V. Criação de mapa temático de uso da terra com diferentes classificadores. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 67-74. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17- 00044-7. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.19.11/doc/67-74.pdf>> . Acesso em: 03 abr. 2014.
- Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil (**TOPODATA**). Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso em: 15. jun. 2014.
- Benelli, S. L.; Dorweiler, R. P.; Procopiak, L. A. J. Evolução tecnológica do mapeamento do potencial eólico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 3567-3573. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17- 00044-7. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.16.43.59/doc/3567-3573.pdf>> . Acesso em: 07 jun. 2014.
- Class Edit (ENVI). Disponível em: <http://www.envi.com.br/index.php/rotinas/Class_Edit>. Acesso em: 05 mar. 2014.
- Custódio, R.S. **Energia eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição**. Rio de Janeiro: Synergia, 2013. 319 p.
- Earth Explorer, United States Geological Survey (USGS). Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- Getting Started Windsim 5 (**Windsim**). Disponível em: <http://windsim.com/ws5_help/ws_docs/Getting%20Started.pdf>. Acesso em: 10. abr. 2014.
- Landis, J.R. e Koch, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data, **Biometrics**, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.
- Lettau, H., Note on aerodynamic roughness parameter estimation on the basis of roughness-element description, **Journal of Applied Meteorology**, v.8, p.828-832, 1969.
- Wieringa, J. Representative roughness parameters for homogeneous terrain, **Boundary Layer Meteorology**, v. 63, n. 4 , p. 323-363, 1993.