

Monitoramento da produção e geração do mapa de poder de captura de CO₂ da pastagem da bacia do Rio Turvo Sujo no Estado de Minas Gerais através de produtos do sensoriamento remoto

Carlos Antonio Oliveira Vieira
William Tse Horng Liu
José Marinaldo Gleriani
Alice Marinho Etienne
Ricardo Soares Ramos
Aurilédia Batista Teixeira

Universidade Federal de Viçosa - UFV
36570-000 – Viçosa - MG, Brasil

{carlos.vieira, gleriani, alice.etienne, ricardo.ramos, auriledia.teixeira}@ufv.br
liu_rslivro@hotmail.com

Abstract. This paper presents an alternative approach to monitoring and estimates the production, productivity and the CO₂ grassland capture rates for the Rio Turvo Watershed Basin in Minas Gerais State. The grassland areas were estimated using a supervised classifier: Artificial Neural Network and remote sensing images. The proposed method to estimates productivity uses the photosynthetic efficiency, NDVI, and PAR (“Photosynthetic Active Radiation”) in order to estimates the liquid biomass productivity. The results show that grassland areas are able to be effectively mapped using remote sensing images and supervised artificial neural networks. The results present a considerable increase of grassland area in the watershed basin for the period from 2006 to 2009. There is an estimate of high levels CO₂ grassland capture rates for some areas on the Rio Turvo Watershed Basin, which is a important parameter in order to keep clean the atmosphere.

Palavras-chave: production, produtividade, grassland, remote sensing.

1. Introdução

O Brasil é o sexto maior produtor mundial de leite (Alvin *et al.* 2005) e o leite responde por 17% do Valor Bruto da Produção Agropecuária que totalizou 91 bilhões em 2002. A produção de leite bovino é uma das principais atividades agropecuárias nas regiões sul e sudeste do Estado de Minas Gerais. A pastagem é o principal alimento dos rebanhos. Portanto, a produção de leite está intimamente ligada com a produção da pastagem. Estima-se que entre 1980-2005 a área de pastagens no Brasil, aumentou 151% (Alvin *et al.* 2005). O crescimento e a expansão das atividades agropecuárias destas regiões, ao longo dos anos, resultam dos usos inadequados do solo. Portanto, para fim de monitoramento da produção de leite e mesmo para a previsão do preço de leite, necessita obter as informações sobre as condições do crescimento da pastagem que afetam a produtividade. Este estudo visa desenvolver métodos de estimativa das áreas ocupadas pela pastagem, como também determinar a sua produtividade, nas condições variadas de clima e do tipo de solo da Bacia do Rio Turvo Sujo, através de imagens do sensoriamento remoto.

As imagens digitais dos satélites ambientais serão usadas para o monitoramento das evoluções dinâmicas de usos do solo, ecossistemas e dos eventos catastróficos da superfície terrestre. Liu (2007) resumiu que as imagens geradas pelos satélites podem ser usadas para estimar as áreas de usos do solo de três maneiras:

a) identificação, classificação, delineamento e estimativa das áreas ocupadas pelas várias classes de usos do solo baseadas nas imagens de satélites. Os dados de observações na superfície terrestre são usados para treinamento no processo da classificação, validação dos métodos de classificação e análise dos pixels de mistura;

b) as imagens de satélites podem auxiliar o levantamento das amostras de várias maneiras, incluindo: definição das unidades das amostras, estratificação das amostras, documentação gráfica para o levantamento e o controle de qualidade da coleta de dados em campo;

c) as técnicas de regressão estatística e os *softwares* utilizados nas análises de imagem e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem ser aplicadas para monitorar e prever as evoluções espaciais e temporais da superfície, combinando as informações de imagens de satélites com as obtidas por meio de levantamentos em campo.

Este estudo aplicará o método supervisionado, utilizando como regra de decisão: redes neurais artificiais, para identificar, classificar, delinear e estimar as áreas ocupadas pela pastagem na região em estudo.

O método da estimativa da produtividade líquida de biomassa proposto por Prince (1991) é geralmente aplicado para a estimativa da produtividade de pastagem, porque a propriedade econômica da pastagem é a biomassa das folhas. Neste método, a produtividade de pastagem é estimada em função de eficiência fotossintética (ϵ_f), do Índice de Vegetação Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa (*Photosynthetic Active Radiation* - PAR). Os dados de PAR e NDVI podem ser obtidos de dados orbitais e os valores de ϵ_f derivados através do NDVI (orbital) e Radiação Solar (R_s) e matéria seca (MS) coletados em campo. A eficiência fotossintética de uma determinada espécie da planta é calculada pela a energia da matéria seca produzida dividida por energia da PAR incidida e apresentada em porcentagem (%). A energia da matéria seca é obtida pela conversão do peso do carboidrato em grama à energia em MJ. A redução de uma μmol de CO_2 para uma μmol de carboidrato requerer a energia de 0,469 MJ. Um micro de fóton de luz (em $\mu\text{Einstein}$ ou μEi) de luz na PAR contém a energia de 0,172 MJ. Portanto, necessita-se de cerca de três μEi para reduzir uma μmol de CO_2 . Mas na realidade, para as culturas agrícolas necessita-se de 8 a 16 μEi para reduzir uma μmol de CO_2 (Loomis e Williams, 1963). O valor de ϵ_f varia com o tipo e o estágio de crescimento da vegetação, os fatores meteorológicos, as condições ambientais e os níveis de nutrientes no solo (Steinmetz *et al.* 1991). No Brasil, ainda não estão disponíveis os valores de ϵ_f para os principais tipos de vegetação. Daí, torna-se importante desenvolver um método padrão para futuramente gerar e fornecer os valores de ϵ_f , para diversos tipos de vegetação nos diferentes biomas no Brasil.

Assim, os objetivos desse artigo são:

- Aplicar e avaliar as técnicas de estimativa de áreas de pastagem através de imagens de satélite, usando o reconhecimento do padrão e a regra de decisão por redes neurais artificiais;
- Aplicar e validar o método de estimativa de produtividade de pastagem via satélite proposto por Prince (1991);
- Determinar os valores de eficiência fotossintética das pastagens nativa e plantada na Bacia do Rio Turvo Sujo do Estado de Minas Gerais;
- Produzir o mapa das áreas ocupadas pela pastagem e o mapa de poder de captura de CO_2 da pastagem da Bacia do estudo.

2. Metodologia

2.1. Área de Estudo

A área de estudo abrange a bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo, com área total de 406,44 km^2 , pertencente à bacia hidrográfica do Rio Doce. Esta bacia está compreendida entre as coordenadas geográficas 42°40' e 43°00' de longitude Oeste e 20°39' e 20°55' de latitude

Sul, abrangendo parte dos municípios de Viçosa, Cajuri, Coimbra, Teixeira e Guaraciaba, no Estado de Minas Gerais (Figura 1).

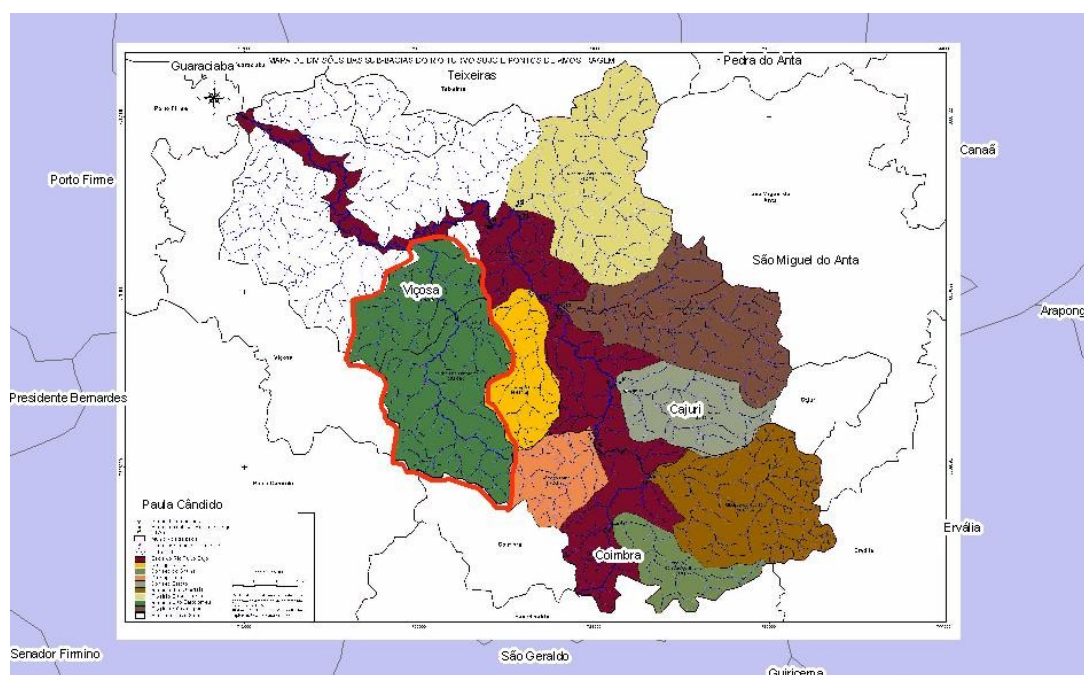


Figura 1. Área de estudo: a sub-bacia do Rio Turvo Sujo e os municípios localizados nesta sub-bacia.

Dois tipos de gramíneas ocorrem com maior frequência nessa bacia: a) A gramínea *Melinis minutiflora* (conhecida como capim-gordura), que é originária da África. No Brasil é considerada uma forrageira naturalizada, que ocorre com muita frequência nas áreas de pastagens da maioria dos estados da região Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. O capim-gordura é uma planta perene, herbácea, C_4 , de colmos fortemente geniculados. Atinge altura média de 1,50m sob crescimento livre. Lâminas com tamanho médio de 15 cm de comprimento, de base arredondada e mais larga, estreitando-se progressivamente até o ápice agudo; coloração verde-acinzentada; curtos pêlos brancos em ambas as faces, porém mais intensos na face dorsal; e margens ciliadas (FAO, 2008). Os pêlos glandulares da folhagem exudam um óleo de cheiro característico. Esta gramínea apresenta inflorescência do tipo panícula de 10 a 30 cm de comprimento, arroxeadada com ramificações curtas; b) A gramínea *Brachiaria decumbens* pertencente à família *Poaceae*, conhecida também como: Decumbens, Capim- braquiária, Braquiária ou *Signalgrass*, é originária da África. O capim-brachiaria é uma planta perene, com crescimento decumbente, apresenta pêlos tanto na bainha como na lâmina foliar, entouceirada, rizomatosa, com enraizamento nos nós inferiores em contato com o solo. A inflorescência é uma panícula que possui de 2 a 6 racemos (Alves, 2000). Cada racemo sustenta uma série de espiguetas arranjadas em uma ou duas fileiras (Nunes, 1984). A gramínea possui coloração geral verde-escura e sua altura pode alcançar 1m de altura. É um capim vigoroso e agressivo, cujo florescimento pode se estender por toda a estação chuvosa. Sua multiplicação é através de sementes.

As classes com maior distribuição espacial na área de estudos são: Área agrícola, Área Urbana, Hidrografia, Mata, Pastagem Degradada, Pastagem não Degradada. Essas classes informacionais foram utilizadas no processo de classificação para derivar os mapas temáticos de cobertura do solo. As classes pastagem degradadas e não degradadas foram fundidas para gerar as áreas de pastagens.

2.2. Coleta de Dados

Um mapa digital cartográfico com os limites da bacia do Rio Turvo Sujo foi preparado para extrair as imagens digitais da área de estudo.

Os dados meteorológicos foram adquiridos diretamente do INEMET para a estação meteorológica de Viçosa, para o período de 2006 a 2009. Os dados de PAR foram estimados com os dados de radiação solar global (R_s) multiplicando um fator de 0,44 e validados com os sensores de PAR, LICOR quantum em campo. Os dados de precipitação e temperatura foram usados para verificar as ocorrências de excesso de água na superfície que possa afetar os valores de NDVI.

Os pontos de controle foram coletados utilizando receptores GPS topográficos, para executar a correção geométrica das imagens de satélites. Imagens digitais dos sensores TM (Landsat-5), no período de 2006 a 2009, foram usadas para estimar as áreas ocupadas por pastagem e gerar os dados NDVI, respectivamente.

2.3. Estimativa de Áreas de Pastagem

O método supervisionado utilizando redes neurais artificiais foi aplicado para identificar, classificar, delinear e estimar as áreas ocupadas pelos diversos tipos de cobertura, inclusive pelas pastagens. Uma rede neural artificial foi treinada utilizando o algoritmo de aprendizado da retro-propagação (*backpropagation*), com 4 camadas. A primeira contendo 6 neurônios, que representam as 6 bandas do sensor TM (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7). Duas camadas intermediárias, com 6 neurônios cada, que foram determinadas experimentalmente. E uma camada de saída, com seis neurônios, representando as seis principais classes informacionais da área de estudo. Foi utilizada uma taxa de aprendizado dinâmica, variando de 0.2 a 0.001, e o parâmetro momentum foi fixado em 0.5. O simulador de redes neurais foi o *Multi-Layer Perceptron Classifier* (MLP) do *software Idrisi Andes* Versão 15.

Após classificação das imagens, procedeu-se à validação dos resultados, utilizando-se algumas medidas estatísticas tais como índice Kappa e Teste Z estatístico (Vieira e Mather, 2001). Torna-se oportuno mencionar que a exatidão das estimativas de áreas ocupadas pela pastagem, baseadas nas imagens do sensor TM (Landsat-5) foram avaliadas usando as imagens digitais de altíssima resolução IKONOS – com supervisão de campo, apenas para a sub-bacia do Ribeirão São Bartolomeu, no município de Viçosa (Figura 1, em Verde Escuro).

Uma vez validado o modelo classificador, processaram-se todos os pixels das imagens de forma a gerar uma imagem temática das culturas agrícolas da região de estudo. Dois procedimentos de pós classificação foram adotados: utilizou-se uma máscara das áreas urbanas, para sobrepor o mapa temático e evitar a classificação automatizada dessa classe, devido a sua alta variabilidade espectral. E utilizou-se também um filtro da moda 5 x 5 para eliminar os ruídos da classificação (pixels isolados na imagem). De posse, deste mapa temático, contendo as áreas de pastagem, foi possível aplicar modelos para estimativa da produção agrícola. Portanto, as áreas ocupadas pelas pastagens foram delineadas para cada ano de 2006 até 2009.

2.4. Estimativa de Produtividade

O Método de Prince (*Método da Produtividade Primária Líquida*) foi utilizado para a estimativa de produtividade de pastagem. O principal produto de pastagem são as folhas verdes. O grau de verde que indica as condições do crescimento das pastagens pode ser obtido por um índice de vegetação, chamado NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), proposto por Rouse *et al.* (1973). Os dados de NDVI são gerados com os dados de satélites pela Equação 1, apresentada a seguir:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS) \quad (1)$$

Em que o NIR representa a banda espectral na região do infravermelho próximo e o VIS representa a banda espectral na região do visível.

As plantas produzem as matérias secas através do processo fotossintético que as clorofilas das folhas absorvem e convertem a energia da radiação solar na faixa visível (0,4 – 0,7 μm) a biomassa. A energia da radiação solar na faixa visível é chamada PAR (“*Photosynthetic Active Radiation*”). A variação de produtividade de biomassa das diferentes espécies das plantas é atribuída pela diferença da capacidade da absorção da radiação solar na faixa visível em uma determinada condição ambiental. Baseado neste argumento, Kumar e Monteith (1982) propuseram um modelo de estimativa de produtividade de biomassa que é apresentado pela Equação 2, a seguir:

$$MS = \sum_{j=1}^n [\varepsilon_f \varepsilon_i \varepsilon_r R_s] \quad (2)$$

onde MS é a matéria seca; o símbolo \sum representa o somatório do crescimento do período de j de 1 a n; ε_f representa a eficiência fotossintética; ε_i é a eficiência da absorção da PAR incidente; ε_r é a fração de radiação solar na faixa PAR, geralmente fixada entre 0,40 a 0,44; R_s representa radiação solar incidente; e $\varepsilon_r R_s$ é o PAR (radiação fotossintética ativa).

Usando o argumento de Kumar e Monteith (1982), Prince (1991) propôs um modelo de estimativa de produtividade líquida de biomassa em função de NDVI e PAR acumulados em um determinado período do crescimento da pastagem apresentada pela Equação 3:

$$MS = \varepsilon_f \sum_{j=1}^n [NDVI][PAR] \quad (3)$$

Para obter o valor de ε_f , necessita-se primeiro a determinação dos dados de MS, PAR e NDVI. Os dados de PAR podem ser coletados diretamente em campo pelos sensores quantum LICOR. Os dados de matéria seca podem ser estimados pela taxa de fixação de CO_2 coletados pelos sensores de CO_2 GMP343 *Carbon Probe Vaisala*. Mas devido os custos dos sensores de CO_2 GMP343 são muito caro que ultrapassa o recurso disponível para este projeto. Portanto, uma técnica simples de estimativa de ε_f em função de R_s , NDVI e MS será usada neste estudo. Os dados mensais do valor máximo de NDVI foram obtidos com os dados do sensor TM (Landsat-5) durante o período de 2006 a 2009 para a área do estudo. Os dados de PAR foram calculados com os dados de R_s obtidos na estação meteorológica de Viçosa. Os dados de MS foram obtidos em campo.

2.4.1 Determinar eficiência fotossintética (ε_f)

O valor de ε_f (eficiência fotossintética) foi determinado em função de PAR, NDVI e matéria seca da parte aérea da pastagem em diferentes estágios do crescimento durante um ano pela Equação 4. Os valores de NDVI foram derivados a partir de dados do sensor MODIS.

$$\varepsilon_f = MS / \sum_{j=1}^n NDVI * PAR \quad (4)$$

O peso seco total de matéria seca da pastagem que representa a produtividade primária líquida da pastagem poder ser obtido pelos dados do peso seco de folhas e da razão de pesos secos de raízes e folhas. A razão de peso seco das raízes e folhas de da pastagem é aproximadamente igual a 1, ou seja 50% de folhas e 50% de raízes (Liu, 2007).

Um experimento em campo foi conduzido para coletar os dados de PAR, R_s e do peso seco da parte aérea de pastagem. Este experimento foi conduzido em 2 plantações de pastagem, na área de estudo, próximo a estação meteorológica de Viçosa. Duas áreas com as pastagens (capim-gordura e *Brachiaria*) homogêneas com um tamanho de 6m x 6m foi

cercadas proteger a invasão dos rebanhos e para coletar as partes áreas da pastagem em uma área de 1m x 1m. Os pesos secos destas quatro amostras fornecem 4 repetições para obter um valor médio. Os valores de ϵ_f foram determinados sazonalmente ou sejam cada trimestre nos diferentes estágios do crescimento da pastagem, considerando o tempo do corte e a lotação do rebanho em campo. Dentro de cada lote de 36 m², foram delimitadas 4 áreas de 1 m² que serve para a coleta da matéria seca, com variações no período de corte trimestral. Os dados de PAR em cada plantação foram coletados com os sensores Quantum do LICOR. Os dados de R_s foram obtidos na estação meteorológica de Viçosa. Os dados de PAR e R_s serão usados para a determinação o valor da razão de PAR/ R_s que poderia ser aplicado no Brasil.

2.4.2 Estimativa de produtividade de pastagem

Apos a obtenção do valor de ϵ_f , a estimativa de produtividade de pastagem pode ser feita com os dados de R_s obtidos na estação meteorológica de Viçosa e os dados de NDVI gerados com os dados TM (Landsat) para o período de 2006 a 2009, aplicando-se a Equação 3.

2.5. Mapa de Poder de Captura de CO₂

O poder de captura de CO₂ pela pastagem na bacia de estudo foi obtido pela produtividade (kg/ha) multiplicando um fator de CO₂/CH₂O (44g/30g = 1,4667), considerando os pesos moleculares de CO₂ e CH₂O são 44g/mol e 30g/mol respectivamente. O poder de sequestro de CO₂ para a bacia do Rio Turvo Sujo inteiro será obtido com o mapa das áreas ocupadas pela pastagem gerada com os dados de produtividade dos anos 2006 e 2009.

3. Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta os resultados do mapeamento das classes de cobertura da superfície da Terra, com suas respectivas áreas (em Hectares) e precisões (*índice Kappa*).

Tabela 1. Determinação das áreas de cobertura da superfície da terra para os anos de 2006 a 2009 e seus respectivos índices Kappa utilizando Redes Neurais Artificiais como classificador.

ANO	2006	2007	2008	2009
Kappa	0,334	0,593	0,795	0,822
Área Agrícola	7612,83 ha	3722,67 ha	4772,79 ha	2256,21 ha
Área Urbana	5053,86 ha	1949,31 ha	1922,58 ha	2356,02 ha
Hidrografia	---	5615,46 ha	2485,08 ha	691,47 ha
Mata	6714,63 ha	10654,02 ha	6721,83 ha	8262,99 ha
Pastagem Degradada	7471,89 ha	12067,83 ha	8749,8 ha	6021,72 ha
Pastagem não Degradada	10314,09 ha	5366,7 ha	15913,35 ha	20977,02 ha
TOTAL PASTAGEM*	17.785,98 ha	17.434,53 ha	24.663,15 ha	26.998,74 ha

* A área TOTAL de PASTAGEM foi gerada pela soma de pastagem degradada e não degradada.

Observa-se na Tabela 1 que o valor do índice kappa foi excelente para os anos de 2008 e 2009, isto em parte se deve ao fato de não haver cobertura de nuvens nas imagens para esses anos e para os demais anos, houve muita cobertura das áreas por nuvens. Em 2006 as nuvens cobriram quase que totalmente as áreas contendo a classe hidrografia na bacia, o que ocasionou a sua supressão de áreas para esse ano. Observa-se também que, com exceção do ano de 2007, as áreas com pastagens degradadas foram sempre menores do que as áreas ocupadas com pastagens não degradadas. E finalmente, deve-se observar que o resultado total das áreas de pastagem na bacia, para os anos de 2006 a 2007, deve ser analisado com cautela, uma vez que houve bastantes confusões entre as classes informacionais, durante o processo de classificação.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados parciais da estimativa da produtividade líquida de pastagem (MS) em função de NDVI (TM) e PAR, utilizando a Equação 3. Estão apresentados ainda: a área de pastagem (derivada da Tabela 1), e uma estimativa da Produção Total (em toneladas) de pastagem da Bacia do Rio Turvo Sujo.

Tabela 2. Estimativas da produtividade líquida de pastagem (MS) e Produção de pastagem da Bacia do Rio Turvo Sujo.

LANDSAT		HORA	Radiação (kJm ⁻²)	MS (Kg/m ²) Pastagem	ÁREA PASTAGEM (ha)	PRODUÇÃO (t)
NDVI						
0,374	07/08/09	12	2774	0,241	26998,740	64950,515
		13	2776			
		14	2251			
		15	1947			
0,269	05/09/08	12	3202	0,204	24663,150	50424,800
		13	3069			
		14	2852			
		15	2396			
0,245	01/07/07	12	2482	0,137	17434,530	23900,844
		13	2351			
		14	1931			
		15	1716			
0,129	12/06/06	12	1953	0,057	17785,980	10148,725
		13	2170			
		14	1742			
		15	839			

Nota-se na Tabela 1 que houve um aumento gradual na estimativa da produção de pastagem na bacia de 2006 a 2009. Observa-se que este aumento ocorreu, não só devido ao aumento da área de pastagem, mas também pelo aumento da produtividade de pastagem para o período.

Na Figura 2 é apresentado o Mapa de Poder de Captura de CO₂, ilustrativamente para o ano de 2009, apesar de terem sido gerados os mapas para todo período. É possível observar, que nas áreas vermelhas do mapa, o poder de captura do CO₂ pode atingir os níveis de 8.586 kg/ha na área da Bacia.

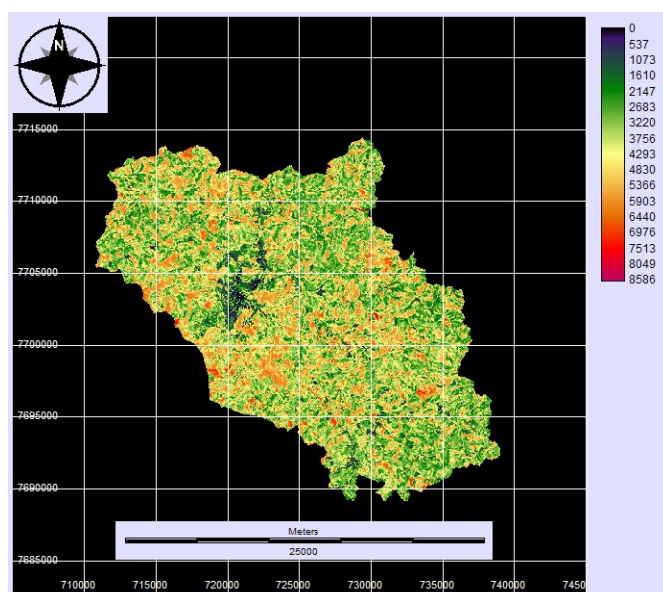


Figura 2. Mapa de Poder de Captura de CO₂

4. Conclusões

O método de mapeamento de pastagens, utilizando produtos do sensoriamento remoto e o classificador: Redes Neurais Artificiais, mostrou-se bastante efetivo para a determinação de áreas com cobertura de pastagens na bacia do Rio Turvo Sujo, em Minas Gerais. Ao término dessa pesquisa, conclui-se que, aplicando o método de Prince (1991), é possível monitorar as condições de crescimento, produtividade e taxa de fixação de CO₂ de pastagem na Bacia do Rio Turvo Sujo (MG), também utilizando produtos derivados de imagens orbitais. Observou-se um crescimento considerável da produção de pastagem na bacia para o período de 2006 a 2009. O método desenvolvido foi aplicado com sucesso para a geração de mapas da capacidade de captura de CO₂, que é um parâmetro importante para captar os recursos internacionais, que financiam projetos de captura de CO₂ e os projetos de manter o ar limpo no globo terrestre.

Agradecimentos

Agradecimentos a FAPEMIG pelos recursos concedidos para o projeto APQ-00528-08, que viabilizaram as bolsas e toda infra-estrutura necessária para a realização desse projeto.

Referências Bibliográficas

- Alves, E. R. Aspectos da reprodução em *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu. 2000. 94p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Departamento de Botânica, Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2000.
- Alvin, M.J.; Paciullo, D.S.C.; Carvalho, M.M.; Aroeira, L.J.M.; Carvalho, L.A.; Novaes, L.P.; Gomes, A.T.; Miranda, J. E. C.; Ribeiro, A.C.C.L. Importância Econômica. Embrapa Gado de Leite, 2005. Disponível em: <<http://www.cnpq.embrapa.br/nova/informacoes/sistema/7/importancia.html>>. Acesso em: 10 nov. 2010.
- FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Gbase/latinsearch.htm>>. Acesso em: 27 abr. 2008.
- Kumar, M., Monteith, J.L., Remote Sensing of Plant Growth. In: **Plants and Daylight Spectrum**. Edited by H. Smith, Academic Press, London, UK, 1982, p.133-144.
- Liu, W. T., **Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande**, MS: Editora UNIDERP, ISBN 85-7704-040-0, 2007, 908p.
- Loomis, R.S., Williams, W.A., Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**. American Society of Crop Science, Madison, Wisconsin, USA, V.3, p.67-72, 1963.
- Nunes, S. G. **Brachiaria brizantha** cv. **Marandu**. Camp Grande: EMBRAPA, CNPQC, 1984. 31p. (Documentos, 21).
- Prince, S.D. A model of regional primary production for use with coarse resolution satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 12, p. 1312-1330, 1991.
- Rouse, J. W.; haas, R.H.; Schell, J. A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA, NASA, 1973. SP-351, V1, p. 309-317.
- Steinmez, S., Lagouarde, J. P., Delecolle, R., Guerif, M., Seguin, B. 1991. Evaporation and water stress using thermal infrared measurements. In: Proceeding of Physiology Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environment. Montpellier, França, 3-6, July, 1989. Edited by INRA, Paris, 1991. Lee Colloques N° 55, p.89-114.
- Vieira, C. A. O. ; Mather, P. M. On the Assessment of Spatila Reliability of Thematic Images. In: HALLS, Peter. (Org.). **Innovation in GIS: Spatial Information and the Environment**. UK: Editora London, 2001. Cap.01, p. 120-135.