

DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA (NPP) DE PASTAGENS NA BACIA DO RIO PARANAÍBA, USANDO IMAGENS MODIS

ROBERTO ROSA¹ y EDSON EYJI SANO²

¹ Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia
38.400-902 – Uberlândia – MG - Brasil

rrosa.geo@gmail.com

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
73310-970 – Planaltina – DF - Brasil

edson.sano@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar a Produtividade Primária Líquida (NPP) de pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, usando imagens obtidas pelo sensor MODIS/Terra. A metodologia usada baseia-se no modelo paramétrico proposto por Kumar e Monteith (1981) que estabelece as relações entre radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas plantas e a produtividade de biomassa. A partir deste modelo foi possível estimar a NPP, em função do NDVI e PAR acumulados mensalmente no período de outubro de 2010 a setembro de 2011. Como resultados verificamos que a NPP das pastagens apresentou valores crescentes do mês de outubro de 2010 até janeiro de 2011, quando atingiu seu valor máximo (1.039,6 Kg MS/ha mês), e a partir de então a produtividade permanece praticamente constante até abril de 2011, quando começa a decrescer, atingindo o valor mínimo mensal em setembro de 2011 (301,2 Kg MS/ha mês). Esta produtividade acompanha as variações das condições pluviométricas da região. A produtividade anual encontrada foi de 8.591,9 Kg MS/ha. Aproximadamente 74% da produtividade ocorreu na estação chuvosa e 26% na estação seca. No entanto, esta produtividade para a estação seca está acima dos valores encontrados na literatura, os quais sugerem valores máximos de 20%. Acreditamos que tais valores foram superestimados em função do NDVI, que foi "mascarado" devido à moderada resolução espacial do sensor (250 x 250 m), à composição de imagens que formam o produto MOD13Q1 (16 dias) e aos algoritmos usados para melhorar a qualidade dos produtos.

Palavras chave: pastagens, NPP, PAR, MODIS/Terra, sensoriamento remoto.

DETERMINATION OF THE NET PRIMARY PRODUCTIVITY (NPP) OF PASTURES ON PARANAÍBA'S RIVER WATERSHED, USING MODIS IMAGES

ABSTRACT

This study aimed to determine the Net Primary Productivity (NPP) of cultivated pastures in the watershed of the Parnaíba's river, using images taken by the MODIS / Terra. The methodology used is based on the parametric model proposed by Kumar and Monteith (1981) establishing the relationships between the photosynthetically active radiation absorbed by plants and the biomass productivity. From this model, it was possible to estimate the NPP, in function of the NDVI and PAR accumulated monthly from October 2010 to September 2011. As results we verified that the NPP of pastures showed increasing values from October 2010 until January 2011, when it reached its maximum value (1039.6 kg DM / ha month), thereafter productivity remains practically constant until April 2011, when it begins to decrease, reaching a monthly minimum in September 2011 (301.2 kg DM / ha month). This productivity follows the variations in rainfall conditions in the region. The annual productivity found was 8591.9 kg DM / ha. Approximately 74% of productivity occurred in the rainy season and 26% in the dry season. However, this productivity for the dry season is above the values found in the literature, which suggest maximum values of 20%. We believe these values were overestimated in function of the NDVI, that has been "masked" due to the sensor's moderate spatial resolution (250 x 250 m) the composition of product images that form MOD13Q1 (16 days), and the algorithms used to improve product quality.

Keywords: pastures, NPP, PAR, MODIS/Terra, remote sensing.

1. Introdução

As atividades humanas são reconhecidamente assumidas como causadoras de alterações ambientais, o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e sua relação com o aquecimento global tem sido amplamente debatido junto à comunidade científica e nos meios de comunicação. Paralelamente o Brasil aparece como um dos grandes responsáveis pela emissão de gases estufa em decorrência do desmatamento. Nas últimas décadas este fato tem se intensificado mediante, principalmente, a expansão das atividades agrícolas, especialmente na região dos Cerrados.

Atualmente um dos principais desafios científicos e tecnológicos para mitigar os efeitos da degradação tem sido a restauração não só da estrutura, mas também do funcionamento do sistema degradado, no entanto, existe um consenso de que os esforços nessa linha só serão bem sucedidos se puderem agregar benefícios econômicos e sociais aos benefícios ecológicos.

O fluxo de carbono têm merecido atenção devido o papel que desempenha no processo de mudanças ambientais, principalmente no aquecimento global da atmosfera. O Dióxido de Carbono (CO₂) pode ser absorvido pela vegetação através do processo de fotossíntese e armazenado no solo na forma de substâncias orgânicas.

O constante aumento desses gases na atmosfera, particularmente o CO₂ e o Monóxido de Carbono (CO), tem levantado a grandes discussões sobre as alternativas que poderiam diminuir o efeito destes gases no meio ambiente. Uma alternativa que vem sendo discutida como uma opção viável para solucionar, em parte, a emissão de carbono na atmosfera, trata-se do seqüestro e armazenamento de carbono atmosférico. Essa retirada do CO₂ da atmosfera é feita pela vegetação, método baseado no seqüestro e armazenamento de carbono a partir do aumento da Produtividade Primária Líquida (NPP) da vegetação. A NPP corresponde à produção de substâncias que entra na constituição do organismo, ou seja, é toda a energia que os produtores armazenam a partir da fotossíntese menos o que eles gastam na respiração. Goward *et al.* (1985) mostrou que a NPP é relacionada com índices de vegetação. Enquanto, Monteith (1972) sugeriu que sob condição não estressada a soma da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é linearmente relacionada com a NPP.

As pastagens cobrem cerca de dois terços de toda a área agricultável do globo terrestre. No Brasil as pastagens ocupam cerca de três quartos da área agrícola nacional, ou seja, estima-se que o Brasil tenha cerca de 164 milhões de hectares de pastagens cultivadas, no entanto, aproximadamente 50% desse total já se encontram em algum estágio de degradação, com níveis de produtividade de forragem bastante baixos, reflexos da degradação, resultante de manejo inadequado.

A degradação da pastagem faz com que haja redução na produtividade primária líquida, perda de matéria orgânica do solo e/ou emissão de CO₂ para atmosfera. Estudos realizados por Rosa e Sano (2012) na Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba comprovam esta tese, em que pastagens bem manejadas e em baixo estágio de degradação tem um potencial de seqüestrar mais carbono. Segundo os autores, os solos sob pastagem melhorada apresentaram um teor de carbono 13% maior do que o da pastagem degradada, em todas as profundidades de solo analisadas.

Acreditamos que com um manejo adequado as pastagens podem contribuir significativamente no combate ao aumento do efeito estufa, potencializando o seqüestro de carbono pelo solo. Nesse cenário, a restauração de ecossistemas degradados vem ganhando importância e recebendo investimentos por meio de cooperação internacional, para restauração e/ou reabilitação dessas áreas degradadas, tendo como enfoque a remoção do carbono atmosférico.

A preocupação atual é sobre o rumo que nossa pecuária de corte deve tomar, sabendo-se que na realidade algumas práticas de manejo tradicionais devem ser abandonadas, pois prejudicam o ambiente e a produtividade do sistema. Para uma população em constante crescimento estima-se que a demanda por alimentos, em 2050, será o dobro da que temos hoje e o desafio é como produzir mais conservando o meio ambiente e melhorando a qualidade de vida das pessoas. Neste cenário, cabe a cadeia agropecuária buscar por alternativas que resultem em ganho de eficiência produtiva minimizando os impactos sobre o meio ambiente.

A natureza extensiva das pastagens e a preocupação com a sua degradação nos desafia a procurar metodologias, sistemas de coleta de dados e de análise em escalas múltiplas. Neste sentido, o uso de técnicas de sensoriamento remoto pode contribuir no mapeamento, determinação da área e produtividade primária das pastagens em escala regional.

Face ao exposto, o presente trabalho teve como objetivo determinar a Produtividade Primária Líquida (NPP) de pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, mensalmente, usando imagens obtidas pelo sensor MODIS/Terra.

2. Fundamentação teórica

A Produtividade Primária Líquida (NPP) é toda a energia armazenada pelas plantas a partir da fotossíntese (Produtividade Primária Bruta) menos o que elas gastam na respiração (Field *et al.*, 1995 e Feng *et al.*, 2007). Representa a taxa de produção de biomassa que está disponível para o consumo pelos organismos heterotróficos (bactérias, fungos e animais).

A produtividade primária líquida é o principal indicador de "saúde" de uma pastagem, sendo de grande importância para o equilíbrio ecológico. A acumulação de carbono pelas plantas proporciona a energia que alimenta muitos processos bióticos no planeta, como microorganismos e outros animais, bem como a diversidade de organismos numa determinada zona ecolimática.

No Brasil as informações sobre a produtividade primária líquida (NPP) da vegetação são escassas, restringem-se apenas a trabalhos pontuais de pesquisa. A importância em conhecer a NPP tem sido reconhecida por muito tempo, visto o papel central que desempenha no ciclo do carbono e fluxo de energia em diversos ecossistemas. Boa parte da biomassa em uma comunidade é composta de plantas, as quais são os produtores primários de biomassa em virtude de sua habilidade em fixar o carbono atmosférico através do processo da fotossíntese.

A fotossíntese é um processo central no funcionamento de todas as plantas verdes. A capacidade fotossintética das plantas está diretamente relacionada à sua habilidade em utilizar a água, luz e nutrientes. A produção fotossintética é a fonte primária de matéria orgânica e energia em potencial que todas as formas de vida, incluindo o homem, são dependentes. Além da importância direta da matéria orgânica produzida pela fotossíntese, sua produção resulta em alterações importantes na composição química do ambiente, em particular, a fixação fotossintética do dióxido de carbono e acompanhada pela liberação de oxigênio.

O crescimento das plantas depende da sua capacidade de incorporar carbono atmosférico em compostos orgânicos, através do uso de energia luminosa absorvida durante a fotossíntese. Portanto, diversos fatores influenciam a produtividade primária, dentre os quais podemos destacar:

Radiação Eletromagnética- De toda radiação solar incidente sobre as plantas, apenas a fração compreendida entre 0,4 a 0,7 μm é absorvida. Essa faixa de radiação é chamada de radiação fotossinteticamente ativa (PAR-photosynthetically active radiation), ocupa aproximadamente 40 a 50% do total da radiação solar incidente. A taxa de fotossíntese dos produtores primários aumenta conforme o aumento da PAR uma vez que a capacidade de redução do CO_2 atmosférico é aumentada através de reações fotoquímicas. A resposta fotossintética a radiação pode variar consideravelmente entre as espécies vegetais e entre as folhas de um mesmo indivíduo.

CO_2 - O dióxido de carbono é o substrato primário para a fotossíntese. A taxa fotossintética aumenta linearmente com o aumento da concentração de CO_2 intracelular. Isto ocorre quando este se encontra em pequenas concentrações e a enzima catalisadora da reação (Ribulose Bifosfato-Rubisco) ainda não está saturada.

Temperatura- A temperatura afeta antes de tudo a taxa de abertura estomacal e esta é dependente da energia disponível para o mecanismo de movimento (transporte de íons). A fotossíntese aumenta conforme a temperatura devido ao aumento da atividade enzimática. Em elevadas temperaturas, a difusão do CO₂ e a fotorrespiração ficam limitadas (o máximo de temperatura para fotossíntese líquida é a temperatura mais alta a qual todo o CO₂ liberado pela respiração é reassimilado). Se a temperatura se eleva acima disso, o CO₂ começa a escapar, não mais aumentando a taxa fotossintética. Em temperaturas extremas a integridade do sistema fotossintético é rompida e a taxa fotossintética diminui. A temperatura controla a taxa de metabolismo da planta, a qual determina a quantidade de fotossíntese que pode acontecer. A maior parte da atividade metabólica acontece dentro do intervalo entre 0 e 50 °C. Existe pouca atividade acima ou abaixo deste intervalo. A temperatura ideal para a produtividade coincide com o intervalo ideal para a fotossíntese de 15 a 25 °C.

Água- Água é uma necessidade principal para a fotossíntese e o principal componente químico da maior parte das células da planta. Para fixar carbono, as plantas precisam perder água, uma vez que a difusão do vapor d'água e do CO₂ se dão pelo mesmo local (estômato). Enquanto os estômatos estão abertos e o CO₂ é difundido internamente para os locais de fixação, o vapor d'água é difundido, pelo caminho inverso, para a atmosfera que é menos úmida. Existem períodos durante o dia, especialmente nas manhãs, que a quantidade de água perdida por unidade de carbono fixada é menor (i.e., a eficiência no uso da água é maior). Particularmente, durante períodos de seca, as plantas podem fechar os estômatos ao meio-dia, período em que a perda de água por carbono fixado é menos favorável.

Nutrientes- Os nutrientes podem afetar o desempenho fotossintético de uma forma relativamente direta, uma vez que o nitrogênio e o fósforo estão envolvidos nas reações fotossintéticas. Os efeitos diretos dos nutrientes na fotossíntese são mais marcantes para nitrogênio, visto que a maior parte deste elemento, encontrado nas folhas está contido na enzima fixadora de carbono, Rubisco. Desta forma, existe uma forte correlação positiva entre a capacidade fotossintética e o conteúdo de nitrogênio nas folhas. Porém, esta relação só é verdadeira se outros fatores como a radiação solar, não são limitantes.

Portanto, a quantidade de fotossíntese realizada pela folha durante sua vida depende de uma série de fatores: (a) da sua capacidade fotossintética intrínseca; (b) quantidade de recursos limitantes disponíveis, e (c) o tempo de permanência da folha à planta. Considerando-se este aspecto, quanto mais folha fica aderida na planta maior é o retorno em termos de carbono fixado. Além da relação direta entre a longevidade da folha e o ganho fotossintético, há uma relação inversa entre a longevidade foliar e a capacidade fotossintética. Folhas de plantas com elevadas taxas de crescimento não vivem muito tempo, mas apresentam uma elevada capacidade fotossintética e uma baixa eficiência no balanço hídrico (perda de água). A capacidade fotossintética da folha muda com a idade. As maiores taxas são obtidas próximas ao período de maior expansão foliar, depois do qual a capacidade de fixação começa a declinar.

A biomassa vegetal é produzida a partir da fixação do dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, utilizando a radiação solar como fonte de energia, mais especificamente, a Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR). A Produtividade Primária Líquida é usualmente expressa em unidade de matéria orgânica seca por unidade de área por unidade de tempo (por exemplo. g/m² dia, kg /ha mês ou kg /ha ano).

Para estimativas da NPP torna-se necessário conhecer os termos respiração, ponto de compensação, ponto de saturação, eficiência fotossintética e radiação fotossintética ativa (PAR).

A respiração é um processo contrário ao processo de fotossíntese. A planta gasta sua energia, liberada pelo processo de respiração para manter a sua vida. A fotossíntese começa quando o sol nasce, mas a taxa é baixa devido à intensidade do sol ainda fraca. No início do dia, a energia absorvida somente é suficiente para compensar a energia gasta para manter a vida da planta por meio da respiração. Mais tarde, o aumento da intensidade da radiação solar permite que a taxa de fixação do CO₂ exceda a taxa de liberação pela respiração. No momento em que a taxa de fotossíntese ultrapassar a taxa de respiração é chamado de ponto de compensação.

Quanto ao mecanismo de redução do CO₂, ou seja, a fase bioquímica da fotossíntese, as plantas podem ser classificadas em três grupos: plantas C₃, plantas C₄ e plantas CAM (metabolismo do ácido crassuláceo). Normalmente, a taxa de fotossíntese aumenta quando a intensidade da radiação aumenta. No entanto, na maioria das plantas C₃ (por exemplo, arroz, aveia, trigo, algodão, girassol, soja e feijão), quando a intensidade de radiação atinge um determinado nível, a taxa de fotossíntese não aumenta mais. Portanto, o ponto de saturação é definido quando a taxa de fotossíntese atinge um nível constante, aquele em que sua taxa de fotossíntese não responde mais ao crescente aumento da intensidade da radiação. As plantas C₄ (por exemplo, milho, sorgo, cana-de-açúcar, pastagens de brachiaria e panicuns) não se saturam com o aumento da intensidade da radiação. Ou seja, gramíneas C₃ saturam-se de luz em intensidades luminosas mais baixas do que espécies C₄.

A eficiência fotossintética (ϵ_f) é um critério usado pelos especialistas de melhoramento genético para avaliar as variedades que tem mais eficiência na conversão da energia solar em matéria seca. As variedades de maior eficiência fotossintética têm a produtividade potencial maior. A eficiência fotossintética é definida como a razão da energia fixada em matéria seca e da energia PAR incidida.

A eficiência de conversão decresce gradualmente com o aumento do fluxo de radiação solar acima do ótimo, podendo ocorrer saturação das folhas superiores. Entretanto, o nível de radiação em que ocorre a saturação nas folhas localizadas no interior do dossel é muito mais elevado, pois a incidência de radiação é menor, e muitas das folhas podem não chegar à saturação (Russell *et al.*, 1989). Sinclair e Horie (1989) verificaram que, em baixo índice de área foliar (LAI), a eficiência de uso da radiação é baixa, pois a maioria das folhas está sujeita à saturação fotossintética por radiação. Como a fração de área foliar sombreada aumenta com o decorrer do ciclo da cultura, aumenta também a eficiência de uso da radiação. Isto decorre do incremento na contribuição relativa das folhas sombreadas para o acúmulo de biomassa da cultura, à medida que aumenta a fração difusa, e também da maior uniformidade da radiação no interior do dossel.

Mesmo as espécies de plantas mais eficientes como as C₄ e C₃, podem somente incorporar de 3 a 10% da radiação PAR à sua produção de biomassa. Dos vários biomas da Terra, florestas tropicais e coníferas são as mais eficientes, convertendo entre 1 e 3% da energia solar utilizável em biomassa. O bioma deserto tem a mais baixa eficiência no uso da radiação. As plantas neste bioma convertem somente de 0,01 a 0,2% da radiação PAR em biomassa.

Segundo Taiz e Zieger (2004) a radiação solar é um dos fatores que mais limitam o desenvolvimento das plantas, uma vez que o Sol é a origem de toda a energia necessária para

transformação do CO₂ atmosférico em energia metabólica, no entanto, a radiação solar sozinha não determina a produtividade primária. Todas as plantas requerem radiação solar, temperatura, dióxido de carbono, água e nutrientes do solo para a fotossíntese.

Globalmente, os padrões de produtividade primária variam tanto espacialmente como temporalmente. Os ecossistemas menos produtivos são aqueles limitados pela energia térmica e água enquanto que os ecossistemas mais produtivos são aqueles com altas temperaturas e pleno suprimento de água e grandes quantidades de nitrogênio disponível no solo.

Embora as medições diretas de NPP a campo sejam possíveis de serem realizadas e representem o valor mais próximo da realidade são onerosas e exigem grande esforço de trabalho. Desta forma, foram desenvolvidos vários modelos que permitem a estimativa da NPP sem a necessidade de coleta de informações a campo, utilizando dados climáticos, pedológicos e de sensoriamento remoto.

Em função da grande variedade de modelos de estimativa da NPP encontrados na literatura, Ruimy *et al.* (1994) classificou-os em três grupos: (a) modelos estatísticos; (b) modelos paramétricos, e (c) modelos de processos. Cada um desses grupos tem seus pontos fortes e suas limitações. Os modelos estatísticos são mais simples, mas limitados quanto às generalizações. Já os modelos paramétricos têm a vantagem de utilização de dados de sensoriamento remoto, especialmente em grande escala, mas perdem à ligação com alguns processos ecológicos críticos, pelo uso de relações empíricas e constantes. Por sua vez, os modelos de processos são baseados no conhecimento atual dos principais processos ecológicos e biofísicos, mas são altamente complexos, demandam grande capacidade computacional e são difíceis de calibrar.

A estimativa da produtividade da vegetação usando dados de sensoriamento remoto, em geral, segue duas abordagens: (a) estabelecimento de relações empíricas diretas entre a reflectância espectral e a biomassa (Tucker *et al.*, 1983 e Wylie *et al.*, 1995), e (b) uso da reflectância espectral para estimar a quantidade de Radiação Ativa Absorvida por Fotossíntese-APAR (Choudhury, 1987). A primeira abordagem é útil para estimar a biomassa viva. Já, a segunda abordagem é mais aplicada para a predição de biomassa em diferentes regimes climáticos e entre biomas. Diversos estudos de larga escala demonstraram que a biomassa viva está correlacionada com os índices de vegetação e índice de área foliar (LAI) obtidos por técnicas de sensoriamento remoto, especialmente o índice da diferença normalizada da vegetação (NDVI). A lógica por trás dos índices de vegetação baseia-se no fato de que a energia refletida no vermelho e infravermelho próximo é diretamente relacionada à atividade fotossintética da vegetação.

Numerosos estudos têm mostrado que o NDVI tem uma relação muito estreita com a fração da PAR absorvida pela vegetação verde (Goward e Huemmrich, 1992; Kumar e Monteith, 1981; Fuentes *et al.*, 2006). A absorção da radiação incidente pelas culturas depende do seu índice de área foliar, posição solar, geometria e tamanho da folha, idade e arranjo das plantas, época do ano, nebulosidade, espécie cultivada, condições meteorológicas e de práticas de manejo adotadas.

Portanto, a NPP é a energia acumulada em biomassa vegetal e é relacionada com índices de vegetação (NDVI) e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Assim, estimativas de NPP, podem ser muito úteis para avaliar o desenvolvimento fenológico, a produção e o estado de degradação das pastagens.

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

3. A Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba é a segunda maior unidade hidrográfica da Região Hidrográfica do Paraná, com 25,4% de sua área, que corresponde a uma área de drenagem de 223.532,7 km², abrangendo parte dos estados de Goiás (63,2%), Minas Gerais (31,7%), Mato Grosso do Sul (3,4%) e Distrito Federal (1,7%). O rio Paranaíba, cuja nascente ocorre no município de Rio Paranaíba-MG, na Serra da Mata da Corda, percorre cerca de 1.160 km até sua foz, no encontro com o rio Grande, desde a cota 1.100 até o nível 328, nível este do lago da hidrelétrica de Ilha Solteira. A população da bacia é de cerca de 8,5 milhões de habitantes, sendo que aproximadamente 92% vivem em áreas urbanas. Esta população está distribuída em 193 municípios pertencentes a quatro Unidades da Federação: Goiás (133 municípios), Minas Gerais (55 municípios), Mato Grosso do Sul (4 municípios) e o Distrito Federal (figura 1).

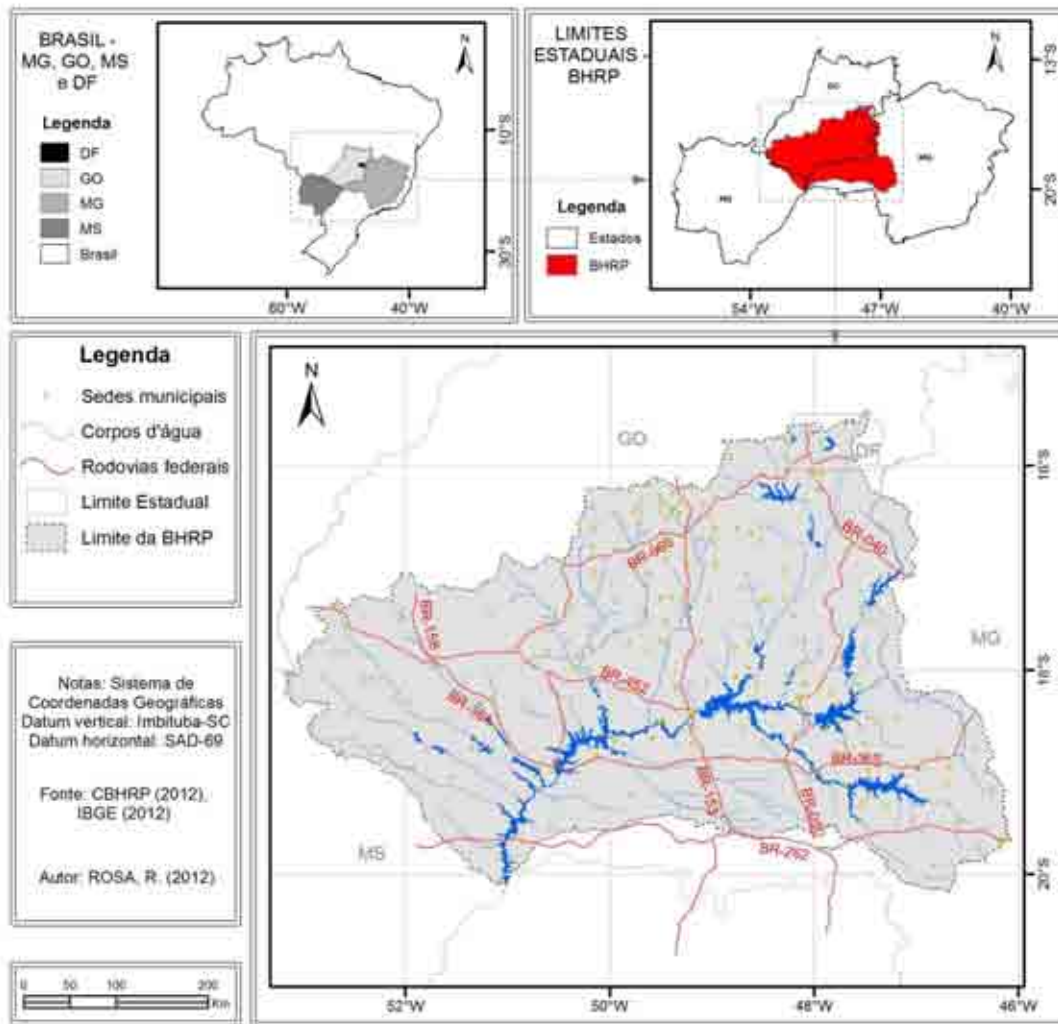


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

A bacia do rio Paranaíba possui clima preponderantemente tropical, com temperatura média mensal superior a 18 °C, com período seco no inverno e amplitude térmica inferior a 5 °C, podendo ser classificado como do tipo Aw pela segunda Koppen. Possui uma sazonalidade marcante com período de estiagem muito bem definido, mas com excedentes hídricos no período chuvoso que vai de outubro a abril, com precipitações médias variando entre 1.400 a 1.800 mm ano.

Em termos de compartimentação geológica, na bacia hidrográfica do rio Paranaíba predominam duas grandes províncias lito-estruturais, de origens e comportamentos distintos, que condicionam respostas diferenciadas às intervenções em cada uma delas. Essas duas grandes unidades de análise são denominadas Província Tocantins e Província Paraná. A divisão acompanha as interpretações mais recentes sobre a evolução geotectônica dessa região.

Na porção sudoeste da bacia concentram-se às menores altitudes topográficas da área, principalmente ao longo do canal principal do rio Paranaíba. As maiores declividades estão na porção oriental da bacia, onde predominam os modelados de dissecação do tipo tabular, com densidade muito fraca de aprofundamento da drenagem e conseqüente prevalectimento do escoamento superficial.

Os solos predominantes na bacia são os latossolos (65% da área), cambissolos (15%), podzólicos (8%) e o restante da área (12%) é ocupado com outros tipos de solo, dentre os quais destacam-se: areias quartzosas, litólicos, glei pouco húmico e terra roxa. São solos predominantes (latossolos) possuem baixa fertilidade natural e boas propriedades físicas. Ocorrem em relevo plano a suave ondulado, onde favorecem a mecanização.

A vegetação original da bacia era típica do Bioma Cerrado, atualmente bastante descaracterizada, composta por fitofisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. As formações florestais são representadas por Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão. As formações savânicas são compostas por árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramino-lenhoso onde não há formação de dossel contínuo, são representadas pelo Cerrado (denso, típico, ralo e rupestre), Vereda, Parque de Cerrado e Palmeiral.

As formações campestres são formadas pelo predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, observando-se a inexistência de árvores na paisagem, representadas pelo campo sujo, limpo e rupestre. Destaca-se que não há limites definidos entre uma fisionomia e outra, assim, formas intermediárias podem ocorrer entre elas. Outra característica é que a vegetação apresenta fenologia marcadamente sazonal, com incremento da biomassa na estação das chuvas (outubro a abril) e dessecação das partes aéreas na estação seca (maio a setembro), o que favorece a ocorrência de incêndios naturais e, também, decorrentes da ação antrópica.

As atividades econômicas da bacia são bastante diversificadas, com destaque na pecuária, produção de soja, milho, algodão, café e mais recentemente cana-de-açúcar. Além disso, a bacia é conhecida principalmente pelo potencial hidrelétrico, responsável pela geração de grande parte da energia de Minas Gerais e Goiás. De acordo com a Agência Nacional de Águas, ela responde por cerca de 70% da energia elétrica consumida em Minas Gerais, permitindo, também, que as terras agricultáveis ao longo das margens do rio Paranaíba possuam os maiores índices de crescimento de áreas irrigadas do país.

4. Procedimentos metodológicos

Existem na literatura diversos modelos para estimar a NPP, no entanto neste trabalho utilizamos o modelo paramétrico proposto Monteith que explora as relações entre radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas plantas e a produtividade biológica. O mesmo é à base da estimativa da NPP disponibilizada pelo Projeto *Global Earth Observation in Support of Climate Change and Environmental Security Studies*, que usa imagens do satélite. Diversos estudos têm demonstrado a eficiência no uso de imagens de satélite na determinação da produtividade primária líquida, dentre eles podemos destacar: Sellers *et al.* (1992) e Goetz *et al.* (1999).

As imagens usadas foram adquiridas pelo sensor MODIS/Terra (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) referentes ao produto MOD13Q1 (composição 16 dias), correspondentes aos os *tiles* H12V10, H13V10 e H13V11, que abrangem toda a área da bacia do rio Paranaíba (quadro 1). O produto MOD13Q1 possui uma resolução espacial de 250 metros e refere-se aos índices de vegetação. As imagens foram adquiridas do sitio da NASA (<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatialmap=satellite&spatialtype=rectangle>).

Quadro 1 – Data das imagens usadas – MOD13Q1.

| Início da composição | Final da Composição | Dia Juliano do Início | Mês Representativo |
|----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| 16/10/10 | 31/10/10 | 289 | Outubro |
| 17/11/10 | 02/12/10 | 321 | Novembro |
| 19/12/10 | 03/01/11 | 353 | Dezembro |
| 17/01/11 | 01/02/11 | 017 | Janeiro |
| 18/02/11 | 05/03/11 | 049 | Fevereiro |
| 22/03/11 | 06/04/11 | 081 | Março |
| 23/04/11 | 08/05/11 | 113 | Abril |
| 25/05/11 | 09/06/11 | 145 | Maiο |
| 26/06/11 | 11/07/11 | 177 | Junho |
| 12/07/11 | 27/07/11 | 193 | Julho |
| 13/08/11 | 28/08/11 | 225 | Agosto |
| 14/09/11 | 29/09/11 | 257 | Setembro |

Após a aquisição, as imagens foram transformadas para o sistema de coordenadas geográficas, Datum SAD-69, mosaicadas e convertidas do formato *Hierarchical Data Format* (HDF) para o *Geotiff* através do software *MODIS Reprojection Tool* (MRT). O produto MOD13Q1 é composto por: NDVI, EVI, VI-Quality, Red-reflectance, NIR-reflectance, Blue-reflectance, MIR-reflectance, view-zenith-angle, Sun-zenith-angle, relative-azimute-angle, composite-day-of-the-year e pixel-reliability. No entanto, foram utilizados apenas o NDVI, VI-Quality e pexel-reliability.

A partir das informações de qualidade das imagens (VI-Quality e pixel-reliability) foi possível construir uma máscara para eliminação dos dados com qualidade duvidosa. As etapas de processamento das imagens e determinação da NPP foram realizadas no software *Idrisi Taiga*.

As plantas produzem matéria seca através do processo fotossintético em que a clorofila das folhas absorve e converte a radiação solar na faixa visível (0,4 – 0,7 μm) em biomassa. A radiação solar na faixa visível é chamada PAR (*Photosynthetic Active Radiation*). A variação de produtividade de biomassa das diferentes espécies vegetais é atribuída à diferença da capacidade de absorção da radiação solar na faixa visível em uma determinada condição ambiental. Baseado neste argumento Kumar e Monteith (1981) propuseram um modelo de estimativa de produtividade de biomassa. A partir deste modelo foi possível estimar a produtividade primária líquida de biomassa, em função do NDVI e PAR acumulados em um determinado período, conforme equação a seguir:

$$NPP = \epsilon_f \sum_{j=1}^n [NDVI][PAR]$$

Onde, NPP é a produtividade primária líquida (ou matéria seca); Σ representa o somatório do crescimento da vegetação no período de j de 1 a n ; ϵ_f representa a eficiência fotossintética da vegetação ou eficiência no uso da radiação; o NDVI representa o índice de vegetação (*Normalized Difference Vegetation Index*); PAR é a radiação fotossinteticamente ativa.

Produtividade Primária Líquida (NPP) é a energia acumulada em biomassa vegetal (matéria seca ou MS) e quando derivada a partir de imagens de satélite é tipicamente expressa em termos de gramas de carbono fixado por metro quadrado por dia (g/m^2 dia) ou quilogramas de carbono fixado por hectare dia (kg/ha dia).

A eficiência do uso da radiação ϵ_f (g/MJ) é uma razão entre a biomassa produzida (g/m^2 dia) e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (MJ/m^2 dia). No entanto, um dos maiores problemas na estimativa da NPP é encontrar valores representativos de ϵ_f para os vários tipos de vegetação. Prince (1991) fez uma compilação de medições experimentais de campo de ϵ_f para algumas culturas herbáceas e outros tipos de vegetação, mostrando que ϵ_f varia entre 0,2 e 4,8 g/MJ . Também concluiu que, embora no curto prazo, há muitos fatores que afetam ϵ_f , a média sazonal é menos sujeita a alterações e pode ser considerada como constante para todo um ciclo fenológico de uma cultura (Kumar e Monteith, 1981; Steven *et al.*, 1983).

A eficiência de utilização de radiação (ϵ_f) depende da temperatura, umidade do solo e nutrientes, sendo difícil de quantificar devido à sua variabilidade temporal e espacial. Brandão *et al.* (2007), em estudo realizado na Chapada do Araripe, encontraram valores ϵ_f variando entre 0,612 a 2,704 (g/MJ), sendo os menores valores para vegetação rala e o maiores para vegetação densa. Fonseca *et al.* (2006) encontraram valores e eficiência de utilização da radiação variando de 0,09 a 0,51 g/MJ em experimentos de campo, para vegetação campestre, no Bioma, Campos Sulinos.

No entanto não existe um consenso na literatura sobre a constância do valor de ϵ_f para uma determinada cultura agrícola. Alguns autores afirmam que plantas saudáveis, bem nutridas e com disponibilidade de água adequada podem apresentar um valor constante para ϵ_f , ao longo do ciclo fenológico (Rawson *et al.*, 1984; Squire *et al.*, 1984). No presente trabalho utilizamos o valor de 0,46 g/MJ , como sendo a eficiência do uso da radiação (ϵ_f) para a pastagem. Tais valores são resultados preliminares, ainda não publicados, encontrados em experimentos de campo, em duas estações experimentais localizadas em Uberlândia-MG, onde são monitorados os valores de ϵ_f mensalmente.

Os dados mensais de NDVI foram obtidos a partir do produto MOD13Q1, no período de outubro de 2010 a setembro 2011. Sabe-se que a radiação solar da vegetação sadia na faixa do infravermelho próximo (IRP) é fortemente refletida pela vegetação, enquanto que na região do vermelho (R) é fortemente absorvida.

$$NDVI = \frac{IRP - R}{IRP + R}$$

A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR, em MJ /m² dia) pode ser obtida por:

$$PAR = 0,48 * R_s$$

Onde, R_s é a radiação solar global integrada para o período de 24 horas (MJ/m² dia) obtida em estação meteorológica. A equação expressa a PAR como sendo 48% da radiação de onda curta incidente num período de 24 horas (Frouin e Pinker, 1995; Moran *et al.*, 1995; Bastiaanssen e Ali, 2003).

Os dados de radiação solar global na superfície - R_s (média diária) no período de aquisição das imagens MODIS (outubro de 2010 a setembro de 2011), foram obtidos no sítio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Das estações meteorológicas encontradas, foram selecionadas 18 que apresentavam uma boa distribuição dentro da bacia, conforme figura 2.

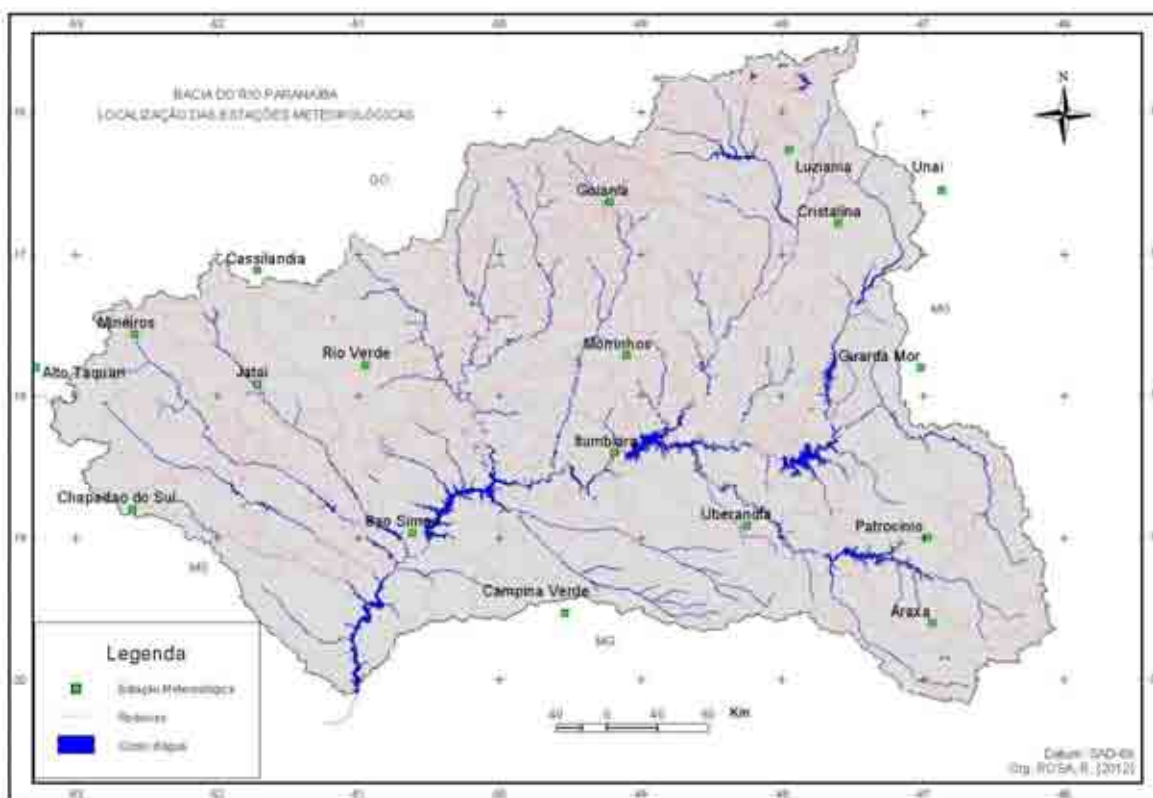


Figura 2 – Mapa com a localização das estações meteorológicas onde foram obtidos os dados de Radiação Solar Global na Superfície.

No gráfico 1 estão representados os valores de Rs médios diários no período de outubro de 2010 a setembro de 2011 para as 18 estações meteorológicas usadas na pesquisa. Pela análise da figura, verifica-se os menores valores de Rs são encontrados para as estações de Campina Verde (19,25 MJ/m² dia) e Uberlândia (19,81 MJ/m² dia), enquanto que os maior valores são encontrados nas estações de Araxá (23,21 MJ/m² dia), Unai (23,11 MJ/m² dia) e Chapadão do Sul (22,96 MJ/m² dia). Também encontramos um valor de Rs médio para a bacia de 21,22 MJ/m² dia, tendo como valor mínimo 13,23 MJ/m² dia para a estação meteorológica de Campina Verde, no mês de março de 2011 (mês que foi muito chuvoso) e valor máximo de 29,20 MJ/m² dia para a estação meteorológica de Araxá, para o mês de setembro de 2011.

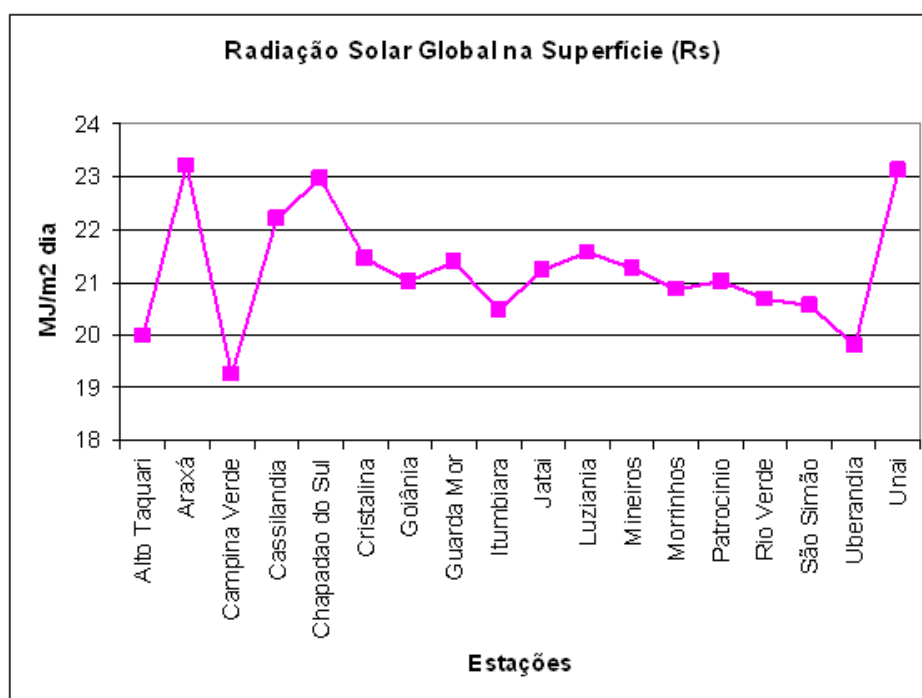


Gráfico 1 - Valores de Radiação Solar Global na Superfície (Rs), valores médios diários para as estações meteorológicas no período de outubro de 2010 a setembro de 2011.

O gráfico 2 mostra os valores médios, máximos e mínimos de Rs das estações, para os diferentes meses do ano. A partir da análise da figura verifica-se a menor média ocorreu em março de 2011 (17,53 MJ/m² dia), mês que se caracterizou por apresentar precipitação muito acima da média neste ano, enquanto que a maior média se deu no mês de setembro de 2010 (24,32 MJ/m² dia).

No gráfico 3 é apresentado os valores de Radiação Solar Global na Superfície (Rs) e a Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), valores diários médios por mês. A partir da análise desta figura e dos dados originais, verifica-se que a média de PAR para a bacia foi de 10,20 MJ/m²

dia, com valor mínimo de 8,4 MJ/m² dia para o mês de março de 2011 e valor máximo de 11,70 MJ/m² dia em setembro de 2011.

Os valores médios diários de Radiação Solar Global na Superfície (Rs) das 18 estações foram interpolados, usando o método de interpolação inverso do quadrado da distância (IDW) para produção de um mapa temático com a distribuição espacial na bacia de Rs para cada mês do ano, mapas estes que serviram de entrada para a produção do mapa com a Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) da bacia, produto intermediário para a determinação da produtividade primária líquida (NPP). Foram elaborados, portanto, 12 mapas de PAR, um para cada mês do período estudado. Os valores de PAR foram determinados a partir dos dados de radiação global obtidos em 18 estações meteorológicas localizadas dentro da área da bacia hidrográfica.

A partir de então, foi possível calcular a produtividade primária líquida diária com o uso de imagens NDVI obtidas pelo sensor MODIS representativas de cada mês e, posteriormente, calcular a produtividade mensal e anual, a partir da multiplicação da produtividade diária pelo número de dias do mês.

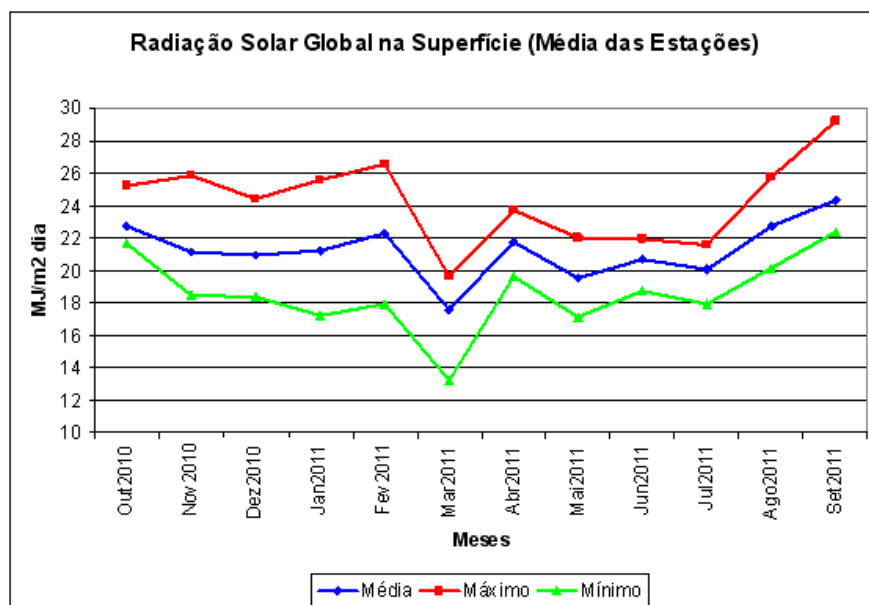


Gráfico 2 - Valores médios, máximos e mínimos de Radiação Solar na Superfície (Rs) das estações, para os diferentes meses do ano.

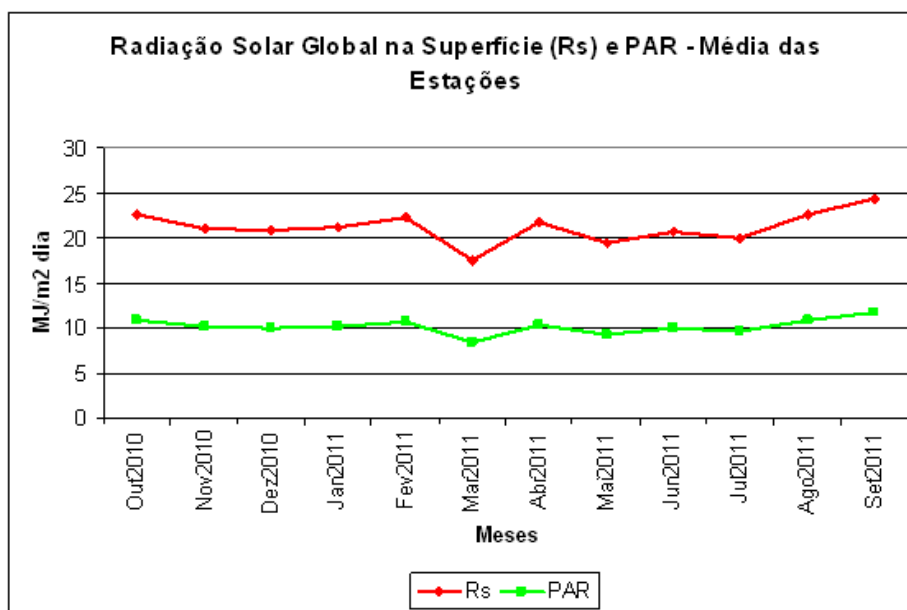


Gráfico 3 - Radiação Solar Global na Superfície (RS) e Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR). Valores diários médios por mês.

4. Resultados e discussão

A partir do NDVI obtido do produto MOD13Q1, da PAR obtida da Radiação Solar Global na Superfície (Rs) e da eficiência fotossintética (ϵf) e, usando a metodologia descrita, foi possível determinar a Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens mês a mês. Este procedimento foi feito somente nas áreas ocupadas por pastagens cultivadas, as quais foram derivadas do mapa de uso da terra e cobertura vegetal natural de 2010, elaborado por Rosa e Sano (2012).

Os mapas temáticos de uso da terra e cobertura vegetal natural, bem como os da produtividade primária líquida (NPP) mensal e anual estão apresentados no Apêndice 1 (figuras 3 a 16). A quantificação dos valores pode ser observada na tabela 1 e gráfico 4.

A partir da análise da tabela 1 e figura 6, verifica-se que a Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens apresenta um valor crescente do mês de outubro de 2010 até janeiro de 2011 (quando atinge seu valor máximo de 1.039,6 Kg MS/ha mês), onde então a produtividade permanece praticamente constante até abril de 2011, quando começa a decrescer, atingindo o valor mínimo mensal de 301,2 Kg MS/ha mês, em setembro de 2011.

Na Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba, conforme os dados de precipitação pluviométrica, há duas estações bem definidas, uma seca de maio a setembro e outra chuvosa de outubro a abril. No entanto, quando se analisa da NPP, observa-se que embora no mês de outubro, início da estação chuvosa, ainda há deficiência hídrica no solo, bem como não houve tempo para a pastagem desenvolver todo seu potencial de crescimento. Ao contrário, em maio, quando temos pouca

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

precipitação, ainda tem bastante umidade no solo e conseqüentemente a pastagem ainda possui uma NPP elevada.

Tabela 1 – Produtividade Primária Líquida (NPP) mensal das pastagens (Kg MS/ha mês).

| Meses | Kg MS/ha mês | Porcentagem |
|--------------------|---------------|---------------|
| Out/2010 | 428,8 | 4,99 |
| Nov/2010 | 659,8 | 7,68 |
| Dez/2010 | 959,3 | 11,17 |
| Jan/2011 | 1039,6 | 12,10 |
| Fev/2011 | 949,2 | 11,05 |
| Mar/2011 | 995,7 | 11,59 |
| Abr/2011 | 919,2 | 10,70 |
| Mai/2011 | 801,8 | 9,33 |
| Jun/2011 | 672,6 | 7,83 |
| Jul/2011 | 492,6 | 5,73 |
| Ago/2011 | 372,1 | 4,33 |
| Set/2011 | 301,2 | 3,51 |
| Total Anual | 8591,9 | 100,00 |

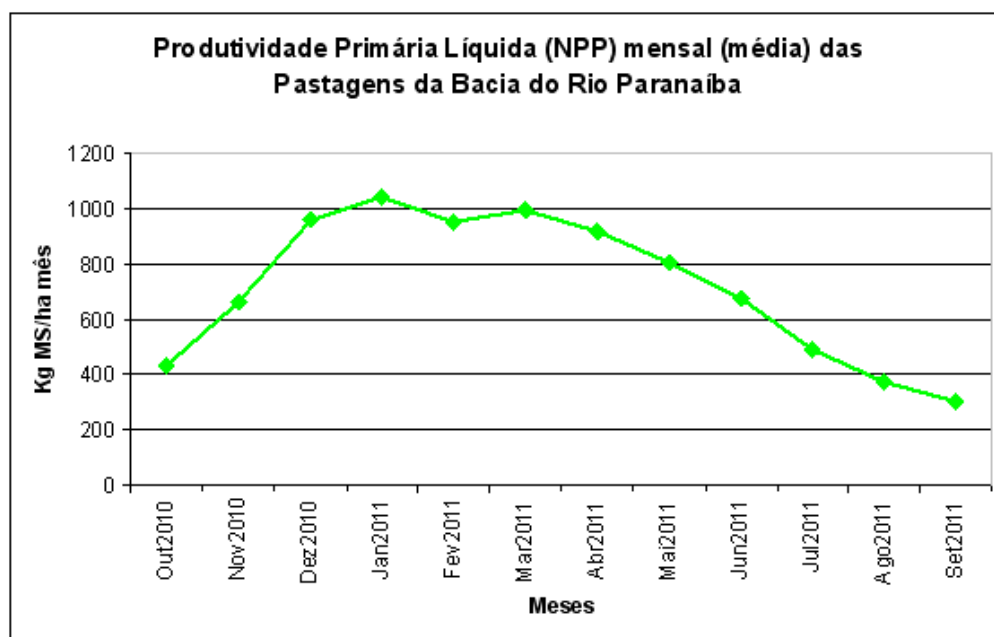


Gráfico 4 - Produtividade Primária Líquida (NPP) mensal das pastagens da Bacia do rio Paranaíba.

Ao analisarmos, portanto, a NPP segundo as estações podemos observar que 73,6% (6.324,6 Kg MS/ha) da produtividade ocorre na estação chuvosa e 26,3% (2.267,3 Kg MS/ha) na

estação seca. No entanto, a produtividade encontrada para a estação seca (26,3%), esta acima dos valores encontrados na literatura, os quais sugerem valores máximos para esta estação de 20%.

Euclides *et al.* (1993) encontraram valores de 750 Kg MS/ha em pastagem de *Brachiaria decumbens* para a época seca do ano. Pedreira (1973) encontrou uma produtividade 847 Kg MS/ha (estação seca) e 6.552 Kg MS/ha (estação chuvosa), para pastagem de panicum máximo.

Acreditamos que dificilmente uma pastagem de *Brachiaria spp.*, sem um manejo adequado, na Bacia do rio Paranaíba (em média), consiga produzir mais do que 5 Kg MS/ha dia, nos meses com maior deficiência hídrica (julho, agosto e setembro). Portanto, os valores encontrados neste trabalho para a estação seca estão superestimados. Tais valores foram superestimados uma vez que a NPP é diretamente dependente do NDVI e quando se analisa os valores de NDVI da pastagem observamos que tais valores (NDVI) foram superestimados na estação seca, quando comparados com valores encontrados na literatura.

Acreditamos que os valores de NDVI são "mascarados" em função da moderada resolução espacial do sensor MODIS/Terra (250 x 250 m), da composição de imagens que formam o produto MOD13Q1 (16 dias), bem como dos algoritmos usadas para melhorar a qualidade dos produtos MODIS, uma vez que as imagens brutas (originais) apresentam muito "ruído" e muita cobertura de nuvens, problemas esses corrigidos com sofisticados algoritmos, que melhoram a qualidade das imagens para o período chuvoso, no entanto superestimam os valores de NDVI, para o período seco, especialmente para alvos tropicais, como é o caso das pastagens de *Brachiaria spp.* predominantes na bacia.

Na tabela 2 e gráficos 5 e 6 estão representadas a área ocupada (em km² e %) pelas diferentes classes de Produtividade Primária Líquida (NPP), derivadas dos mapas do Apêndice 1 (figuras 9 a 21).

Tabela 2 – Área de pastagem ocupada pelas diferentes classes de Produtividade Primária Líquida-NPP (Kg MS / ha mês).

| Meses | Menor 500 (Kg MS/ha mês) | | 500 a 750 (Kg MS/ha mês) | | 750 a 1000 (Kg MS/ha mês) | | Maior 1000 (Kg MS/ha mês) | |
|----------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|------------------------------|------|------------------------------|------|
| | km ² | % | km ² | % | km ² | % | km ² | % |
| Out/2010 | 63015,8 | 61,1 | 33816,2 | 32,8 | 5451,0 | 5,3 | 852,8 | 0,8 |
| Nov/2010 | 10150,9 | 9,8 | 27810,5 | 27,0 | 43708,4 | 42,4 | 21466,1 | 20,8 |
| Dez/2010 | 2409,2 | 2,3 | 10147,0 | 9,8 | 44774,4 | 43,4 | 45805,4 | 44,4 |
| Jan/2011 | 511,5 | 0,5 | 2573,5 | 2,5 | 37951,9 | 36,8 | 62099,0 | 60,2 |
| Fev/2011 | 0,0 | 0,0 | 4419,4 | 4,3 | 42746,2 | 41,4 | 55970,3 | 54,3 |
| Mar/2011 | 2832,5 | 2,7 | 5900,4 | 5,7 | 34689,0 | 33,6 | 59714,0 | 57,9 |
| Abr/2011 | 1646,9 | 1,6 | 8941,7 | 8,7 | 62883,1 | 61,0 | 29664,2 | 28,8 |
| Mai/2011 | 3423,4 | 3,3 | 34592,0 | 33,5 | 54108,6 | 52,5 | 11011,9 | 10,7 |
| Jun/2011 | 13791,5 | 13,4 | 58993,9 | 57,2 | 26954,8 | 26,1 | 3395,7 | 3,3 |
| Jul/2011 | 35536,1 | 34,5 | 47894,0 | 46,4 | 17520,6 | 17,0 | 2185,3 | 2,1 |
| Ago/2011 | 58977,4 | 57,2 | 36483,0 | 35,4 | 6575,2 | 6,4 | 1100,2 | 1,1 |
| Set/2011 | 73266,0 | 71,0 | 25146,8 | 24,4 | 4163,9 | 4,0 | 559,2 | 0,5 |

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

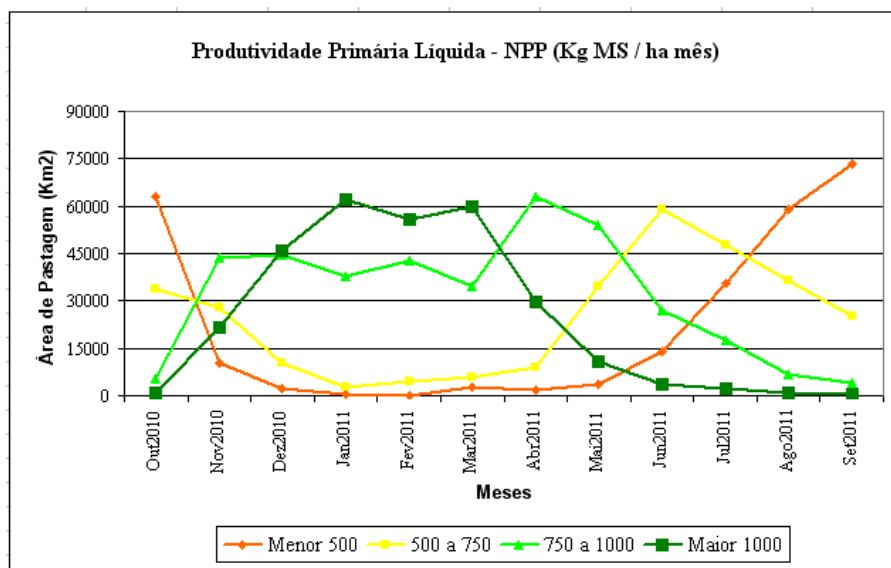


Gráfico 5 - Área de pastagem (km²) ocupada pelas diferentes classes de Produtividade Primária Líquida (Kg MS/ha mês).

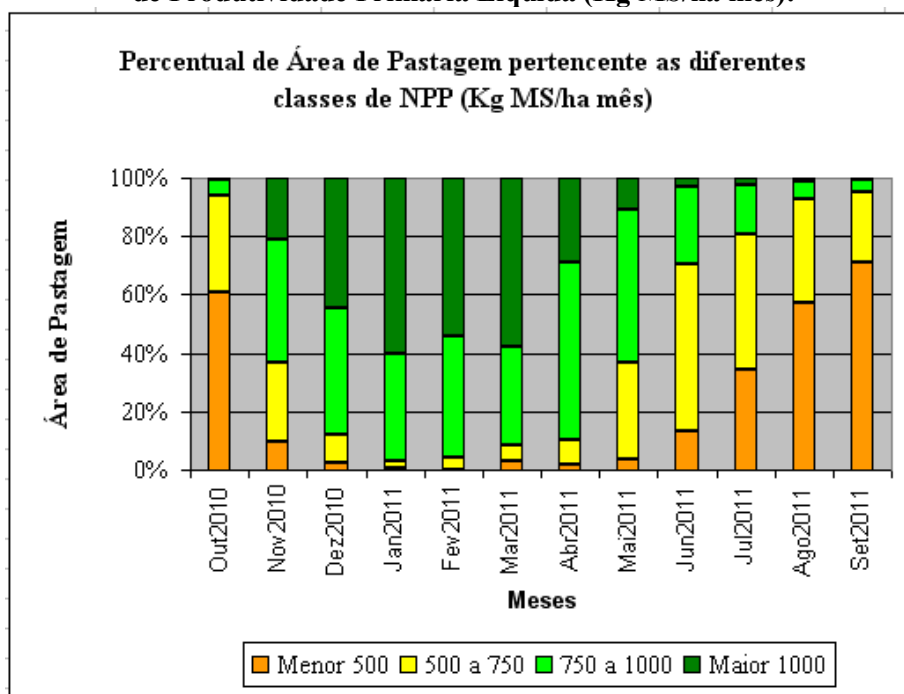


Gráfico 6 - Percentual da área de pastagem, ocupada pelas diferentes classes de Produtividade Primária Líquida (Kg MS/ha mês).

A partir da análise destas tabelas e figuras, observa-se que no mês de outubro de 2010, 61,1% da área da Bacia do rio Paranaíba era ocupado por pastagens que possuíam produtividade menor do que 500 Kg MS/ha mês; à medida que as chuvas vão retornando para a região a produtividade vai aumentando, onde se observa que no mês de janeiro de 2011, 60,2% da área de pastagem possui produtividade maior do que 1.000 Kg MS/ha mês.

Analisando os gráficos 5 e 6, observa-se que a partir de outubro de 2010 as áreas de pastagens com menor produtividade vão diminuindo e aumentando a área de pastagens com maior produtividade, isso se mantém até abril de 2011, quando as chuvas começam a diminuir e conseqüentemente a produtividade das pastagens também diminui.

6. Considerações finais

A partir do mapa de pastagens cultivadas na Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba, foi possível determinar a produtividade primária líquida (NPP) dessas pastagens ao longo dos meses do ano e o valor total anual (outubro de 2010 a setembro de 2011). A NPP das pastagens apresentou um valor crescente do mês de outubro de 2010 até janeiro de 2011 quando atingiu seu valor máximo de 1.039,6 Kg MS/ha mês, a partir de então a produtividade permanece praticamente constante até abril de 2011, quando começa a decrescer, atingindo o valor mínimo mensal de 301,2 Kg MS/ha mês, em setembro de 2011. Esta produtividade acompanha as variações das condições pluviométricas da região. A produtividade anual foi de 8.591,9 Kg MS/ha.

Observamos também que aproximadamente 74% da produtividade ocorreu na estação chuvosa e 26% na estação seca. No entanto, a produtividade encontrada neste trabalho para a época seca (26%) esta acima dos valores encontrados na literatura, os quais sugerem valores máximos para a estação seca de 20%. Portanto, os valores encontrados para a estação seca estão superestimados. Tais valores foram superestimados uma vez que a NPP é diretamente dependente do NDVI, e quando se analisa os valores de NDVI da pastagem, para o período seco, verifica-se que os mesmos estão superestimados, quando comparados com valores encontrados na literatura.

Acreditamos que os valores de NDVI são "mascarados" em função da moderada resolução espacial do sensor MODIS/Terra (250 x 250 m), da composição de imagens que formam o produto MOD13Q1 (esses produtos de 16 dias usam o valor máximo de NDVI o que pode causar distorção no vigor vegetativo para um determinado dia), bem como dos algoritmos usadas para melhorar a qualidade dos produtos MODIS. No entanto, convém destacar que para o período chuvoso do ano a metodologia usada para determinação da produtividade primária líquida (NPP) fornece bons resultados, com valores similares aos encontrados na literatura.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por ter concedido bolsa de Produtividade em Pesquisa – Processo 302844/2010-4.

Referencias bibliográficas

Bastiaanssen, W.G.M. e Ali, S. (2003): "A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan"; *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 94, pp. 321-340.

Brandão, Z.N.; Bezerra, M.V.C. e Silva, B.B. (2007): "Uso do NDVI para determinação da biomassa na Chapada do Araripe", en *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR)*, 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 75-81. Acesso em agosto de 2012. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.13.39.22/doc/75-81.pdf>.

Choudhury, B. J. (1987): "Relationships between vegetation indices, radiation absorption and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis", *Remote Sensing of Environment*, v.22, pp. 209-233.

Euclides, V.P.B.; Thiago, L.R.L.S. e Oliveira, M.P. (1993): "Consumo de forragem por novilhos pastando cinco gramíneas", em *Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. Anais... Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.491.

Feng, X.; Liu, G.; Chen, J. M.; Liu, J.; Ju, W. M.; Sun, R. e Zhou, W. (2007): "Net primary productivity of China's terrestrial ecosystems from a process model driven by remote sensing", *Journal of Environmental Management*, v. 85, n. 3, pp. 563-573.

Field, C. B.; Randerson, J. T. e Malmström, C. M. (1995): "Global net primary production: combining ecology and remote sensing", *Remote Sensing Environment*, v. 51, pp. 74-88.

Fonseca, E. L.; Silveira, V. C. P. e Salomoni, E. (2006): "Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil", *Ciência Rural*, v.36, pp.656-659.

Franco, J.B.S. e Rosa, R. (2003): "Metodologia de coleta de dados radiométricos em pastagens do gênero "brachiarias" com diferentes estágios de degradação", *Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Belo Horizonte, pp. 2483-2491.

Frouin, R. e Pinker, R.T. (1995): "Estimating photosynthetically active radiation (PAR) at the earth's surface from satellite observations", *Remote Sensing Environment*, v. 51, pp. 98-107.

Fuentes, D.A.; Gamon, J.A.; Cheng, Y.; Qiu, H.L.; Mao, Z.; Sims, D.A.; Rahman, A.F.; Oechel, W. e Luo, H. (2006): "Mapping carbon and water flux in a chaparral ecosystem using vegetation indices derived from AVIRIS", *Remote Sensing of Environment*, v.103, pp.312-323.

Goetz, S. J.; Prince, S. D.; Goward, S. N.; Thawley, M. M. e Small, J. (1999): "Satellite remote sensing of primary production: an improved production efficiency modelling approach", *Ecology Modelling*, v.122, pp.239-255.

Goward, S. N. e Huemmrich, K. F. (1992): "Vegetation call opy PAR absorptance and the normalized difference vegetation index: an assessment using the SAIL model", *Remote Sensing of Environment*, v.39, pp.119-140.

Goward, S.N.; Tucker, C.J. e Dye, D.G. (1985): "North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 0.- advanced very high resolution radiometer", *Vegetatio* v. 64, pp. 3-14.

- Kumar, M.e Monteith, J. L. (1981): "Remote sensing of crop growth"; en *Plants in the Daylight Spectrum* (H. Smith, Ed.), New York, Academic Press, pp. 134-144.
- Monteith, J. L. (1972): "Solar radiation and productivity in tropical ecosystems", *The Journal of Applied Ecology*, v.9, n.3, pp.747-766.
- Moran, M.S.; Maas, S.J. e Pinter, P.J. (1995): "Combining remote sensing and modeling for estimating surface evaporation and biomass production", *Remote Sensing Reviews*, v.12, 335–353.
- Pedreira, J.V.S. (1973): "Crescimento estacional dos capins colômbio *Panicum maximum* Jacq., gordura *Melinis minutiflora* Pal de Beauv, Jaraguá *Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf e pangola de Taiwan A-24 *Digitaria pentzii* Stent", *Boletim da Indústria Animal*, v.30, p.59-145.
- Prince, S. D. (1991): "A model of regional primary production for use with coarse-resolution satellite data", *International Journal of Remote Sensing*, v.12, n.6, pp.1313-1330.
- Rawson, H.M.; Dunstone, R.L.; Long, M.J. e Begg, J.E. (1984): "Canopy development, light interception and seed production in sunflower as influenced by temperature and radiation", *Australian Journal of Plant Physiology*, v.11, pp.255-265.
- Rosa, R. e Sano, E. E. (2012): *Estoque de Carbono em Solos sob Pastagens Cultivadas na Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba: Mapeamento e Modelagem*. Brasília, UnB/CNPq, Relatório, 198 págs.
- Ruimy, A.; Saugier, B. e Dedieu, G. (1994): "Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data", *J. Geophys*, v. 99, n. d3, pp.5263–5283.
- Russel, G.; Jarvis, P.G. e Monteith, J. L. (1989): "Absorption of radiation by canopies", en Russel, G.; Jarvis, P.G.; Marshal, B. (Eds), *Plant Canopies: Their Growth, Form and Function*, Society for Experimental Biology seminar Series, Vol 31 (Cambridge: Cambridge University Press), pp .21-41.
- Sellers, P. J.; Berry, J. A.; Collatz, G. J.; Field, C. e Hall, F. G. (1992): "Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. Reanalysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme", *Remote Sensing Environment*, v. 42, n. 3, pp. 187-216.
- Sinclair, T.R. e Horie, T. (1989): "Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review", *Crop science*, v.29, pp. 98-105.
- Squire, G. R.; Gregory, P. J. e Monteith, J. L. (1984): "Control of water use by pearl millet (*Pennisetum typhoides*)", *Experimental Agriculture*, v.20, pp.135–149.
- Steven, M. D.; Biscoe, P. V. e Jaggard, K. W. (1983): "Estimation of sugarbeet productivity from reflection in the red and infrared spectral bands", *International Journal of Remote Sensing*, v.4, pp.325-334.
- Taiz, L. e Zieger, E. (2004): *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre, Artemed, 3º ed., 719p.
- Tucker C.J.; Vanparet, C.L. e Gaston, A. (1983): "Satellite remote sensing of total dry matter production in the Senegalese Sahel", *Remote Sensing Environment*, v.17, pp. 233-249.

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): “Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS”, *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

Wylie, B.K.; Dendra, I.; Piper, R.D.; Harrington, J.A.; Reed, B.C. e Southward, G.M. (1995): “Satellite-Based herbaceous biomass estimates in the pastoral zone of Niger”, *Journal of Range Management.*, v. 48, pp.159-164.

APÊNDICE 1

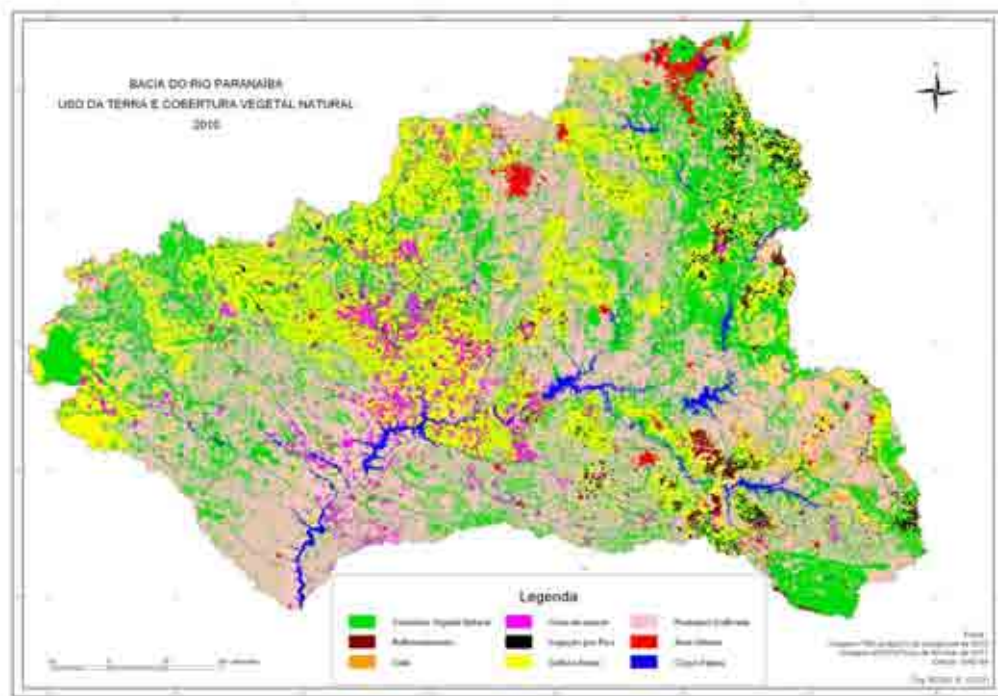


Figura 3 – Bacia do rio Paranaíba. Uso da terra e cobertura vegetal natural (2010).

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

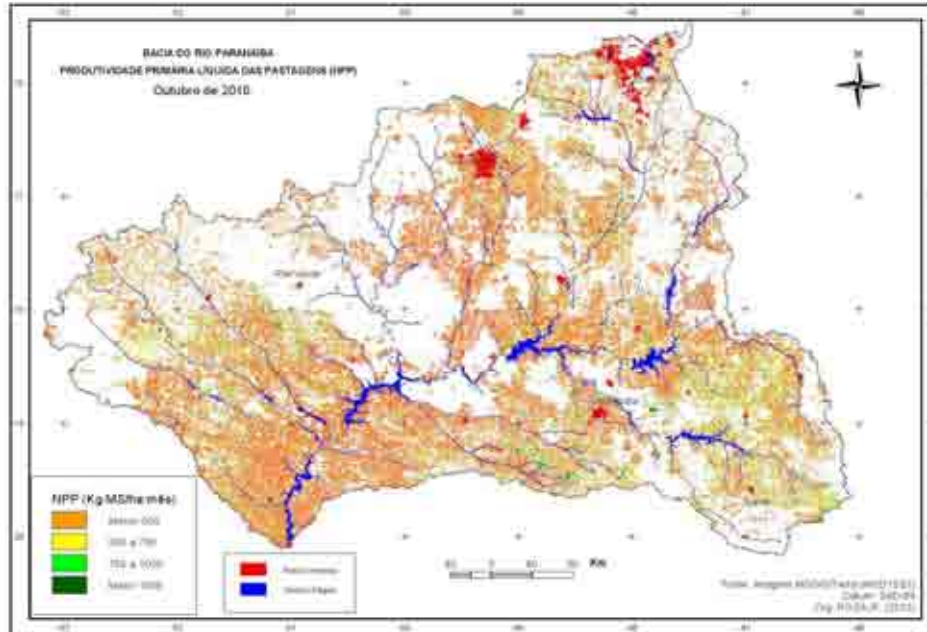


Figura 4 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, outubro de 2010.

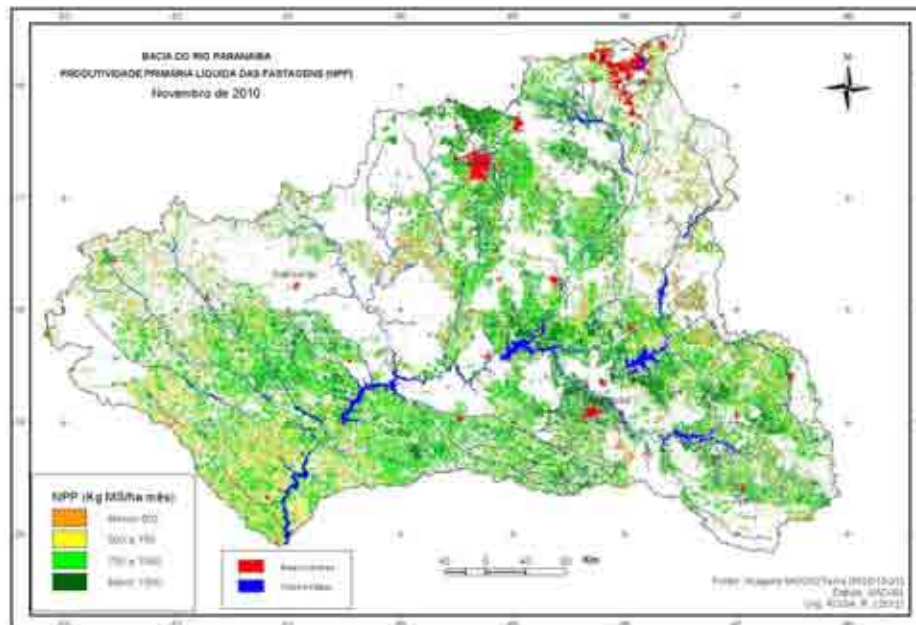


Figura 5 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, novembro de 2010.

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

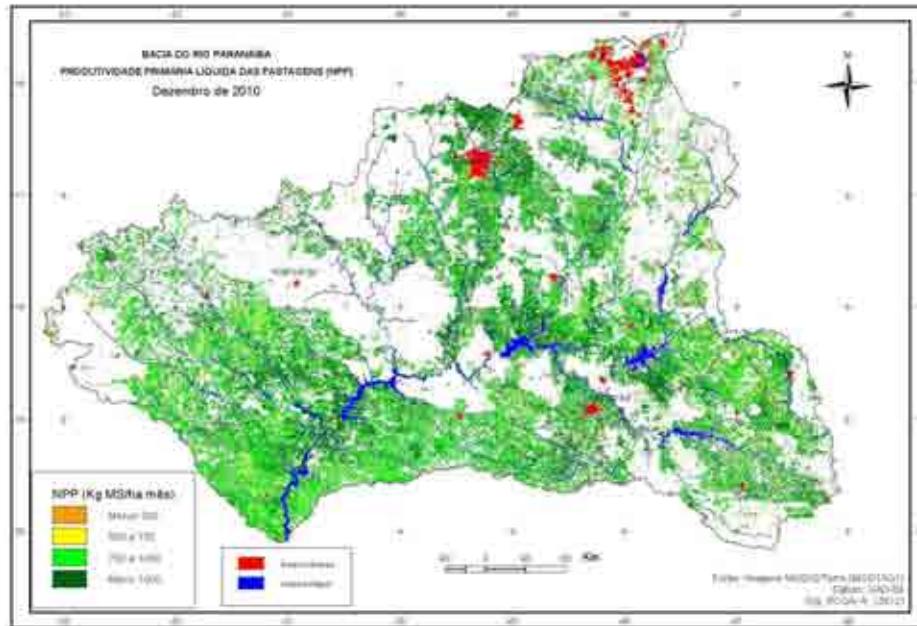


Figura 6 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, dezembro de 2010.

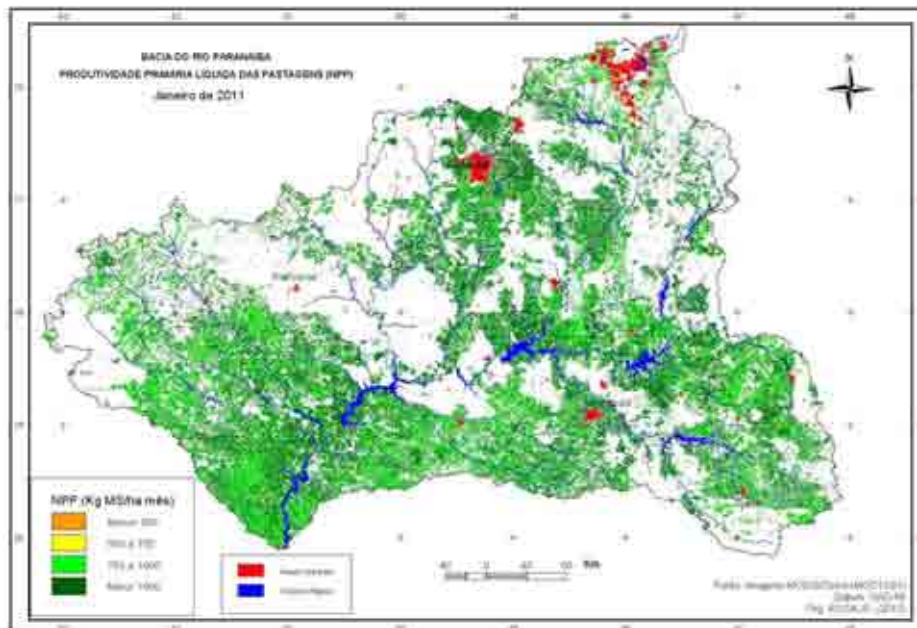


Figura 7 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, janeiro de 2011.

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

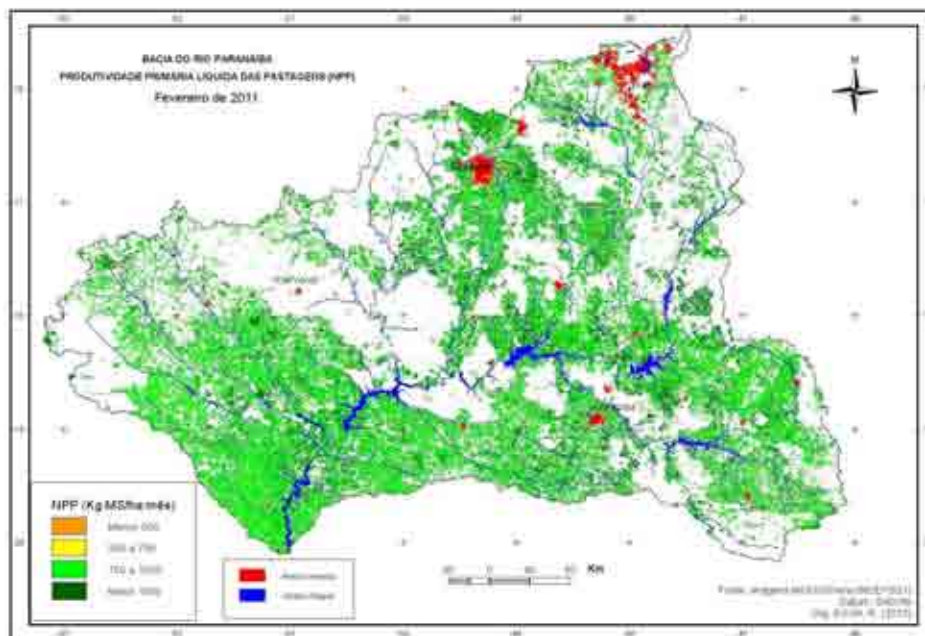


Figura 8 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, fevereiro de 2011.

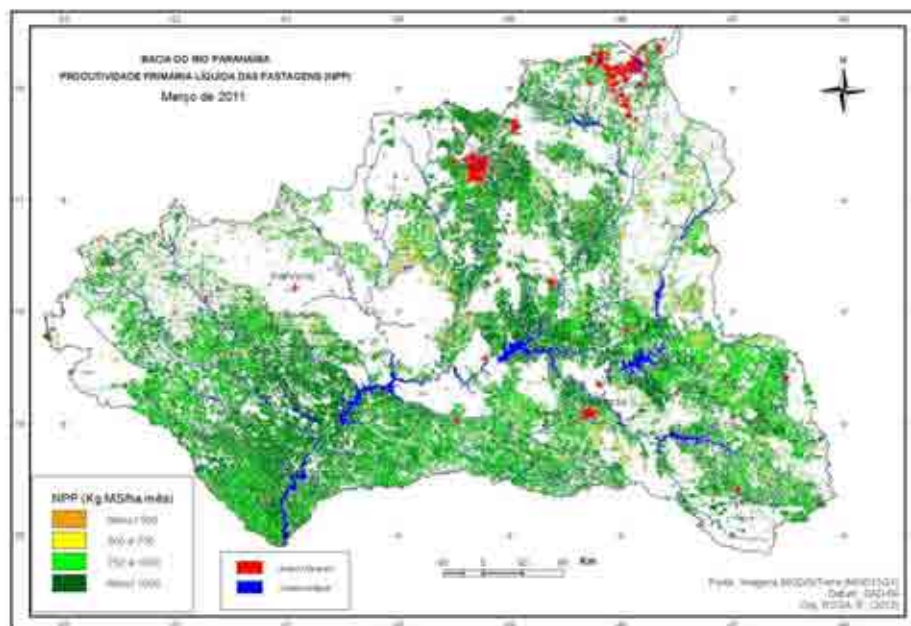


Figura 9 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, março de 2011.

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

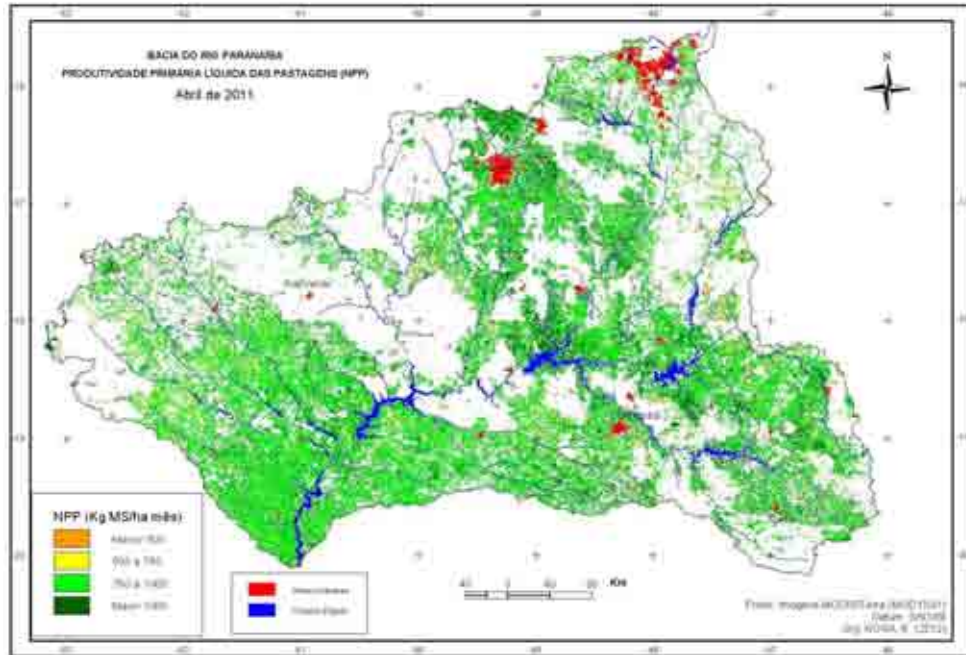


Figura 10 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, abril de 2011.

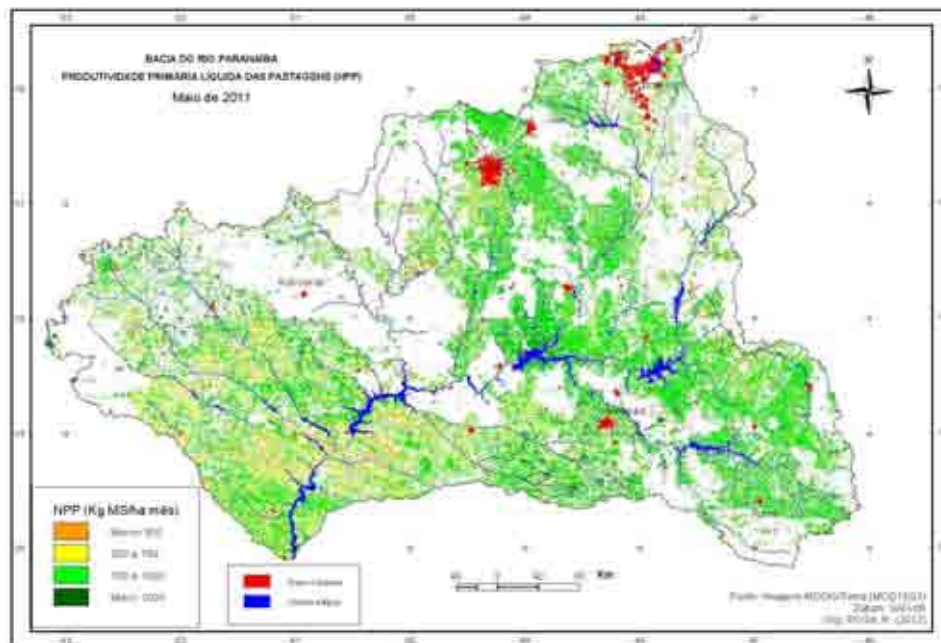


Figura 11 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, maio de 2011.

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

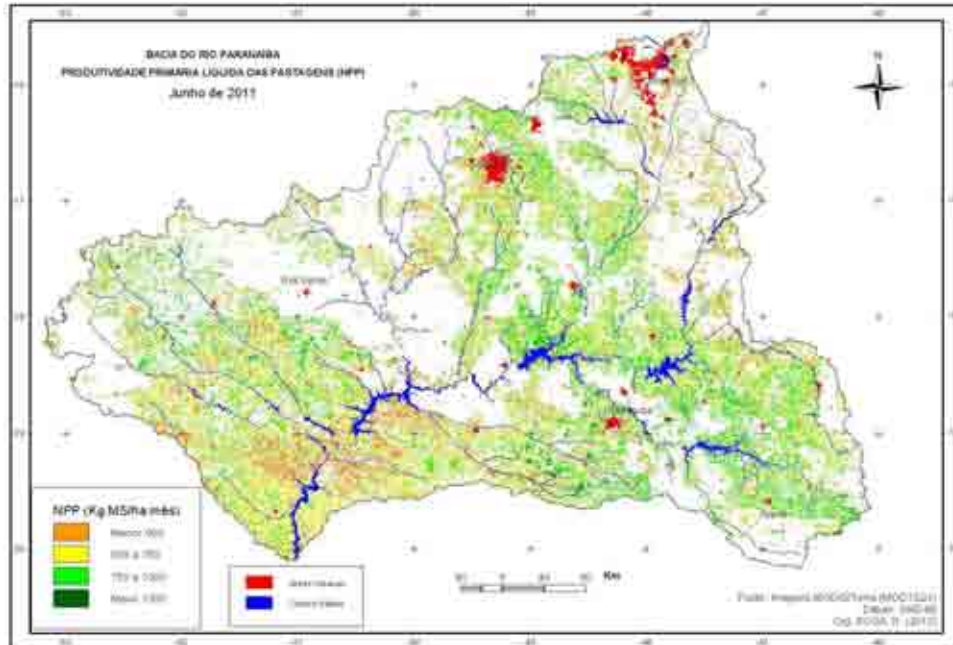


Figura 12 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, junho de 2011.

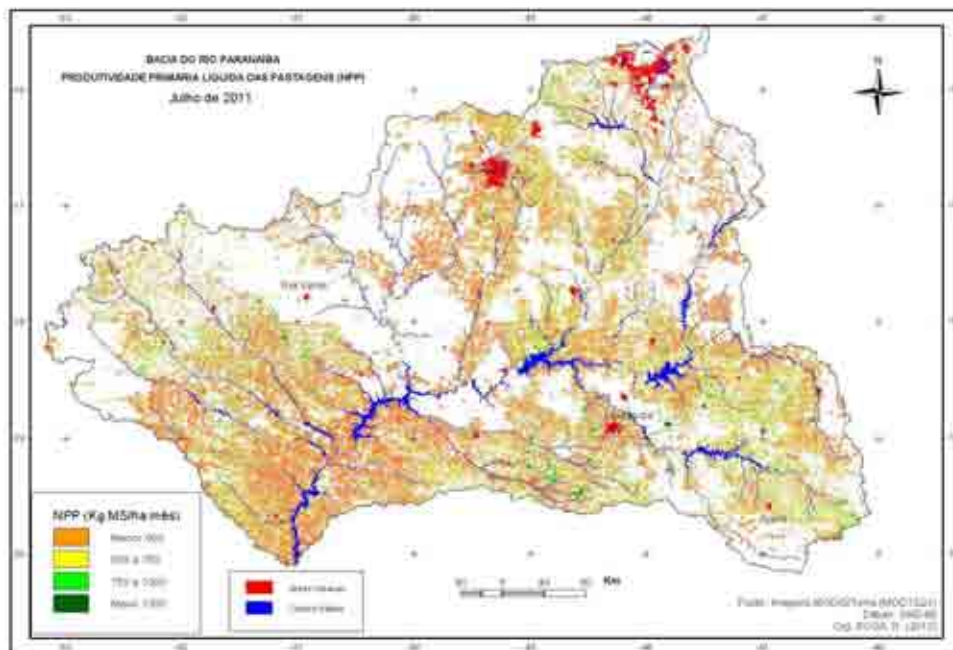


Figura 13 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, julho de 2011.

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

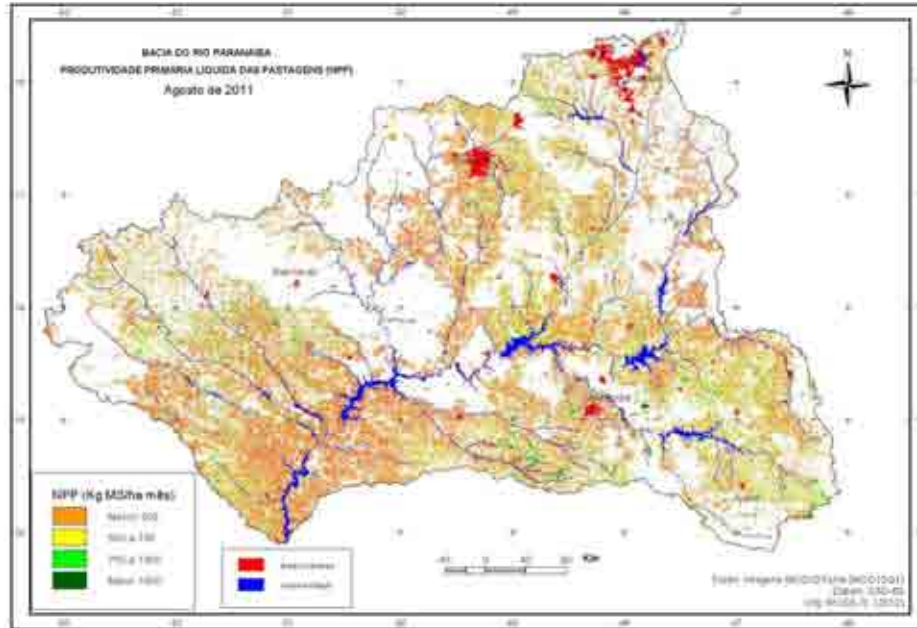


Figura 14 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, agosto de 2011.

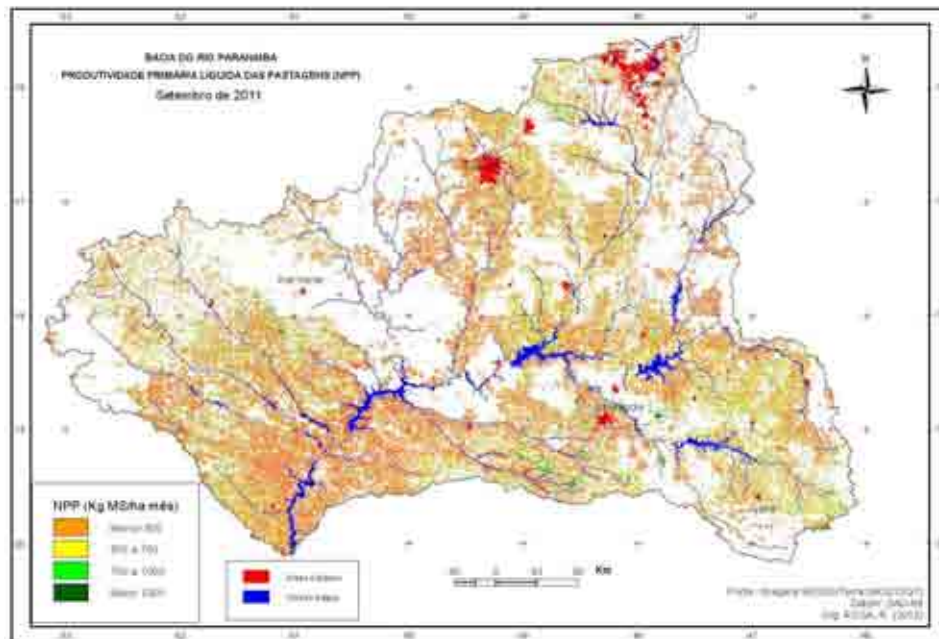


Figura 15 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba, setembro de 2011.

Rosa, R. y Sano, E. E. (2013): "Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº13-1, p. 367-395. ISSN: 1578-5157

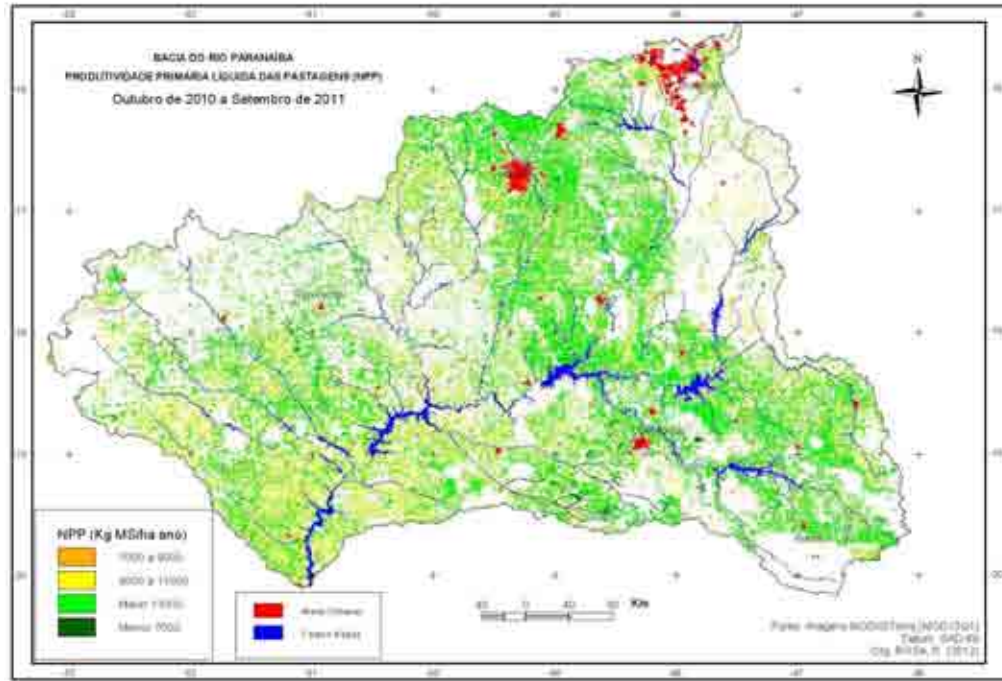


Figura 16 – Mapa da Produtividade Primária Líquida (NPP) das pastagens da Bacia do rio Paranaíba. Anual (out/10 – set/11).