
Orbital Monitoring of Natural and Emerging Ecosystems in the Brazilian Cerrado Current Initiatives & Possibilities



Laerte Guimarães Ferreira

Federal University of Goiás (UFG)

Image Processing and GIS Lab (LAPIG)

www.lapig.iesa.ufg.br

Anthropic & Sustainable Landscapes

Carbon & Water Fluxes in the Brazilian Pasturelands

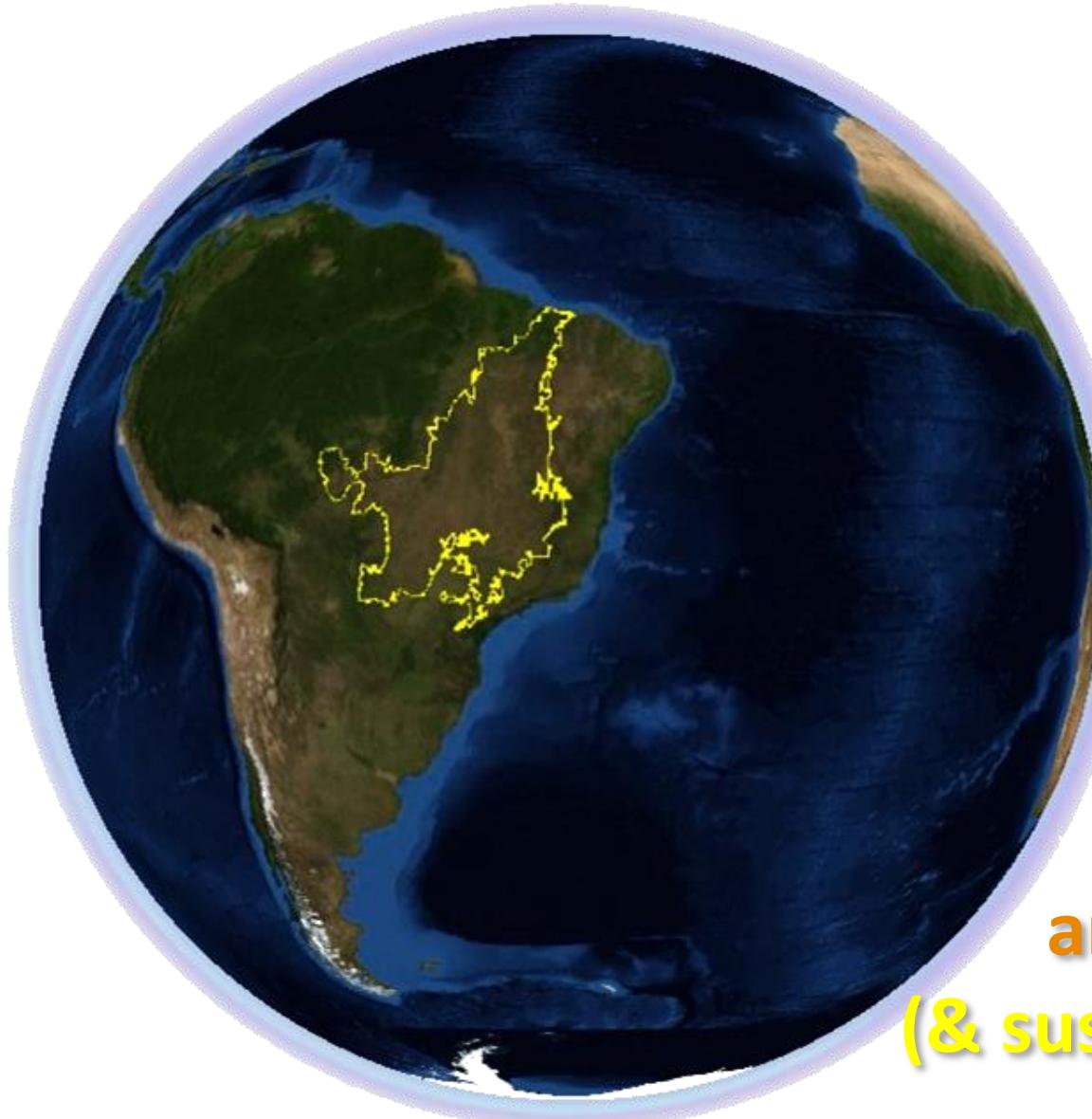


Laerte Guimarães Ferreira

Federal University of Goiás (UFG)

Image Processing and GIS Lab (LAPIG)

www.lapig.iesa.ufg.br



**A tentative
Outline...**

**An overview about
the brazilian savanna**

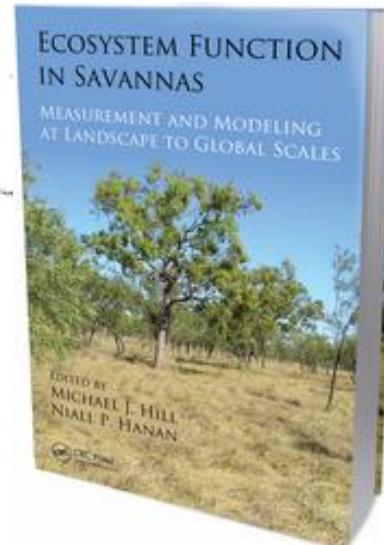
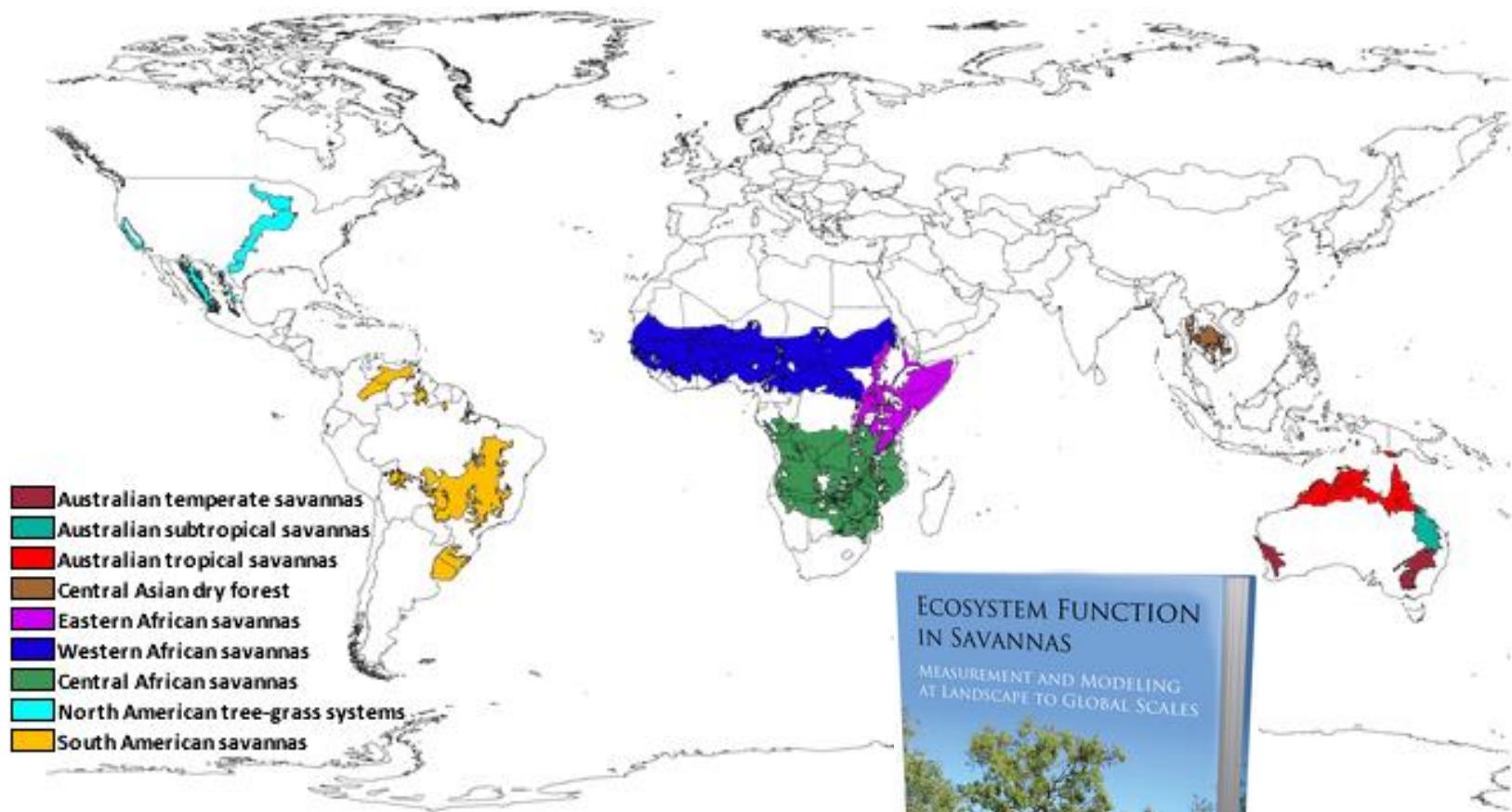
LCLUC
synergistic
remote sensing
applications
and productive
(& sustainable) landscapes

The Peculiar Brazilian Savanna “Cerrado”

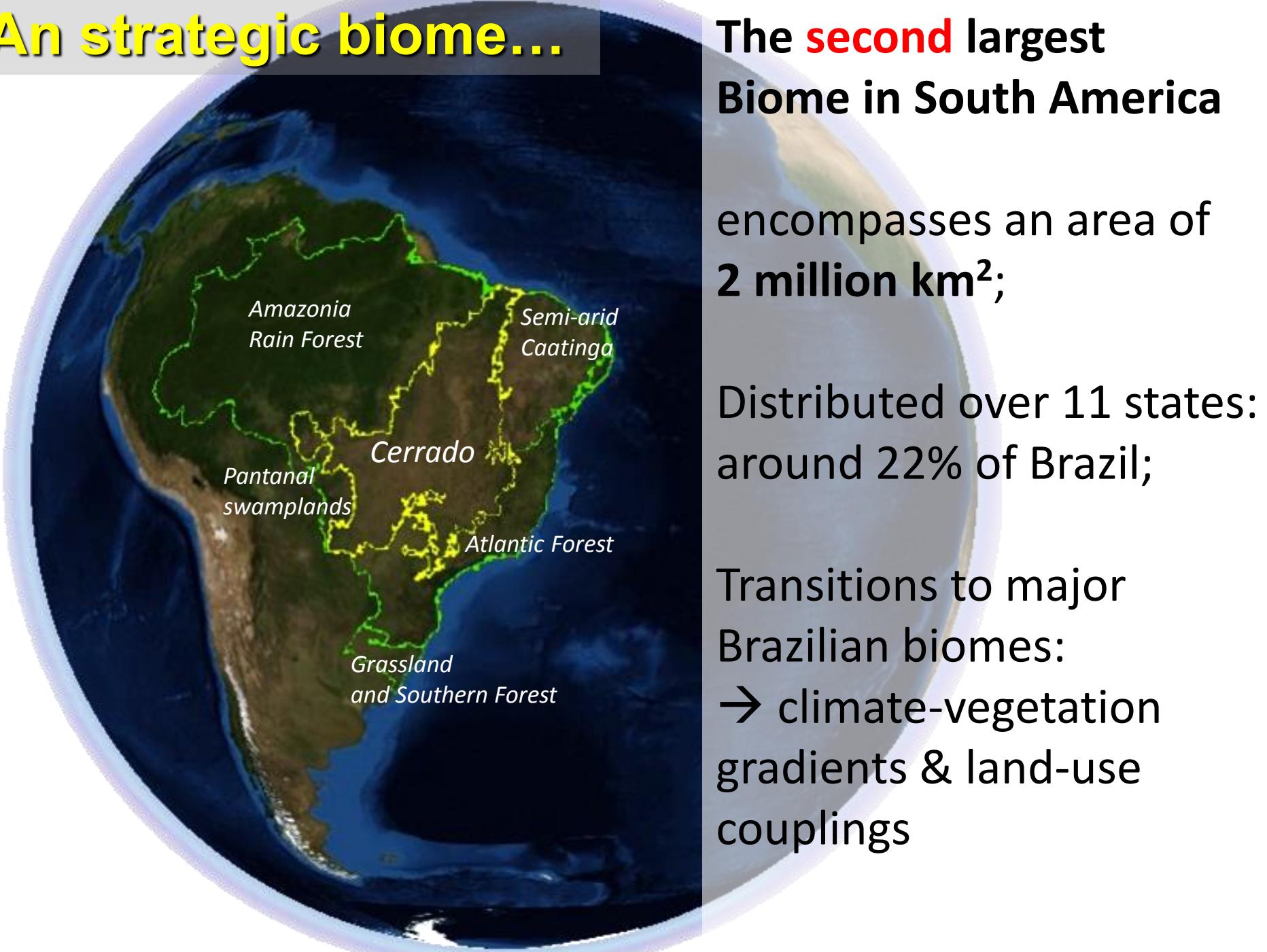


rede ComCerrado
Rede de Pesquisas para o Uso Sustentável e Conservação do Cerrado

Global Savannas...



An strategic biome...



An strategic biome...



The Cerrado region shelters the headwaters and the largest part of three important South America watersheds: Paraguay-Paraná, Araguaia-Tocantins and São Francisco;

→ Supplies over 70% of the downstream river discharge

A biodiversity *Hotspot*

→ High endemism;

Important CO₂ sink

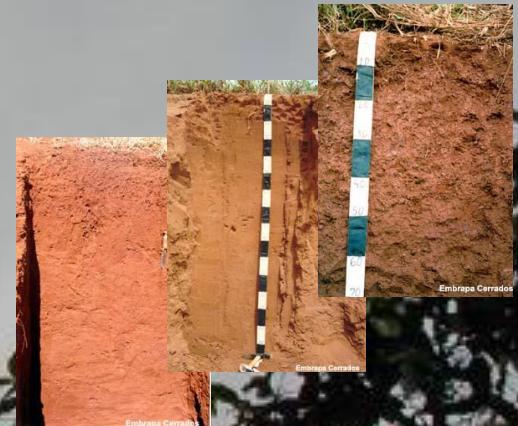
→ 4 (*grasslands*) to 72 (*Cerrado woodland*) t/ha (above ground biomass)

Relevance of belowground C stocks

root biomass and soil organic matter...

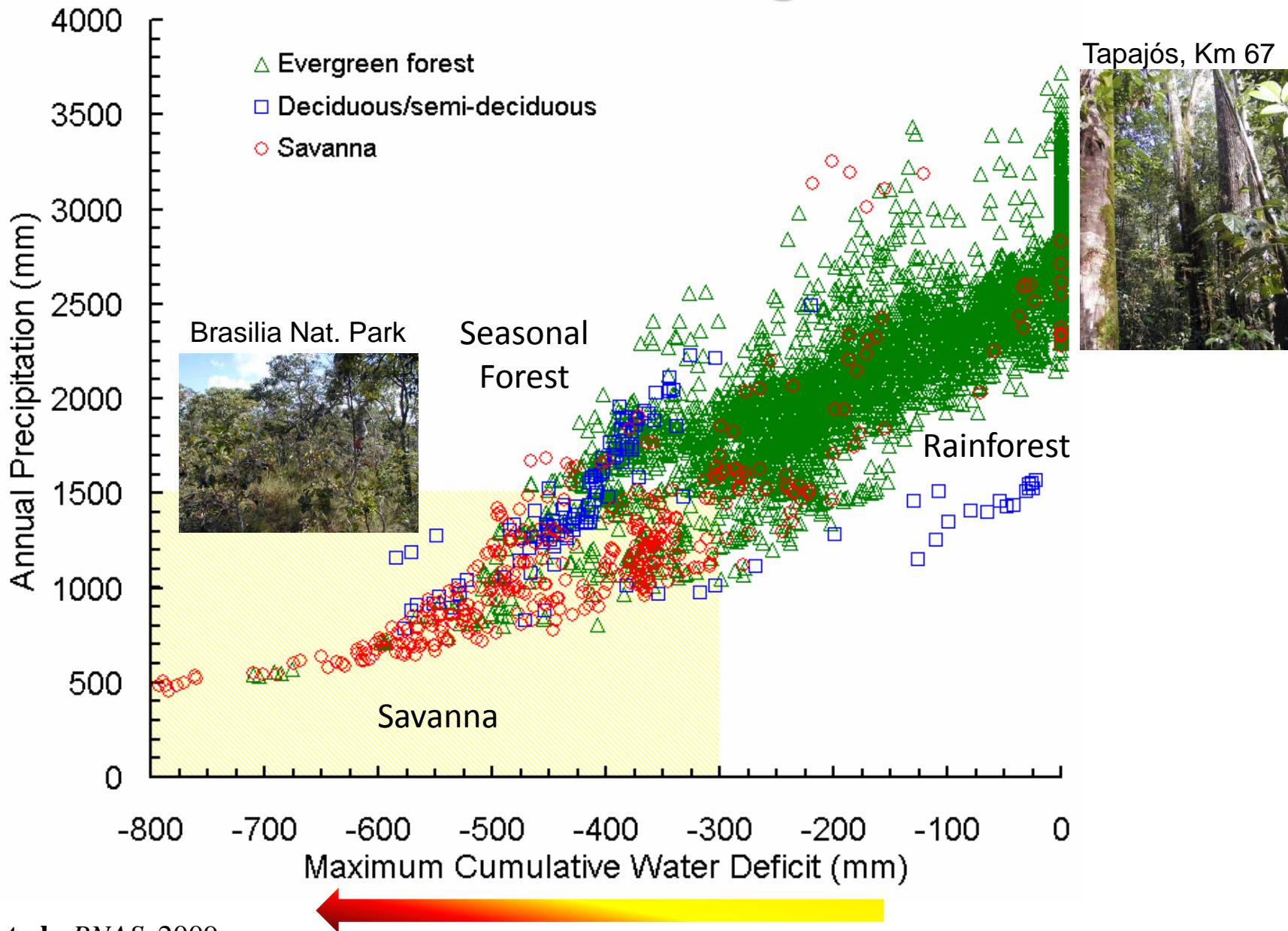
Compartment	Mg C ha ⁻¹	%
Vegetation + soil (up to 100cm depth)	265.0	
Aerial Biomass	28.5	10.8%
Herbaceous Biomass	4.0	1.5%
Litter	5.0	1.9%
Root and detritus	42.5	16%
Soil organic matter	185.0	69.8%

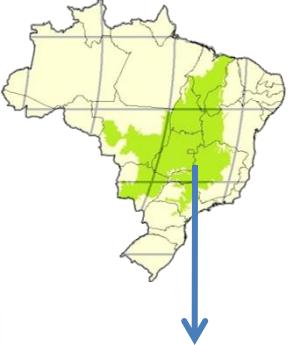
old, deep, nutrient poor



Total stock of C in a typical cerrado (Mg C ha⁻¹):

A rainfall driven gradient



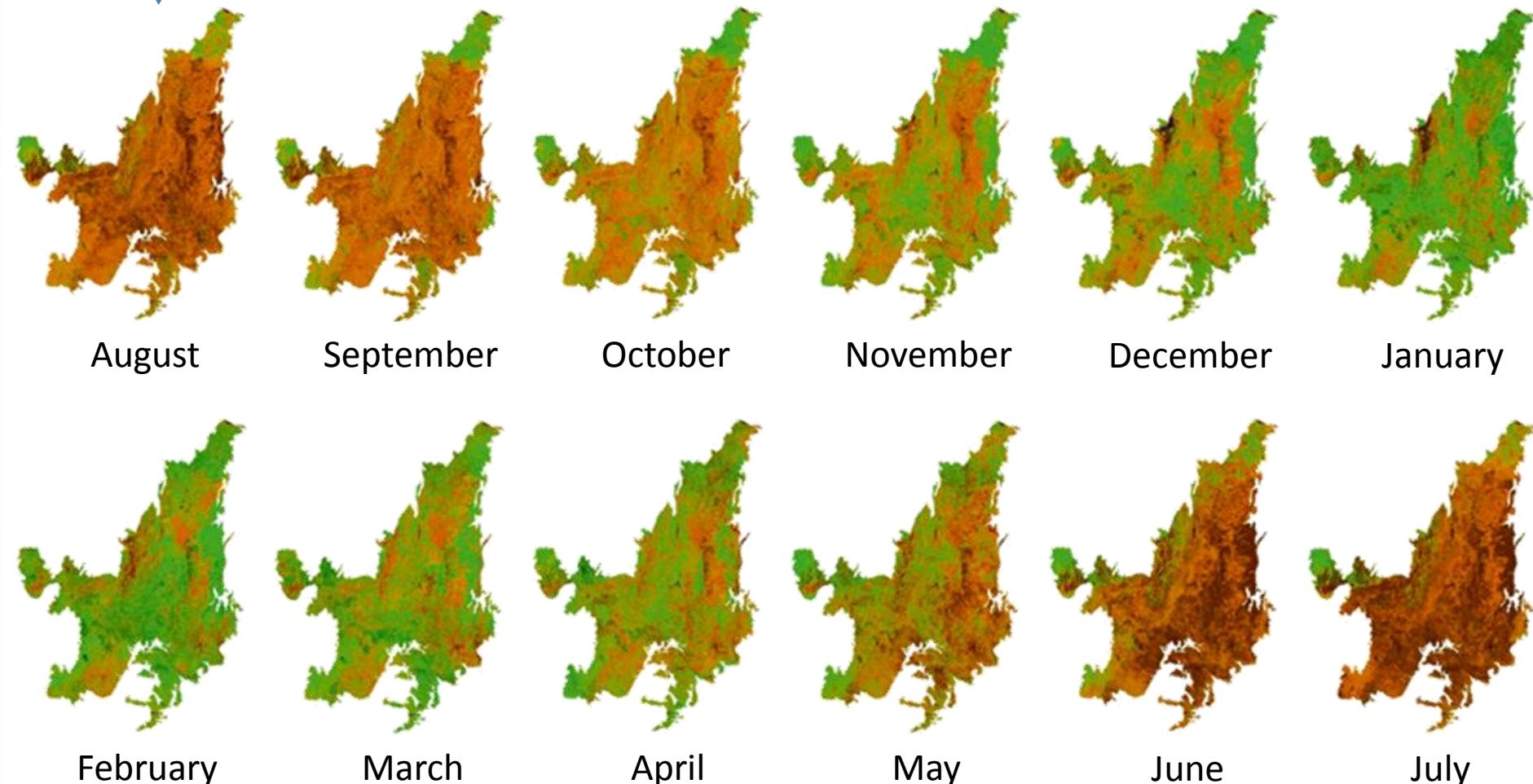


Seasonality in the Cerrado

Key role in C uptake and release

Brown = dry veg.

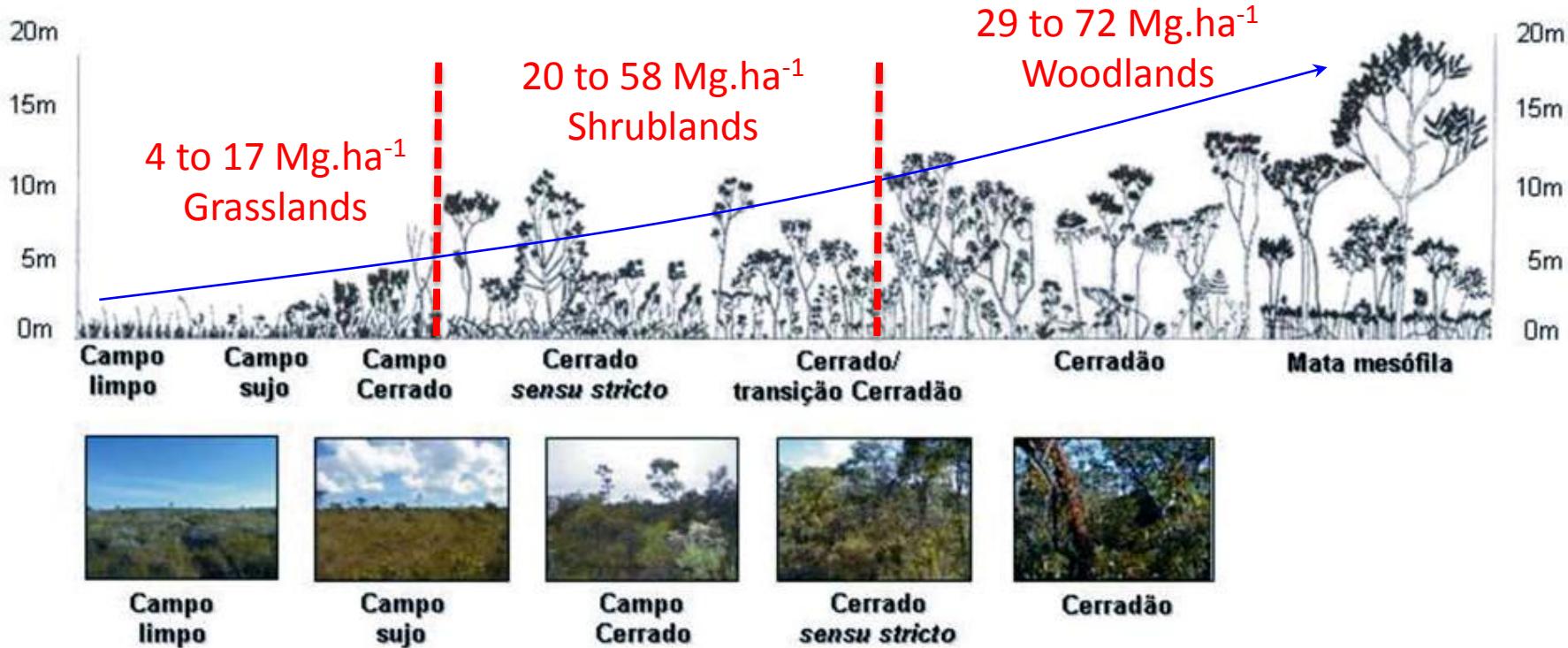
Green = green veg.



Ferreira, M.E. et al., *Brazilian Journal of Geophysics*, 2006

Ferreira, L.G. and Huete, A.R., *Int. Journal of Remote Sensing*, 2004

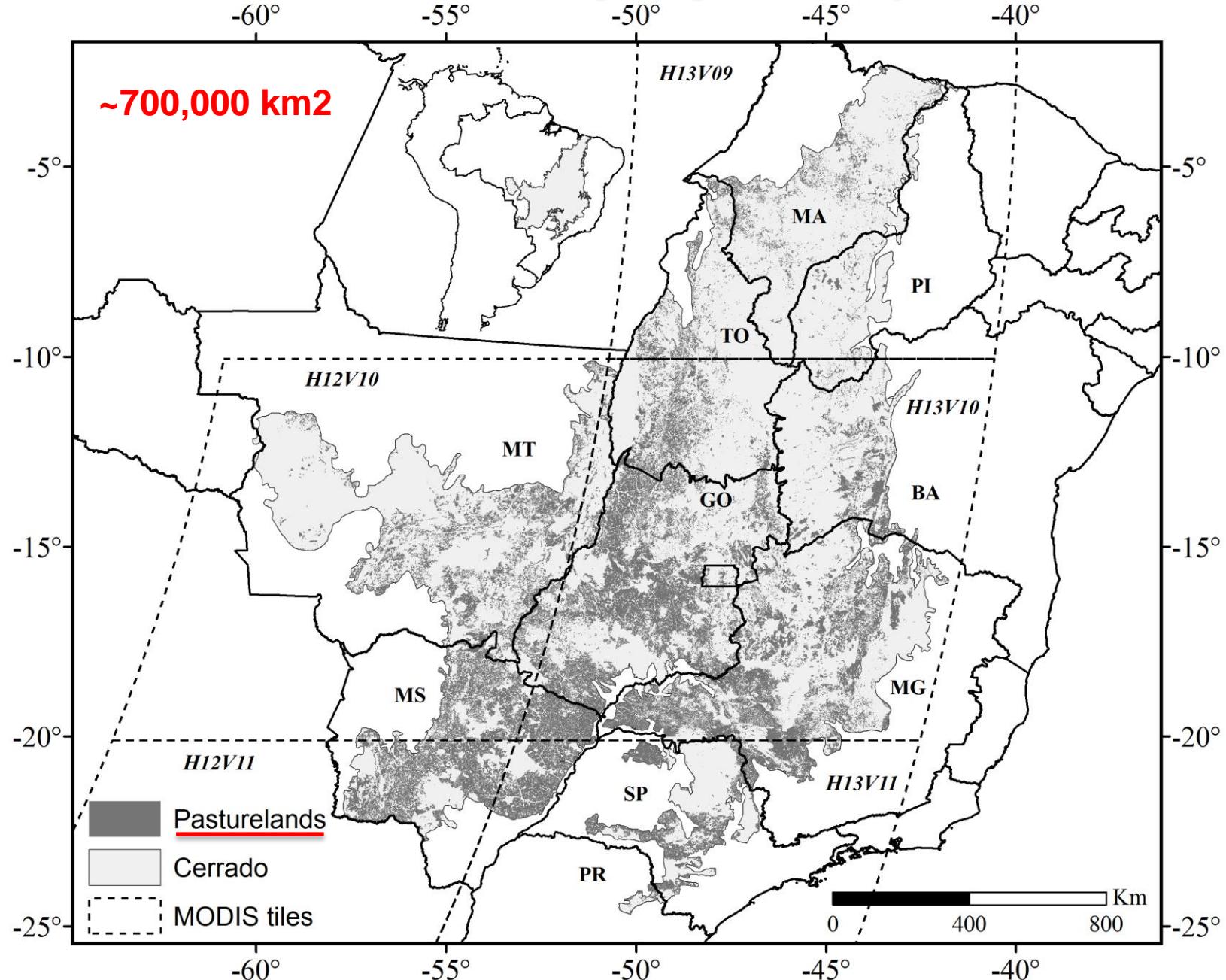
A complex mosaic of vegetation...



Characteristics related to:



Cerrado's Emerging Ecosystem...

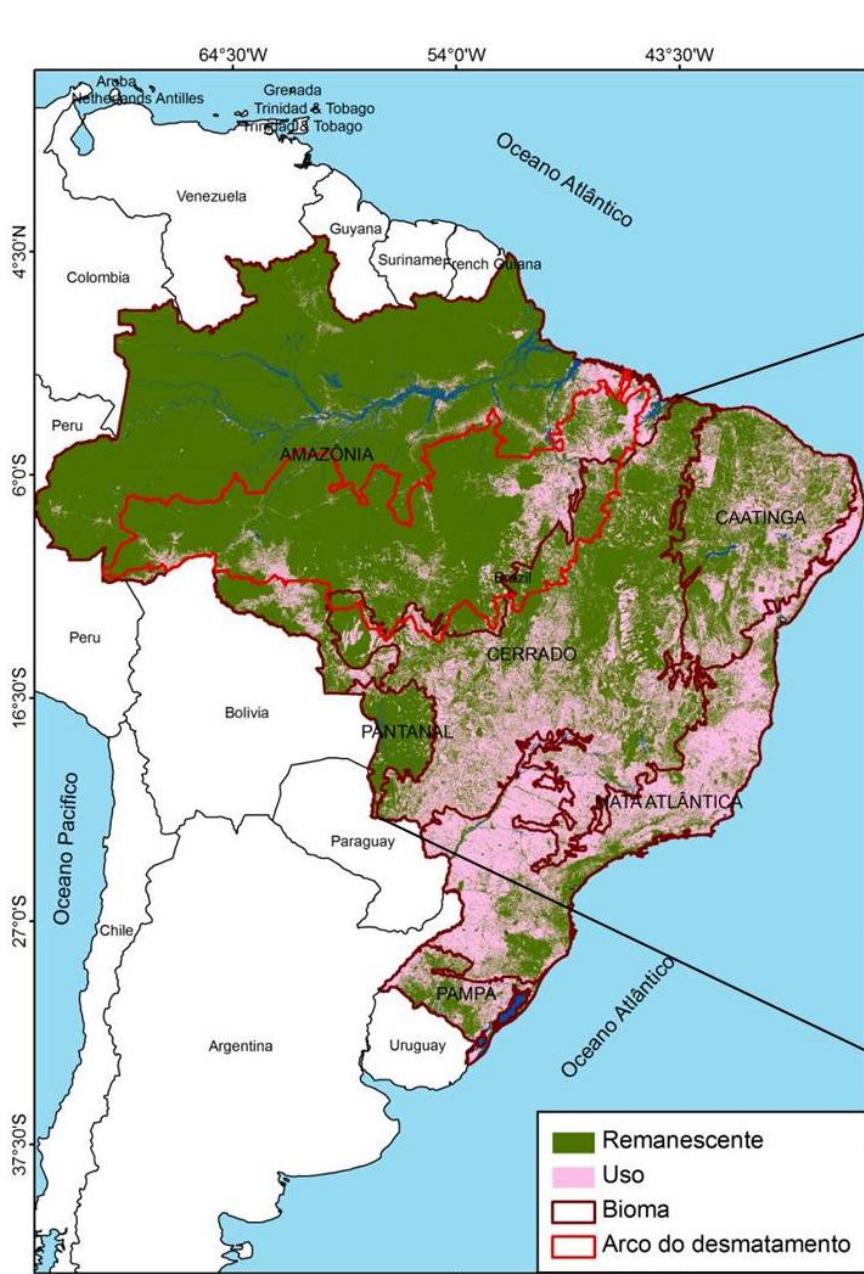


A fast-change biome...

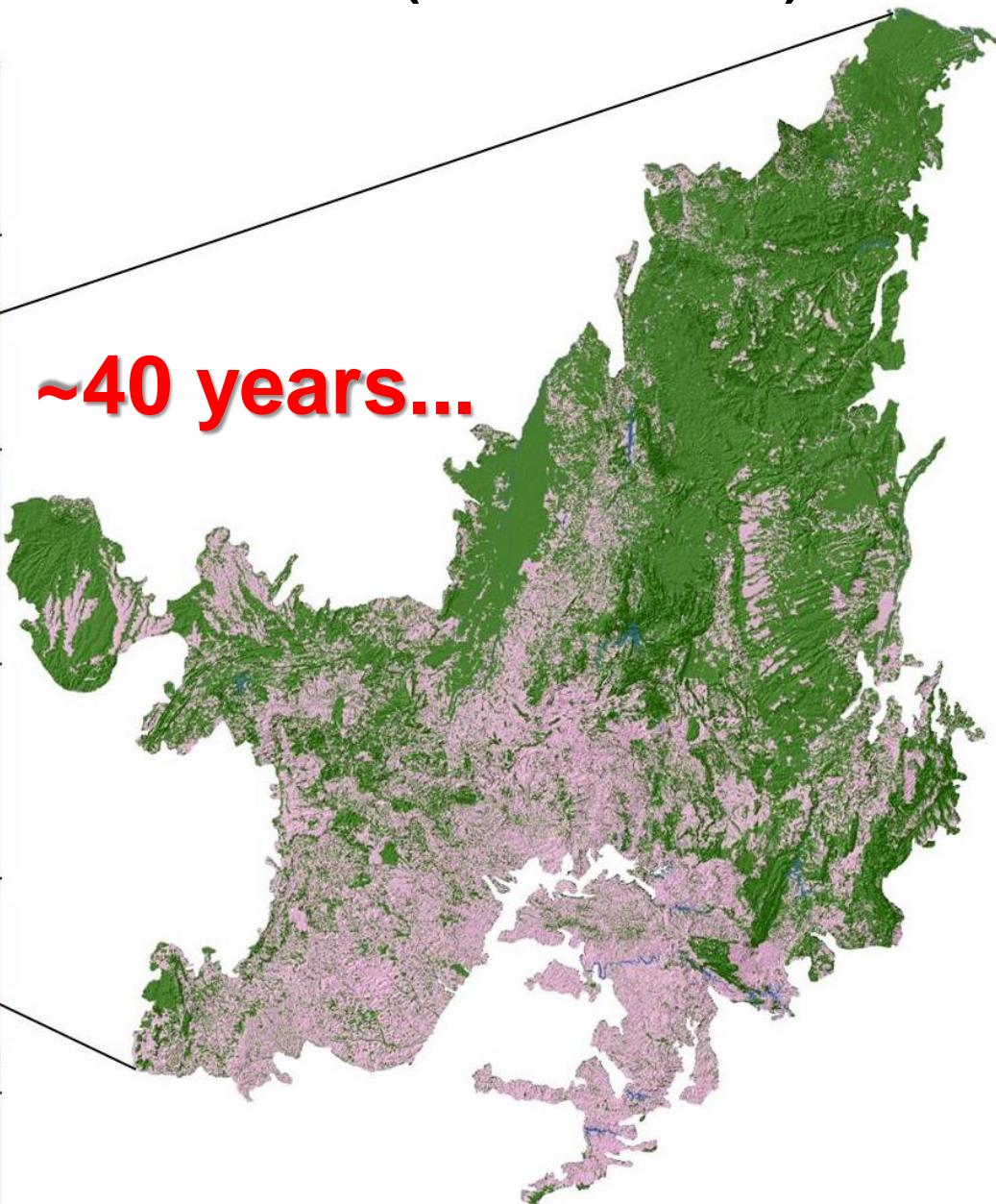
Impacts & Responses



Land Cover and Land Use in Brazil (PROBIO 2002)

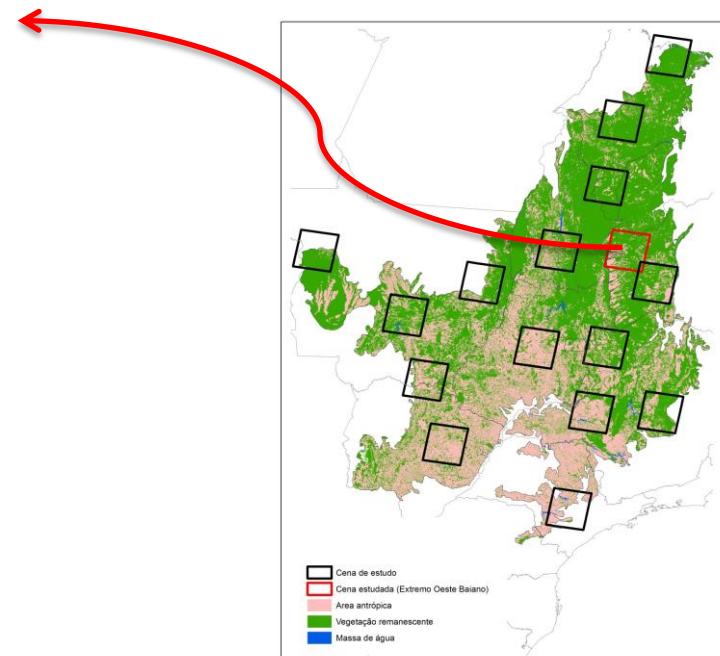
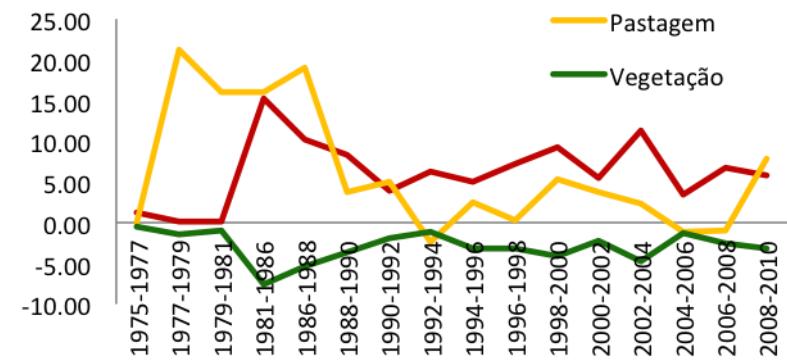
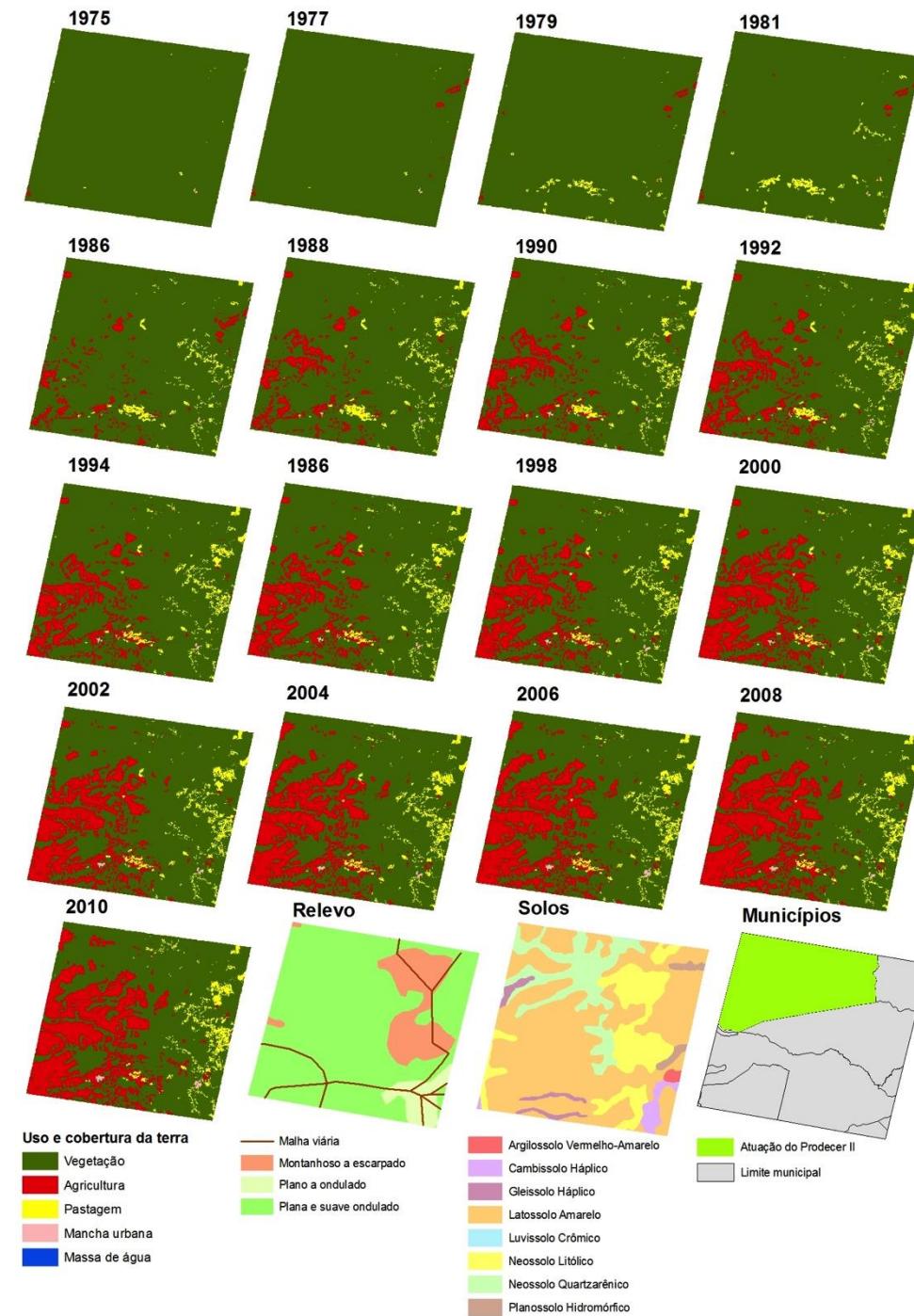


~40 years...



Sano, E.E. et al., *Environmental Monit. Assess.*, 2010
Lapola, D.M. et al., *Nature Climate Change*, 2013

Landscape dynamics & trajectories



Silva, E.B. et al. Ateliê Geográfico, 2013
 Silva, E.B. et al. IDEAS, 2013

A fast-change biome...

Very drastic, direct transition from native vegetation to mechanized agriculture (high inputs of fertilizers & irrigation)



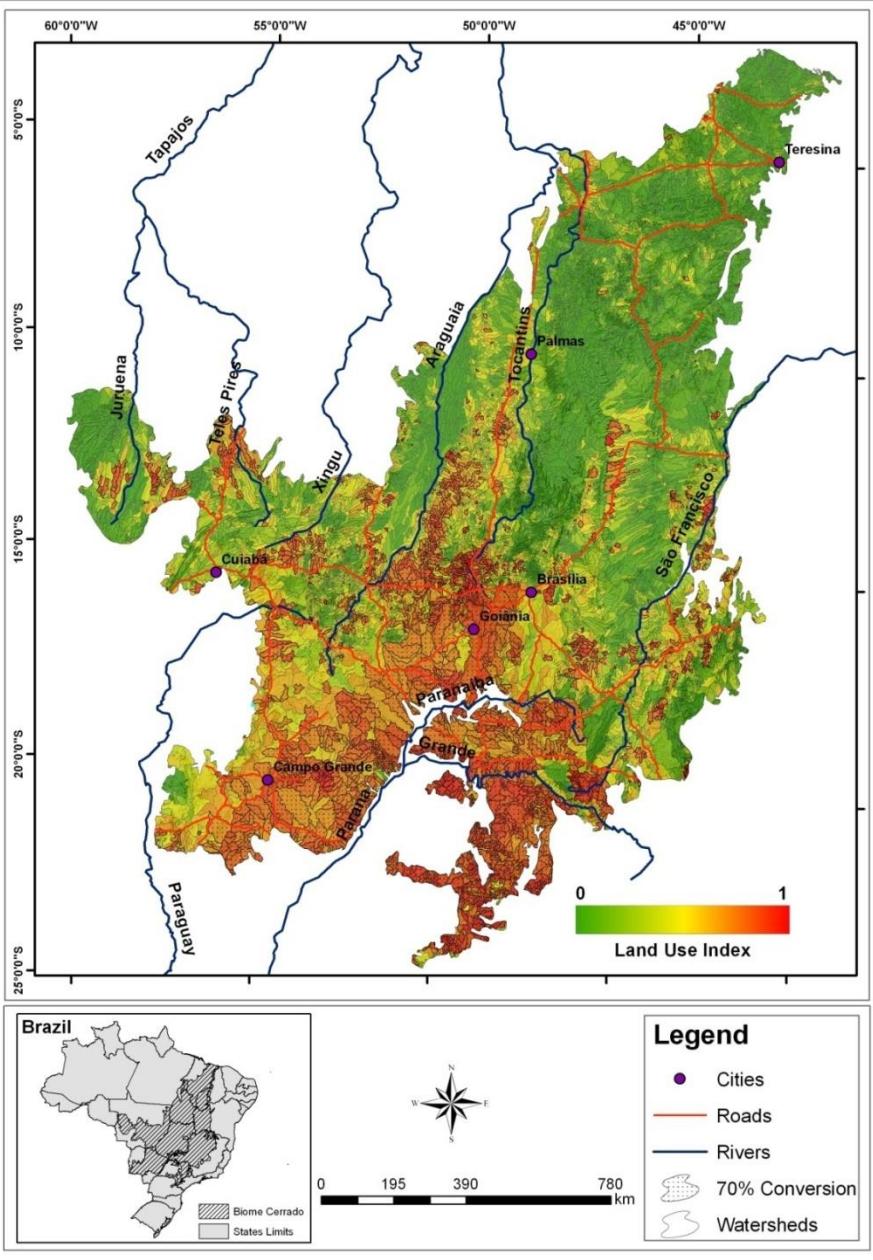
61 million hectares
of cultivated pastures;
72 million head of
cattle;
1.2 cattle / hectare



Contribution to National prod.
Soybean: 60%
Coffee: 60%
Corn: 44%
Cotton: 84%

Bustamante, M.C. & Ferreira, L.G.

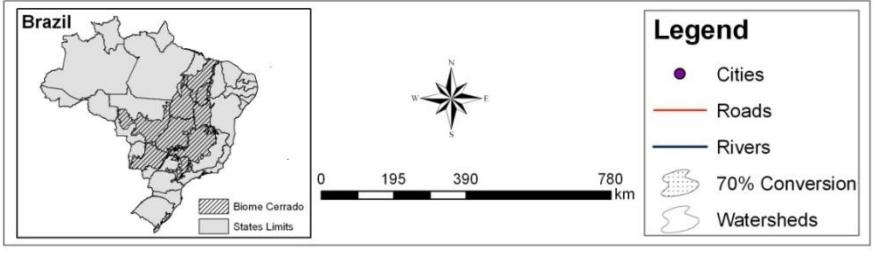
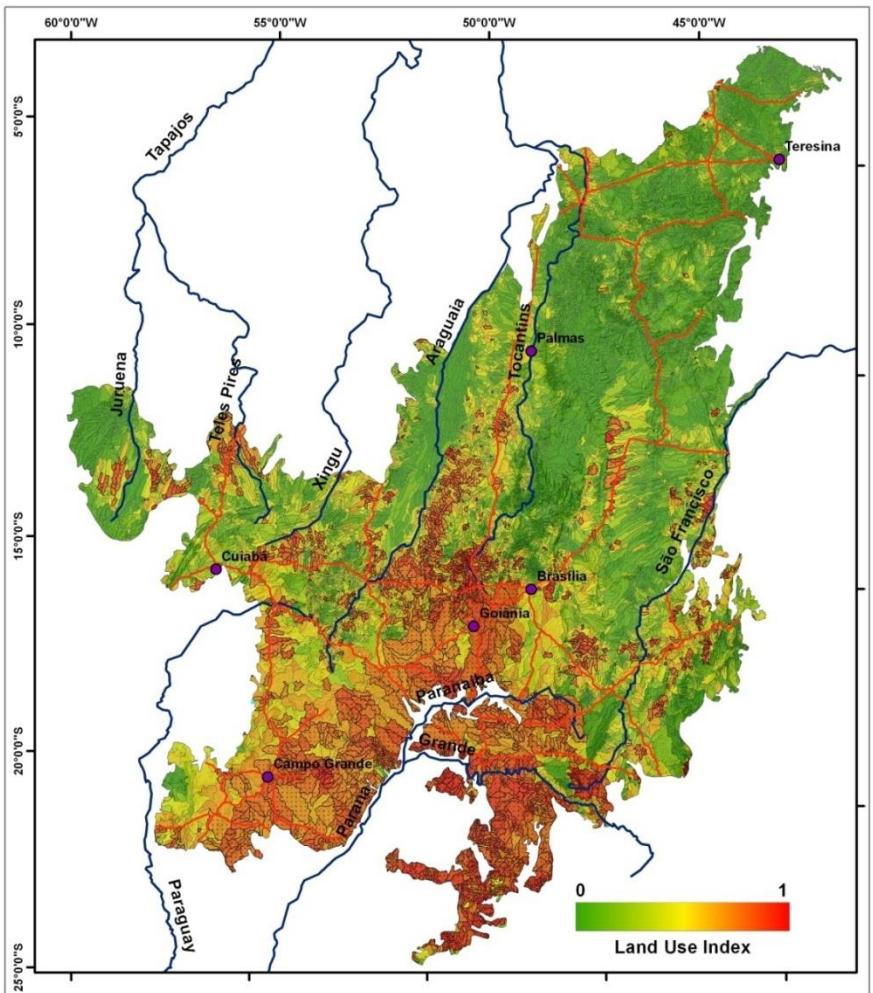
Ecosystem functioning in savannas... (Taylor & Francis), 2010



**and more change
on the way...**

→ Additional area suitable
for agriculture/pasture:
~40 million hectares

Terrains with an extremely favorable
slope: **80% between 0 and 5°**



Brazilian agriculture**The miracle of the cerrado****Brazil has revolutionised its own farms. Can it do the same for others?**

Aug 26th 2010 | CREMAQ, PIAUÍ | from the print edition

IN A remote corner of Bahia state, in north-eastern Brazil, a vast new farm is springing out of the dry bush. Thirty years ago eucalyptus and pine were planted in this part of the *cerrado* (Brazil's savannah). Native shrubs later reclaimed some of it. Now every field tells the story of a transformation. Some have been cut to a litter of tree stumps and scrub, → others charcoal-makers have moved in to reduce the rootballs to fuel; next, other fields have been levelled and prepared with lime and fertiliser; and some have already been turned into white oceans of cotton. Next season this farm at Jatobá will plant and harvest cotton, soyabeans, maize on 24,000 hectares, 200 times the size of an average farm in Iowa. It will transform a poverty-stricken part of Brazil's backlands.

Three hundred miles north, in the state of Piauí, the transformation is already complete.

Three years ago the Cremaq farm was a failed experiment in growing cashews. Its barns were falling down and the scrub was reasserting its grip. Now the farm—which, like Jatobá, is owned by BrasilAgro, a company that buys and modernises neglected fields—uses radio transmitters to keep track of the weather; runs SAP software; employs 300 people under a *gaúcho* from southern Brazil; has 200km (124 miles) of new roads criss-crossing the fields; and, at harvest time, resounds to the thunder of lorries which, day and night, carry maize and soya to distant ports. That all this is happening in Piauí—the Timbuktu of Brazil, a remote, somewhat lawless area where the nearest health clinic is half a day's journey away and most people live off state welfare payments—is nothing short of miraculous.

These two farms on the frontier of Brazilian farming are microcosms of a national change with global implications. In less than 30 years Brazil has turned itself from a food importer into one of the world's great breadbaskets (see chart 1). It is the first country to have caught up with the traditional "big five" grain exporters (America, Canada, Australia, Argentina and the European Union). It is also the first tropical food-giant; the big five are all temperate producers.

The increase in Brazil's farm production has been stunning. Between 1996 and 2006 the total value of the country's crops rose from 23 billion reais (\$23 billion) to 108 billion reais, or 365%. Brazil increased its beef exports tenfold in a decade, overtaking Australia as the

with constraints... and trade-offs...

→ "Land Reserve"
for agriculture/pasture:
~14 million hectares

↓
~ 1.14 heads / ha
→ ~1.5 heads / ha

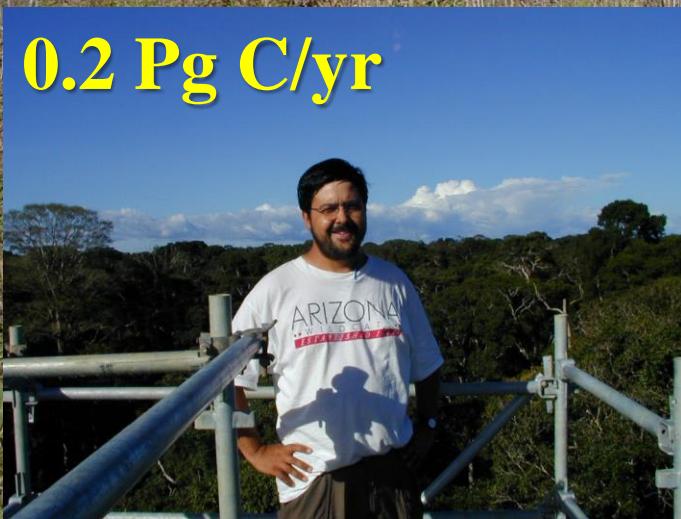
Lambin, E.F. et al. *Global Env. Change*, 2013
Bustamante, M. et al., *Climatic Change*, 2011

Cerrado Conversion A Local Issue?



?

0.07 Pg C/yr \longrightarrow $2.9 \text{ Pg C in 40 years}$

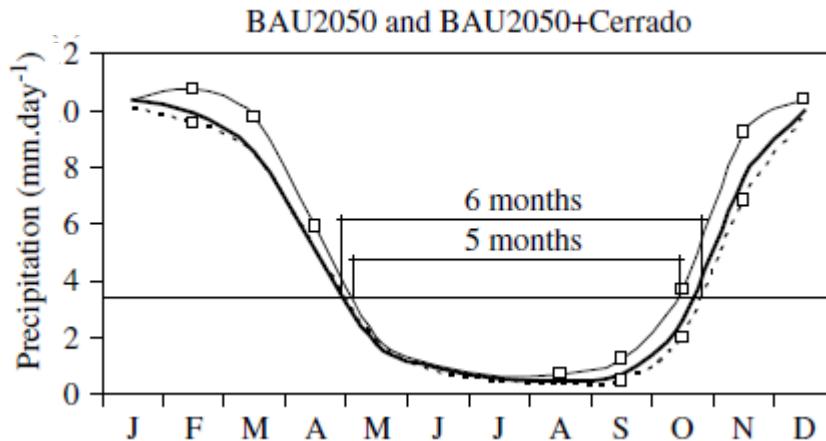


Araguaia Basin, Goiás

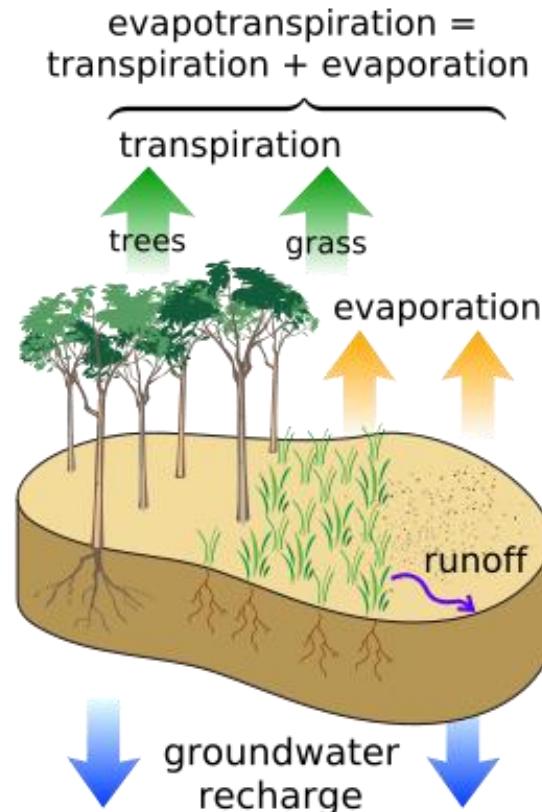
Deforestation implications... Far beyond GHG emissions...

land-cover change and climate
feedbacks...

→ precipitation reduction & further
impact on surface hydrology



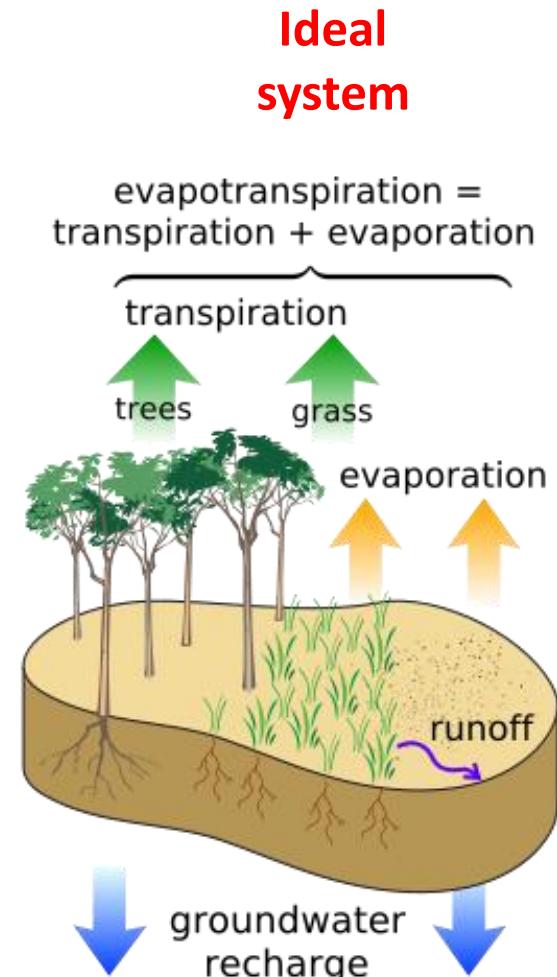
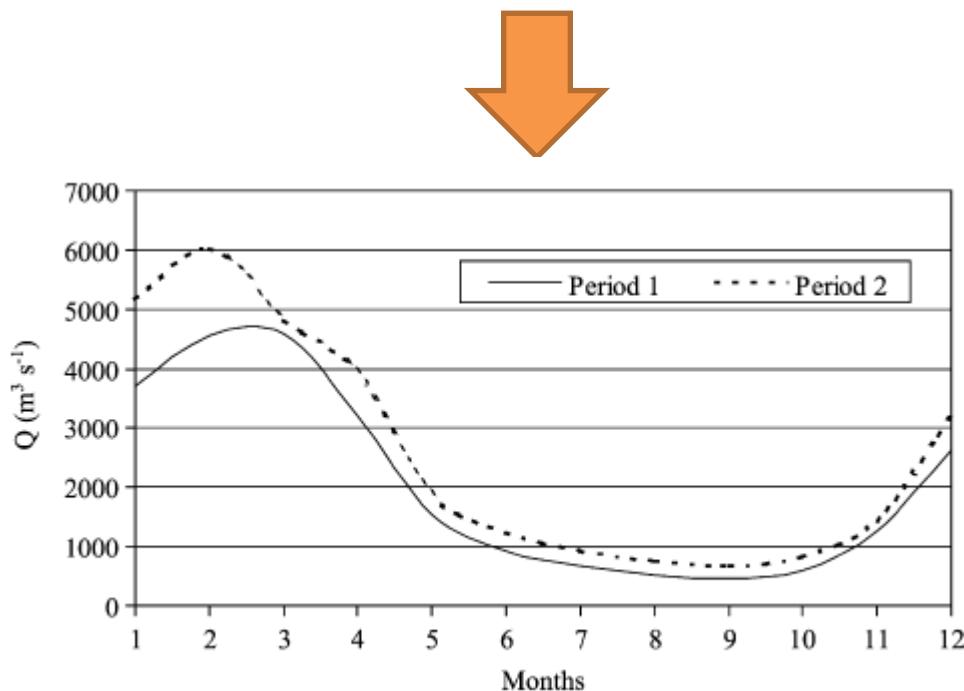
Ideal
system



Deforestation implications... Far beyond GHG emissions...

land-cover change and climate
feedbacks...

→ precipitation reduction & further
impact on surface hydrology

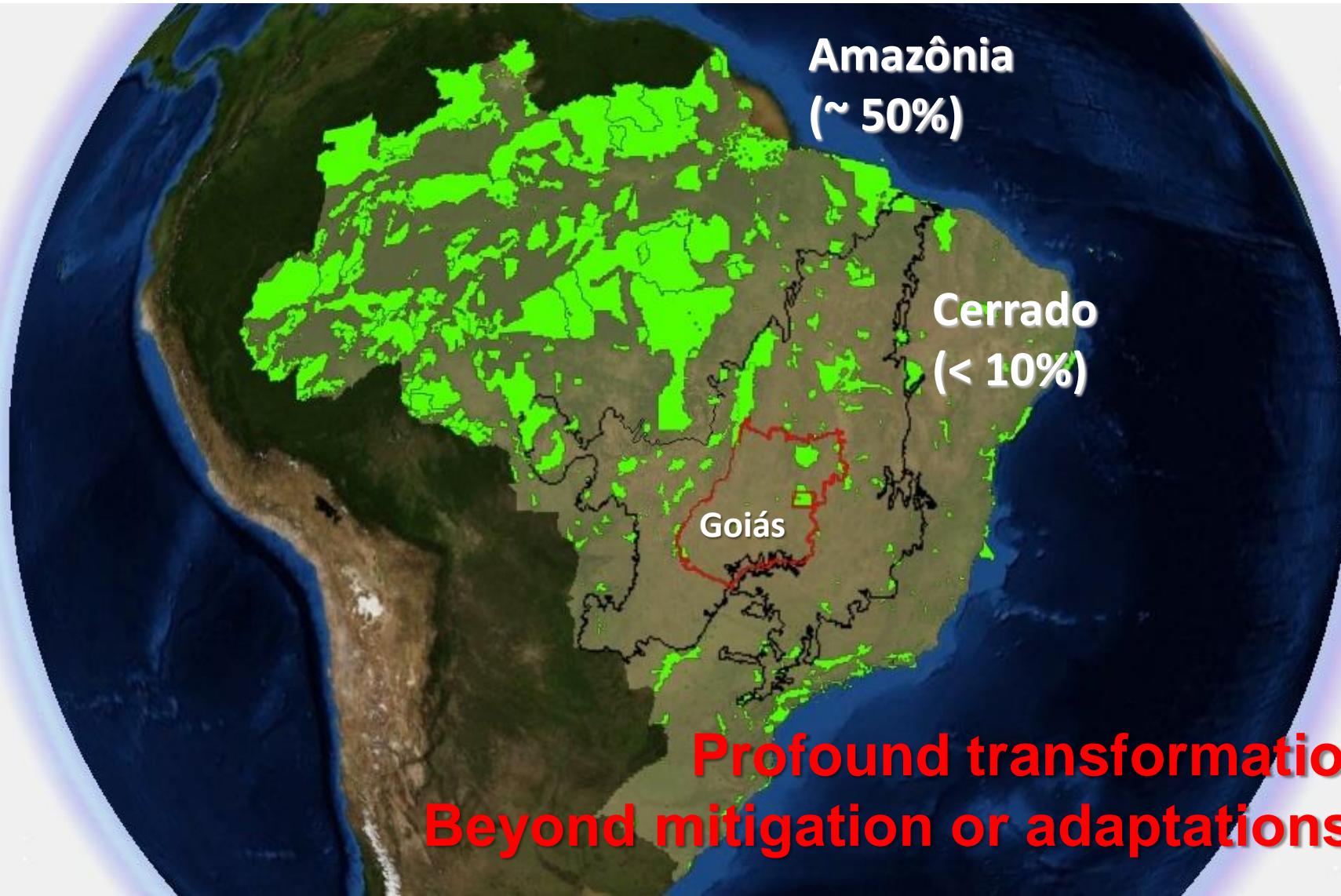


Costa, M.H. et al., *Jornal of Hidrology*, 2003
Coe, M.T. et al., *Biogeochemistry*, 2010

Not sufficiently protected...

+ significant habitat loss and fragmentation

+ climate change...

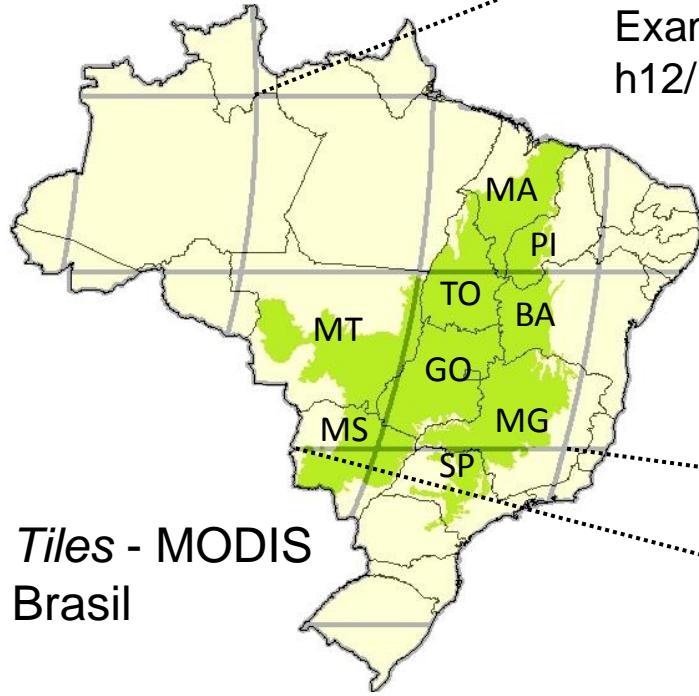


Orbital Remote Sensing Monitoring Initiatives



The “SIAD” concept

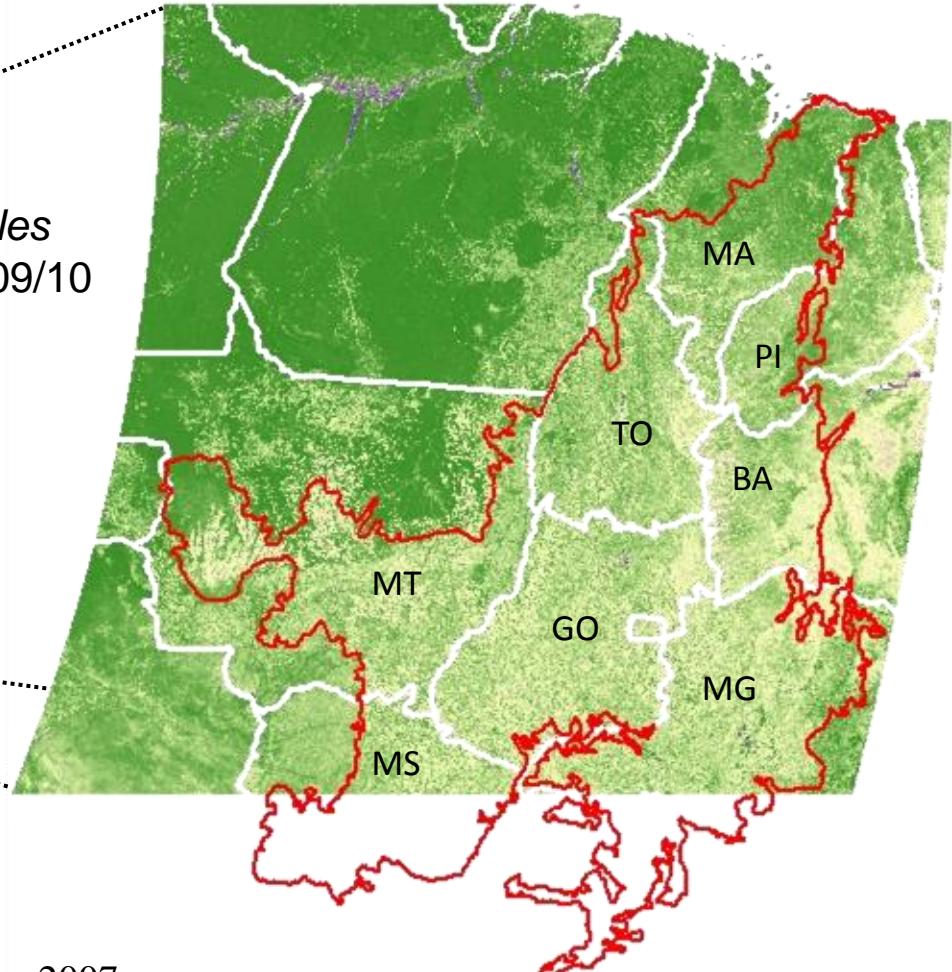
MODIS NDVI comparison
MOD13Q1 (250 m)



Tiles - MODIS
Brasil

Example tiles
h12/13 - v09/10

NDVI date 1 - NDVI date 2

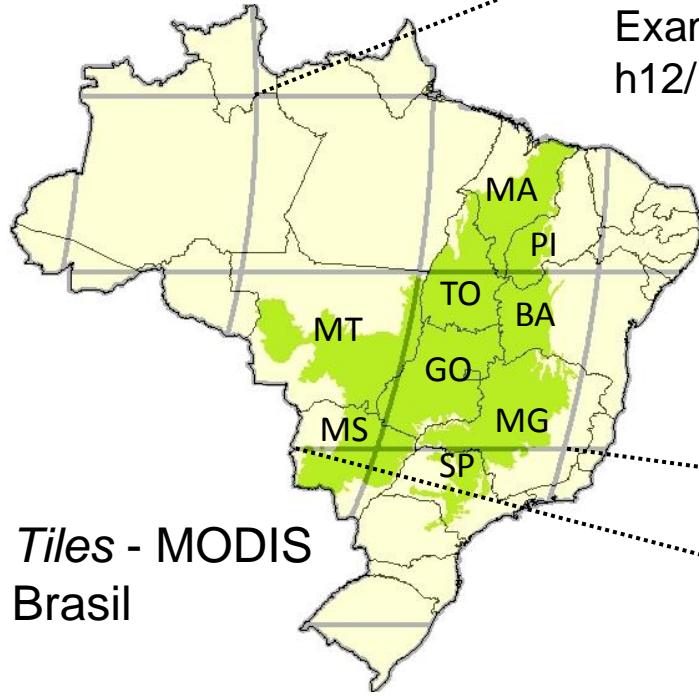


Ferreira, N.C. et al., *Int. Journal of Remote Sensing*, 2007

Ferreira, L.G. et al., *Acta Sci. Biol. Sci.*, 2008

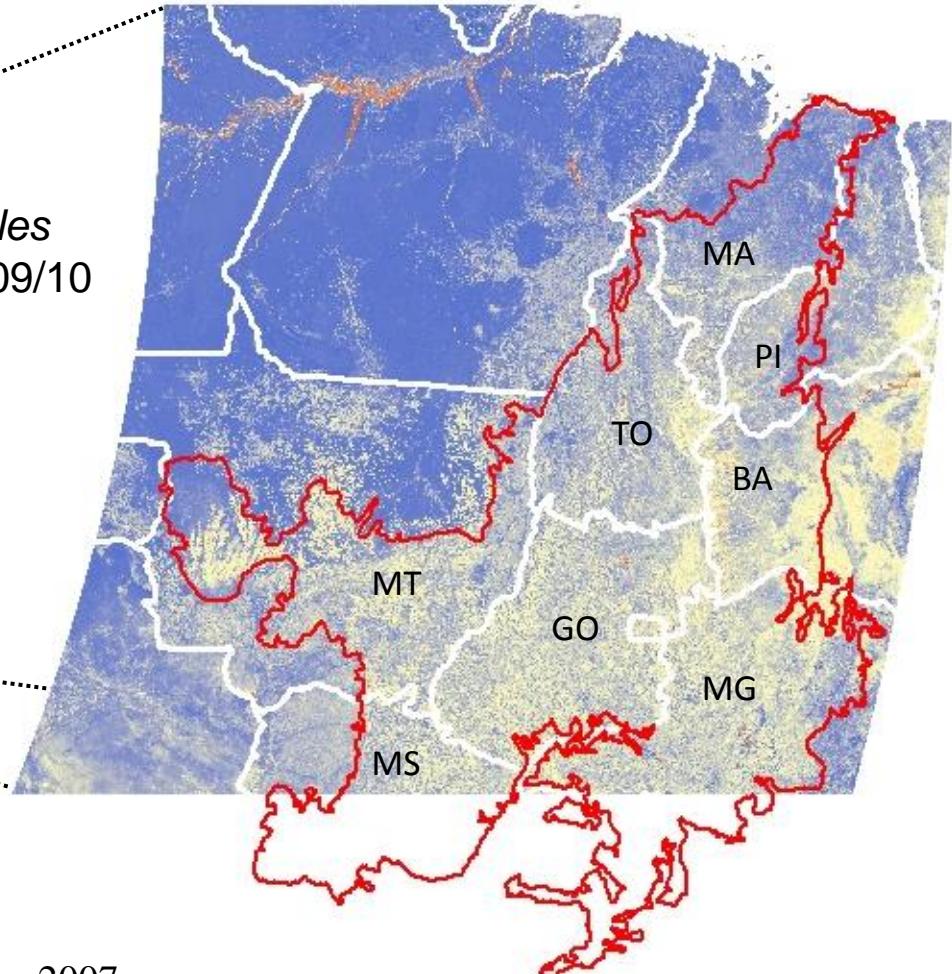
The “SIAD” concept

MODIS NDVI comparison
MOD13Q1 (250 m)



Tiles - MODIS
Brasil

NDVI date 1 - NDVI date 2

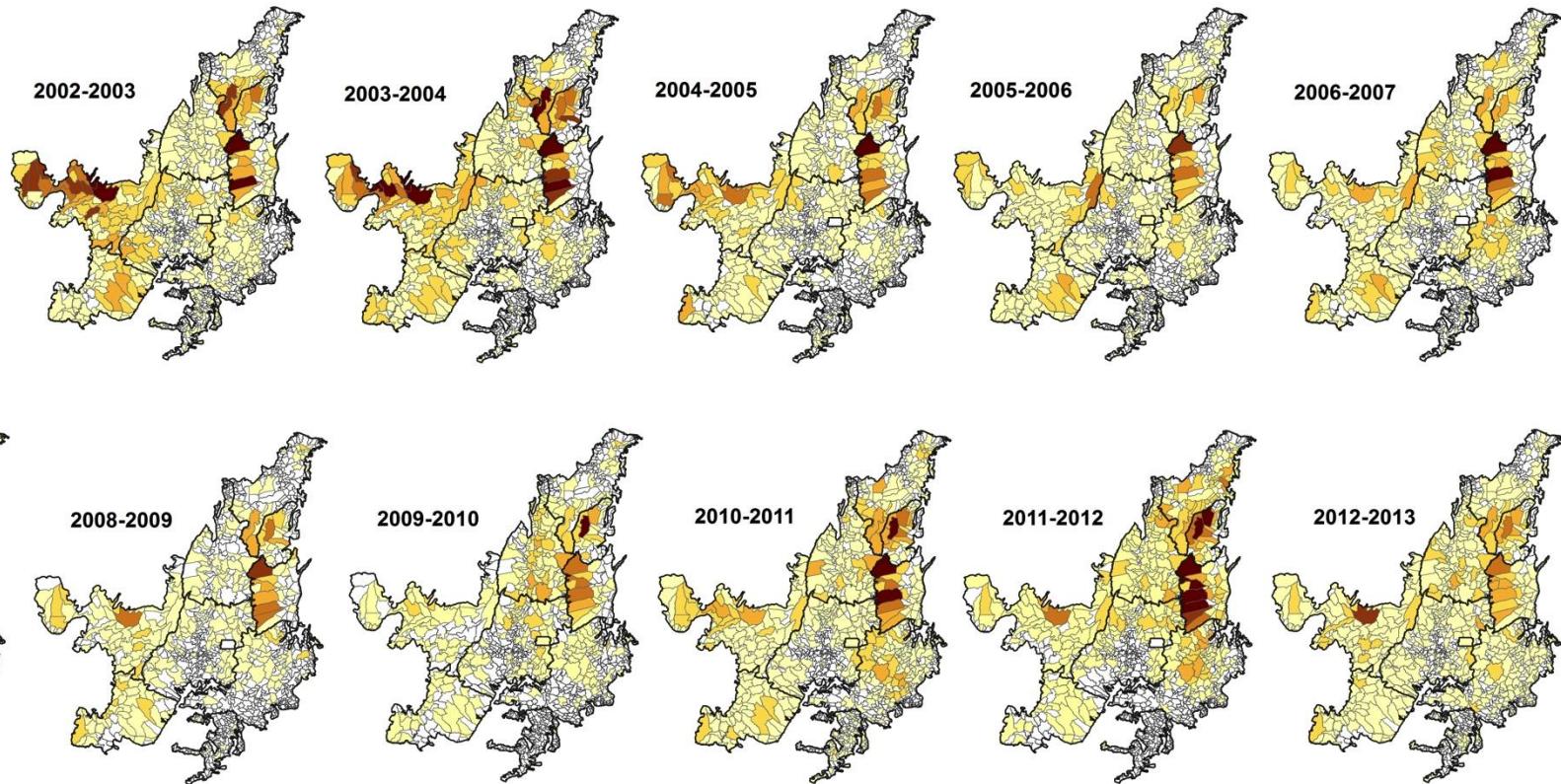
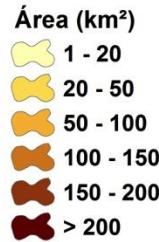


Ferreira, N.C. et al., *Int. Journal of Remote Sensing*, 2007

Ferreira, L.G. et al., *Acta Sci. Biol. Sci.*, 2008

Deforestation Warnings: Patterns & Trends...

MODIS **vegetation index** (MOD13Q1)

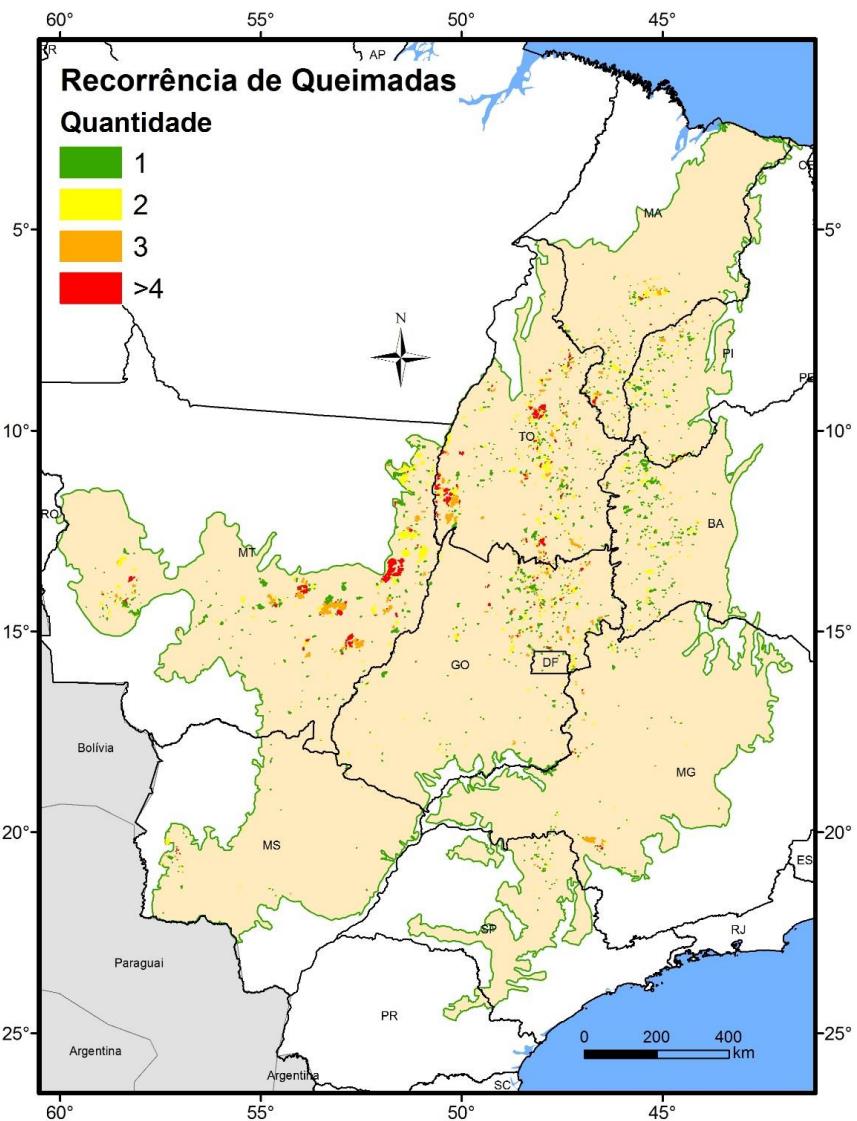
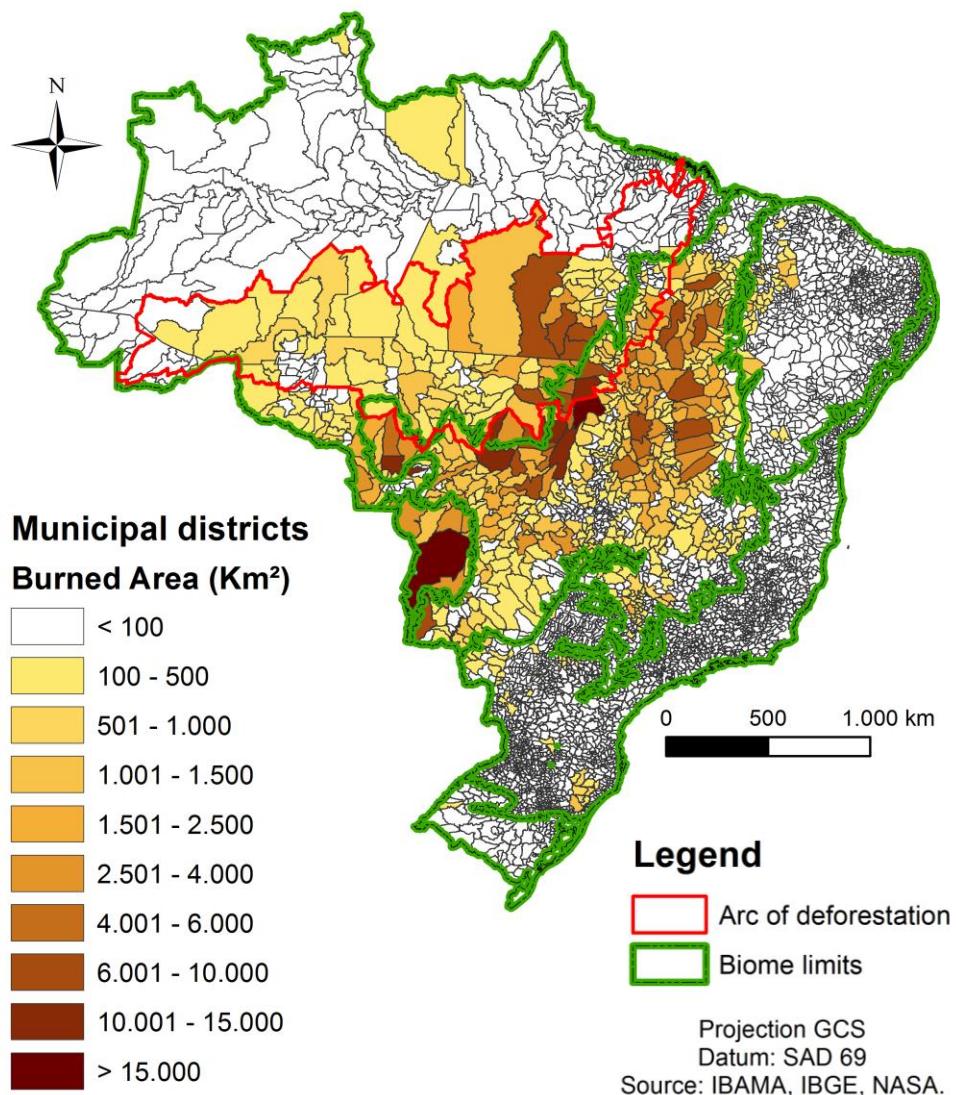


Rocha, G.F. et al. *Journal of Land Use Science* (in process of submission)

Rocha, G.F. et al. *Revista Brasileira de Cartografia* (2011)

Ferreira, N.C. et al. *Int. Journal of Remote Sensing* (2007)

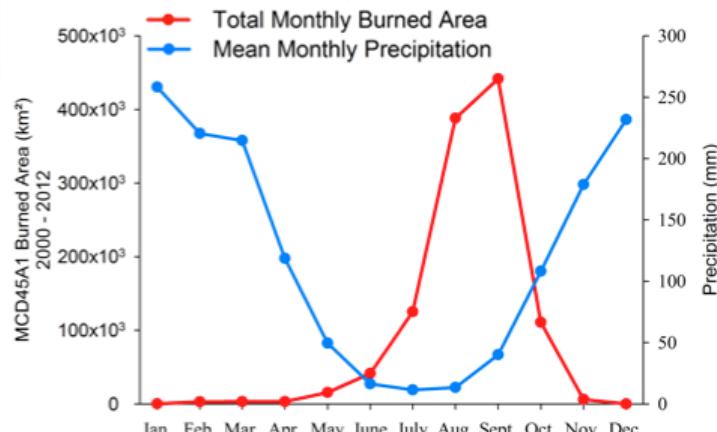
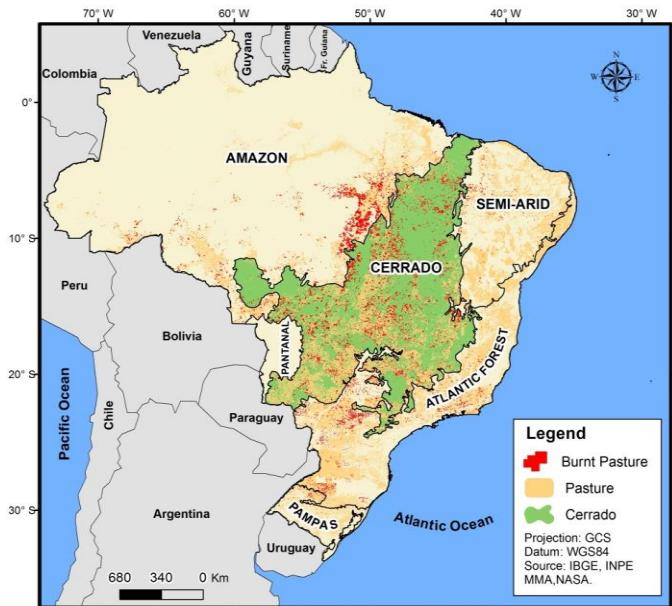
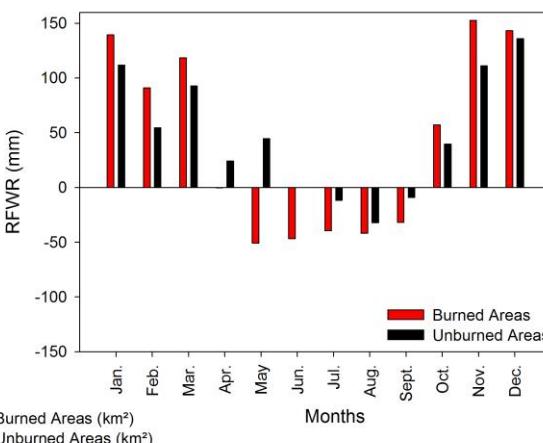
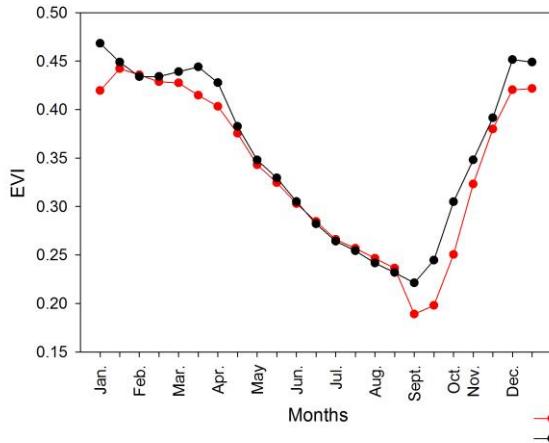
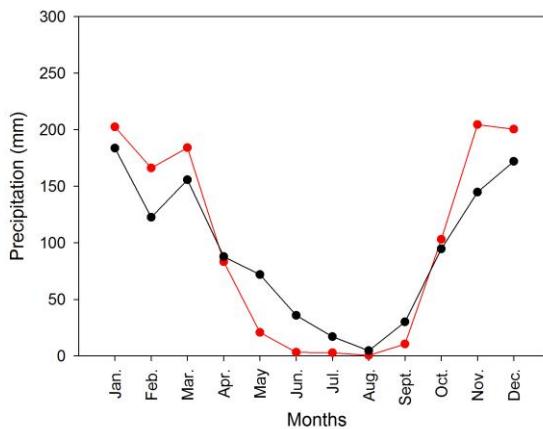
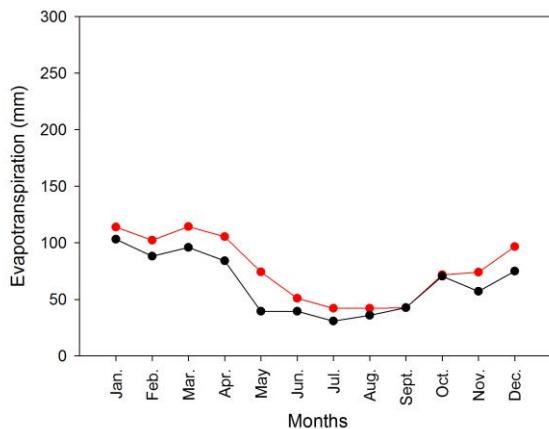
Burned Areas: Patterns & Trends...



Araújo, F.M. et al. *Remote Sensing*, 2012

Araújo, F.M. & Ferreira, L.G. *Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation* (submitted)

Cultivated Pastures: Biophysical Behavior & Fire Occurrence



Orbital Remote Sensing Biophysical Functioning



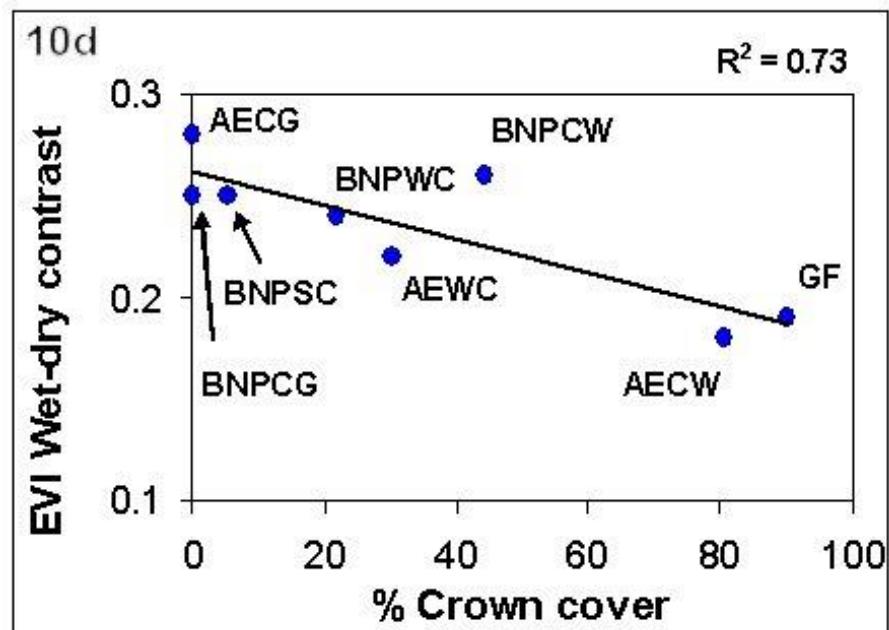
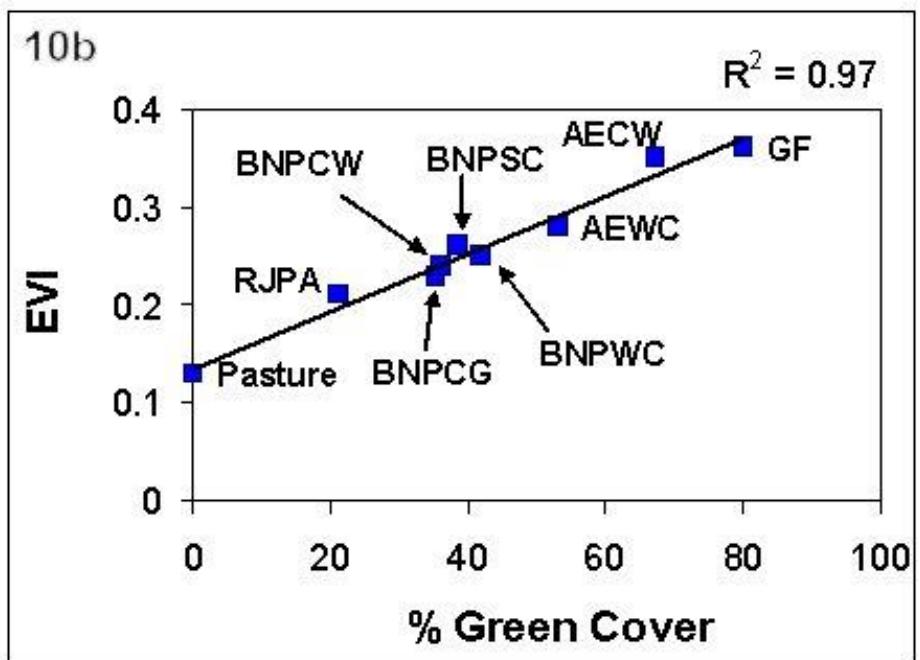
LAP₁G



MOD13 Validation (LBA Ecology)



Biophysical Data Retrieval Cerrado Landscapes

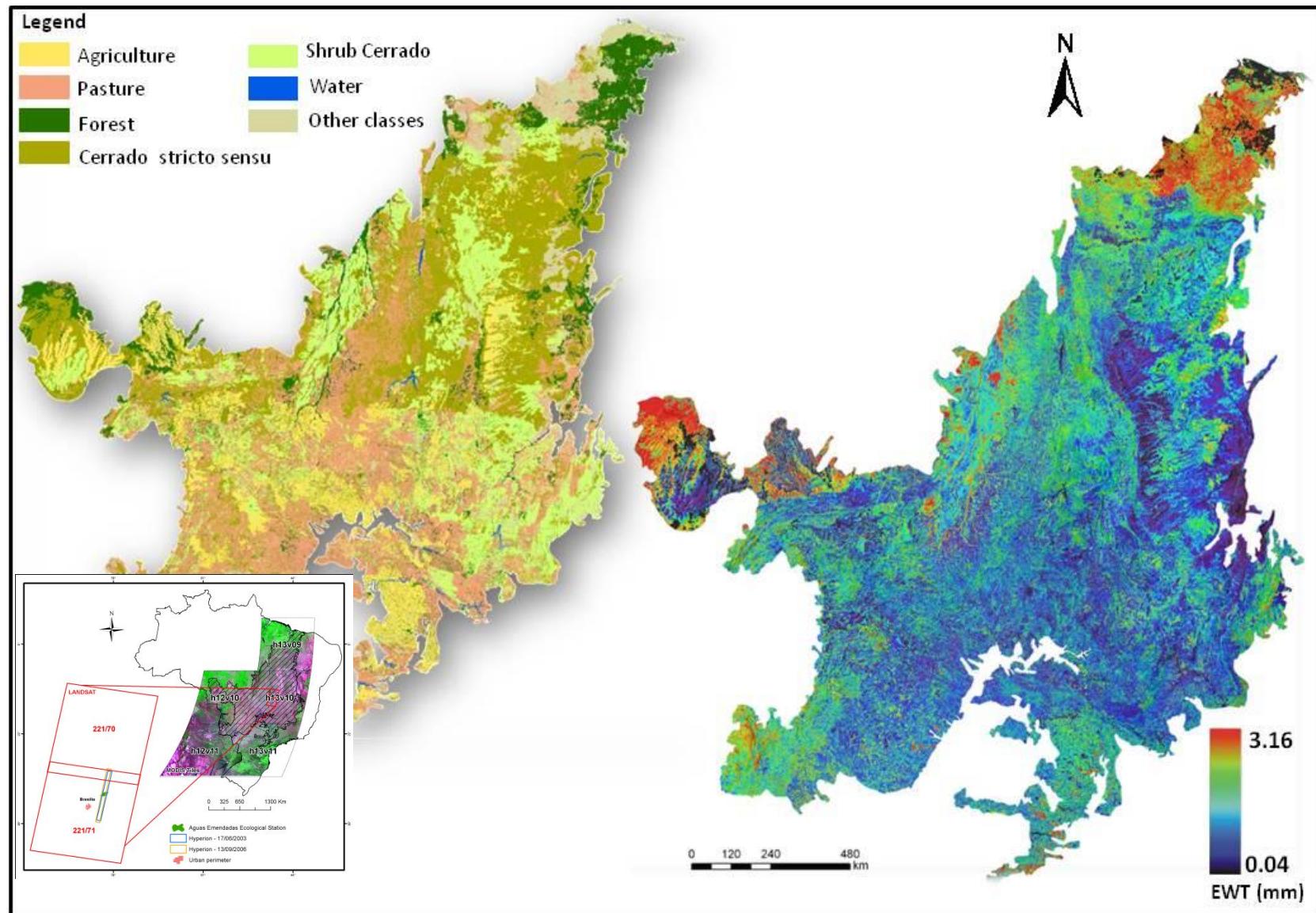


Ratana, P. et al, *Earth Interactions*, 2005

Ferreira, L.G. & Huete, A. *Int. Journal of Remote Sensing*, 2004

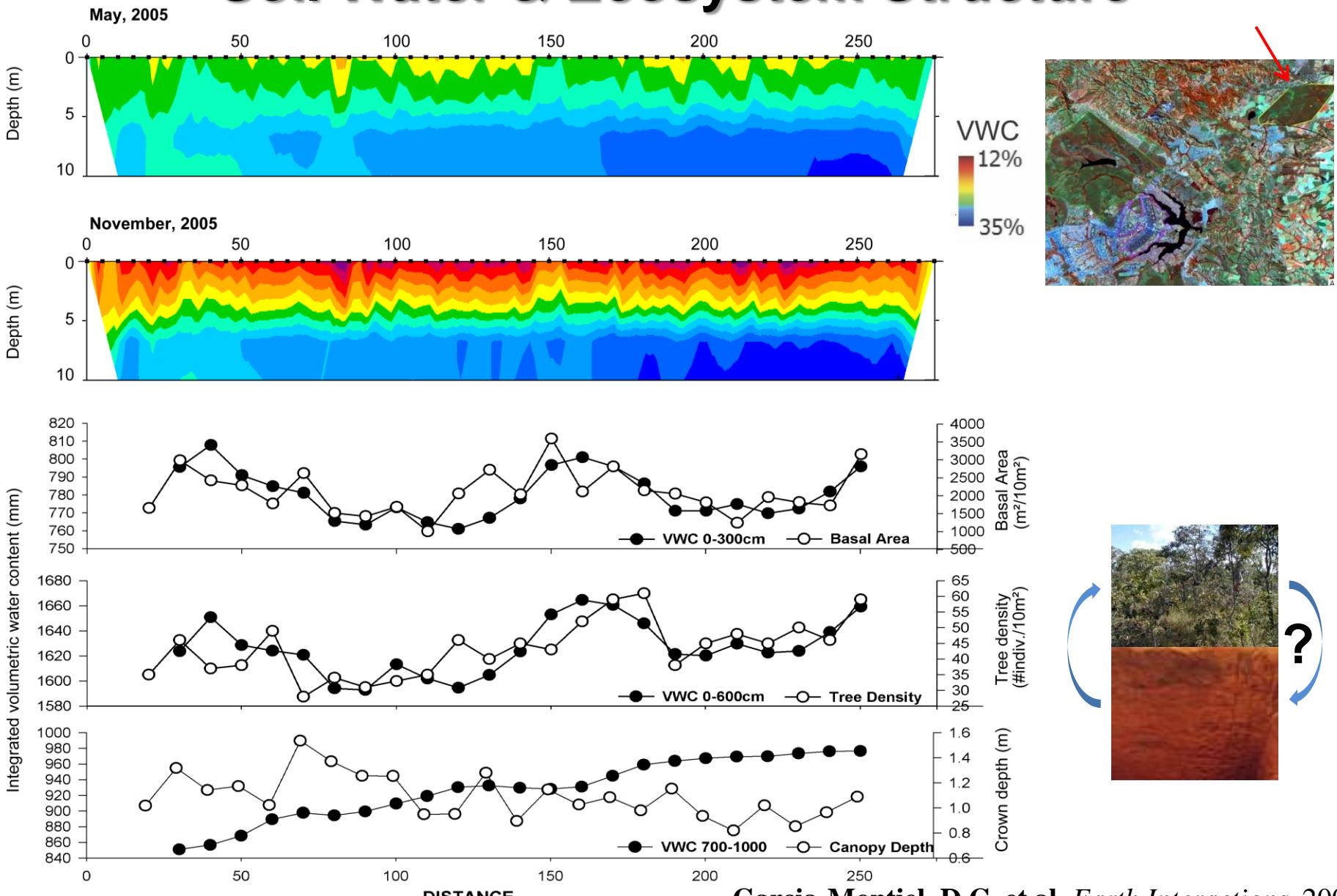
Ferreira, L.G. et al. *Remote Sensing of Environment*, 2003

Satellite-based Equivalent Water Thickness



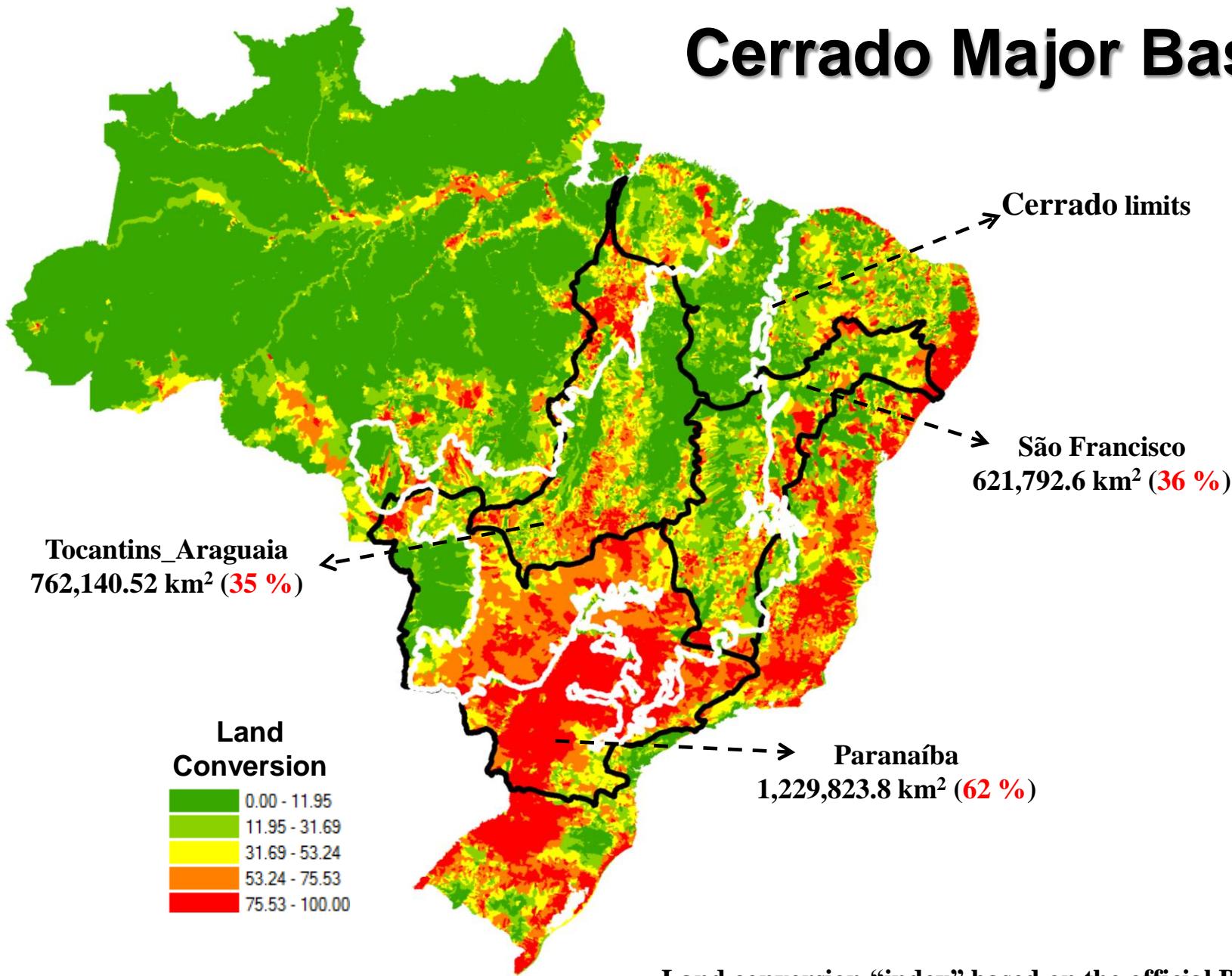
Ferreira, L.G. et al. *Int. Journal of Remote Sensing*, 2011

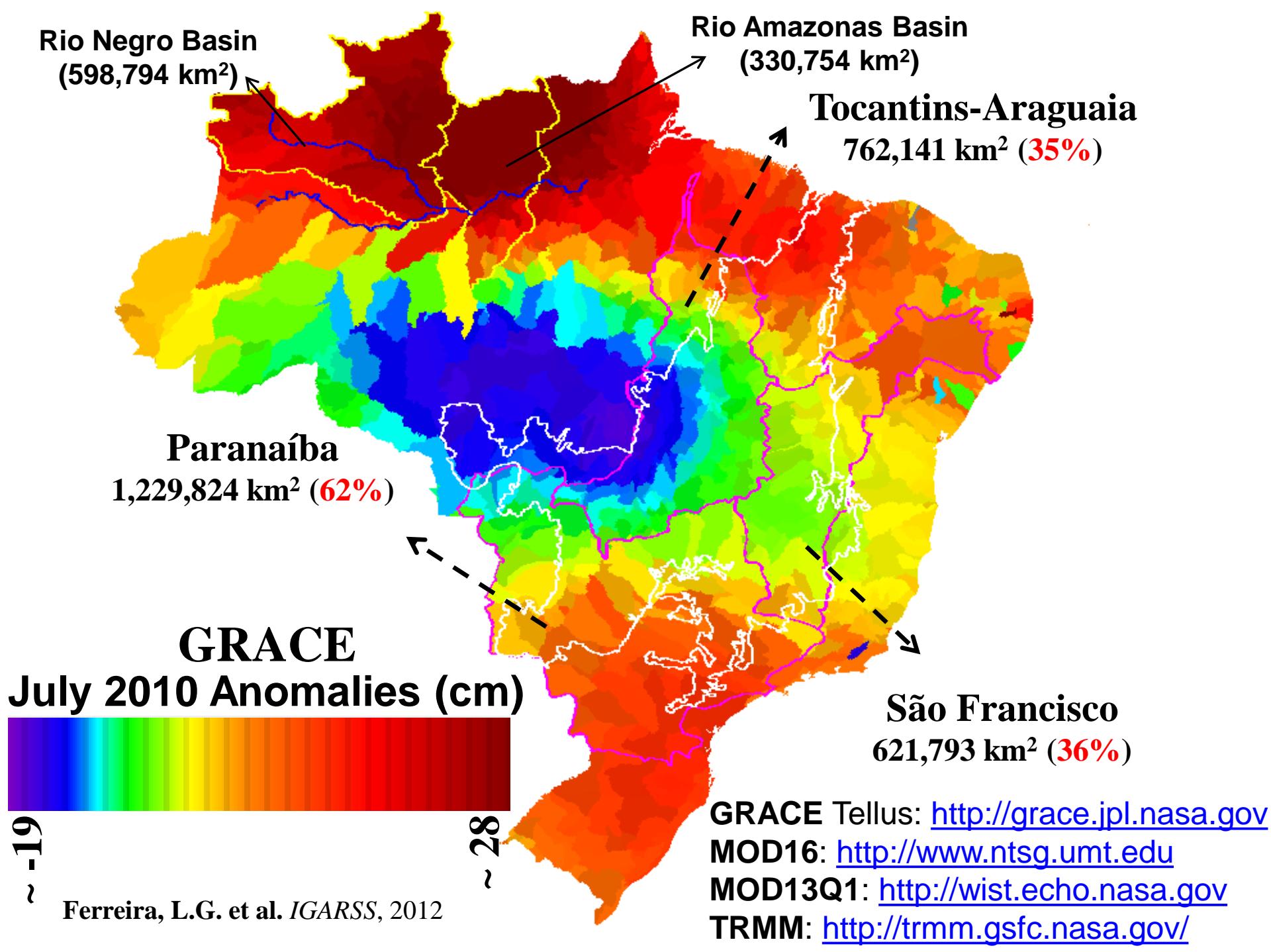
Soil Water & Ecosystem Structure

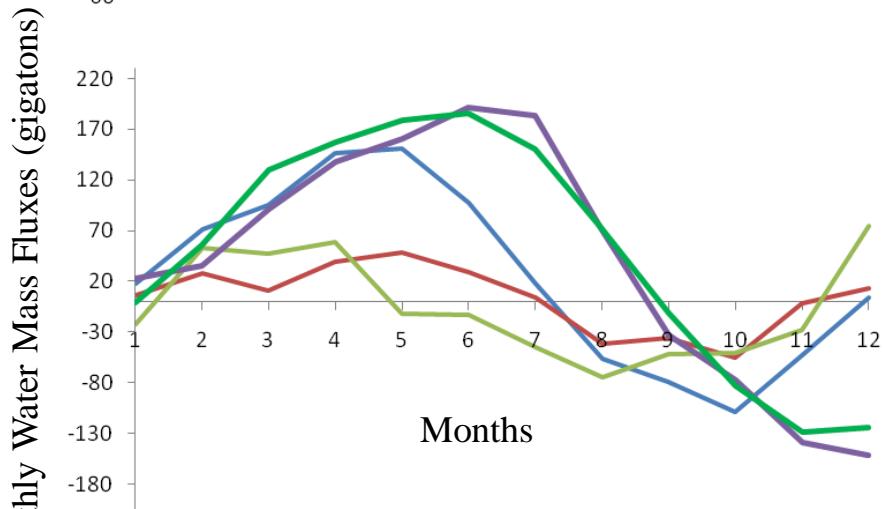
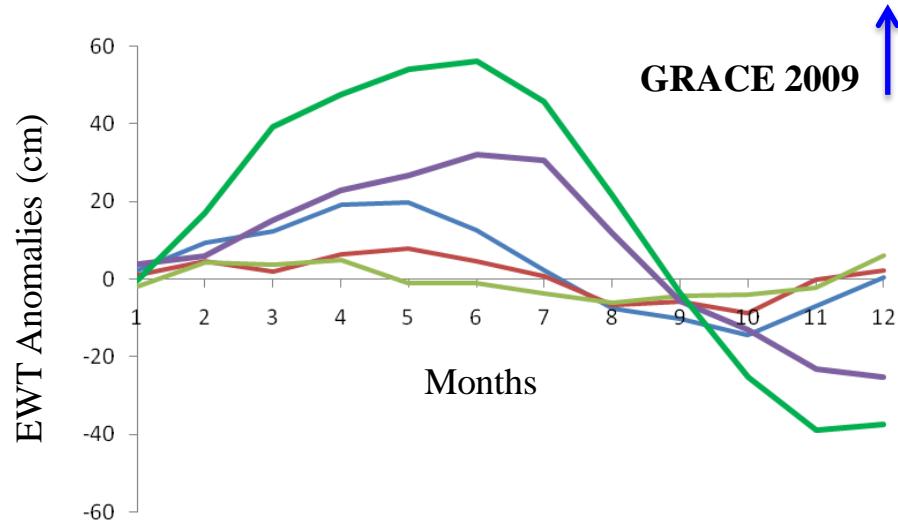


Garcia-Montiel, D.C. et al. *Earth Interactions*, 2008
 Ferreira, J.N. et al. *Oecologia*, 2007

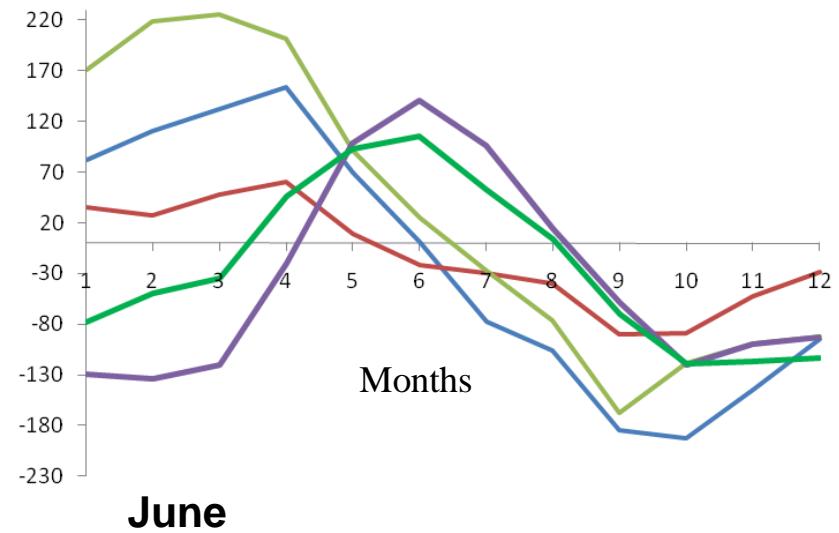
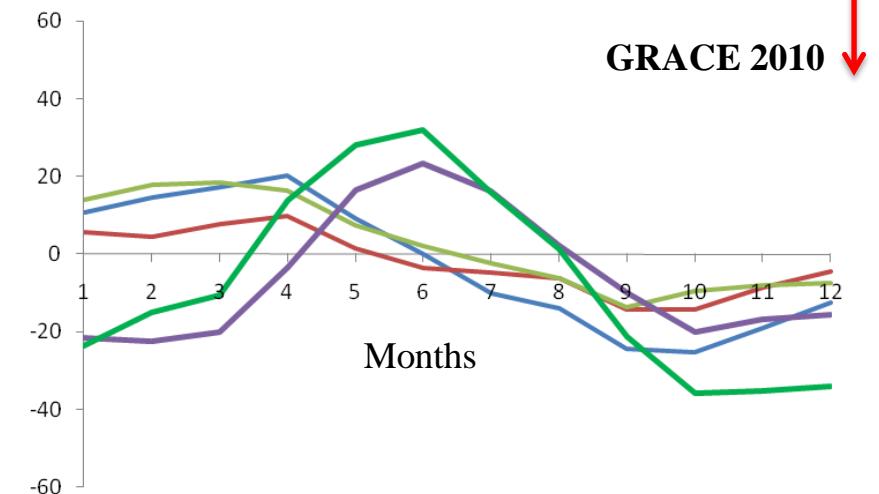
Cerrado Major Basins







- Tocantins-Araguaia
- São Francisco
- Paranaiba
- NEGRO
- Amazonas



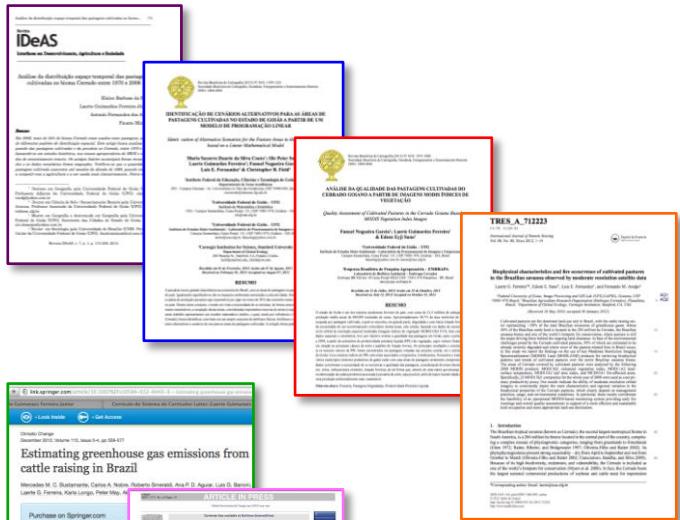
**Peak of the flood pulse...
(Amazon main stream)**

Ferreira, L.G. et al. IGARSS, 2012

In Search of Alternatives...



Understanding Productive Landscapes...



Understanding Productive Landscapes...

Análise da distribuição espaço-temporal das pastagens cultivadas no bioma... 174

Revista
IDeAS

Interfaces em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade

Análise da distribuição espaço-temporal das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 e 2006

Elaine Barbosa da Silva¹
Laerte Guimarães Ferreira Júnior²
Antonio Fernandes dos Anjos³
Fausto Miziara⁴

Resumo

Em 2006, mais de 34% do bioma Cerrado eram usados como pastagem, seguindo diferentes padrões de distribuição espacial. Este artigo busca analisar a expansão das pastagens cultivadas e da pecuária no Cerrado, entre 1970 e 2006, baseando-se em estudos históricos, nos censos agropecuários do IBGE e em dados de sensoriamento remoto. Os antigos limites municipais foram reconstituídos e os dados censitários foram mapeados. Verificou-se que a quantidade de pastagem cultivada aumentou até meados da década de 1980, quando começou a competir com a agricultura e a ser usada mais intensivamente. Notou-se ain-

¹ Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Professora Adjunta da Universidade Federal de Goiás (UFG). elainesilvaufg@yahoo.com.br

² Doutor em Ciência do Solo / Sensoriamento Remoto pela University of Arizona. Professor Associado da Universidade Federal de Goiás (UFG). laerte@iesa.ufg.br

³ Mestre em Geografia e doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Secretaria das Cidades do Estado de Goiás. antonio.dosanjos@yahoo.com.br

⁴ Doutor em Sociologia pela Universidade de Brasília (UNB). Professor titular da Universidade Federal de Goiás (UFG). faustomiziara@uol.com.br

Análise da distribuição espaço-temporal das pastagens cultivadas no bioma... 189

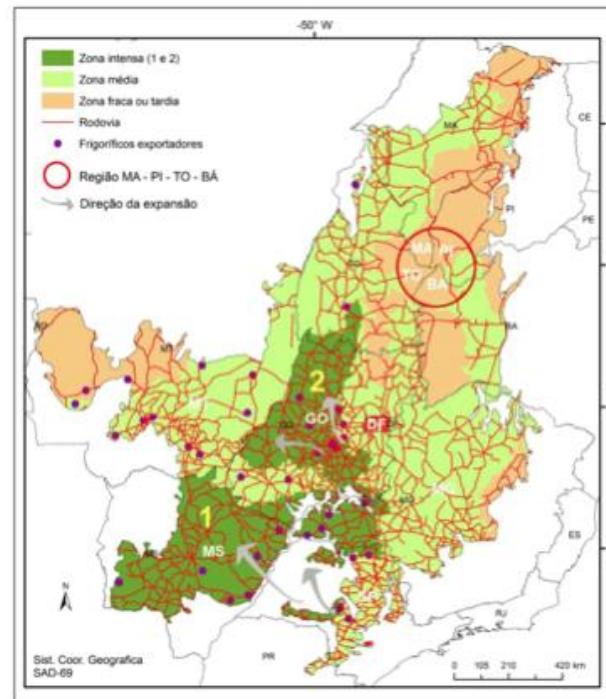


Figura 8 – Zonas de expansão das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 e 2006.

Fonte: Os autores, a partir dos dados do IBGE (2006) e da ABIEC (2012).

A expansão intensa de pastagens cultivadas ocorreu em apenas alguns municípios durante a década de 1970. A partir da década de 1980, torna-se mais clara a concentração espacial em duas zonas específicas:

Understanding Productive Landscapes...

TRES_A_712223

C/o: VK C/o QA: SA

International Journal of Remote Sensing
Vol. 00, No. 00, XXXX 2012, 1–14



Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Biophysical characteristics and fire occurrence of cultivated pastures in the Brazilian savanna observed by moderate resolution satellite data

Laerte G. Ferreira^{a*}, Edson E. Sano^b, Luis E. Fernandez^c, and Fernando M. Araújo^a

^aFederal University of Goiás, Image Processing and GIS Lab (UFG/LAPIG), Goiânia, CEP 74001-970 Brazil; ^bBrazilian Agriculture Research Organization (Embrapa Cerrados), Planaltina, Brazil; ^cDepartment of Global Ecology, Carnegie Institution, Stanford, CA, USA

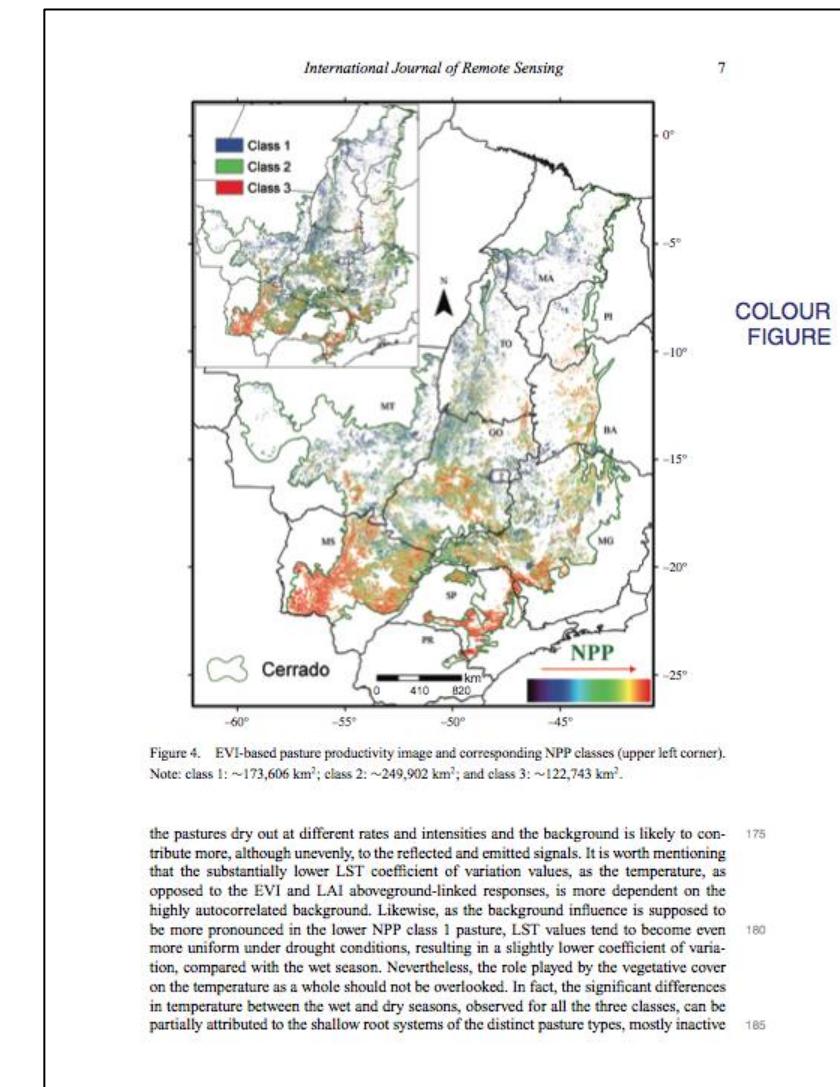
(Received 16 May 2010; accepted 30 January 2012)

Cultivated pastures are the dominant land-use unit in Brazil, with the cattle raising sector representing ~50% of the total Brazilian emissions of greenhouse gases. About 44% of the Brazilian cattle herd is located in the 204 million ha Cerrado, the Brazilian savanna biome and one of the world's hotspots for conservation, where pasture is still the major driving force behind the ongoing land clearance. In face of the environmental challenges posed by the Cerrado cultivated pastures, 50% of which are estimated to be already severely degraded and where most of the pasture-related fires in Brazil occur, in this study we report the findings on the use of key Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Land (MODLAND) products for retrieving biophysical patterns and trends of cultivated pastures over the entire Brazilian savanna biome. The areas of Cerrado covered by cultivated pastures were analysed by the following 2008 MODIS products: MOD13Q1 enhanced vegetation index, MOD11A2 land-surface temperature, MOD15A2 leaf area index, and MCD45A1 fire-affected areas. Specifically, 23 MOD13Q1 composites for the whole year of 2008 were used as a net primary productivity proxy. Our results indicate the ability of moderate resolution orbital imagery to consistently depict the main characteristics and regional variation in the biophysical properties of the Cerrado pastures, which clearly depend on management practices, usage, and environmental conditions. In particular, these results corroborate the feasibility of an operational MODIS-based monitoring system providing early fire warnings and overall quality assessments in support of a more efficient and sustainable herd occupation and more appropriate land-use destination.

1. Introduction

The Brazilian tropical savanna (known as Cerrado), the second largest neotropical biome in South America, is a 204 million ha biome located in the central part of the country, comprising a complex mosaic of physiognomic categories, ranging from grasslands to forestlands (Eiten 1972; Ratter, Ribeiro, and Bridgewater 1997; Oliveira-Filho and Ratter 2002). Its phytophysiognomies present strong seasonality – dry from April to September and wet from October to March (Oliveira-Filho and Ratter 2002; Cianciaruso, Batalha, and Silva 2005). Because of its high biodiversity, endemism, and vulnerability, the Cerrado is included as one of the world's hotspots for conservation (Myers et al. 2000). In fact, the Cerrado hosts the largest national commercial productions of soybean and cattle meat for exportation

AQ1
AQ2
10
15
20
25
30
35



*Corresponding author. Email: laerte@iesa.ufg.br

Understanding Productive Landscapes...



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N° 65/6: 1075-1086
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ANÁLISE DA QUALIDADE DAS PASTAGENS CULTIVADAS DO CERRADO GOIANO A PARTIR DE IMAGENS MODIS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Quality Assessment of Cultivated Pastures in the Cerrado Goiano Based on MODIS Vegetation Index Images

Fanuel Nogueira Garcia¹; Laerte Guimarães Ferreira¹
& Edson Eyji Sano²

¹Universidade Federal de Goiás – UFG

Instituto de Estudos Socio-Ambientais - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento
Campus Samambaia, Caixa Postal: 131, CEP:74001-970, Goiânia - GO, Brasil
fanuelng@yahoo.com.br, laerte@iesa.ufg.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Laboratório de Biofísica Ambiental – Embrapa Cerrados
Embrapa BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina - DF, Brasil
sano@cpac.embrapa.br

Received em 12 de Julho, 2012/Aceto em 25 de Outubro, 2012
Received on July 12, 2012/Accepted on October 25, 2012

RESUMO

O estado de Goiás é um dos maiores produtores bovinos do país, com cerca de 21,3 milhões de cabeças de gado e produção média anual de 600.000 toneladas de carne. Aproximadamente 38,7% da área territorial do estado está ocupada por pastagem cultivada, a qual se encontra, em grande parte, degradada e com baixa lotação bovina. Diante da necessidade de um monitoramento sistemático destas áreas, este estudo, baseado em dados de sensoriamento remoto orbital de resolução espacial moderada (imagens índices de vegetação MODIS13Q1 EVI), bem como bases de dados espaciais e censitários, teve por objetivo avaliar a qualidade das pastagens em Goiás, para o período de 2001 a 2009, a partir da estimativa de produtividade primária líquida (PPL) da vegetação, cujos valores foram analisados em relação às principais classes de solos e padrões de lotação bovina. Os principais resultados e conclusões foram: a) os maiores valores de PPL foram encontrados em pastagens situadas nas porções central, sul e extremo nordeste de Goiás; b) os maiores índices de PPL estiveram associados a Argissolos, Cambissolos, Neossolos e Latossolos; e c) vários municípios (maiores produtores de gado) estão com suas áreas de pastagens seriamente comprometidas. Estes dados corroboram a necessidade de se monitorar a qualidade das pastagens, considerando diversos fatores correlatos (ex. solos, infraestrutura existente, lotação bovina), de tal forma que, através de uma maior governança territorial e modernização da cadeia produtiva associada à pecuária de corte, seja possível, além de maior lucratividade e eficiência, uma produção ambientalmente mais sustentável.

Palavras-chave: Pecuária, Pastagens Degradadas, Produtividade Primária Líquida.

Análise da Qualidade das Pastagens Cultivadas do Cerrado Goiano a Partir de Imagens MODIS

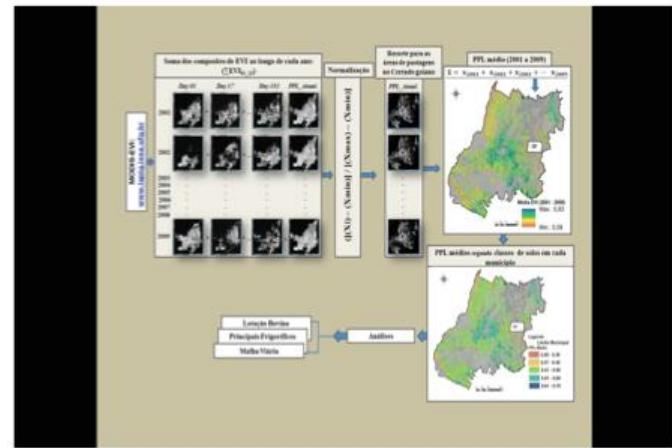


Fig. 2 - Fluxograma das principais etapas de processamento e análise dos dados (DOY = Day of the Year / dia do ano).

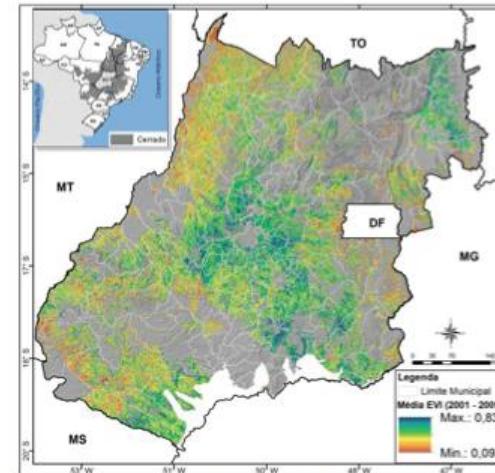


Fig. 3 - Mapa de produtividade média (2001-2009) estimada a partir de imagens índice de vegetação (MODIS EVI).

Understanding Productive Landscapes...



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N° 65/6: 1075-1086
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ANÁLISE DA QUALIDADE DAS PASTAGENS CULTIVADAS DO CERRADO GOIANO A PARTIR DE IMAGENS MODIS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Quality Assessment of Cultivated Pastures in the Cerrado Goiano Based on MODIS Vegetation Index Images

Fanuel Nogueira Garcia¹; Laerte Guimarães Ferreira¹
& Edson Eyji Sano²

¹Universidade Federal de Goiás – UFG

Instituto de Estudos Socio-Ambientais - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento
Campus Samambaia, Caixa Postal: 131, CEP:74001-970, Goiânia - GO, Brasil
fanuelng@yahoo.com.br, laerte@iesa.ufg.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Laboratório de Biofísica Ambiental – Embrapa Cerrados
Embrapa BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina - DF, Brasil
sano@cpac.embrapa.br

Received em 12 de Julho, 2012/Aceto em 25 de Outubro, 2012
Received on July 12, 2012/Accepted on October 25, 2012

RESUMO

O estado de Goiás é um dos maiores produtores bovinos do país, com cerca de 21,3 milhões de cabeças de gado e produção média anual de 600.000 toneladas de carne. Aproximadamente 38,7% da área territorial do estado está ocupada por pastagem cultivada, a qual se encontra, em grande parte, degradada e com baixa lotação bovina. Diante da necessidade de um monitoramento sistemático destas áreas, este estudo, baseado em dados de sensoriamento remoto orbital de resolução espacial moderada (imagens índices de vegetação MODIS13Q1 EVI), bem como bases de dados espaciais e censitários, teve por objetivo avaliar a qualidade das pastagens em Goiás, para o período de 2001 a 2009, a partir da estimativa de produtividade primária líquida (PPL) da vegetação, cujos valores foram analisados em relação às principais classes de solos e padrões de lotação bovina. Os principais resultados e conclusões foram: a) os maiores valores de PPL foram encontrados em pastagens situadas nas porções central, sul e extremo nordeste de Goiás; b) os maiores índices de PPL estiveram associados a Argissolos, Cambissolos, Neossolos e Latossolos; e c) vários municípios (maiores produtores de gado) estão com suas áreas de pastagens seriamente comprometidas. Estes dados corroboram a necessidade de se monitorar a qualidade das pastagens, considerando diversos fatores correlatos (ex. solos, infraestrutura existente, lotação bovina), de tal forma que, através de uma maior governança territorial e modernização da cadeia produtiva associada à pecuária de corte, seja possível, além de maior lucratividade e eficiência, uma produção ambientalmente mais sustentável.

Palavras-chave: Pecuária, Pastagens Degradadas, Produtividade Primária Líquida.

Análise da Qualidade das Pastagens Cultivadas do Cerrado Goiano a Partir de Imagens MODIS

Em fato, e com base nos dados de PPL gerados para as áreas de pastagens, percebe-se que, de forma geral, as pastagens situadas em Argissolos foram as mais produtivas, seguidas por Cambissolos, Neossolos e Latossolos (Figura 6).

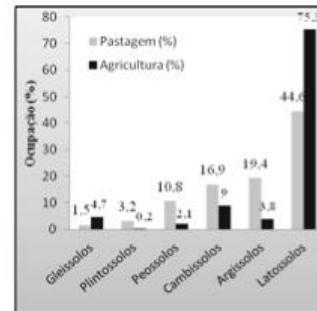


Fig. 5- Relação do tipo de uso com as classes de solos.

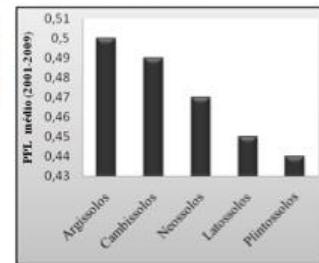


Fig.6 - Relação entre tipo de solo e produtividade primária líquida (PPL).

Quando se condiciona a análise por tipo de solo, em cada município, observa-se um padrão de produtividade diferenciado regionalmente. Em particular, as pastagens situadas nos municípios das regiões nordeste, centro e sudeste goiano foram as que apresentaram os melhores índices de produtividade primária (Figura 7).

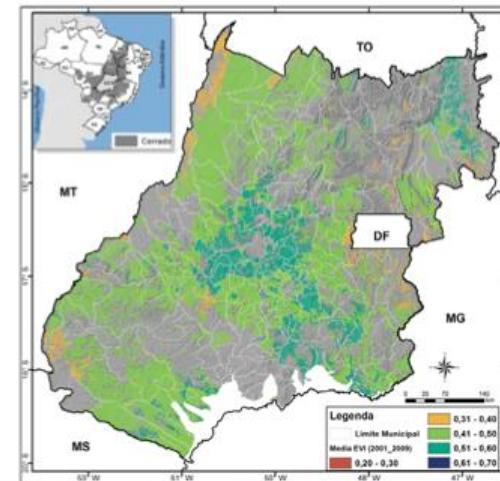


Fig. 7 - Distribuição dos valores de PPL (média do período 2001 – 2009), espacializados conforme ao valor médio determinado para as diferentes classes de solos e limites municipais.

Understanding Productive Landscapes...



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N° 65/6: 1075-1086
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ANÁLISE DA QUALIDADE DAS PASTAGENS CULTIVADAS DO CERRADO GOIANO A PARTIR DE IMAGENS MODIS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Quality Assessment of Cultivated Pastures in the Cerrado Goiano Based on MODIS Vegetation Index Images

Fanuel Nogueira Garcia¹; Laerte Guimarães Ferreira¹
& Edson Eyji Sano²

¹Universidade Federal de Goiás – UFG

Instituto de Estudos Socio-Ambientais - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento
Campus Samambaia, Caixa Postal: 131, CEP:74001-970, Goiânia - GO, Brasil
fanuelng@yahoo.com.br, laerte@iesa.ufg.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Laboratório de Biofísica Ambiental – Embrapa Cerrados
Embrapa BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina - DF, Brasil
sano@cpac.embrapa.br

Received em 12 de Julho, 2012/Aceto em 25 de Outubro, 2012
Received on July 12, 2012/Accepted on October 25, 2012

RESUMO

O estado de Goiás é um dos maiores produtores bovinos do país, com cerca de 21,3 milhões de cabeças de gado e produção média anual de 600.000 toneladas de carne. Aproximadamente 38,7% da área territorial do estado está ocupada por pastagem cultivada, a qual se encontra, em grande parte, degradada e com baixa lotação bovina. Diante da necessidade de um monitoramento sistemático destas áreas, este estudo, baseado em dados de sensoriamento remoto orbital de resolução espacial moderada (imagens índices de vegetação MODIS13Q1 EVI), bem como bases de dados espaciais e censitários, teve por objetivo avaliar a qualidade das pastagens em Goiás, para o período de 2001 a 2009, a partir da estimativa de produtividade primária líquida (PPL) da vegetação, cujos valores foram analisados em relação às principais classes de solos e padrões de lotação bovina. Os principais resultados e conclusões foram: a) os maiores valores de PPL foram encontrados em pastagens situadas nas porções central, sul e extremo nordeste de Goiás; b) os maiores índices de PPL estiveram associados a Argissolos, Cambissolos, Neossolos e Latossolos; e c) vários municípios (maiores produtores de gado) estão com suas áreas de pastagens seriamente comprometidas. Estes dados corroboram a necessidade de se monitorar a qualidade das pastagens, considerando diversos fatores correlatos (ex. solos, infraestrutura existente, lotação bovina), de tal forma que, através de uma maior governança territorial e modernização da cadeia produtiva associada à pecuária de corte, seja possível, além de maior lucratividade e eficiência, uma produção ambientalmente mais sustentável.

Palavras-chave: Pecuária, Pastagens Degradadas, Produtividade Primária Líquida.

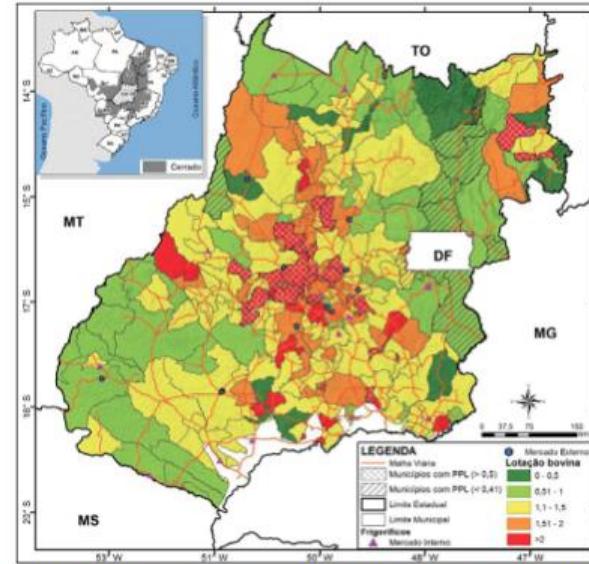
Análise da Qualidade das Pastagens Cultivadas do Cerrado Goiano a Partir de Imagens MODIS

atenção sobre a importância da infraestrutura na implementação e consolidação tanto da indústria como da atividade agropecuária.

Aproximadamente 74% das pastagens cultivadas no Cerrado goiano estão situadas até 15 km dessas rodovias.

Tabela 4: Relação dos dez municípios com maior rebanho bovino no estado de Goiás e respectivas médias de PPL.

Município	Rebanho bovino (2009)	Média de produtividade primária por classe de solo					Média Municipal
		Argissolos	Cambissolos	Latossolos	Neossolos	Gleissolos	
Montes Claros de Goiás	286.500	0,46	-	0,46	0,43	0,50	0,46
Mineiros	305.000	0,47	0,50	0,42	0,42	0,43	0,45
Porangatu	315.165	0,41	-	0,41	0,47	0,49	0,44
Jataí	330.000	0,45	0,42	0,44	0,49	0,43	0,45
Quirinópolis	334.000	0,48	0,42	0,49	0,52	0,59	0,50
Jussara	350.620	0,49	-	0,47	0,49	0,50	0,49
Rio Verde	412.000	0,49	0,44	0,46	0,47	0,44	0,46
Caçapóvia	424.674	0,45	0,44	0,43	0,45	0,43	0,44
São Miguel do Araguaia	550.622	-	-	0,40	0,48	0,55	0,48
Nova Críxias	737.585	0,45	0,41	0,42	0,50	0,49	0,45
Média por classe de solo	-	0,46	0,44	0,44	0,47	0,48	-



Understanding Productive Landscapes...

Remote Sens. 2013, 5, 307–326; doi:10.3390/rs5010307

OPEN ACCESS

Remote Sensing

ISSN 2072-4292

www.mdpi.com/journal/remotesensing

Article

Biophysical Properties of Cultivated Pastures in the Brazilian Savanna Biome: An Analysis in the Spatial-Temporal Domains Based on Ground and Satellite Data

Laerte G. Ferreira ^{1,*}, Luis E. Fernandez ², Edson E. Sano ³, Chris Field ², Silvio B. Sousa ¹, Arielle E. Arantes ¹ and Fernando M. Araújo ¹

¹ Image Processing and GIS Lab, Federal University of Goiás, UFG–IESA, Campus Samambaia, Cx. Postal 131, Goiânia-GO, 74001-970, Brazil; E-Mails: sousasb@hotmail.com (S.B.S.); arielle_ioida@hotmail.com (A.E.A.); fernandomsl@gmail.com (F.M.A.)

² Department of Global Ecology, Carnegie Institution, Stanford, CA 94305, USA; E-Mails: luisf@stanford.edu (L.E.F.); cfield@ciw.edu (C.F.)

³ Brazilian Agriculture Research Organization (Embrapa Cerrados), Planaltina-DF, 73310-970, Brazil; E-Mail: sano@cpac.embrapa.br

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: laerte@iesa.ufg.br; Tel.: +55-62-3521-1096; Fax: +55-62-3521-1077.

Received: 27 November 2012; in revised form: 4 January 2013 / Accepted: 5 January 2013 /

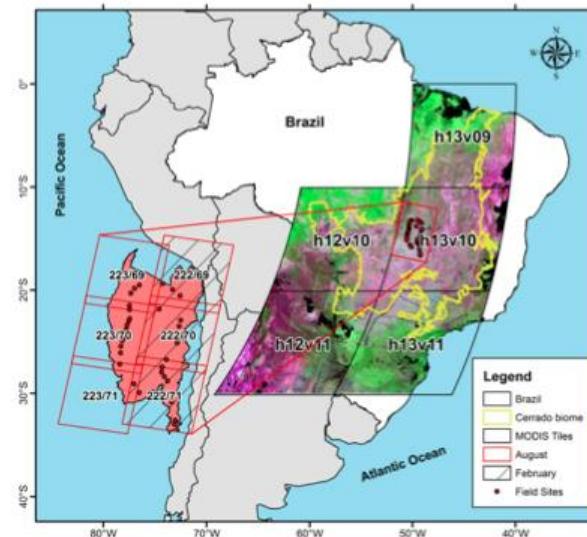
Published: 17 January 2013

Abstract: Brazil has the largest commercial beef cattle herd in the world, with cattle ranching being particularly prominent in the 200-million ha, Brazilian neotropical moist savanna biome, known as Cerrado, one of the world's hotspots for biodiversity conservation. As decreasing productivity is a major concern affecting the Cerrado pastures, evaluation of pasture conditions through the determination of biophysical parameters is instrumental for more effective management practices and herd occupation strategies. Within this context, the primary goal of this study was the regional assessment of pasture biophysical properties, through the scaling of wet- and dry-season ground truth data (total biomass, green biomass, and % green cover) via the combined use of high (Landsat-TM) and moderate (MODIS) spatial resolution vegetation index images. Based on the high correlation found between NDVI (normalized difference vegetation index) and % green cover ($r = 0.95$), monthly MODIS-based % green cover images were derived for the 2009–2010 hydrological cycle, which were able to capture major regional patterns and differences in pasture biophysical responses, including the increasing greenness values towards the southern portions of the biome, due to both local conditions (e.g., more fertile

Remote Sens. 2013, 5

311

Figure 2. Location of the Landsat scenes (over the 27 field sampling sites) and MODIS tiles (over the entire Cerrado biome).



The Landsat images were geometrically rectified (based on the geocover tiles S-22-10_2000 and S-22-15_2000), converted to the “top of atmosphere” apparent reflectances [25,26], and spectrally enhanced via the NDVI (normalized difference vegetation index) and the two-band EVI (enhanced vegetation index) [27,28]:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR}^* - \rho_{Red}^*}{\rho_{NIR}^* + \rho_{Red}^*} \quad (3)$$

$$EVI = \frac{\rho_{NIR}^* - \rho_{Red}^*}{\rho_{NIR}^* + \rho_{Red}^*} \times 2.5 \quad (4)$$

where ρ_{NIR}^* and ρ_{Red}^* are the top-of-atmosphere corrected reflectances in the NIR (near infrared) and red bands, respectively.

The MODIS data was screened for aerosols, clouds, and shadows, based on the quality assurance (QA) layer accompanying the validated collection 5 MOD13Q1 product [29], reprojected (from the sinusoidal to the geographical coordinate system), and organized into 24 mosaics (one for every 16-day compositing cycle) over the entire Cerrado region.

Understanding Productive Landscapes...

Remote Sens. 2013, 5, 307–326; doi:10.3390/rs5010307

OPEN ACCESS

Remote Sensing

ISSN 2072-4292

www.mdpi.com/journal/remotesensing

Article

Biophysical Properties of Cultivated Pastures in the Brazilian Savanna Biome: An Analysis in the Spatial-Temporal Domains Based on Ground and Satellite Data

Laerte G. Ferreira ^{1,*}, Luis E. Fernandez ², Edson E. Sano ³, Chris Field ², Silvio B. Sousa ¹, Arielle E. Arantes ¹ and Fernando M. Araújo ¹

¹ Image Processing and GIS Lab, Federal University of Goiás, UFG–IESA, Campus Samambaia, Cx. Postal 131, Goiânia-GO, 74001-970, Brazil; E-Mails: sousasb@hotmail.com (S.B.S.); arielle_ioidad@hotmail.com (A.E.A.); fernandomsl@gmail.com (F.M.A.)

² Department of Global Ecology, Carnegie Institution, Stanford, CA 94305, USA; E-Mails: luisf@stanford.edu (L.E.F.); cfield@ciw.edu (C.F.)

³ Brazilian Agriculture Research Organization (Embrapa Cerrados), Planaltina-DF, 73310-970, Brazil; E-Mail: sano@cpac.embrapa.br

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: laerte@iesa.ufg.br; Tel.: +55-62-3521-1096; Fax: +55-62-3521-1077.

Received: 27 November 2012; in revised form: 4 January 2013 / Accepted: 5 January 2013 /

Published: 17 January 2013

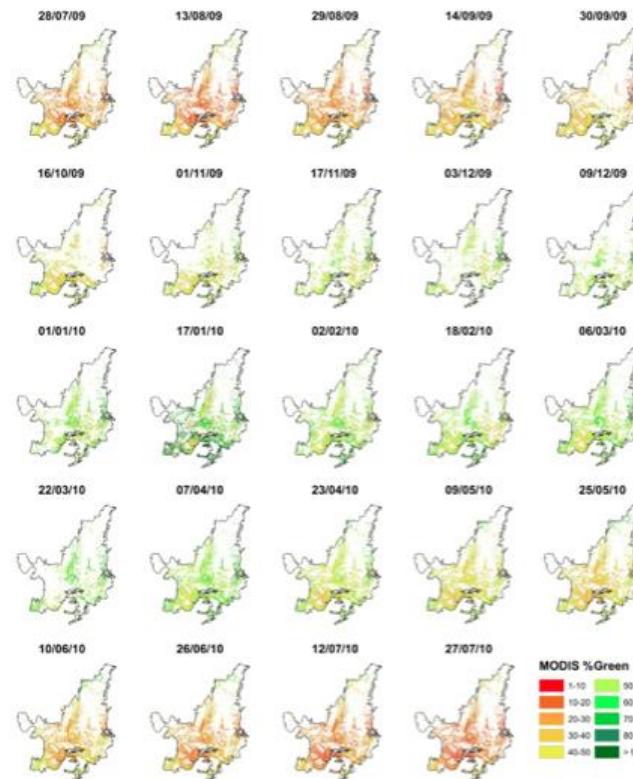
Abstract: Brazil has the largest commercial beef cattle herd in the world, with cattle ranching being particularly prominent in the 200-million ha, Brazilian neotropical moist savanna biome, known as Cerrado, one of the world's hotspots for biodiversity conservation. As decreasing productivity is a major concern affecting the Cerrado pasturelands, evaluation of pasture conditions through the determination of biophysical parameters is instrumental for more effective management practices and herd occupation strategies. Within this context, the primary goal of this study was the regional assessment of pasture biophysical properties, through the scaling of wet- and dry-season ground truth data (total biomass, green biomass, and % green cover) via the combined use of high (Landsat-TM) and moderate (MODIS) spatial resolution vegetation index images. Based on the high correlation found between NDVI (normalized difference vegetation index) and % green cover ($r = 0.95$), monthly MODIS-based % green cover images were derived for the 2009–2010 hydrological cycle, which were able to capture major regional patterns and differences in pasture biophysical responses, including the increasing greenness values towards the southern portions of the biome, due to both local conditions (e.g., more fertile

Remote Sens. 2013, 5

319

greener in 2009 (e.g., 28 July, 27%), comparatively to 2010 (e.g., 27 July, 20%), a year marked by a strong La Niña event, which started in March and caused a prolonged and more intensive dry season than usual [36].

Figure 7. MODIS-based % green cover images for the 2009–2010 hydrological cycle.



Overall patterns and differences in pasture biophysical responses are shown in Figure 8, in which annual mean pasture greenness values (along the entire 2009–2010 hydrological cycle), according to watershed and soil limits, are compared to the accumulated dry- and wet-season available water in

Understanding Productive Landscapes...



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N° 65/6: 1199-1210
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

IDENTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS PARA AS ÁREAS DE PASTAGENS CULTIVADAS NO ESTADO DE GOIÁS A PARTIR DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Identification of Alternative Scenarios for the Pasture Areas in the State of Goiás based on a Linear Mathematical Model

Maria Socorro Duarte da Silva Couto¹; Ole Peter Smith²;
Laerte Guimarães Ferreira³; Fanuel Nogueira Garcia³;
Luis E. Fernandez⁴ & Christopher B. Field⁴

¹Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás – IFG
Departamento de Áreas Acadêmicas

IFG – Campus Inhumas - Av. Universitária s/n Vale das Goiabeiras, CEP:75400-000, Inhumas – GO, Brasil.
socorrode@inhumas.ifg.edu.br

²Universidade Federal de Goiás – UFG

Instituto de Matemática e Estatística

UFG - Campus Samambaia, Caixa Postal: 131, CEP:74001-970, Goiânia – GO, Brasil.
ole@mat.ufg.br

³Universidade Federal de Goiás – UFG

Instituto de Estudos Sócio-Ambientais - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento
Campus Samambaia, Caixa Postal: 131, CEP:74001-970, Goiânia – GO, Brasil.
laerte@iesa.ufg.br, fanuelng@yahoo.com.br

⁴Carnegie Institution for Science, Stanford University

Department of Global Ecology
260 Panama St., Stanford, CA, Estados Unidos.
luisf@stanford.edu, cfield@cwi.edu

Received em 01 de Fevereiro, 2013/Accepted em 07 de Agosto, 2013
Received on February 01, 2013/Accepted on August 07, 2013

RESUMO

A pecuária exerce grande importância na economia do Brasil, com as áreas de pastagens ocupando ~30% da área total do país. Igualmente significativos são os impactos ambientais associados a esta atividade. Entre outros, estima-se que a cadeia de produção pecuária seja responsável por algo em torno de 50% das emissões totais de gases de efeito estufa no país. Dentro deste contexto, e tendo em vista a necessidade de se otimizar, de forma economicamente e ambientalmente sustentável, a ocupação destas áreas, consideradas importantes reservas de terras à expansão agrícola em geral, neste trabalho apresentamos um modelo matemático inédito, o qual, tendo por referência o Estado de Goiás (bioma Cerrado), busca identificar, com base em um amplo conjunto de atributos físicos, biofísicos e socioeconômicos, diferentes alternativas e cenários de uso para as áreas de pastagens cultivadas. A solução ótima padrão avaliada indica que,

Identificação de Cenários Alternativos para as Áreas de Pastagens Cultivadas no Estado de Goiás

Tabela 1: Atributos associados a cada polígono e seus respectivos símbolos.

Atributos	Símbolos
Área	a
PPL Médio	n_p
Lotação bovina	l
Distância aos frigoríficos	d_f
Declividade	d
Distância às usinas	d_u
Distância às áreas de cana-de-açúcar	d_c
Adjacência às áreas prioritárias	a_p
Adjacência às áreas de proteção integral	a_{pi}
Adjacência às áreas de proteção sustentável	a_s
Adjacência às áreas de vegetação natural remanescente	a_r
Distância às rodovias	d_r

Estes atributos são relacionados através do seguinte modelo de programação linear, conforme proposto neste estudo:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } & \sum_{i=1}^n [(A_i a_i + A_i n_p^i - A_i l^i - A_i d_f^i)x_i + (-A_i d^i - A_i d_u^i - A_i d_c^i)y_i] \\ & + (-A_i d_p^i - A_i d_{pi}^i - A_i d_s^i - A_i d_r^i)z_i \\ \text{sujeto a } & x_i + y_i + z_i + w_i = 1 \\ & x_i \geq 0 \\ & y_i \geq 0 \\ & z_i \geq 0 \\ & w_i \geq 0 \end{aligned}$$

onde, x, y, z e w são os vetores de decisão, que indicam o grau de viabilidade dos possíveis destinos para cada polígono, isto é, $x = \{x_i\}$

, $y = \{y_i\}$, $z = \{z_i\}$ e $w = \{w_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, o que justifica a imposição das restrições $x_i + y_i + z_i + w_i = 1$

Isto significa que a solução encontrada para cada polígono de pastagem será um valor entre 0 e 1, o qual indicará uma possível redistribuição de uso.

É importante ressaltar que na modelagem matemática é crucial a escolha dos parâmetros A_i e A_{ij} . Conforme o valor escolhido para esses parâmetros, certas características de ocupação serão favorecidas ou penalizadas, as quais dependem dos interesses envolvidos. Especificamente, as motivações das parcelas da função objetiva são:

$-A_i a^i x_i$: favorece os polígonos de pastagem com

maior área a terem uma maior lotação;

$-A_i n_p^i x_i$: favorece os polígonos de pastagem com maior valor de PPL médio a terem uma maior lotação;

$-A_i l^i x_i$: favorece os polígonos de pastagem que possuem baixa lotação bovina a terem uma maior lotação;

$-A_i d_f^i x_i$: favorece os polígonos de pastagem mais próximos aos frigoríficos instalados a terem uma maior lotação;

$-A_i d^i y_i$: favorece os polígonos de pastagem com baixa declividade a se tornarem áreas de expansão para a cana-de-açúcar;

$-A_i d_u^i y_i$: favorece os polígonos de pastagem mais próximos às usinas a se tornarem áreas de expansão para a cana-de-açúcar;

$-A_i d_c^i y_i$: favorece os polígonos de pastagem mais próximos das áreas de cana-de-açúcar a se tornarem áreas de expansão;

$-A_i a_p^i z_i$: favorece os polígonos de pastagem mais próximos das áreas prioritárias a se tornarem áreas destinadas à restauração da vegetação natural;

$-A_i d_{pi}^i z_i$: favorece os polígonos de pastagem mais próximos das áreas de proteção integral a se tornarem áreas destinadas à restauração da vegetação natural;

$-A_i d_s^i z_i$: favorece as áreas de pastagens adjacentes às áreas de preservação sustentável a serem restauradas, ou seja, se tornarem áreas de vegetação natural;

$-A_i d_r^i z_i$: favorece os polígonos de pastagem adjacentes às áreas de vegetação remanescente a se tornarem áreas destinadas à restauração da vegetação natural;

$-A_i d_f^i z_i$: restringe os polígonos de pastagem próximos das rodovias de se tornarem áreas de vegetação natural;

$-A_i l^i z_i$: favorece os polígonos de pastagem com pouco gado a se tornarem áreas de vegetação natural.

A partir do estudo de cada parcela da função objetivo, são obtidos os valores de seus parâmetros, com vistas a ordenar e redistribuir o uso das áreas de pastagens, de forma que, preferencialmente, os polígonos de pastagem mais próximos aos frigoríficos sejam destinados à maior lotação bovina, os mais próximos às

Understanding Productive Landscapes...



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N° 65/6: 1199-1210
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

IDENTIFICAÇÃO DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS PARA AS ÁREAS DE PASTAGENS CULTIVADAS NO ESTADO DE GOIÁS A PARTIR DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Identification of Alternative Scenarios for the Pasture Areas in the State of Goiás based on a Linear Mathematical Model

Maria Socorro Duarte da Silva Couto¹; Ole Peter Smith²;
Laerte Guimarães Ferreira³; Fanuel Nogueira Garcia³;
Luis E. Fernandez⁴ & Christopher B. Field⁴

¹Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás – IFG

Departamento de Áreas Acadêmicas

IFG – Campus Inhumas - Av. Universitária s/n Vale das Goiabeiras, CEP:75400-000, Inhumas – GO, Brasil.
socorrode@inhumas.ifg.edu.br

²Universidade Federal de Goiás – UFG

Instituto de Matemática e Estatística

UFG - Campus Samambaia, Caixa Postal: 131, CEP:74001-970, Goiânia – GO, Brasil.
ole@mat.ufg.br

³Universidade Federal de Goiás – UFG

Instituto de Estudos Sócio-Ambientais - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento
Campus Samambaia, Caixa Postal: 131, CEP:74001-970, Goiânia – GO, Brasil.
laerte@iesa.ufg.br, fanuelc@yahoo.com.br

⁴Carnegie Institution for Science, Stanford University

Department of Global Ecology
260 Panama St., Stanford, CA, Estados Unidos.
luisf@stanford.edu, cfield@ciw.edu

Received em 01 de Fevereiro, 2013/Accepted em 07 de Agosto, 2013
Received on February 01, 2013/Accepted on August 07, 2013

RESUMO

A pecuária exerce grande importância na economia do Brasil, com as áreas de pastagens ocupando ~30% da área total do país. Igualmente significativos são os impactos ambientais associados a esta atividade. Entre outros, estima-se que a cadeia de produção pecuária seja responsável por algo em torno de 50% das emissões totais de gases de efeito estufa no país. Dentro deste contexto, e tendo em vista a necessidade de se otimizar, de forma econômica e ambientalmente sustentável, a ocupação destas áreas, consideradas importantes reservas de terras à expansão agrícola em geral, neste trabalho apresentamos um modelo matemático inédito, o qual, tendo por referência o Estado de Goiás (bioma Cerrado), busca identificar, com base em um amplo conjunto de atributos físicos, biofísicos e socioeconômicos, diferentes alternativas e cenários de uso para as áreas de pastagens cultivadas. A solução ótima padrão avaliada indica que,

Identificação de Cenários Alternativos para as Áreas de Pastagens Cultivadas no Estado de Goiás

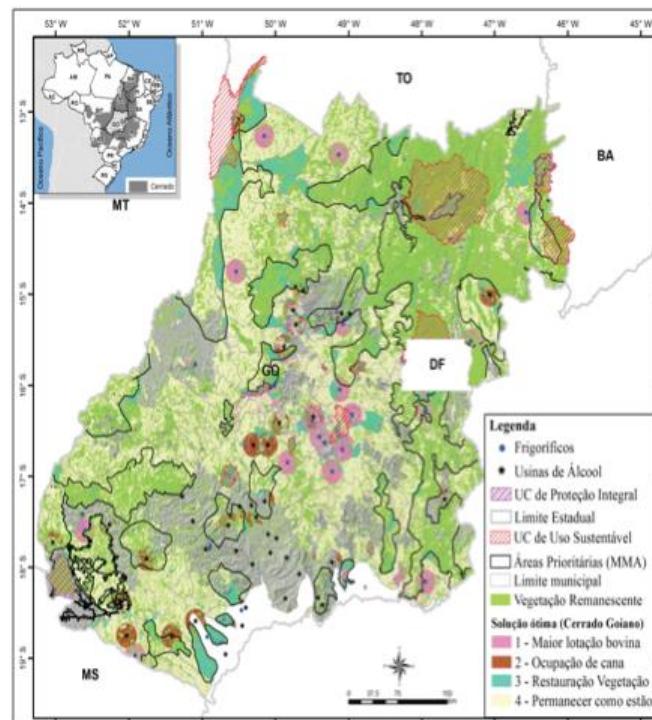


Fig. 3 - Solução ótima padrão com vistas ao ordenamento e remanejamento de uso das áreas de pastagens no Estado de Goiás.

Especificamente em relação ao parâmetro A_2 , associado à média de produtividade primária líquida (PPL), procedeu-se a uma análise de sensibilidade, comparativamente à solução ótima padrão (Figura 3), tendo por base a Região Metropolitana de Goiânia, constituída por 230 polígonos de pastagens.

Assim, para cada valor atribuído ao A_2 {0, 2, 4, 6, 8, 10, 12}, no intervalo [0,12], foi gerada uma solução ótima correspondente. Para facilitar as análises e medir as possíveis alterações entre

cada solução gerada e a solução ótima padrão, definiu-se uma distância Δ como sendo a raiz quadrada da soma do quadrado da diferença entre o vetor solução do parâmetro que foi variado e o vetor da solução ótima padrão (Figura 04).

Conforme pode ser observado na figura 4, o maior valor de Δ ocorre para o valor de $A_2=0$. Isso significa que a ausência do termo PPL no modelo não permite a destinação de polígonos de pastagem para maior lotação de gado (Figura 5), o que confirma a sua importância para tal.

Understanding Productive Landscapes...

+ link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-012-0443-3 — Estimating greenhouse gas emissions

te Guimaraes Ferreira Junior Currículo do Sistema de Currículos Lattes (Laerte Guimaraes.

» Look Inside » Get Access

Climatic Change December 2012, Volume 115, Issue 3-4, pp 559-577

Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil

Mercedes M. C. Bustamante, Carlos A. Nobre, Roberto Smeraldi, Ana P. D. Aguiar, Luis G. Barioni, Laerte G. Ferreira, Karla Longo, Peter May, Alexandre S. Pinto, Jean P. H. B. Ometto

Purchase on Springer.com \$39.95 / €34.95 / £29.95* Buy now

Rent the article at a discount Rent now

* Final gross prices may vary according to local VAT.

Abstract

The study estimated, for the first time, the greenhouse gas emissions associated with cattle raising in Brazil, focusing on the period from 2003 to 2008 and the three principal sources: 1) portion of deforestation resulting in pasture establishment and subsequent burning of felled vegetation; 2) pasture burning; and 3) bovine enteric fermentation. Deforestation for pasture establishment was only considered for the Amazon and Cerrado. Emissions from pasture burning and enteric fermentation were accounted for the entire country. The consolidated emissions estimate lies between approximately 813 Mt CO₂eq in 2008 (smallest value) and approximately 1,090 Mt CO₂eq in 2003 (greatest value). The total emissions associated with Amazon cattle ranching ranged from 499 to 775 Mt CO₂eq, that of the Cerrado from 229 to 231 Mt CO₂eq, and that of the rest of the country between 84 and 87 Mt CO₂eq. The full set of emissions originating from cattle raising is responsible for approximately half of all Brazilian emissions (estimated to be approximately 1,055 Mt CO₂eq in 2005), even without considering cattle related sources not explicitly estimated in this study, such as energy use for transport and refrigeration along the beef and derivatives supply chain. The potential for reduction of greenhouse gas emissions offered by the Brazilian cattle

G Model
JGEC-1117; No. of Pages 10
ARTICLE IN PRESS
Global Environmental Change xxx (2013) xxx-xxx
Contents lists available at SciVerse ScienceDirect
 Global Environmental Change
journal homepage: www.elsevier.com/locate/gloenvcha



Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach

E.F. Lambin ^{a,b,*}, H.K. Gibbs ^c, L. Ferreira ^d, R. Grau ^e, P. Mayaux ^f, P. Meyfroidt ^{a,g}, D.C. Morton ^b, T.K. Rudel ⁱ, I. Gasparri ^g, J. Munger ^c

^aGeorges Lemaitre Centre for Earth and Climate Research, Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain, Place Louis Pasteur 3, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgium
^bSchool of Earth Sciences and Woods Institute, Stanford University, 473 Via Ortega, Stanford, CA 94305, United States
^cDepartment of Geography and Nelson Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin-Madison, 1710 University Avenue, Madison, WI 53726, United States
^dImage Processing and GIS Lab, Federal University of Goiás, Cx. Postal 131, 74001-970, Goiânia, GO, Brazil
^eInstituto de Ecología Regional, Universidad Nacional de Tucumán-CONICET, Casilla de Correo 34, 4107, Yerba Buena, Tucumán, Argentina
^fInstitute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre, European Commission, TP 440, 2789 via E. Fermi, 21027 Ispra (VA), Italy
^gERS-PNRS, Belgium
^hNASA Goddard Space Flight Center, Code 618, Greenbelt, MD 20771, United States
ⁱDepartments of Human Ecology and Sociology, Rutgers University, 55 Dudley Road, New Brunswick, NJ 08901, United States

ARTICLE INFO

Article history:
Received 5 July 2012
Received in revised form 29 April 2013
Accepted 7 May 2013

Keywords:
Agro-ecological zone
Land reserve
Land use
Land change
Agriculture
Food security
Degraded lands

ABSTRACT

Previous estimates of the land area available for future cropland expansion relied on global-scale climate, soil and terrain data. They did not include a range of constraints and tradeoffs associated with land conversion. As a result, estimates of the global land reserve have been high. Here we adjust these estimates for the aforementioned constraints and tradeoffs. We define potentially available cropland as the moderately to highly productive land that could be used in the coming years for rainfed farming, with low to moderate capital investments, and that is not under intact mature forests, legally protected, or already intensively managed. This productive land is underutilized rather than unused as it has ecological or social functions. We also define potentially available cropland that accounts for trade-offs between gains in agricultural production and losses in ecosystem and social services from intensified agriculture, to include only the potentially available cropland that would entail low ecological and social costs with conversion to cropland. In contrast to previous studies, we adopt a "bottom-up" approach by analyzing detailed, fine scale observations with expert knowledge for six countries or regions that are often assumed to include most of potentially available cropland. We conclude first that there is substantially less potential additional cropland than is generally assumed once constraints and trade offs are taken into account, and secondly that converting land is always associated with significant social and ecological costs. Future expansion of agricultural production will encounter a complex landscape of competing demands and tradeoffs.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Land is a scarce resource at a global scale. Increases in both human population and per capita consumption of material goods have increased demand for commodities produced from the land (Lambin and Meyfroidt, 2011). Meanwhile, land degradation and climatic change threaten the current base of productive land.

Intensification of land use has the potential to satisfy the bulk of future increases in demand (Godfray et al., 2010). However, additional conversion to croplands will be unavoidable. By 2030, an additional 81 to 147 million hectares (Mha) of cropland will be needed compared to the 2000 baseline. Rapid urbanization, bioenergy policy mandates, forest plantations, and new protected areas are also competing for land access (Meyfroidt and Lambin, 2011). Total additional land demand is likely to range from 285 to 792 Mha between 2000 and 2030 (Lambin and Meyfroidt, 2011). The perception that we are approaching a limit in available productive land is growing, highlighting the need for improved information on land availability.

We define potentially available cropland (PAC) (sometimes referred to as land reserve, underutilized, or spare land) as the

* Corresponding author at: Georges Lemaitre Centre for Earth and Climate Research, Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain, Place Louis Pasteur 3, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgium. Tel.: +32 10 47 44 77; fax: +32 10 47 28 77.
E-mail address: eric.lambin@uclouvain.be (E.F. Lambin).

0959-3780/\$ – see front matter © 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.
http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.05.005

Please cite this article in press as: Lambin, E.F., et al., Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach. *Global Environ. Change* (2013). http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.05.005

In Search of Sustainability...

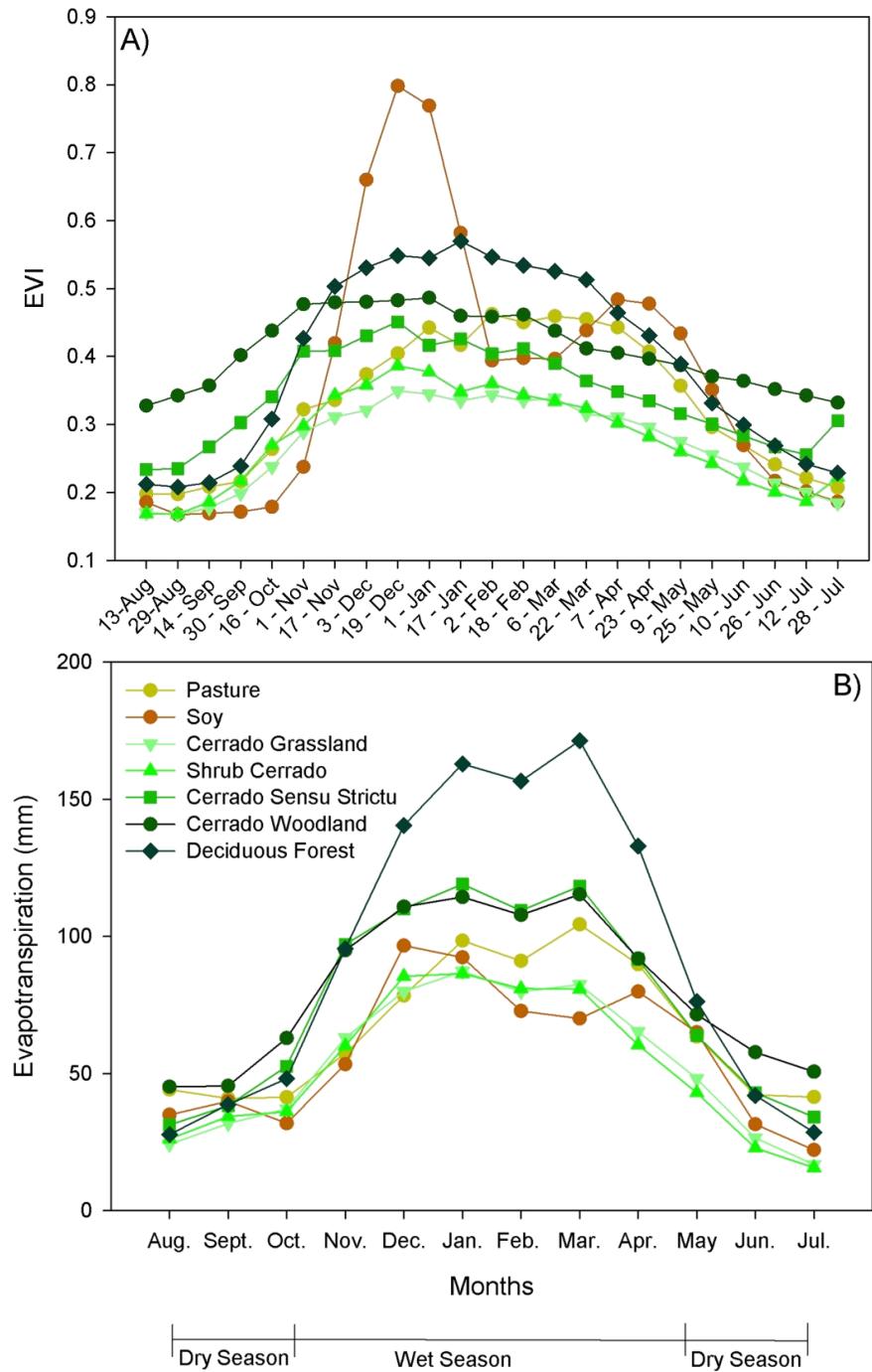
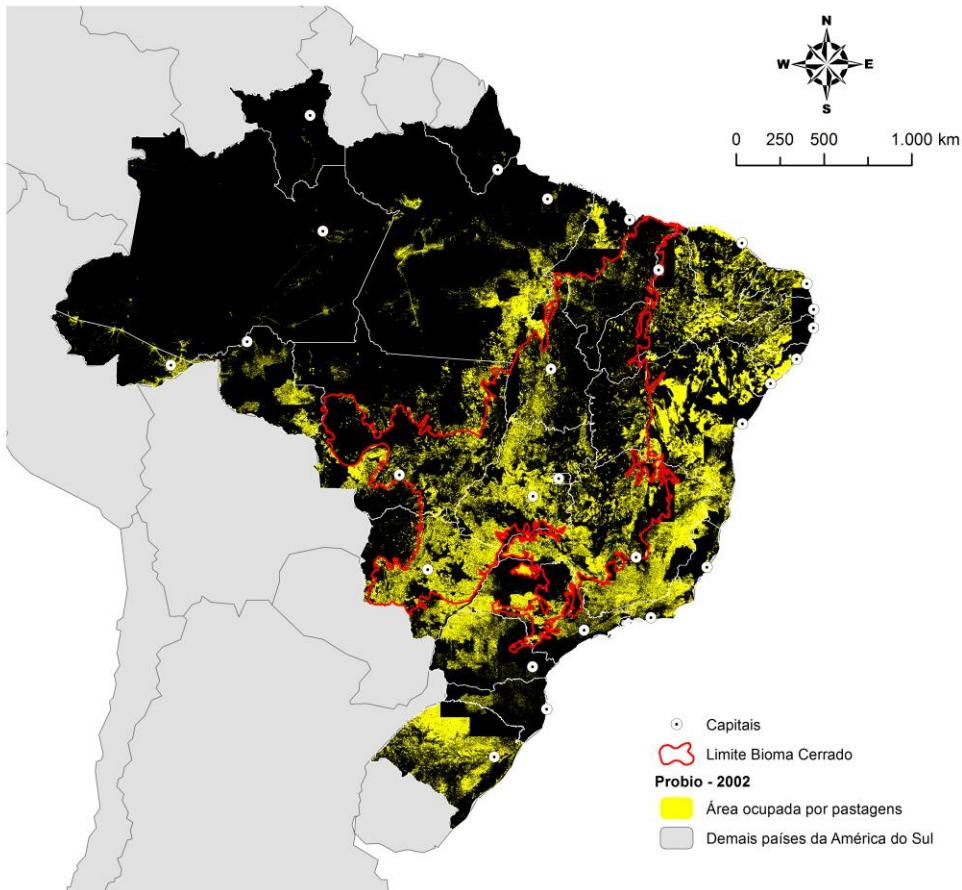


LAPIG expansion and renovation

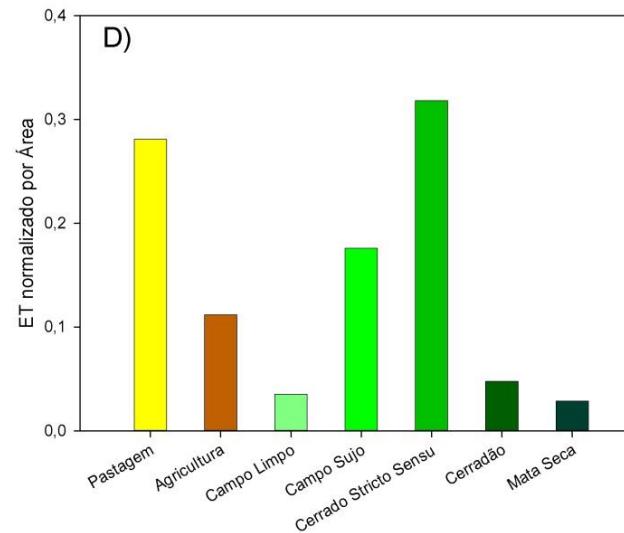
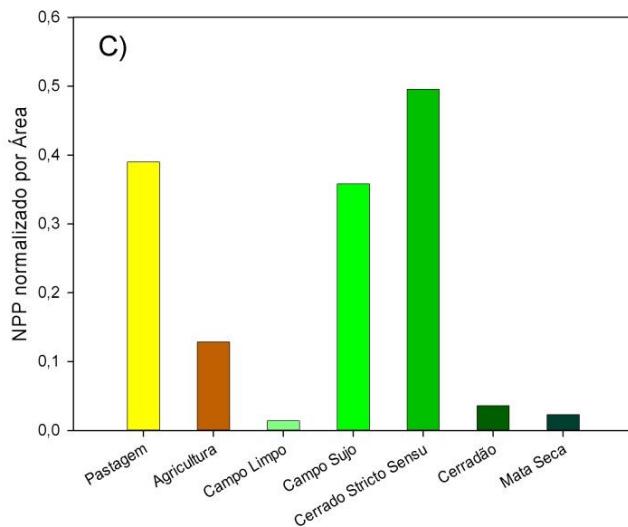
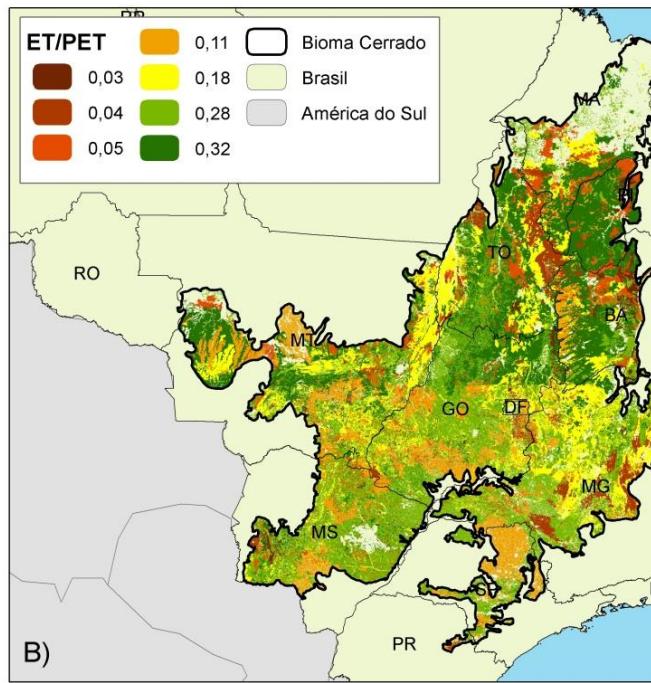
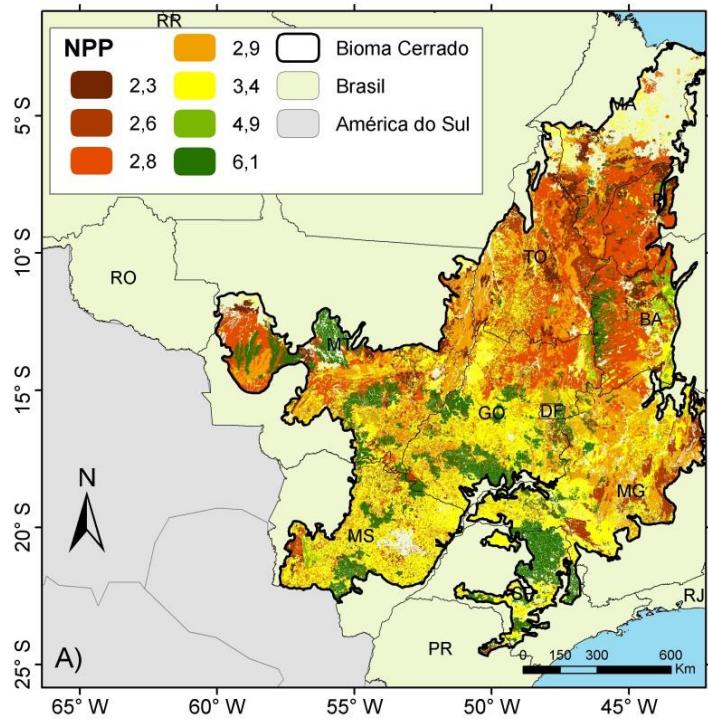


Pastures

Biophysical Behavior

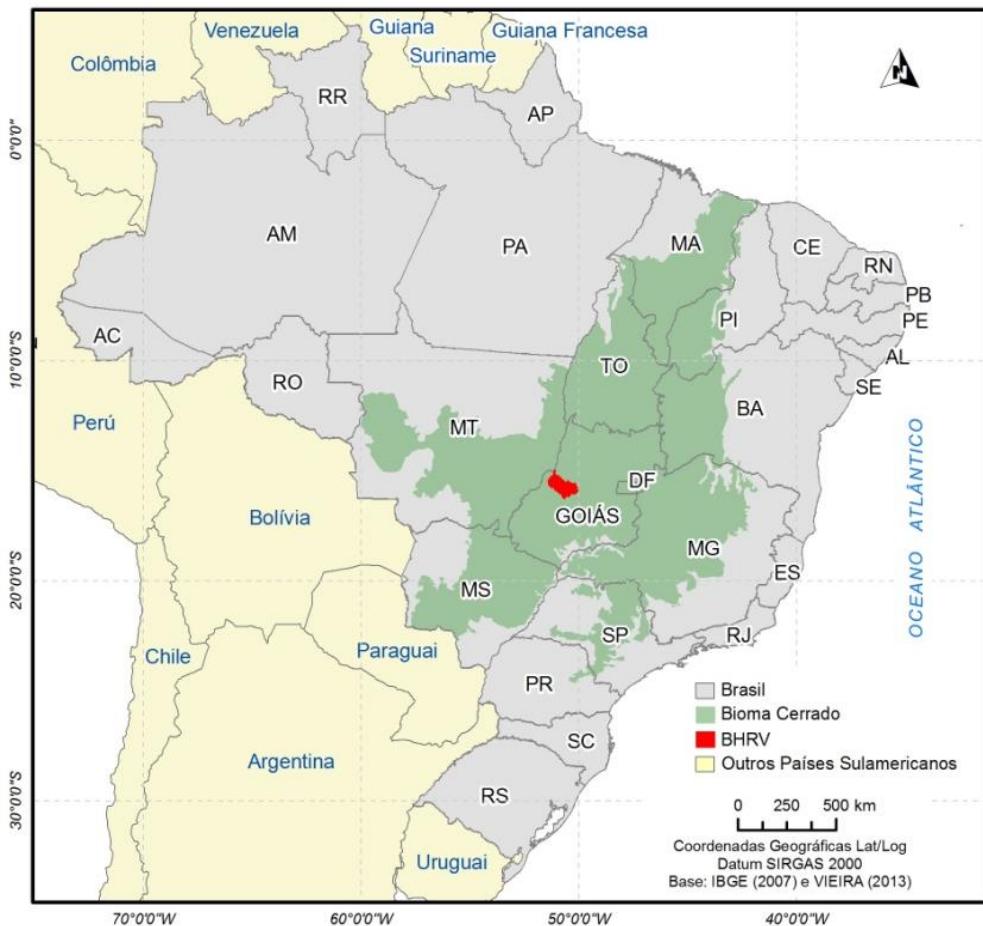


Carbon & Water Fluxes

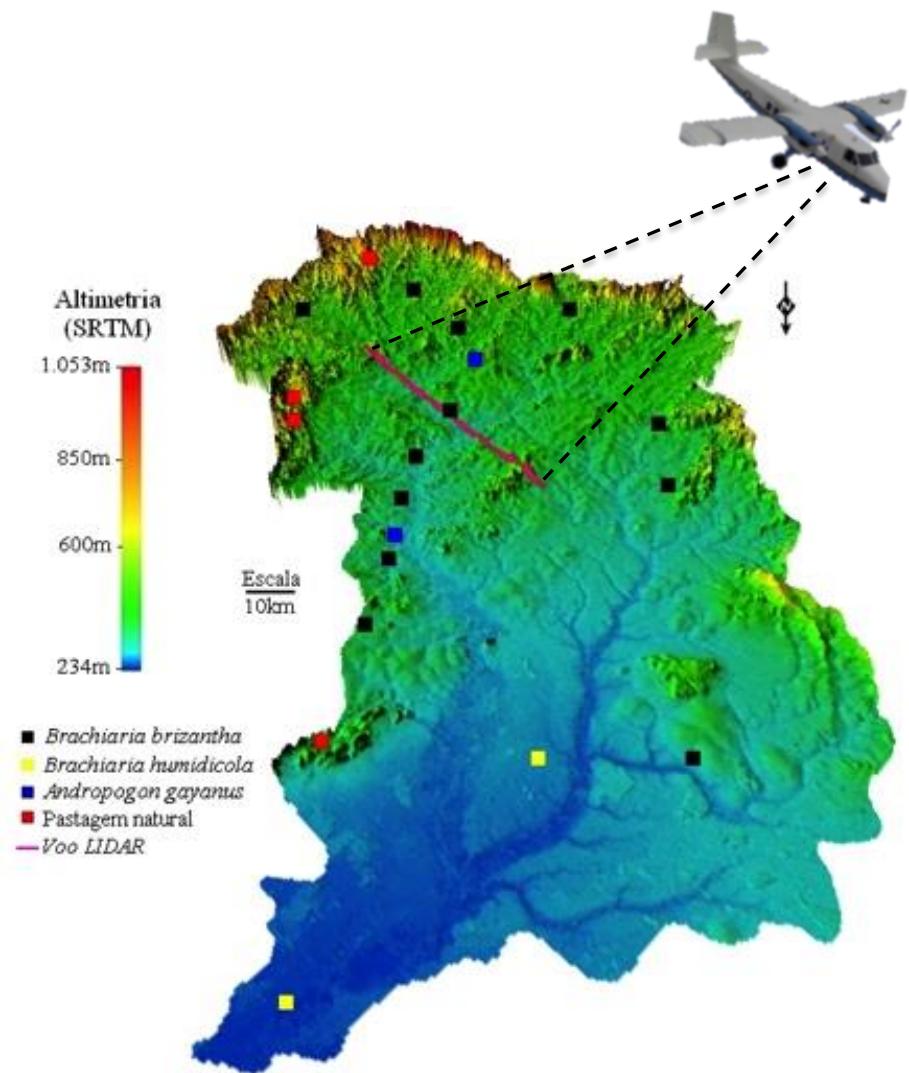


Reducing
Emissions from
Pasture degradation
REPD

Validation & Scaling Strategies



Rio Vermelho watershed



Evolving **Questions** & Goals

- How carbon and water fluxes vary as a function of pasture management and degradation?
- What are the impacts of climate (& anthropogenic) events on pasture productivity?
- What are the productivity trends of the Brazilian pastures as they age?
- What are the regional distribution patterns of the Brazilian pastures regarding their support capacity and vulnerability to extreme events?

Evolving Questions & Goals

- Refined and updated pasture map (entire country);
- Estimation of carbon and water fluxes;
- Development of operational protocols aiming at the annual mapping of pasture quality;
- Identification of opportunities and vulnerabilities of the Brazilian pasturelands (in order to promote more productive and sustainable landscapes).



laerte



.....



Cadastrar

Manter-me conectado

Home Institucional Produtos LapiG-Maps LapiG-Database Notícias Cursos Online Geocursos 2013



Base de Dados Rasters

Base de dados rasters do Brasil e regiões específicas do acervo do LAPIG.

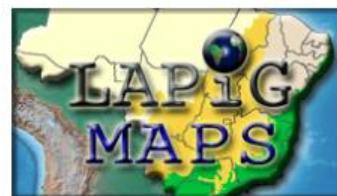


Base de Dados Vetoriais

Base de dados vetoriais do Brasil e regiões específicas do acervo do LAPIG.



Plataformas de Pesquisa



Destaques

Inscreva-se no
LapiG-Geocursos



Notícias

40 MIL 2010

www.lapig.iesa.ufg.br

Thank You!



CNPq / FAPEG 2012-007-66130154
SAE-PR 18.001049/2013
WWF 241-2014
NASA LULCC #NNX11AE56G
NASA Terrestrial Ecology #NNX08AI24G