



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL - EFL

**Informações de imagens do satélite *Pleiades* estimam com
precisão estoques de biomassa e o volume de madeira em área
de cerrado *sensu stricto*?**

Rafael Peixoto Ataidés

Projeto final apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do Título de Engenheiro Florestal.

Brasília, julho de 2019.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Informações de imagens do satélite *Pleiades* estimam com
precisão estoques de biomassa e o volume de madeira em área
de cerrado *sensu stricto*?**

Rafael Peixoto Ataidés

Orientador: Alba Valéria Rezende

Coorientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Projeto final apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do Título de Engenheiro Florestal.

Brasília, julho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por terem feito tudo ao alcance deles, sob a conjuntura dos fatos, para que eu conseguisse concluir a graduação.

À minha Amburana, pelo amor, paciência, apoio e carinho desde sempre até o fim deste trabalho.

À professora Alba Valéria Rezende pela orientação, paciência, aprendizado, apoio, oportunidade e pelos dados utilizados neste trabalho.

Ao professor Eraldo Matricardi, pelo aprendizado, apoio, paciência e disponibilidade.

Ao professor Eder Miguel, pelo aprendizado e apoio.

E por fim, a todos que de alguma maneira, da mais simples que seja, tenham contribuído com este trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMO	v
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1 Biomassa lenhosa acima do solo.....	8
2.2 Inventário para obtenção de volumetria de cerrado.....	9
2.3 Reflectâncias e Índices de Vegetação.....	9
3. OBJETIVOS.....	11
3.1 Objetivo Geral.....	11
3.2 Objetivo Específico.....	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	11
4.1.1 Localização.....	11
4.2 BASE DE DADOS.....	12
4.2.1 Inventário Florestal.....	13
4.2.2 Imagem de satélite.....	14
4.2.3 Índices de vegetação.....	15
a) NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada).....	15
b) SR (Índice da Razão Simples).....	15
4.3 CORRELAÇÃO.....	16
5. RESULTADOS.....	16
6. DISCUSSÃO.....	19
7. CONCLUSÃO.....	21
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativa do volume de madeira e da biomassa seca acima do solo da vegetação lenhosa, arbóreo-arbustiva em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa-DF, a partir de dados de campo. Tratamentos: (a) corte raso, (b) corte de 50% da área basal considerando todas as espécies, (c) corte de 30% da área basal considerando todas as espécies, (d) corte de 50% da área basal considerando apenas as espécies com potencial energético, (e) corte de 100% da área basal da espécie *Tachigali vulgaris* e (f) testemunha (área sem corte).

Tabela 2. Correlação de Spearman entre as reflectâncias, os índices de vegetação e a volumetria (m^3/ha), da vegetação lenhosa arbóreo-arbustiva em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa-DF, a partir de dados oriundos da imagem do satélite *Pleiades*, de 2017.

Tabela 3. Correlação de Spearman entre as reflectâncias, os índices de vegetação e a biomassa (Mg/ha), da vegetação lenhosa arbóreo-arbustiva em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa-DF, a partir de dados oriundos da imagem do satélite *Pleiades*, de 2017.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo no Distrito Federal, destacando em amarelo, as parcelas inventariadas em área de cerrado *sensu stricto*, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Figura 2. Mapas geradas relativo às quatro bandas espectrais e aos índices de vegetação NDVI e SR referentes à imagem do satélite *Pleiades*, de 2017, na área inventariada da Fazenda Água Lima-DF.

RESUMO

Considerando os desafios da ciência quanto a obtenção de estimativas precisas dos estoques da biomassa florestal em áreas nativas, a partir de métodos precisos e de baixo custo, estudos têm mostrado que o sensoriamento remoto pode ser uma bastante eficiente. Neste sentido, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o uso de técnicas de sensoriamento remoto para estimar os estoques de biomassa e volume de madeira em área de cerrado *sensu stricto*. A área de estudo está localizada a Fazenda Água Limpa (FAL-UnB), em Brasília, DF. Para efeito de avaliação da técnica de sensoriamento remoto na estimativa dos estoques de volume e biomassa, foi utilizado um banco de dados de um inventário florestal realizado na área, em 2015, onde foram amostradas 18 parcelas de 0,1 hectares. No caso do sensoriamento remoto, foi testado uma imagem obtida pelo satélite *Pleiades*, de 2017, que apresenta resolução espacial de 0,50 m e 4 bandas espectrais. Foram calculadas as correlações entre os estoques de volume e biomassa gerados a partir dos dados do inventário florestal, com variáveis provenientes da imagem de satélite, ou seja: índices de vegetação NDVI e SR e reflectâncias espectrais na banda do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo. As variáveis de sensoriamento remoto não apresentaram correlação significativa com o volume, nem tampouco a biomassa seca. Para a área de estudo, as estimativas de levantamento de campo foram bem superiores às estimativas por sensoriamento remoto.

Palavras-chave: Biomassa lenhosa, Volumetria, cerrado, Sensoriamento Remoto.

1. INTRODUÇÃO

O cerrado se destaca por ser a savana mais extensa da região neotropical e por possuir elevada riqueza, grande diversidade de espécies e alta taxa de endemismo (RIBEIRO e WALTER, 2008). Originalmente, o cerrado cobria cerca de 2 milhões de km² do território brasileiro (RATTER *et al.*, 1997), mas, ao longo do tempo, esse importante bioma tem perdido a sua cobertura original para dar espaço para outros usos.

Práticas de manejo sustentável nas fitofisionomias do cerrado ainda são muito incipientes. Poucas são as pesquisas envolvendo quantificação dos estoques de volume, biomassa e carbono da vegetação nativa do cerrado, quando comparado a outros biomas brasileiros. Poucos também são os estudos envolvendo métodos não-destrutivos, como o sensoriamento remoto, para obtenção desses estoques tão valiosos tanto para estratégias de conservação, quanto para práticas de manejo da vegetação.

De modo geral, as florestas se destacam no panorama ambiental global, por desempenharem um importante serviço ecossistêmico, isto é, as florestas são capazes de estocar carbono na sua biomassa, aérea e subterrânea, em quantidades superiores à existente na atmosfera (VIEIRA *et al.*, 2008; IPCC, 2000), já que, durante o processo de fotossíntese, as árvores têm a capacidade de remover o CO₂ da atmosfera e fixar o carbono na sua biomassa e no solo, contribuindo, conseqüentemente, para mitigar o efeito estufa (IPCC, 2005; IPCC, 2007). Logo, alterações na paisagem florestal de uma região irão contribuir na emissão do gás carbônico e, por conseguinte, na elevação do efeito estufa (SOLOMON *et al.*, 2007). O desequilíbrio do efeito estufa causa alteração atípica na temperatura do planeta e, conseqüentemente, promove mudanças climáticas (IPCC, 2007).

O cerrado proporciona serviços ambientais essenciais para o mundo, como a preservação da biodiversidade, conservação dos recursos hídricos e, sobretudo, a fixação do gás carbônico (CO₂) em forma de biomassa, que reduz o atual gargalo em discussões internacionais, o chamado efeito estufa (FEARNSIDE, 2008). Segundo Grace *et al.* (2006), o fluxo de carbono nas savanas é altamente influenciado pela presença do fogo e possui alta

variabilidade dentro do ano devido as características sazonais destes ecossistemas. O fogo exerce grande papel no efeito estufa uma vez que se enquadra como a primordial origem das emissões de gases de efeito estufa, e ainda causa alterações no clima, no albedo, na cobertura vegetal e na ciclagem de nutrientes (LAL, 2008).

A vegetação nos trópicos exerce grande influência no ciclo global do carbono, dado que pode atuar tanto como provedor de CO₂ na atmosfera, quanto como um sumidouro de carbono (REZENDE & FELFILI, 2004). Por esta razão, para Kauffman *et al.* (1994), com passar do tempo, cada vez mais há uma preocupação em se quantificar o carbono nos ambientes naturais.

As estimativas dos estoques de biomassa são essenciais para se entender melhor a forma que o aquecimento global impacta nos ambientes (LU *et al.*, 2006). Além disso, a estimativa da biomassa, ajuda em tomadas de decisão para o manejo florestal, uma vez que este conhecimento auxilia nas informações de micro e macronutrientes contidos na vegetação (SANTOS *et al.*, 2004), ajuda nos estudos de sucessão florestal, produção, competição e ciclagem de nutrientes das comunidades vegetais (SALIS *et al.*, 2006).

Para se determinar a volumetria e biomassa nas comunidades vegetais pode-se realizar métodos indiretos ou métodos diretos. Os métodos diretos envolvem abatimento de árvores, mensuração de diâmetros e comprimentos em várias seções das toras, e são, normalmente, intervenções de alto custo e bem trabalhosas; já nos métodos indiretos são usadas equações alométricas ou técnicas de sensoriamento remoto para se obter as estimativas dos parâmetros (SANQUETTA e BALBINOT, 2004). No caso de estimativas por equações alométricas, Higushi *et al.* (2004) indicam a utilização de equações específicas para cada vegetação. No entanto, existem poucas publicações sobre estimativa de volume e biomassa para o cerrado, dentre os trabalhos existentes, pode-se destacar o de Rezende *et al* (2006), que foi desenvolvido na mesma região do presente estudo.

De acordo com Brown *et al.* (1989), apesar dos métodos diretos se fundamentarem na mensuração objetiva e prática dos indivíduos nas unidades amostrais fixas, este método nem sempre representa dados fidedignos, visto que, por vezes, é realizada uma baixa quantidade de amostras ou de forma

tendenciosa. Como um outro método alternativo tem-se a realização de maneira indireta, em que a estimativa é obtida por meio de inventários florestais onde a volumetria é a principal variável, sobretudo em planejamentos de exploração florestal e manejo florestal. Conforme Higuchi *et al.* (1998), o método indireto estima a biomassa através da volumetria florestal.

Com o avanço da tecnologia na área do sensoriamento remoto e no processamento de imagens, ocorreu uma melhora na associação das características da estrutura e parâmetros dendrométricos das vegetações com os dados de reflectância, bem como o desenvolvimento de índices de vegetação oriundos das imagens de satélites que tem auxiliado nas estimativas dos parâmetros desejados (WATZLAWICK *et al.* 2009).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Biomassa lenhosa acima do solo

O conceito de biomassa florestal, segundo Araújo *et al.* (1999), é a quantidade de material lenhoso contido em uma unidade de área de floresta, expressa em unidade de massa. Sendo que a biomassa acima do solo é a que engloba tronco, galhos grosso e finos, cascas, folhas, flores e frutos (IPCC, 2004). Utilizando as devidas conversões e valores de umidade, a biomassa pode ser convertida em valor de estoque de carbono, conceito mais aceito em jargões de mitigação do aquecimento global. Os valores de estoque de carbono, em folhosas, gera em torno de 50% do valor de biomassa (BROWNING, 1963; BODIG e JAYNE, 1963).

Estimar a biomassa florestal é imprescindível ao manejo florestal, uma vez que a biomassa está relacionada com a dinâmica de macro e micronutrientes e sobretudo no balanço de carbono entre a biosfera e a atmosfera, onde as interações entre vegetação e o clima se manifestam de forma clara na relação de fonte e sumidouro de carbono no processo de fixação de CO₂ das plantas através da fotossíntese (HIGUCHI, 2001). Portanto, a quantificação da biomassa se coloca como um grande subsídio à tomada de decisão no manejo florestal sustentável (CARVALHO, 1997).

Como grande vantagem dos estudos relacionados à biomassa vegetal e carbono pode-se citar a oportunidade de associação com técnicas de sensoriamento remoto e realizar estimativas dos parâmetros dendrométricos da vegetação em grandes áreas, de maneira mais rápida e menos onerosa (KUNTSCHIK; BITTENCOURT, 2003; MACHADO *et al.*, 2004; PINHEIRO; DURIGAN, 2009), bem como a possibilidade de estimativa em áreas remotas e difícil acesso.

2.2 Inventário para obtenção de volumetria de cerrado

Conforme Vibrans *et al.* (2010), inventário florestal é uma estratégia efetiva para subsidiar tecnicamente o manejo florestal, a conservação dos recursos naturais e o planejamento de povoamentos florestais, sendo, imprescindível para a tomada de decisão na administração dos plantios e manejo de comunidades vegetais naturais.

A amostragem em inventários florestais é utilizada na obtenção de estimadores dos parâmetros estatísticos da floresta, como variância, média, desvio-padrão e etc. A partir das mensurações das unidades amostrais, os estimadores obtidos são extrapolados para toda a área inventariada (LEITE *et al.*, 2002).

Desse modo, é imperativo se promover o aperfeiçoamento de métodos eficientes no amparo as tomadas de decisão no manejo sustentável das fisionomias nativas, principalmente do bioma cerrado. A modelagem se coloca como uma das ferramentas fundamentais para a otimização de planos de manejo. Portanto, é primordial que estes modelos ostentem conformidade entre as variáveis dependentes e as variáveis independentes, visto que a ausência de relação entre estas variáveis promovem estimativas deturpadas (MORAIS *et al.*, 2014).

Segundo Imaña-Encinas (2009), em sua extensa revisão bibliográfica, poucos estudos sobre volumetria do bioma cerrado em ecossistemas savânicos foram encontrados, e isto sugere que pouco conhecimento é gerado acerca deste tema. Mesmo o bioma cerrado sendo extenso e com alto potencial de manejo, a destinação da sua madeira é praticamente para fins energéticos.

2.3 Reflectâncias e Índices de Vegetação

O manejo florestal em ecossistemas heterogêneos se mostra como grande gargalo dentro das ciências florestais dado a sua complexidade intrínseca dos ecossistemas naturais. O cerrado se encaixa neste perfil e estas dificuldades aumentam de acordo com o aumento de diversidade e variedade estrutural das comunidades vegetais. Segundo Watzlawick (2003), quando comparada aos métodos usuais, a utilização de imagens com grande resolução espacial tem se mostrado como uma alternativa mais viável economicamente, menos danosa ao meio ambiente e com boa precisão para estimar biomassa das comunidades vegetais, uma vez que as reflectâncias apresentam boa relação com o conteúdo dos parâmetros dendrométricos.

O sensoriamento remoto é a extração de informações de locais sem a necessidade da presença física. Utiliza sensores remotos e instrumentos para processamento dos dados transmitidos por plataformas, normalmente de satélites, que estudam os eventos, processos e fenômenos que sucedem na superfície do planeta a partir da análise da interação entre as radiações eletromagnéticas e os alvos a serem estudados (PAMPLONA, 2017).

A partir da década de 60, diversos dados oriundos de sensoriamento remoto têm sido utilizados pela comunidade científica no intuito de inferir os parâmetros biofísicos das comunidades vegetais. Boa parte destes esforços acarretaram o desenvolvimento de índices de vegetação, que conforme Jensen (2009), são combinações de reflectâncias bidirecionais determinados por dois ou mais comprimentos de onda, que em geral estão associados a propriedades específicas das vegetações (LEAL, 2013). A grande vantagem do desenvolvimento destes índices e do uso das bandas espectrais para estes fins é a possibilidade de acesso às informações biofísicas em locais de acessos remotos (SOUSA; PONZONI, 1998).

Os índices de vegetação são correlacionados com vários parâmetros da vegetação, como volumetria e biomassa (HUETE, 1988). Apesar de já desenvolvidos diversos índices de vegetação, numerosos estudos aprovam a eficiência dos índices Simple Ratio (SR) e o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), amplamente utilizados (BRANDÃO *et al.*, 2005). Estes índices

são baseados em razões e utilizam as bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo pelo comportamento espectral dessas bandas na vegetação. Conforme Pinilla (1995), a vegetação verde absorve radiação na região do vermelho (600-720 nm) e reflete grande parte da radiação incidente na zona do infravermelho próximo (750-950 nm).

As comunidades vegetais naturais apresentam elevada heterogeneidade, diversidade florística, diversidade estrutural e alteração sazonal, o que torna mais complexo a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, dado a escassez de dados quantitativos de parâmetros biofísicos obtidos em campo (SOUSA; PONZONI, 1998). Conseqüentemente, ainda são insipientes os estudos que relacionam dados de sensoriamento remoto e dados de inventário florestal para o desenvolvimento de mapas de distribuição de parâmetros dendrométricos das vegetações nativas (SCHOENINGER *et al.*, 2008).

A partir da obtenção dos dados de variação do acúmulo de biomassa sobre o solo é possível mensurar o carbono fixado e a produtividade volumétrica da vegetação, sendo essas informações imprescindíveis para os estudos das ciências florestais (BRANDÃO; BEZERRA; SILVA, 2007). Assim, diversos métodos para estimar as produtividades têm sido utilizados, no entanto, em sua maioria são utilizadas relações empíricas entre os índices de vegetação e a produtividade, o que geram correlações de baixas à moderadas (SHARMA *et al.*, 1993).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a relação de resultados entre uma estimativa de um inventário florestal *in loco* e a utilização de técnicas de sensoriamento remoto, através de índices de vegetação e reflectâncias espectrais, para estimar a biomassa e volume em uma área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa (FAL-UnB), em Brasília, DF.

3.2 Objetivo Específico

- Estimar os estoques de biomassa e volume de madeira no cerrado estudado com base em dados do inventário florestal realizado por amostragens;

- Estimar os estoques de biomassa e volume de madeira no cerrado estudado a partir de dados de sensoriamento remoto de imagem do satélite *Pleiades*;
- Calcular a correlação para avaliar a relação entre a biomassa lenhosa acima do solo e volumetria estimados no inventário florestal com os índices de vegetação e as bandas espectrais obtidos para área estudada.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização

O estudo foi realizado em uma área de formação savânica do cerrado, classificada como cerrado *sensu stricto*, localizada na Reserva Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa (FAL), a 1.100 m de altitude, entre as coordenadas 15°56' – 15°59' Sul e 47°58' WGr, no Distrito Federal. A FAL, que ocupa cerca de 4.500 hectares, pertence ao Núcleo da Biosfera do cerrado e compõe a Área de Proteção Ambiental (APA), das Bacias do Gama e Cabeça de Veado. Dentro da área de abrangência da FAL encontra-se a Área Relevante de Interesse Ecológico – ARIE Capetinga/Taquara, também denominada Estação Ecológica da Universidade de Brasília.

4.2 BASE DE DADOS

Os dados utilizados no presente trabalho foram obtidos a partir de duas metodologias diferentes. A primeira metodologia consistiu na obtenção das variáveis dendrométricas, oriundas de um inventário florestal realizado em 2015, em área de cerrado *sensu stricto*, localizada na Fazenda Água Limpa-DF, que foi submetida em 2006, a intervenções de manejo e que foi atingida por um grande incêndio florestal em 2011. A segunda metodologia consistiu na obtenção de dados provenientes de imagem geradas pelo satélite *Pleiades*, com alta resolução espacial de 50 centímetros e 4 bandas espectrais. A imagem de satélite é do ano de 2017 e foi cedida pelo Governo do Distrito Federal. Esta imagem apresenta alta resolução espacial e é disponível publicamente. A escolha do ano 2017 se deve ao fato de ser a data mais próxima do inventário realizado em 2015.

Localização da área de estudo - Fazenda Água Limpa

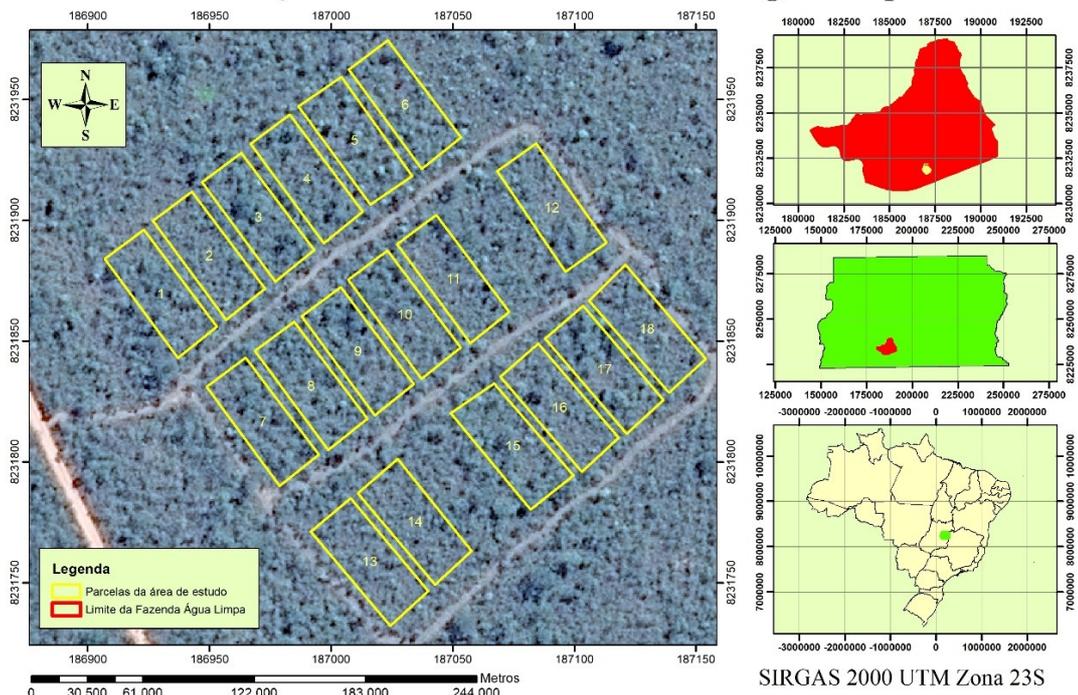


Figura 1. Localização da área de estudo no Distrito Federal, destacando em amarelo, as parcelas inventariadas em área de cerrado *sensu stricto*, localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

4.2.1 Inventário Florestal

O inventário florestal da vegetação arbóreo-arbustiva, realizado em 2015, foi implantado em 2006. Dezoito parcelas de 20 m X 50 m (0,1 ha) foram distribuídas em 3 blocos e as 6 parcelas de cada bloco foram submetidas a diferentes intensidades de manejo. Em 2006, antes da implantação dos tratamentos que envolveram as diferentes intensidades de manejo, foi realizado o inventário florestal de cada parcela. Todos os indivíduos lenhosos arbóreos e arbustivos, com diâmetro à altura de 30 cm do solo (Db) superior à 5 cm foram incluídos no inventário, sendo mensuradas as variáveis Db e altura total (Ht) de cada indivíduo. Os diâmetros foram mensurados com o auxílio de uma suta e as alturas foram obtidas com o auxílio de uma vara telescópica. Cada indivíduo foi identificado botanicamente ao nível de espécie, gênero e família.

Ainda em 2006, imediatamente após a realização do inventário, a vegetação das parcelas de cada bloco foi submetida a intervenções de manejo, que incluíram (a) corte raso, (b) corte de 50% da área basal considerando todas

as espécies, (c) corte de 30% da área basal considerando todas as espécies, (d) corte de 50% da área basal considerando apenas as espécies com potencial energético, (e) corte de 100% da área basal da espécie *Tachigali vulgaris* e (f) testemunha (área sem corte).

Ao longo dos anos a área vem sendo monitorada periodicamente visando avaliar a resposta da vegetação do cerrado *sensu stricto* a diferentes intensidades de manejo. Todos os indivíduos de cada parcela são georreferenciados e ao longo do tempo registra-se a mortalidade e o recrutamento nas parcelas.

Os dados utilizados no presente estudo são do inventário de 2015, que é o levantamento mais recente da área.

a) Volume por árvore

O volume de madeira das árvores foi estimado a partir de uma equação alométrica desenvolvida por Rezende *et al.* (2006), para a mesma área de estudo, ou seja:

$$V = 0,000109 \times Db^2 + 0,0000145 \times Db^2 \times Ht \quad (R^2 \% = 94,79; Syx\% = 29,86)$$

em que:

V = Volume da árvore (m³);

Db = Diâmetro altura da base em centímetros;

Ht = Altura total em metros.

b) Biomassa seca

A biomassa seca de cada indivíduo amostrado também foi estimada utilizando um modelo alométrico, desenvolvido por Rezende *et al.* (2006), para a mesma área de estudo, isto é:

$$BS = 0,49129 + 0,02912 \times Db^2 \times Ht \quad (R^2 \% = 98,28; Syx\% = 25,79)$$

em que:

BS = Biomassa seca (kg);

Db = Diâmetro altura da base em centímetros;

Ht = Altura total em metros.

4.2.2 Imagem de satélite

Os índices de vegetação foram estimados para cada parcela onde foi empregado um corte de imagem do satélite *Pleiades*, adquirida em 15 de março de 2017. A cena adquirida pelo satélite de imagens *Pleiades* foi disponibilizada pelo Governo do Distrito Federal, cedida pela TERRACAP. Por se tratar de uma imagem de alta resolução, não foi realizado nenhum tipo de tratamento, dado que a cena utilizada apresentou alta qualidade para o estudo realizado.

A constelação do sistema *Pleiades* é composta por dois pequenos satélites de grande agilidade que são capazes de adquirir imagens diárias de altíssima resolução espacial em qualquer região do planeta. Trabalha na órbita em sincronia com o sol, passando às 10:15 Am no Equador, planando em média na altitude de 649,9 km. Efetua de 14 a 15 ciclos por dia. Tem capacidade de obter offnadir de até seis faixas diferentes em uma mesma órbita e pode adquirir estereogramas duplas ou triplas. O satélite *Pleiades* que possui quatro bandas espectrais, ou seja, Azul: 430-550 nm, Verde: 490-610 nm, Vermelho: 600-720 nm e Infra-Vermelho próximo: 750-950 nm e, que apresenta resolução espacial de 50 cm, com o pixel abrangendo área de 0,25 m², foi construído por uma parceria privada ítalo-francesa (EMBRAPA, 2013).

O sistema produz imagens de forma simultânea nos modos multiespectral e pancromático. O sensor multiespectral abrange a disposição de 5 sensores, cada um com 1500 detectores, já o sensor pancromático possui 5 arranjos de forma linear, totalizando 6000 detectores. O satélite *Pleiades* utilizada tecnologia que produz imagens sem arrasto, uma vez que a captação de imagens no sensor pancromático é a TDI (Time Delay Integration). Os detectores adquirem as imagens por varredura linear e ficam dispostos no plano focal do telescópio. O sistema possui giroscópios e sistema de rastreamento estelar que possibilita a correção das imagens em situações em que se é necessário qualidade máxima das imagens sem utilizar pontos físicos de controle (BLANCHET et al., 2012).

Para este estudo foram utilizadas as quatro bandas espectrais supracitadas, visando avaliar aquela que apresentasse maior precisão das

informações. Com base nessas bandas, foram estimados os índices de vegetação NDVI e SR por parcela amostrada.

4.2.3 Índices de vegetação

a) NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada)

A estimativa do NDVI foi determinada aplicando a equação elaborada por Rouse *et al.* (1973):

$$NDVI = \frac{P_{nir} - P_r}{P_{nir} + P_r}$$

em que:

P_{nir} = reflectância na banda do infravermelho próximo (Banda 4);

P_r = reflectância na banda do vermelho (Banda 3).

b) SR (Índice da Razão Simples)

O SR foi publicado por Jordan (1969) e é um dos índices pioneiros de vegetação, sendo definido pela razão entre a reflectância do infravermelho próximo e a reflectância do vermelho, conforme é demonstrado na fórmula de Rodrigues *et al.* (2013).

$$SR = \frac{P_{nir}}{P_r}$$

em que:

P_{nir} = reflectância na banda do infravermelho próximo (Banda 4);

P_r = reflectância na banda do vermelho (Banda 3).

4.3 CORRELAÇÃO

Cada parcela do inventário ocupa 0,1 ha, e esta área é bem superior à área de cobertura do pixel da imagem *Pleiades*, que possui alta resolução espacial de 0,25 m². Portanto, de acordo com o método utilizado por Watzlawick *et al.* (2009), foi calculado a média dos pixels que estavam totalmente ou de forma parcial inseridos dentro das parcelas. Foi utilizado o *software* Action Stat® para o cálculo do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, de modo a

descobrir a forma de distribuição dos dados de biomassa e volumetria obtidos pelo inventário, sendo utilizado o valor P para interpretar o teste. A partir dos valores das médias dos índices de vegetação e das médias das reflectâncias, foram calculadas as correlações de Spearman da biomassa e volume gerados a partir dos dados do inventário florestal com os índices de vegetação, bem com as bandas 4, 3, 2 e 1, relativas às reflectâncias do infravermelho próximo, vermelho, verde e azul. Para melhorar a comparação dos resultados, também foi calculado a correlação para a média das áreas basais (g).

5. RESULTADOS

Os resultados do inventário florestal mostraram uma variação de 5,52 Mg/ha até 25,58 Mg/ha no valor total da biomassa seca lenhosa sobre o solo (Tabela 1), e o volume por parcela varia de 12,88 m³/ha a 59,64 m³/ha (Tabela 1).

Os resultados do teste de Sharipo-Wilk apresentaram baixos valores de P, sendo inferiores ao nível de significância ($\alpha=0,05$), em que o valor P calculado para biomassa foi de 0,0037 e para o volume foi de 0,0045.

Quando foram calculadas as correlações de Spearman para o volume com os índices de vegetação NDVI e SR e com as reflectâncias espectrais no verde, azul, vermelho e infravermelho próximo, foi observado baixos valores de coeficientes de correlação ($\rho < 0,15$). As reflectâncias obtiveram maior correlação, em que a no azul (Banda 1) e a no infravermelho próximo (Banda 4) obtiveram os maiores valores de ρ de Spearman. Com exceção da banda azul, os coeficientes de correlação foram inferiores $\rho < 0,09$ (Tabela 2).

Tabela 1. Estimativa do volume de madeira e da biomassa seca acima do solo da vegetação lenhosa, arbóreo-arbustiva em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa- DF, a partir de dados de campo. Tratamentos: (a) corte raso, (b) corte de 50% da área basal considerando todas as espécies, (c) corte de 30% da área basal considerando todas as espécies, (d) corte de 50% da área basal considerando apenas as espécies com potencial energético, (e) corte de 100% da área basal da espécie *Tachigali vulgaris* e (f) testemunha (área sem corte).

Tratamentos	Parcela	Volume V (m³/ha)	Biomassa Seca (Mg/ha)
f	1	51,2543	22,5907
a	2	18,4637	7,5798
c	3	56,5751	25,5812
b	4	48,3377	21,3549
d	5	48,6005	21,4836
e	6	54,2370	23,4122
c	7	47,0967	20,3450
b	8	31,4196	13,3474
d	9	55,4181	24,7936
e	10	51,9761	22,9295
a	11	12,8772	5,5200
f	12	59,6412	25,5295
b	13	18,4656	7,5028
a	14	14,5929	5,6936
c	15	51,1643	22,2452
d	16	40,2220	17,5481
f	17	50,5835	21,8826
e	18	42,9569	18,2210
	Média	41,8824	18,1978
	DP	15,5844	7,0467
	CV%	37,2100	38,7225

Os mapas produzidos para os índices NDVI e SR, bem como para as quatro bandas espectrais da imagem do satélite *Pleiades* estão apresentados na Figura 2.

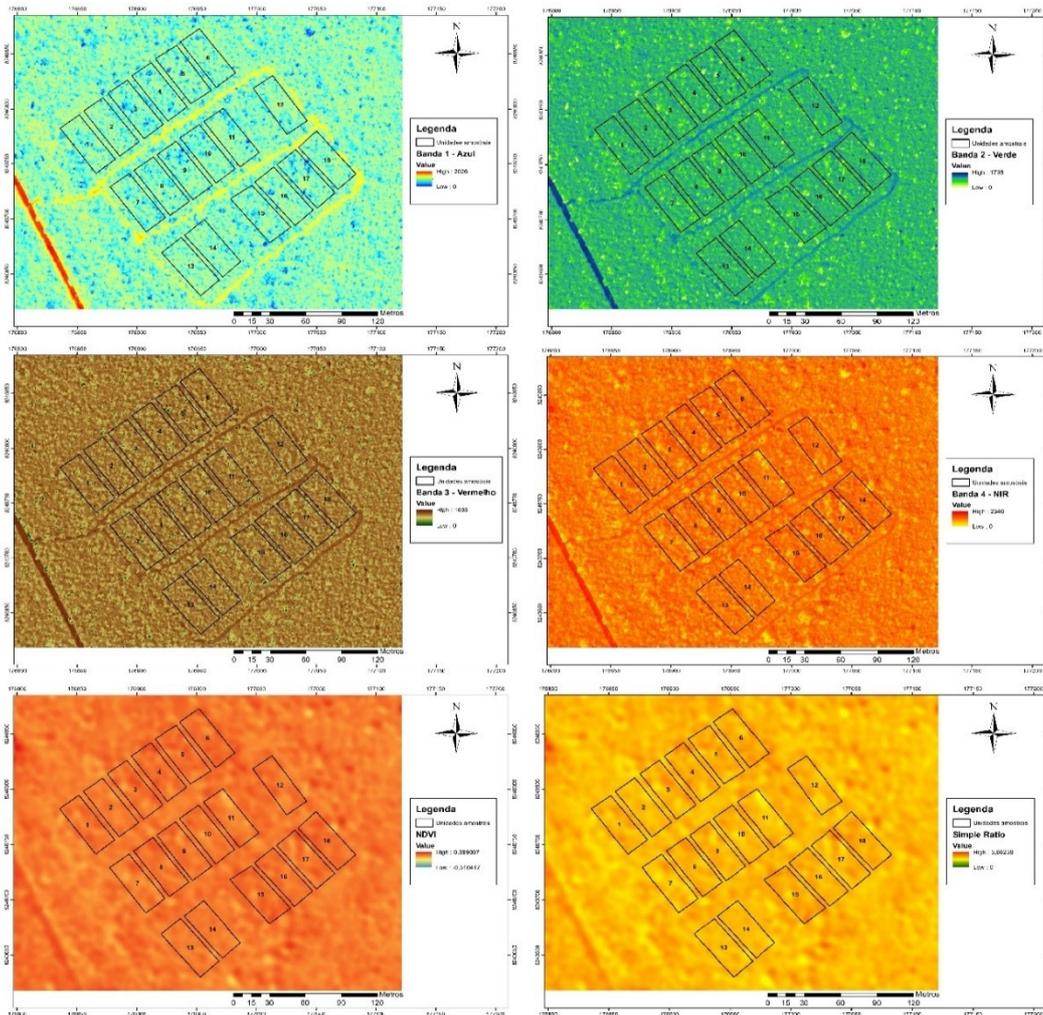


Figura 2. Mapas geradas relativo às quatro bandas espectrais e aos índices de vegetação NDVI e SR referentes à imagem do satélite *Pleiades*, de 2017, na área inventariada da Fazenda Água Lima-DF.

Tabela 2. Correlação de Spearman entre as reflectâncias, os índices de vegetação e a volumetria (m³/ha), da vegetação lenhosa arbóreo-arbustiva em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa- DF, a partir de dados oriundos da imagem do satélite *Pleiades*, de 2017.

	Volume (m³/ha)	Área basal g	NDVI	SR	NIR	Banda 3	Banda 2	Banda 1
Volume (m³/ha)	1	0,96	-0,06	-0,06	-0,09	-0,08	-0,08	-0,15
Área Basal g	0,96	1	-0,01	-0,01	-0,03	-0,07	-0,09	-0,17
NDVI	-0,06	-0,01	1	1	0,98	0,41	0,38	0,02
SR	-0,06	-0,01	1	1	0,98	0,41	0,38	0,02
NIR	-0,09	-0,03	0,98	0,98	1	0,54	0,51	0,14
Banda 3	-0,08	-0,07	0,41	0,41	0,54	1	0,99	0,83
Banda 2	-0,08	-0,09	0,38	0,38	0,51	0,99	1	0,86
Banda 1	-0,15	-0,17	0,02	0,02	0,14	0,83	0,86	1

Para a biomassa, as reflectâncias apresentaram correlações ligeiramente superiores aos índices (Tabela 3), sendo que as maiores correlações foram da reflectância do azul ($\rho=0,16$) e do infravermelho próximo ($\rho=0,11$). No entanto, foi observado baixos valores de coeficientes de correlação ($\rho < 0,16$), com exceção da banda azul que obteve a maior correlação, os coeficientes de correlação foram inferiores $\rho < 0,11$ (Tabela 3).

Tabela 3. Correlação de Spearman entre as reflectâncias, os índices de vegetação e a biomassa (Mg/ha), da vegetação lenhosa arbóreo-arbustiva em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa- DF, a partir de dados oriundos da imagem do satélite *Pleiades*, de 2017.

	Biomassa (Mg/ha)	Área Basal g	NDVI	SR	NIR	Banda 3	Banda 2	Banda 1
Biomassa (Mg/ha)	1	0,96	-0,09	-0,09	-0,11	-0,09	-0,09	-0,16
Área Basal g	0,96	1	-0,01	-0,01	-0,03	-0,07	-0,09	-0,17
NDVI	-0,09	-0,01	1	1	0,98	0,41	0,38	0,02
SR	-0,09	-0,01	1	1	0,98	0,41	0,38	0,02
NIR	-0,11	-0,03	0,98	0,98	1	0,54	0,51	0,14
Banda 3	-0,09	-0,07	0,41	0,41	0,54	1	0,99	0,83
Banda 2	-0,09	-0,09	0,38	0,38	0,51	0,99	1	0,86
Banda 1	-0,16	-0,17	0,02	0,02	0,14	0,83	0,86	1

Tanto a estimativa do parâmetro biomassa quanto volume não apresentaram correlação significativa, à 95% de probabilidade, referentes as reflectâncias e os índices de vegetação. Apenas a correlação de Spearman para área basal foi significativa, apresentando $\rho = 0,96$, para biomassa e volume. Os valores de correlação para a estimativa de biomassa obtiveram resultados

ligeiramente superiores quando comparados aos resultados para volume (Tabela 2 e 3).

6. DISCUSSÃO

A média da volumetria para o cerrado estudado foi de 41,88 m³/ha e a média para biomassa foi de 18,20 Mg/ha. Rezende *et al.* (2006) encontraram um volume médio de 25,10 m³/ha e biomassa lenhosa média de 9,85 ton/ha, em um outro fragmento de cerrado *sensu stricto* na mesma região na Fazenda Água Limpa. Estes valores superiores se devem à disposição em mosaico das fitofisionomias e a variabilidade natural da composição da vegetação do cerrado, caracterizada pela heterogeneidade estrutural das savanas.

Os valores P obtidos no teste de Sapiro-Wilk foram abaixo do nível de significância, o que infere que a distribuição dos dados de biomassa seca e volume não apresentam comportamento normal. Desta forma, foi escolhido a correlação de Spearman, que apresenta resultados melhores para dados não-normalizados.

Por ser uma vegetação heterogênea e com dispersão descontínua, o cerrado revela influência do solo e da irregularidade das sombras das copas. A imagem do satélite *Pleiades* possui alta resolução espacial, o que intensifica a interferência da sombra uma vez que os pixels tendem a ser mais heterogêneos quanto maior a resolução espacial da imagem. Chen *et al.* (2004), por exemplo, encontraram maiores correlações em dados oriundos de imagem com resolução espacial inferior, em seus estudos.

A diferença de gradiente característico das vegetações heterogêneas torna a aplicação do sensoriamento remoto mais complexa na realização de estudos que relacionam dados de campo e informações geográficas (SOUSA; PONZONI, 1998). No caso da vegetação estudada, ocorreram tratamentos silviculturais que intensificaram a mudança repentina de gradiente, portanto, este fato influenciou nos resultados, dado a dificuldade do sensor de captar variações bruscas em áreas pequenas, mesmo com a alta resolução da imagem.

A única variável testada que apresentou correlação significativa com volume biomassa foi a área basal ($\rho=0,96$). Por ser uma variável de campo,

a área basal tende a apresentar alta correlação com as estimativas dos parâmetros estudados. Os índices de vegetação NDVI e SR, bem como as reflectâncias espectrais não apresentaram correlação significativa ($\rho < 0,16$) e portanto não foi necessário avançar na estatística e gerar modelos de regressão para calcular os parâmetros estatísticos, já que o uso de variáveis de sensoriamento remoto não apresentaram correlação com as estimativas de biomassa e volume oriundas do inventário florestal.

O fato da variável de campo área basal ter sido a única a apresentar correlação significativa indica que os índices e reflectâncias não foram capazes de captar a heterogeneidade e o gradiente da distribuição do volume e biomassa para o cerrado estudado, e da mesma forma, reitera a necessidade de se obter variáveis de campo no intuito de se obter estimativas de alta qualidade. Apesar da tentativa de diversos estudos em estimar biomassa e volume para comunidades naturais apenas utilizando variáveis de sensoriamento remoto, o cerrado *sensu stricto*, por possuir alta variação no gradiente, necessita de obtenção de variáveis de campo.

Embora haja um grande número de estudos com o intuito de estimar volumetria e biomassa apenas com o uso do sensoriamento remoto, em vegetações do bioma cerrado com ecossistemas savânicos ainda é escasso. A grande heterogeneidade é um desafio complexo, dado que variáveis de campo garantem grande correlação com as variáveis desejáveis, sejam elas biomassa ou volume.

Mesmo que nos estudos de estimativa de biomassa e volume em áreas naturais os autores utilizem variáveis de sensoriamento remoto para as estimativas, o uso de variáveis de campo para melhorar a qualidade dos ajustes dos modelos ainda é bem recorrente. Em seus estudos em área de Cerradão no Tocantins, Miguel et al. (2015) utilizaram a área basal como variável obtida em campo para ajustar o modelo de regressão múltipla juntamente com os índices de vegetação e constataram erro padrão de 16,8 % e $R^2 = 0,92$ na estimativa para biomassa e encontraram erro padrão de 11,92% e $R^2 = 0,96$ na estimativa para volumetria. O uso de variáveis obtidas em campo qualifica melhor o ajuste do modelo, porém, sem dados de área basal os ajustes perdem a eficácia da

extrapolação para as áreas onde não há esta informação dessa variável de campo (BARBOSA; BROADBENT; BITENCOURT, 2014).

Apesar das estimativas que utilizam dados de campo nos modelos melhorarem os resultados dos ajustes, a sua utilização impede a extrapolação dos modelos e dificulta a aplicação em áreas de difícil acesso. Já as modelagens utilizando apenas dados de sensoriamento remoto possibilitam tal extrapolação, contudo, generalizar os parâmetros da vegetação para diferentes áreas possui certas limitações já que ocorre variação nas condições do ambiente e uma recorrente dependência das variáveis obtidas em campo (FOODY *et al.*, 2003; COHEN *et al.*, 2001).

Outras técnicas de sensoriamento remoto, ou redes neurais artificiais (RNA's) associados a modelos de regressão múltipla em levantamentos com grandes quantidades de unidades amostrais podem levar à ajustes de alta qualidade que expliquem de forma satisfatória, variáveis como volume e biomassa sem a necessidade de obtenção de variáveis de campo que por vezes possuem restrição de recursos ou de acesso.

7. CONCLUSÃO

A média da volumetria para o cerrado estudado foi de 41,88 m³/ha e a média para biomassa foi de 18,20 Mg/ha. Estes valores estão em conformidade considerando o estudo de Rezende *et al.* (2006) realizado em local adjacente à vegetação estudada, dado que ocorre variabilidade natural na composição da vegetação do cerrado, sobretudo em ecossistemas savânicos.

Os índices de vegetação e bandas espectrais analisados não foram capazes de realizar estimativas de qualidade para o volume e tampouco para biomassa seca. As variáveis testadas de sensoriamento remoto não apresentaram correlação significativa com volume e biomassa. Os pixels da imagem de alta resolução do satélite *Pleiades* podem ter tido influência do sombreamento irregular da vegetação savânica. As intervenções de manejo, em 2006, e o grande incêndio florestal em 2011 podem ter influenciado os resultados.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARAÚJO, T. M.; HIGUSHI, N.; CARVALHO JR., J. A. **Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest in the state of Pará, Brazil.**

Forest Ecology and Management, v.117, p.43-52; 1999;

BARBOSA, J. M.; BROADBENT, E. N.; BITENCOURT, M. D. **Remote Sensing of Aboveground Biomass in Tropical Secondary Forests: A Review.** International Journal of Forestry Research, n. ID 715796, p. 1–14, 2014;

BLANCHET, G.; LEBEGUE, L.; FOUREST, S.; LATRY, C.; POREZ-NADAL, F.; LACHERADE, S.; THIEBAUT, C. **Pleiades-HR innovative techniques for radiometric image quality commissioning.** In: XXII ISPRS Congress, 2012, Melbourne, Austrália. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2012;

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites.** Florida: Krieger Publishing Company. 735p. 1993;

BRANDÃO, Z. N. *et al.* **Determinação de índices de vegetação usando imagens de satélite para uso em agricultura de precisão.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. Anais.... Campina Grande: CNPA, 2005;

BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. **Uso do NDVI para determinação da Biomassa na Chapada do Araripe.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 75–81, 2007;

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J.; LUGO, A. E. 1989. **Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data.** Forest Science, 35(4): 881-902.1989;

BROWNING, B.L. **The chemistry of wood.** London: Interscience Publishers. 699p. 1963;

CARVALHO, J. O. P. de. **Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal.** (Embrapa-CNPQ. Documentos, 34). Belém: p.41-55. 1997;

CHEN, X. *et al.* **Using lidar and effective LAI data to evaluate IKONOS and Landsat 7 ETM + vegetation cover estimates in a ponderosa pine forest.** v. 91, p. 14–26, 2004;

COHEN, W. B. *et al.* **Modelling forest cover attributes as continuous variables in a regional context with Thematic Mapper data.** International Journal of Remote Sensing, v. 22, n. 12, p. 2279–2310, 2001;

EMBRAPA. **Missão Pleiades.** Disponível em: < https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_pleiades.html >. Acessado em 06/06/2019. 2013;

FEARNSIDE, P. M. **Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas amazônicas brasileiras.** Oecologia Brasiliensis, 12: 743-756. 2008;

FOODY, G. M.; BOYD, D. S.; CUTLER, M. E. J. **Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions.** Remote Sensing of Environment, v. 85, n. 4, p. 463–474, 2003;

GRACE, J., J. SAN JOSE, P. MEIR, H.S. MIRANDA, AND R.A. MONTES. **Productivity and carbon fluxes of tropical savannas.** Journal of Biogeography 33: 387-400. 2006;

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L. & BIOT, Y. **Biomassa da parte aérea da vegetação da florestal tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira.** Acta Amazônica 28(2): 153-166. 1998;

HIGUCHI, N. **A Inserção do Amazonas no contexto da convenção do clima e Protocolo de Quioto.** Apontamentos Didáticos. 2001;

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R.J.; PINTO, A.C.M.; SILVA; R.P. da; ROCHA, R.M.; TRIBUZY, E.S. **Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central.** *Floresta*, 34(3): 295-304. 2004;

HUETE, A.R. **A soil-adjusted vegetation index.** *Remote Sensing of Environment.* Elsevier Science Publishing Co., New York, USA. 25:295-309. 1988;

IMAÑA-ENCINAS, J. *et al.* **Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás.** *Revista Floresta*, 39(1):107-116, 2009;

IPCC. INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGES. **Land use, land use change, and forestry special report.** Summary for Policymakers. Based on WATSON, R *et al.* as Core Writing Team. Montreal. 2000;

IPCC. METZ, B. *et al.* (Ed.). **Carbon dioxide capture and storage.** Cambridge (UK): Cambridge University Press, 2005. 413p.

IPCC. **Carbon dioxide capture.** [s.l: s.n.], 2005;

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change. Summary for policymakers.** Anais. 2007;

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente.** Tradução de José Carlos Neves Epiphânio; Antonio Roberto Formaggio, *et al.* 2a. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009;

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. **Relationships of fire, biomass and nutritional dynamics along vegetation gradient in the Brazilian cerrado.** *Journal of Ecology*, v.82, n.3, p.519-531, 1994;

KUNTSCHIK, G.; BITENCOURT, M. D. **Quantificação de fitomassa florestal aérea de cerrado e cerradão através de imagens orbitais SAR.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: INPE. p. 2201-2208. 2003;

LEAL, F. A.; MIGUEL, E.P.; MATRICARDI, E.A.T. **Mapeamento de unidades produtivas utilizando a interpolação geoespacial krigagem a partir do inventário florestal em um povoamento de Eucalyptus urophylla** S. T. Blake. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 2013;

LAL, R. **Carbon sequestration**. Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci., 363 (1492) (2008), pp. 815-830, 2008.

LEITE, H. G., ANDRADE, V. C. L. **Um Método para Condução de Inventários Florestais Sem o Uso de Equações Volumétricas**. R. Árvore, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002;

LU, D. **The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation**. International Journal of Remote Sensing, v. 27, n. 7, p. 1297–1328, 2006;

MACHADO, R. B. *et al.* **Estimativa de perda da área do cerrado brasileiro**. Relatório técnico não publicado. Brasília: Conservação Internacional, 2004;

MIGUEL, E. P. *et al.* **Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerradão com dados de satélite**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 9, p. 829–839, 2015;

MORAIS, V. A.; MELLO, J. M; GOMIDE, L.R.; SCOLFORO, J. R.; ARAÚJO, E. J. G; RUFINI, A. L. **Influence of diameter measuring height on the adjustment of volume and biomass equations of cerrado in Minas Gerais**. Ciência e Agrotecnologia. v.38, n. 3, p.230-239, maio./jun., 2014;

PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G. **Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do cerrado no sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Botânica, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 441-454, jul./set. 2009;

PINILLA, C. **Elementos de teledetección**. Madrid: RA-MA. 313 p. 1995;

- RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F. & BRIDGEWATER, S. 1997. **The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity**. *Annals of Botany* 80(3): 223-230. 1997;
- REZENDE, A. V.; FELFILI, J. M. **Avaliação do estoque de carbono do cerrado sensu stricto do Brasil Central**. *Comunicações Técnicas Florestais*, v.6, n.2, p.1-27, 2004;
- REZENDE, A.V.; DO VALE, A.T.; SANQUETTA, C.R.; FILHO, A.F.; FELFILI, J.M., 2006. **Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF**. *SCIENTIA FORESTALIS*, 65 n. 71, p. 65-76, agosto 2006;
- RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. 2008. **As principais fitofisionomias do Bioma cerrado**. In *cerrado: ecologia e flora* (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa cerrados, Planaltina. p.151 -212, 2008;
- ROUSE, J. W. *et al.* **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. Greenbelt, MD: [s.n.]. 1973;
- SANTOS, S.E.M.; MIRANDA, I.S.; TOURINHO, M.M. **Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará**. *Acta Amaônica*, v. 34, p. 01-08, 2004;
- SANQUETA, C.R.; BALBINOT, R. **Metodologias para determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETA, C.R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M.A.B. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: UFPR/Ecoplan. p.77-93. 2004;
- SALIS, S. M.; ASSIS, M. A.; CRISPIM, S. M. A.; CASAGRANDE, J. C. **Distribuição e abundância de espécies arbóreas em cerradões no Pantanal, Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil**. *Brazilian Journal of Botany*, v. 29, n. 3, p. 339-352, 2006;
- SCHOENINGER, E. R. *et al.* **Uso de redes neurais artificiais como uma alternativa para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de florestas naturais**. Artificial neural network use as an alternative to biomass and organic carbon mapping in natural forest trees. *Ambiência*, v. 4, n. 3, p. 529–549, 2008;
- SOLOMON, S. *et al.* **Climate change 2007: the physical science basis**. [s.l.: s.n.]. 2007;

SOUSA, C. L.; PONZONI, F. J. **Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de Pinus spp.** IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. D, p. 1537–1547, 1998;

SHARMA, T., SUDHA, K.S., RAVI, N., NAVALGUND, R.R., TOMAR, K.P., CHAKRAVARTY, N.V.K., Das, D.K. **Procedures for wheat yield prediction using Landsat MSS and IRS-1A data.** Int. J. Remote Sensing v.14, n.13, p.2509–2518, 1993;

VIBRANS, A.C.; SEVEGNANI, L.; LINGNER, D.V.; GASPER, A.L. & SABBAGH, S. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC): aspectos metodológicos e operacionais.** Pesquisa Florestal Brasileira 30: 291-302. 2010;

VIEIRA, S. A.; AIDAR, M.; BAKER, T. R.; CAMARGO, P. B.; CHAVE, J.; DELITTI, W. B. C.; HIGUCHI, N.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A.; PHILLIPS, O. L.; TRUMBORE, S. E. **Estimation of biomass and carbono stocks: the case of the Atlantic Forest.** Biota Neotropica, v.8, p.21-29. 2008;

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite Ikonos II.** v. 28, n. 1, p. 120, 2003;

WATZLAWICK, L.F.; KIRCHNER, F.F.; SANQUETTA, C.R. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite Ikonos II.** Ciência Florestal, v.19, p.169-181, 2009.