



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/12.12.11.14-RPQ

**VARIABILIDADE INTERANUAL DE FISIONOMIAS DE  
VEGETAÇÃO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA  
AMAZÔNIA E CERRADO**

Jorge Alberto Bustamante Becerra  
Suzana Maria Inácio de Carvalho

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3SCFLFP>

INPE  
São José dos Campos  
2018

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

## **COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):**

### **Presidente:**

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

### **Membros:**

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/12.12.11.14-RPQ

**VARIABILIDADE INTERANUAL DE FISIONOMIAS DE  
VEGETAÇÃO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA  
AMAZÔNIA E CERRADO**

Jorge Alberto Bustamante Becerra  
Suzana Maria Inácio de Carvalho

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3SCFLFP>

INPE  
São José dos Campos  
2018



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

## VARIABILIDADE INTERANUAL DE FISIONOMIAS DE VEGETAÇÃO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA AMAZÔNIA E CERRADO

Suzana Maria Inácio de Carvalho, Jorge Alberto Bustamante Becerra

### RESUMO

É essencial que os Modelos de Superfície representem corretamente o ciclo diário, variações sazonais e interanuais de troca de massa e energia entre o ecossistema e a atmosfera, a hidrologia do solo, a fenologia e evolução do estoque de carbono no ecossistema. Modelos computacionais da superfície terrestre, como o modelo INLAND (Integrated Model of Land Surface Processes), atualmente em desenvolvimento de maneira comunitária no Brasil, são comumente acoplados a modelos de circulação geral da atmosfera para representar a interação entre a biosfera e o sistema climático global. Análises de fenologia e distribuição espacial da vegetação são importantes no âmbito da modelagem climática global, pois através destes estudos torna-se possível o aprimoramento de parâmetros, bem como na calibração dos modelos, aperfeiçoando a representação de processos como as trocas de fluxos entre a superfície e a atmosfera. A fenologia neste trabalho é captada pelas folhas do dossel das árvores que são monitoradas através do produto MOD13Q1 (EVI - *Enhanced Vegetation Index*) do sensor MODIS com resolução espacial de 250 m e representam um importante objeto de estudo da dinâmica da vegetação. O dossel é uma interface ativa de energia, carbono e água entre as plantas e atmosfera, uma vez que é responsável pelos processos fotossintéticos e transpiração além de ser o principal contribuinte na composição da Serapilheira. Sendo assim, o objetivo central desta proposta visa dar continuidade ao projeto “Variabilidade espacial de tipos funcionais de plantas para modelagem de biosfera na região da Amazônia Legal”. Os principais objetivos nesta fase são realizar a análise fenológica da vegetação na Amazônia e no Cerrado brasileiro e realizar uma classificação da vegetação através das métricas de fenologia em diferentes áreas nos biomas brasileiros.

Os resultados obtidos no escopo desta proposta serão utilizados diretamente pelo grupo de modelagem de interação biosfera-atmosfera (CCST/INPE) tanto para calibração e/ou desenvolvimento do modelo de superfície (INLAND) que será acoplado ao modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC/INPE, na construção do Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global –MBSCG.

**Palavras chaves:** Variabilidade interanual da vegetação, métricas de fenologia da vegetação, Amazônia, Cerrado

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivo e Justificativa.....	2
3. Revisão de Literatura.....	2
3.1. Sensor MODIS .....	2
3.2 Fenologia no Cerrado .....	3
3.3 Fenologia na Amazônia.....	4
4. Materiais e Métodos.....	5
4.1 Área de Estudo .....	5
4.2 Materiais.....	9
4.3 Métodos.....	9
4.3.1 Metodologia Geral.....	9
4.3.2 Delineamento áreas amostrais.....	9
4.3.3 Classificação de tipos funcionais de planas nos biomas Amazônia e Cerrado.....	11
5. Resultados e Discussão.....	13
5.1 Classificação na Amazônia .....	13
5.2 Classificação no Cerrado.....	24
Conclusões.....	34
Agradescimentos.....	35
Referencias.....	36

## 1. Introdução

Este projeto propõe uma análise da fenologia da vegetação na região da Amazônia Legal (Amazônia + Cerrado) através de dados de sensoriamento remoto com o objetivo de identificar e caracterizar a vegetação contribuindo com informações para melhorar o desenvolvimento do modelo de superfície IBIS utilizado como base para desenvolvimento do modelo INLAND. O modelo de superfície INLAND foi desenvolvido por pesquisadores brasileiros como parte integrante do desenvolvimento do Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global- (MBSCG) a partir do código fonte do modelo IBIS (*Integrated Biosphere Simulator*), que é um modelo computacional de última geração, que simula de maneira integrada diferentes processos biogeofísicos e biogeoquímicos de interação entre a biosfera e o clima (Foley et al., 1996, Kucharik et al., 2000). Desta forma o INLAND é capaz de simular uma gama de processos da biosfera terrestre focando principalmente na representação dos ecossistemas brasileiros e da América do Sul. Este modelo assim como muitos modelos de superfície utiliza mapas de vegetação global contendo doze tipos funcionais de planta – TFP para definir suas classes de vegetação.

No entanto, algumas classes de vegetação como, por exemplo, o bioma sul-americano savana (que corresponde ao cerrado brasileiro) e a caatinga carecem de melhorias na representação da interação biosfera-atmosfera. Isto porque o módulo de vegetação implementado no modelo INLAND é baseado no código fonte do IBIS que tem como prioridade uma melhor representatividade de regiões de clima temperado, possivelmente negligenciando a representação adequada de processos tipicamente tropicais.

O estudo da fenologia se torna extremamente importante, pois através do monitoramento preciso da sazonalidade da vegetação é possível compreender as relações entre os sistemas entre a superfície e a atmosfera, podendo auxiliar no processo de aprimoramento das classes de vegetação no modelo.

Dentro da região da Amazônia Legal, nos ecossistemas de floresta tropical as paisagens estão dominadas por formações florestais diferente dos ecossistemas de savana, como o cerrado brasileiro, onde as paisagens estão dominadas por formações savânicas, isto é, combinações de gramíneas e herbáceas, arbustos e árvores. A dominância destas formações tem uma relação direta com as condições climáticas, edáficas e perturbações (Holdridge, 1947; Eagleson, 1982; Higgins et al., 2000; van Wijk e Rodriguez-Iturbe, 2002). Desta forma, realizar uma classificação dos principais tipos de vegetação existentes nos biomas Amazônia e Cerrado se torna importante para compreensão do funcionamento dos ecossistemas.

## **2. Objetivo e Justificativa**

O objetivo geral deste projeto é caracterizar os diferentes tipos de vegetação existentes nos ecossistemas brasileiros Amazônia e Cerrado a fim de contribuir com informações que melhorem a representação da vegetação no modelo de superfície INLAND, que futuramente será acoplado ao MBSCG.

O estudo da fenologia através de dados obtidos de sensoriamento remoto tem grande importância, pois fornece a capacidade de monitorar a fenologia da vegetação em grandes escalas e intervalos regulares. Além disso, análise da fenologia fornece uma ferramenta potencial para abordar questões críticas relacionados à modelagem e monitoramento de mudanças climáticas.

Sendo assim, a justificativa proposta tem relevância na área de modelagem climática da região tropical brasileira e visa contribuir com o trabalho desenvolvido pela Rede GEOMA, Componente Modelagem Climática da Amazônia, no aperfeiçoamento do modelo de superfície-INLAND no escopo do Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global-MBSCG fornecendo parâmetros mais precisos na caracterização dos tipos funcionais de plantas na região da Amazônia Legal.

## **3. Revisão de Literatura**

### **3.1 Sensor MODIS**

A importante aplicação da informação precisa sobre a cobertura global da superfície está na inferência de parâmetros, que influenciem, tanto nos processos biofísicos, quanto nas trocas de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre (Townshend et al., 1991). Estes parâmetros têm por finalidade identificar tipos de cobertura terrestre para a parametrização através das informações espectrais, temporais, espaciais e direcionais contidas nos sensores, citando como exemplo, o próprio MODIS.

No estudo da vegetação em escala global, continental e regional, as imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) acoplado ao satélite TERRA e AQUA têm sido amplamente utilizadas para mensurar processos físicos e biológicos da vegetação, dinâmica das nuvens e temperatura da superfície dos oceanos, esse sensor fornece dados atmosféricos, oceânicos e terrestres (Salomonson e Toll, 1990).

A baixa resolução espacial do MODIS é compensada pela alta frequência temporal (Veraverbeke et al., 2011b). Essa alta resolução temporal permite a construção de séries temporais contínuas, isso possibilita discriminar flutuações sazonais e padrões de regeneração



da vegetação pós-fogo (Veraverbeke et al., 2012). Conforme Veraverbeke et al., (2011a) que menciona a importância de distinguir mudanças no ambiente causado pelo fogo e por flutuações sazonais.

Entre os diversos produtos do sensor para estudo da superfície terrestre, o MOD13 oferece o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Aprimorada (EVI), que representam basicamente a diferença entre reflectância de bandas. Esses índices fornecem informações da atividade fotossintética da vegetação em suporte à detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia (Anderson et al., 2003), é um indicativo do vigor da vegetação.

Estes produtos fornecem comparações consistentes de dados temporais e espaciais das condições da vegetação global, de modo a monitorar a atividade fotossintética da vegetação em suporte a detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia.

A análise das variações fenológicas em nível regional e sua interligação com os diferentes componentes do meio geográfico (clima, solo, relevo, geologia, etc.) formam parte das informações necessárias para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas em escala global.

### **3.2 Fenologia no Cerrado**

Nas savanas tropicais, padrões temporais de crescimento e reprodução das plantas estão ligados à sazonalidade climática (Williams *et al.* 1997). Tradicionalmente as mudanças fenológicas de plantas tropicais foram consideradas resultantes principalmente da duração e intensidade da seca sazonal, já que, em baixas latitudes, a variação anual da temperatura e do fotoperíodo é pequena (Borchert 1996). Numerosos estudos fenológicos, tanto em savanas (Mantovani & Martins 1988; Gouveia & Felfili 1998; Batalha & Mantovani 2000; Batalha & Martins 2004; Munhoz & Felfili 2005; Lenza & Klink 2006; Tannus *et al.* 2006; Munhoz & Felfili 2007) como em florestas tropicais (Morellato *et al.* 2000; Reys *et al.* 2005; Marchioretto *et al.* 2006; Yamamoto *et al.* 2007; O'Brien *et al.* 2008) tem apontado questões importantes em relação ao funcionamento dos ecossistemas, tais como magnitude da deciduidade, grau de sincronia entre as principais fenofases e causas proximais e finais dos eventos fenológicos (Williams *et al.* 1997).

Em relação às fenofases vegetativas de plantas lenhosas de Cerrado, algumas espécies possuem adaptações para superar o estresse hídrico, como os xilopódios ou um sistema radicular bem desenvolvido (Eiten 1972, Jackson et al. 1999, Franco et al. 2005, Oliveira et

al. 2005), permitindo-lhes produzir folhas durante o período seco e manter a folhagem ao longo do ano (Sarmiento et al. 1985, Franco et al. 2005, Lenza & Klink 2006, Oliveira 2008). Em outro extremo, algumas espécies perdem completamente as folhas por um curto período de tempo durante a estação seca e, por isso, são categorizadas como brevidecíduas ou decíduas (Sarmiento et al. 1985, Franco et al. 2005, Lenza & Klink 2006), minimizando a perda de água durante esta estação desfavorável. Essas variações no comportamento fenológico das espécies sugerem diferentes estratégias adaptativas aos mesmos fatores condicionantes (Lenza & Klink 2006).

A periodicidade do crescimento vegetativo é aparente no aspecto semidecíduo da vegetação arbórea, que embora sempre verde em sua maioria (Sarmiento & Monasterio, 1983), apresenta uma grande proporção de espécies decíduas ou semidecíduas que perdem suas folhas na seca (Hopkins, 1970; Sarmiento, 1984; Sarmiento et al., 1985; Mantovani & Martins, 1988; Penhalber & Mantovani, 1997; Oliveira, 1998; Batalha & Mantovani, 2000). A aparente sincronia entre atividade e disponibilidade de água no ambiente sugere que a seca sazonal, atuando como um fator limitante para o crescimento seja a principal determinante da periodicidade observada nos trópicos. Como efeito, vários autores destacam o determinismo das relações hídricas na fenodinâmica foliar das espécies arbóreas de florestas tropicais periodicamente secas, as quais perdem as folhas, restringindo a transpiração, no início do inverno seco e rebrotam com as chuvas da primavera (Njoku, 1963; Daubenmire, 1972; Lord Medway, 1972; Frankie et al., 1974; Lieberman 1982; Borchert, 1983; 1992; 1994; Reich & Borchert, 1984; Bullock & Sollis-Magallanes, 1990; Holbrook et al., 1995; Reich, 1995; Penhalber & Mantovani, 1997). A floração ou a rebrota durante a seca, em algumas espécies, é um paradoxo (Sarmiento 1984; Borchert 1994). Tem sido postulado que são respostas a eventos esporádicos de precipitação durante a seca (Opler et al. 1980), ou que são restritas a espécies de regiões com seca menos severa ou savanas (Bullock, 1995). Argumenta-se ainda que espécies tolerantes, com maior capacidade de absorção e/ou retenção de água, não são limitadas pela seca, sendo ainda incertas as causas da sua periodicidade (Van Shaik et al., 1993; Borchert, 1994; Holbrook et al., 1995; Medina, 1995).

### **3.3 Fenologia na Amazônia**

Estudos em florestas tropicais úmidas sugerem que os padrões fenológicos das árvores são dirigidos por uma variedade de fatores, incluindo características abióticas como precipitação, irradiação e temperatura (Ashton *et al.*, 1988; Newbery *et al.*, 1998; Opler *et al.*,

1976; Van Schaik, 1986; Van Schaik *et al.*, 1993; Sun *et al.*, 1996; Tutin & Fernandez, 1993; Chapman *et al.*, 1999; Chapman *et al.*, 2005; Zimmerman *et al.*, 2007); modo de dispersão de sementes (Charles-Dominique *et al.*, 1981; Smythe, 1970; Snow, 1965; Wheelwright, 1985); atividade de polinizadores e dispersores de sementes (Frankie *et al.*, 1974a; Rathke & Lacey, 1985; Snow, 1965); variação nas condições de germinação (Frankie *et al.*, 1974b; Janzen, 1967); posição no dossel (Newstrom *et al.*, 1994); e abundância relativa das árvores (Van Schaik *et al.*, 1993).

A característica mais significativa de florestas tropicais úmidas é o calor e a umidade contínuos, o que favorece o crescimento ao longo do ano (Richards, 1952) e resulta em uma diversidade de estratégias e padrões fenológicos maior que em outros ecossistemas (Sarmiento & Monastério, 1983; Newstrom *et al.*, 1994). Os ciclos fenológicos de plantas tropicais são complexos, apresentando padrões irregulares de difícil reconhecimento, principalmente em estudos de curto prazo (Newstrom *et al.*, 1994; Bencke & Morellato, 2002).

Na Amazônia, informações sobre a fenologia das espécies são ainda escassas e fragmentadas, e os dados existentes dizem respeito, principalmente, àquelas espécies de interesse ou potencial econômico (Araújo, 1970; Macêdo, 1977; Alencar *et al.*, 1979; Carvalho, 1980; Gribel *et al.*, 1999; Pinto *et al.*, 2005).

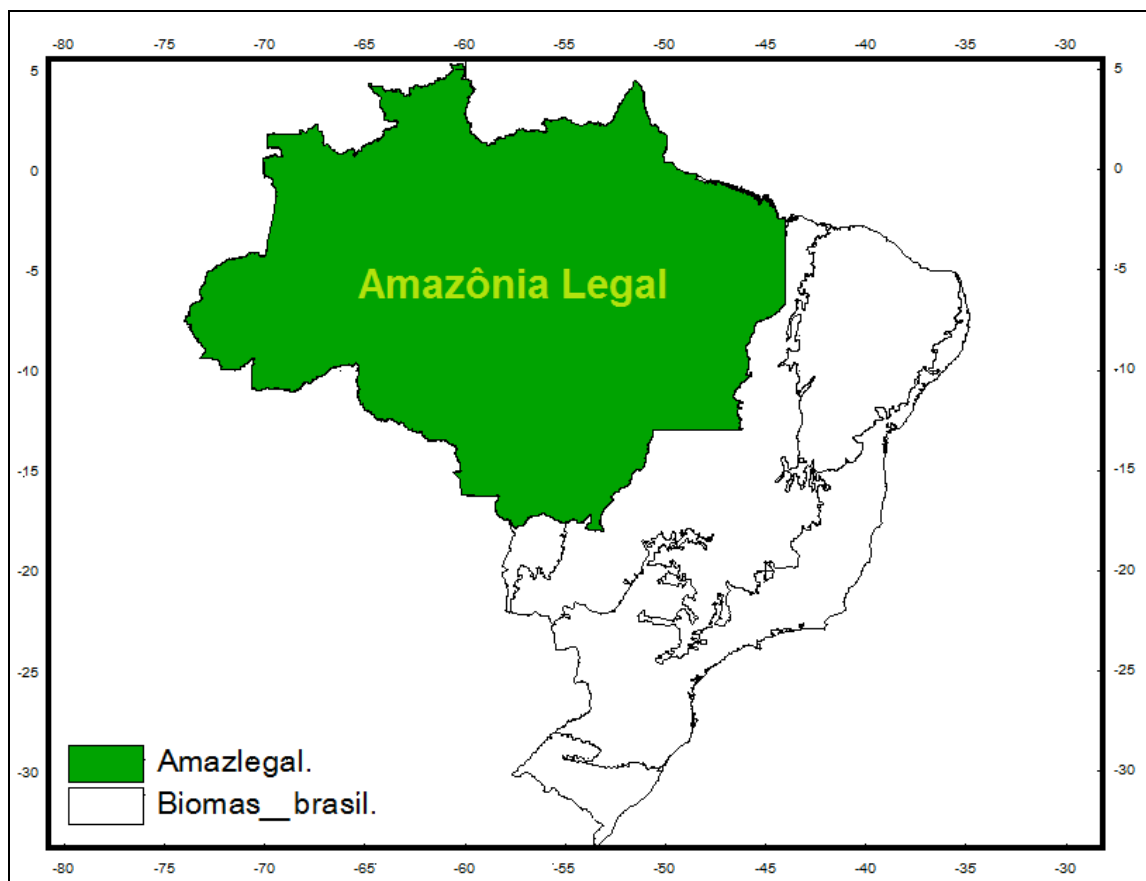
## **4. Materiais e Métodos**

### **4.1 Área de Estudo**

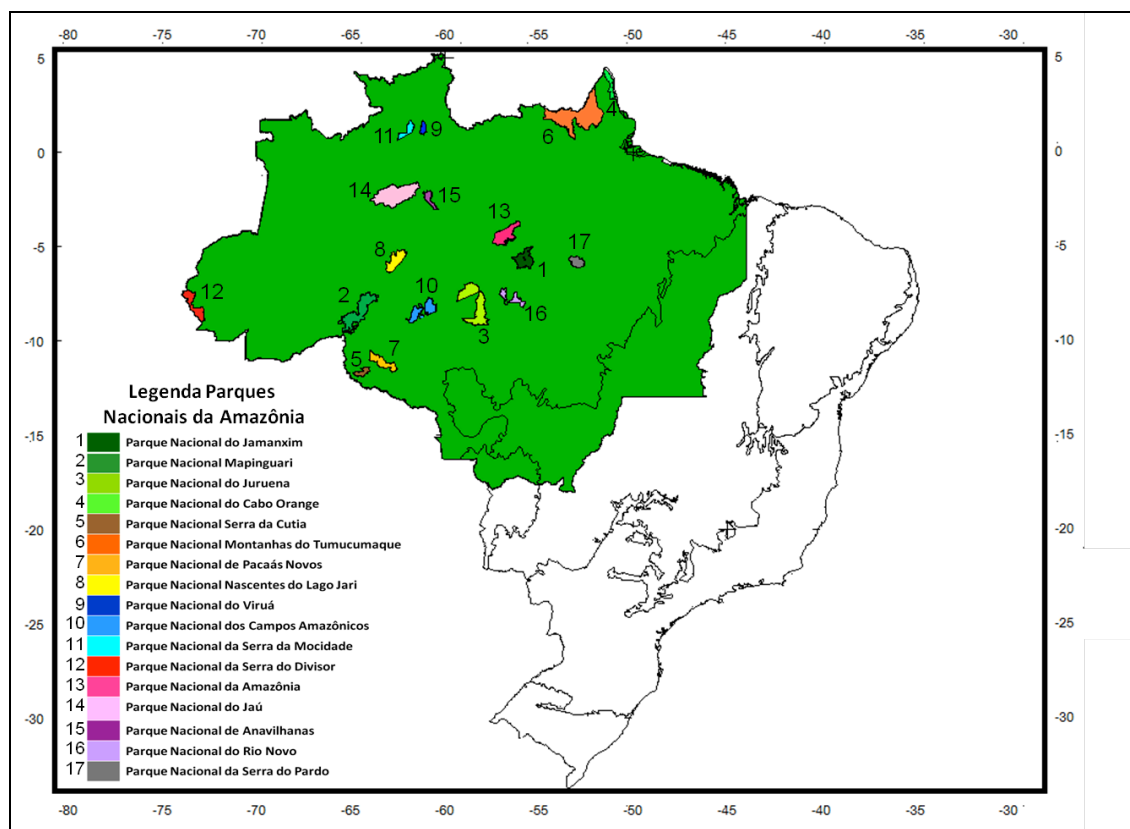
A área de estudo corresponde a toda extensão da Amazônia Legal. Entretanto, foram selecionadas 20 áreas em cada bioma (Amazônia e Cerrado), distribuídos em Unidades de Conservação, para obtenção dos parâmetros de fenologia (início e fim do ciclo de crescimento, comprimento, integral, amplitude e máximo), dos quais máximo e amplitude servirão como valores para parametrização dos principais tipos funcionais de plantas de cada bioma.

Desta forma, para o desenvolvimento da classificação, visando à caracterização da fenologia da vegetação, foram selecionadas 17 Unidades de Conservação situadas na área da Amazônia com predomínio de vegetação florestal e 17 Unidades de Conservação situadas na área de Cerrado com predomínio de vegetação savânica.

A Figura 1 indica a localização da Amazônia Legal, enquanto a Figura 2 indica às unidades de conservação na Amazônia e a Figura 3 as unidades de conservação no Cerrado.



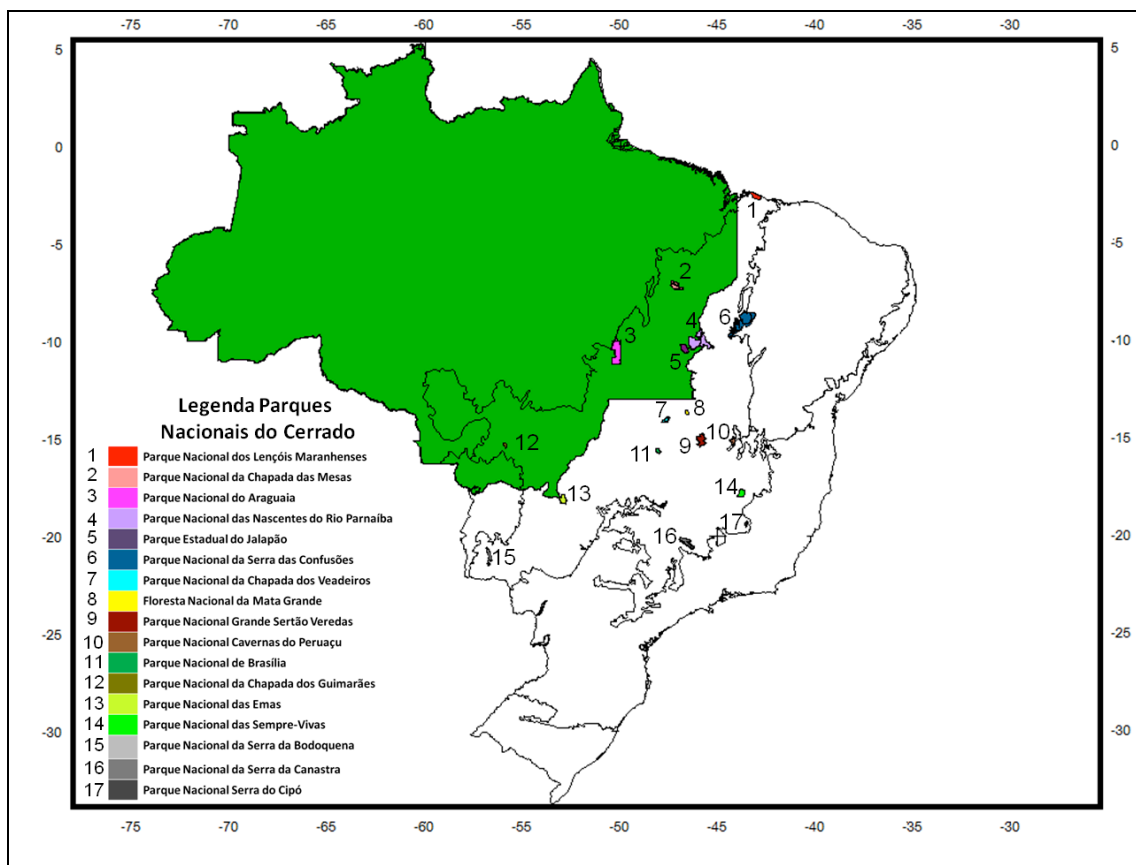
**Figura 1:** Região Amazônia Legal.



**Figura 2:** Unidades de Conservação localizadas na Amazônia.

**Tabela 1.** Características da vegetação existente nas áreas amostrais dentro dos Parques Nacionais da Amazônia segundo (socioambiental.org).

ÁREA (amostra)	PARQUE NACIONAL (PARNA)	FITOFISIONOMIA
1	PARNA da Serra do Divisor	Floresta Ombrófila Densa e Aberta
2	PARNA da Serra do Divisor	Floresta Ombrófila Densa e Aberta
3	PARNA Serra da Cutia	Savana, Formações Pioneiras, Floresta Ombrófila Aberta e Contato Savana-Floresta Ombrófila
4	PARNA Serra da Cutia	Savana, Formações Pioneiras, Floresta Ombrófila Aberta e Contato Savana-Floresta Ombrófila
5	PARNA Pcaás Novos	Savana, Floresta Ombrófila Aberta, Densa e Contato Savana Floresta Ombrófila
6	PARNA dos Campos Amazônicos	Floresta Ombrófila Aberta e Densa, Contato Savana-Formações Pioneiras, e Contato Savana-Floresta Ombrófila
7	PARNA dos Campos Amazônicos	Floresta Ombrófila Aberta e Densa, Contato Savana-Formações Pioneiras, e Contato Savana-Floresta Ombrófila
8	PARNA do Juruena	Floresta Ombrófila Densa e Aberta, Contato Savana-Floresta Ombrófila e Contato Savana-Floresta Estacional
9	PARNA do Juruena	Floresta Ombrófila Densa e Aberta, Contato Savana-Floresta Ombrófila e Contato Savana-Floresta Estacional
10	PARNA Nascentes do Lago Jari	Floresta Ombrófila Densa e Aberta
11	PARNA do Jaú	Floresta Ombrófila Densa e Aberta, Contato Campinarana-Floresta Ombrófila, Campinarana
12	PARNA de Anavilhas	Floresta Ombrófila Densa, Contato Campinarana-Floresta Ombrófila
13	PARNA Serra da Mocidade	Floresta Ombrófila Densa e Aberta, Contato Campinarana-Floresta Ombrófila, Campinarana
14	PARNA do Viruá	Campinarana, Contato Campinarana-Floresta Ombrófila
15	PARNA Montanhas Tumucumaque	Floresta Ombrófila Densa
16	PARNA Cabo Orange	Formações Pioneiras, Floresta Ombrófila Densa, Contato Savana-Floresta Ombrófila
17	PARNA da Amazônia	Floresta Ombrófila Densa e Aberta
18	PARNA da Amazônia	Floresta Ombrófila Densa e Aberta
19	PARNA do Jamanxim	Floresta Ombrófila Densa e Aberta
20	PARNA Serra do Pardo	Floresta Ombrófila Aberta, Contato Floresta



**Figura 3:** Unidades de Conservação localizadas no Cerrado.

**Tabela 2.** Características da vegetação existente nas áreas amostrais dentro dos Parques Nacionais do Cerrado segundo (socioambiental.org).

ÁREA (amostra)	PARQUE NACIONAL (PARNA)	FITOFISIONOMIA
1	PARNA Chapada dos Guimaráes	Savana
2	PARNA das Emas	Contato Savana-Formações Pioneiras, Savana
3	PARNA Serra da Bodoquena	Contato Savana-Floresta Estacional, Floresta Estacional Decidual, Savana
4	PARNA Serra da Bodoquena	Contato Savana-Floresta Estacional, Floresta Estacional Decidual, Savana
5	PARNA Araguaia	Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Contato Savana-Formações Pioneiras
6	PARNA Chapada dos Veadeiros	Contato Savana-Floresta Estacional, Floresta Estacional Semidecidual, Savana
7	PARNA Brasília	Contato Savana-Floresta Estacional, Contato Savana-Formações Pioneiras, Savana
8	PARNA Grande Sertão Veredas	Contato Savana-Formações Pioneiras, Savana
9	PARNA Cavernas do Peruaçu	Contato Savana Estépica-Floresta Estacional, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual
10	PARNA Nascentes do Rio Parnaíba	Contato Savana-Formações Pioneiras, Savana
11	PARNA Chapada das Mesas	Savana, Contato Savana-Formações Pioneiras
12	PARNA Serra das Confusões	Contato Savana Estépica-Floresta Estacional, Contato Savana-Floresta Estacional, Floresta Estacional Decidual, Savana Estépica
13	PARNA Serra das Confusões	Contato Savana Estépica-Floresta Estacional, Contato Savana-Floresta Estacional, Floresta Estacional Decidual, Savana Estépica
14	PARNA Sempre - Vivas	Contato Savana-Floresta Estacional, Refúgio Vegetacional, Savana
15	PARNA Serra do Cipó	Contato Savana-Floresta Estacional, Savana
16	PARNA Serra da Canastra	Contato Savana-Floresta Estacional, Savana
17	PARNA Serra da Canastra	Contato Savana-Floresta Estacional, Savana
18	PARNA Grande Sertão Veredas	Contato Savana-Formações Pioneiras, Savana
19	PARNA Nascentes do Rio Parnaíba	Contato Savana-Formações Pioneiras, Savana
20	Jalapão	

## 4.2 Materiais

- Dados de índices de vegetação (EVI) – composição de 16 dias – e resolução espacial de 1 km, disponibilizados pelo sensor MODIS, período: 2000 a 2013;
- Imagens obtidas do Google Earth;
- Software TIMESAT, ENVI, ArcView 3.2;
- Dados literatura.

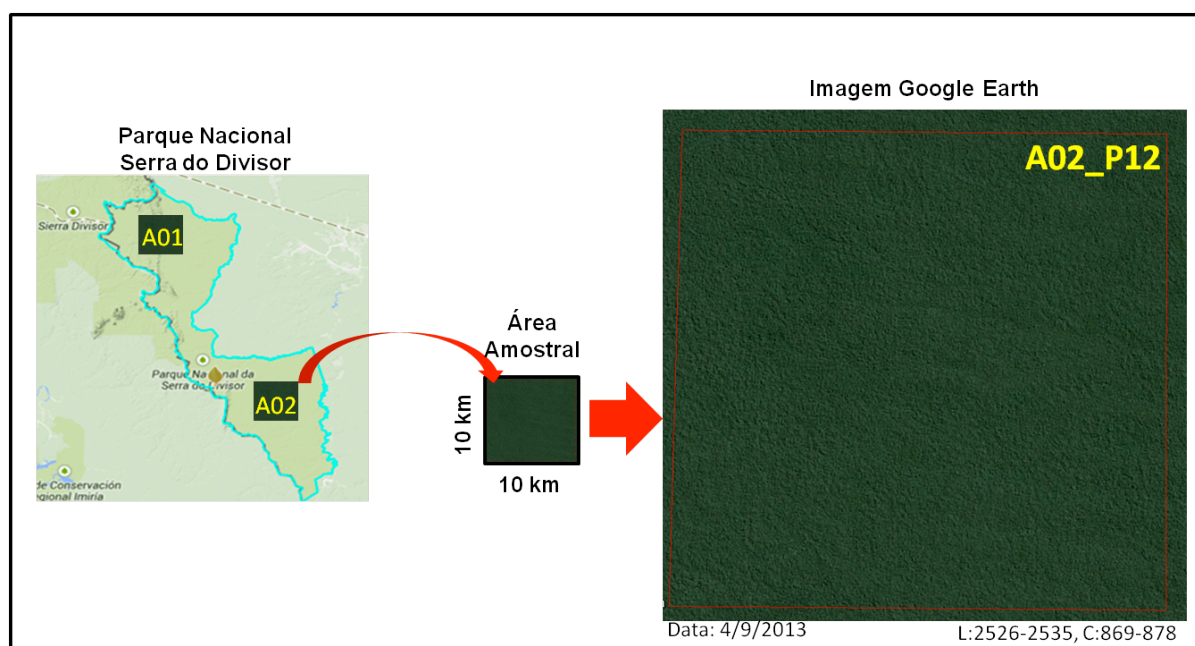
## 4.3 Métodos

### 4.3.1 Metodologia Geral

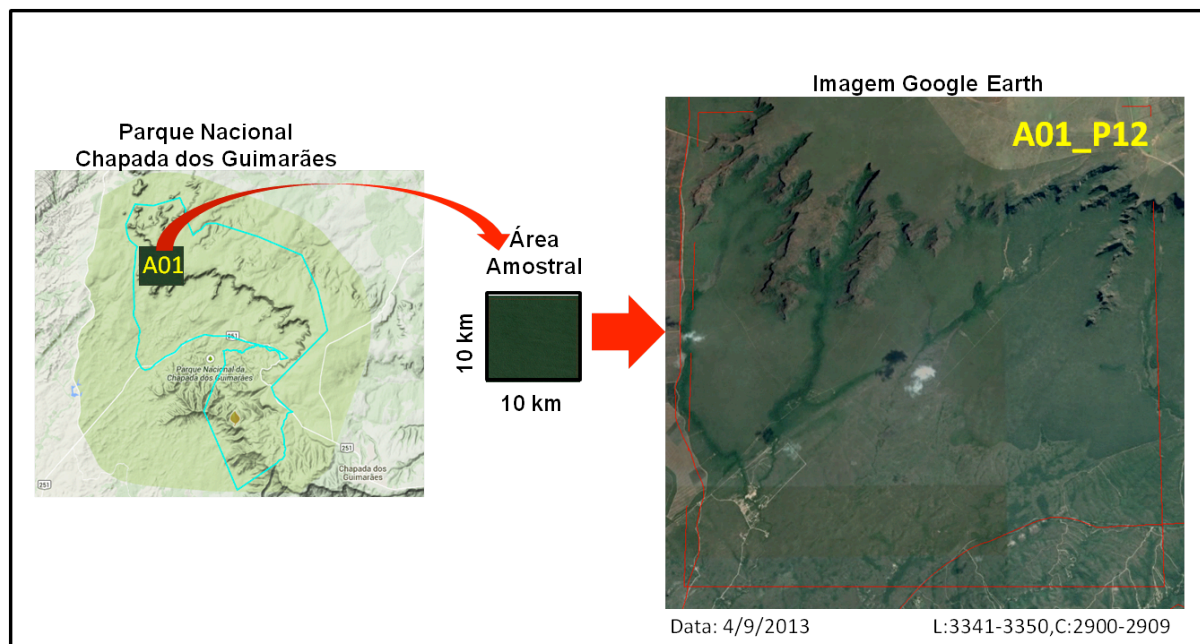
A metodologia proposta visa identificar e caracterizar os principais padrões de fenologia de formações florestais e savânicas usando técnicas de processamento espectral de imagens de sensoriamento remoto com objetivo final de classificar quatro principais tipos funcionais de plantas (TFPs.) nos biomas Amazônia e Cerrado.

### 4.3.2 Delineamento áreas amostrais

Inicialmente foi realizado um delineamento de 20 áreas amostrais (10 km x 10 km) as quais foram distribuídas dentro dos Parques Nacionais dos dois biomas brasileiros e feitas uma pré-análise da composição vegetal a partir de imagens obtidas do Google Earth.



**Figura 4:** Ilustração da definição da área amostral (A02) situada no Parque Nacional Serra do Divisor (P12), pertencente ao bioma Amazônia e sua respectiva imagem do Google Earth.



**Figura 5:** Ilustração da definição da área amostral (A01) situada no Parque Nacional Chapada dos Guimarães (P12), pertencente ao bioma Cerrado e sua respectiva imagem do Google Earth.

Após a definição das áreas, foram gerados arquivos de configuração para aplicação no TIMESAT e extração das métricas de fenologia.

Foram testados alguns parâmetros no Timesat objetivando eliminar os ruídos, representados pelos valores discrepantes (outliers, hikes e drops), de forma empírica, pois não há na literatura padronização destes valores, uma vez que eles dependem da natureza e intensidade de cada ruído (Ramme, 2010; Silva, 2012).

Os parâmetros utilizados foram: série temporal = 13 anos; quantidade de imagens por ano = 23; limite da amplitude (cut-off) = 0; spike = 2; adaptação = 2; e número de interações = 2, (Figura 6). Sendo cutoff o corte para amplitude do dado, onde o valor 0 processa todos os dados, o spike determina o grau de remoção de outliers, a adaptação indica a força de adaptação para o índice, e o número de interações é o ajuste que pode ser feito para ajuste do índice.

Os suavizadores de ruídos temporais utilizados na realização dos procedimentos de filtragens desta pesquisa estão implementados no software livre Timesat, o qual permite iterativamente que ajustes suaves de funções matemáticas sejam aplicados em séries temporais de dados de satélite ruidosos (Jnsson e Eklundh, 2002). Os desenvolvedores do Timesat (Jnsson e Eklundh, 2004) implementaram três algoritmos baseados no método dos



mínimos quadrados, sendo eles: Logística dupla, baseada em função harmônica e polinomial, filtragem adaptativa através do Savitzky-Golay e a função Gaussiana assimétrica.

Foi escolhido o método Savitzky-Golay, que é um método de filtragem adaptativa, baseado em média móvel e cujo valor da janela é pré-estabelecido conforme a natureza do ruído. Este método é considerado mais flexível em relação à suavização dos espectros temporais quando comparado aos demais filtros implementados no Timesat.

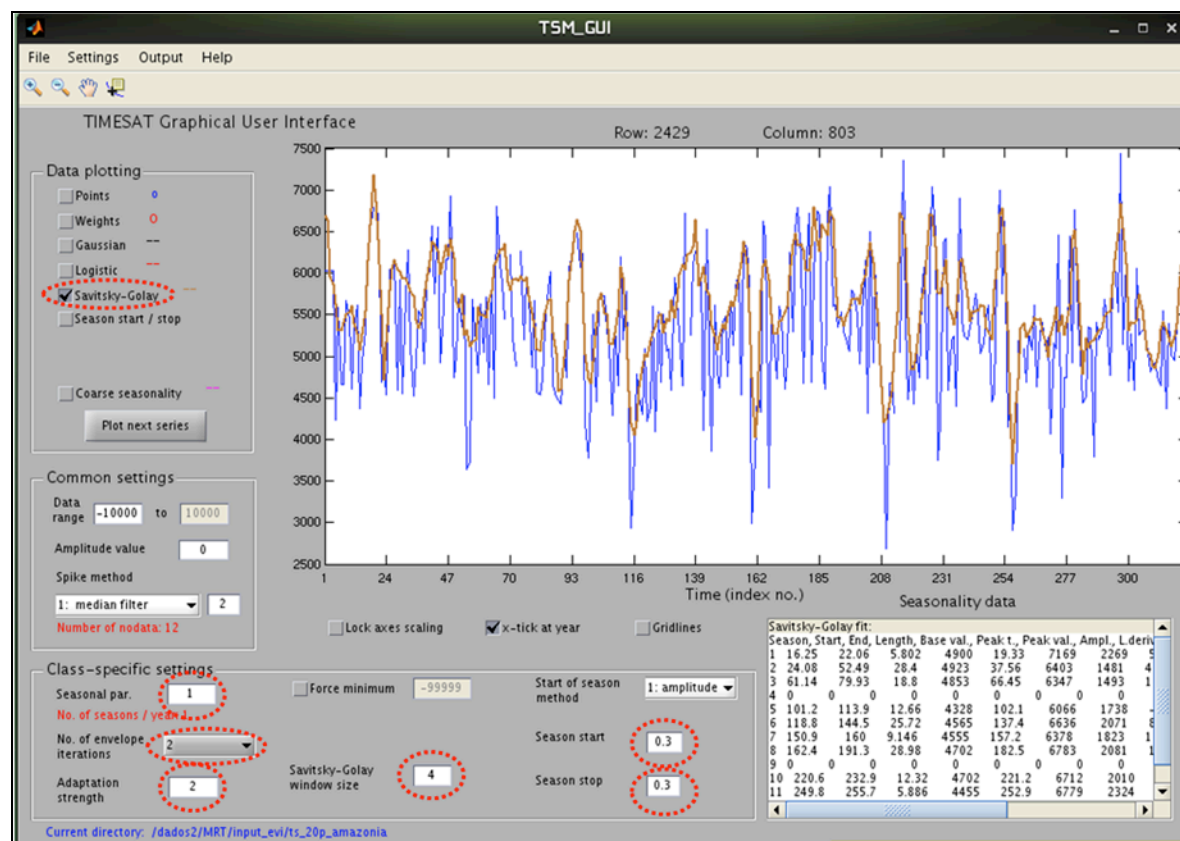


Figura 6: Imagem da série temporal de EVI período (2000 a 2013).

### 4.3.3 Classificação de tipos funcionais de plantas nos biomas Amazônia e Cerrado

Para iniciar a classificação dos tipos funcionais de plantas nos dois biomas brasileiros como Amazônia e Cerrado, foram utilizadas métricas de fenologia como amplitude, máximo e integral L, além de dados auxiliares como imagens Google Earth, as quais permitiram uma pré-caracterização da área, se floresta ou cerrado por exemplo.

Os dados de amplitude permitem inferir sobre a sazonalidade da vegetação, onde se espera encontrar maiores valores em regiões como o cerrado, enquanto que o parâmetro máximo permite verificar os valores máximos da produção vegetal, onde em áreas de floresta,

espera-se encontrar valores superiores de índice de vegetação. Já a integral L se refere à produtividade total.

Para realizar a caracterização dos tipos funcionais da Amazônia e Cerrado foi feita inicialmente uma classificação a qual possibilitou separar em 3 grupos os valores correspondentes das métricas máximo, amplitude e integral L em cada bioma. O critério de separação entre grupos foi o valor da métrica máximo, onde o Grupo 1 é referente aos valores que estão acima do quartil superior, o Grupo 2 é referente aos valores que estão entre o quartil superior e o quartil inferior e o Grupo 3 é referente aos valores que são menores ao quartil inferior. Desta maneira, este critério foi aplicado para cada ano nos dois biomas brasileiros, a Tabela 3 mostra os valores representativos que possibilitaram a classificação dos três grupos nos biomas.

Os ciclos da Tabela 3 correspondem aos 13 ciclos anuais, compreendidos entre os anos de 2000 a 2013. Assim o ciclo 1 corresponde ao período 2000-2001, o ciclo 2 ao 2001-2002 e assim sucessivamente.

**Tabela 3:** Intervalos de separação entre grupos nos biomas Amazônia e Cerrado. Onde G1 é todo valor acima do Quartil Superior, G2 valor entre Quartil Superior e Quartil Inferior e G3 todo valor abaixo do Quartil Inferior.

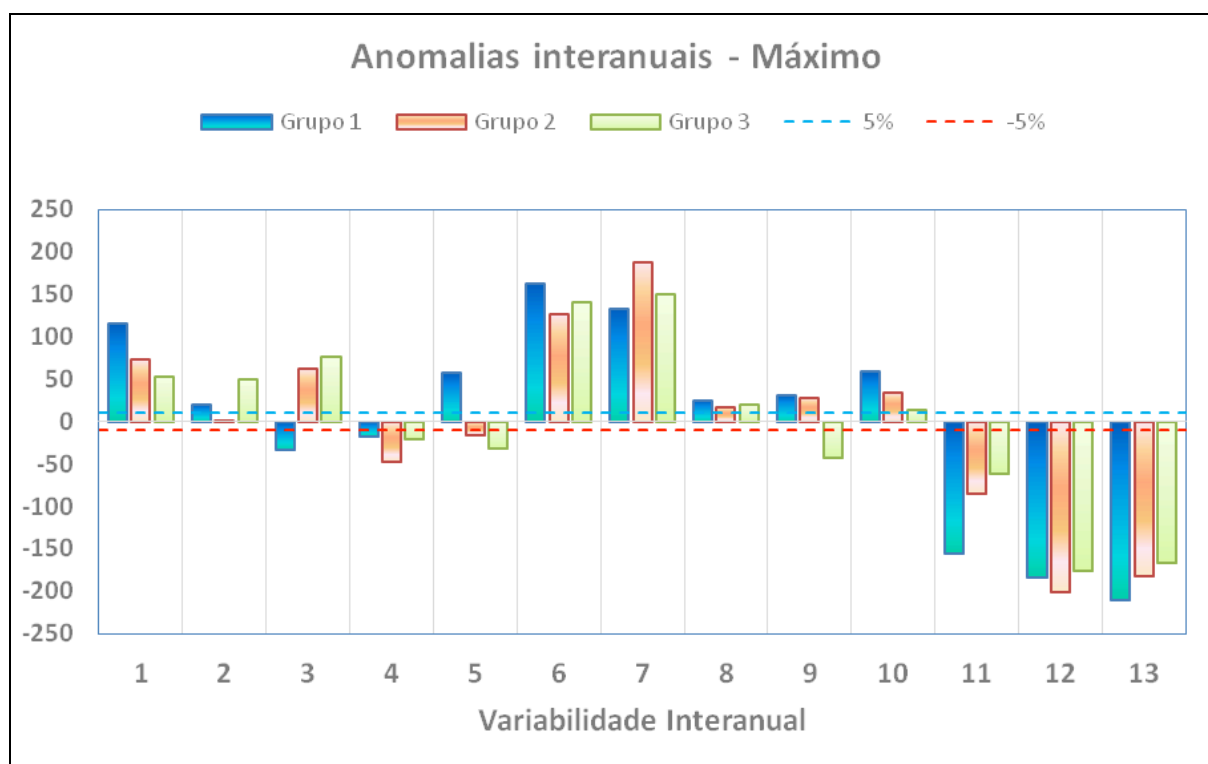
Intervalo Separação Grupos						
Ciclos	Amazônia			Cerrado		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
1	>6535	6535-6086	<6086	>5157	5157-4505	<4505
2	>6479	6479-6047	<6047	>5058	5058-4398	<4398
3	>6493	6493-6074	<6074	>5001	5001-4383	<4383
4	>6435	6435-5945	<5945	>5167	5167-4473	<4473
5	>6478	6478-5970	<5970	>5286	5286-4617	<4617
6	>6628	6628-6149	<6149	>5162	5162-4516	<4516
7	>6631	6631-6209	<6209	>5118	5118-4498	<4498
8	>6491	6491-6057	<6057	>5218	5218-4554	<4554
9	>6479	6479-6031	<6031	>5086	5086-4416	<4416
10	>6506	6506-6067	<6067	>5127	5127-4493	<4493
11	>6349	6349-5953	<5953	>5305	5305-4648	<4648
12	>6264	6264-5821	<5821	>4937	4937-4256	<4256
13	>6256	6256-5852	<5852	>5072	5072-4396	<4396

Após esta primeira separação de grupos, foi feita a análise de agrupamento pelo método Cluster. Análise de agrupamento, ou clustering, é o nome dado para o grupo de técnicas computacionais cujo propósito consiste em separar objetos em grupos, baseando-se nas características que estes objetos possuem (Linden, R. 2009). A ideia básica consiste em colocar em um mesmo grupo objetos que sejam similares de acordo com algum critério pré-determinado. Estes grupos darão suporte para classificação final dos tipos funcionais nos biomas brasileiros.

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1 Classificação na Amazônia

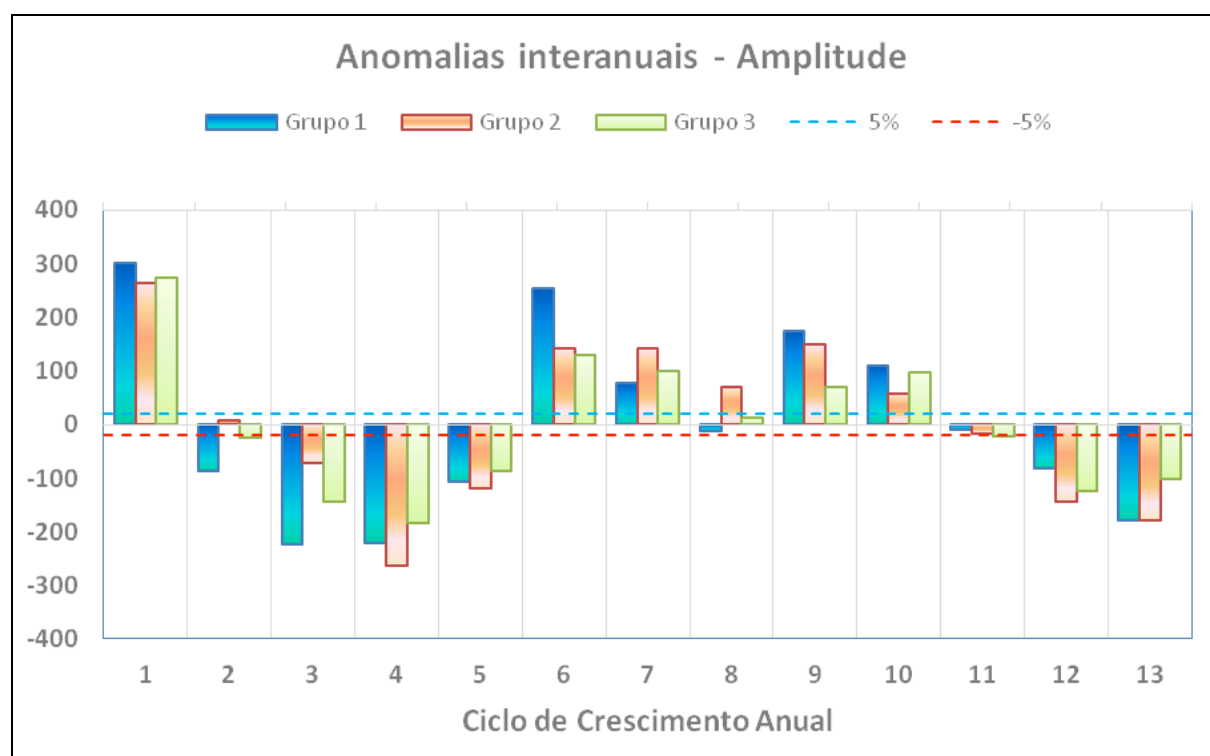
A Figura 7 ilustra a variabilidade interanual da métrica de fenologia máximo valor do EVI (no ciclo anual) na Amazônia com destaque para anomalia ao longo da série temporal de 13 anos. Análise de anomalia mostra que todos os valores superiores a 5% são valores de anomalia positivo, os que estão abaixo deste valor são considerados como anomalia negativa. Observa-se que são poucos os valores que estão dentro da faixa de variação esperada (normal).



**Figura 7:** Variação interanual dos 13 ciclos anuais (2000 a 2013) de anomalia para a métrica de fenologia Máximo na Amazônia, onde a faixa azul e vermelha indicam a faixa de variação normal.

O Máximo de desenvolvimento da vegetação apresentou valores de anomalia positivo em dois anos consecutivos, em 2006 e 2007, e valores de anomalia negativos em três anos consecutivos, 2011, 2012 e 2013. A mudança interanual revela o comportamento da vegetação nos grupos, que pode sofrer alterações de ano para ano, fato que pode ser relacionado às diversas interações da vegetação com variações climáticas, edáficas e antrópicas.

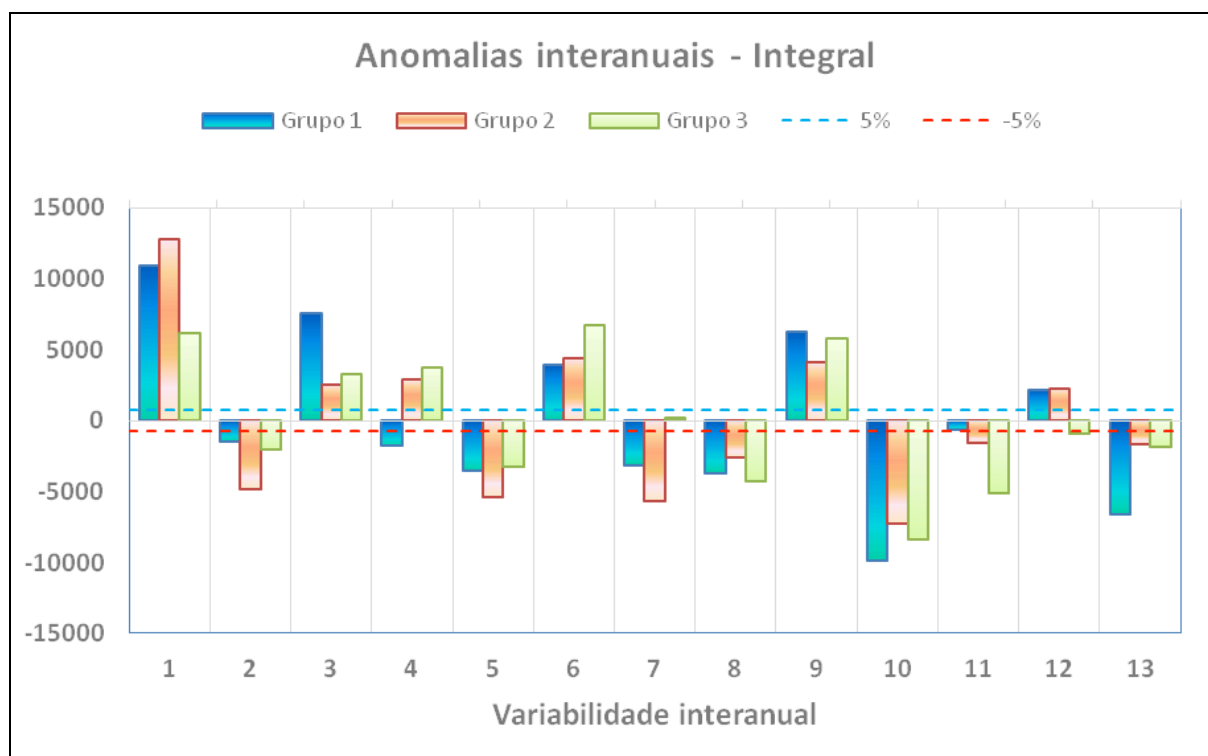
A Figura 8, representa a variabilidade interanual da métrica de fenologia Amplitude na Amazônia, métrica que revela o grau de sazonalidade da vegetação. Observa-se que a amplitude revelou um padrão de anomalia nos anos 2002, 2003, 2004 e 2005. Vale ressaltar que o ano de 2005 e 2010, houve o fenômeno El Niño, que causam diminuição na precipitação que por sua vez aumenta a secas na Amazônia, causando perda de carbono, devido a perda das folhas da vegetação. Em seguida, em 2006 a 2010, nota-se a inversão da anomalia, sendo esta positiva, já em 2011 a 2013 a anomalia volta a ser negativa.



**Figura 8:** Variação interanual dos 13 ciclos anuais (2000 a 2013) de anomalia para a métrica de fenologia Amplitude na Amazônia, onde a faixa azul e vermelha indicam a faixa de variação normal.

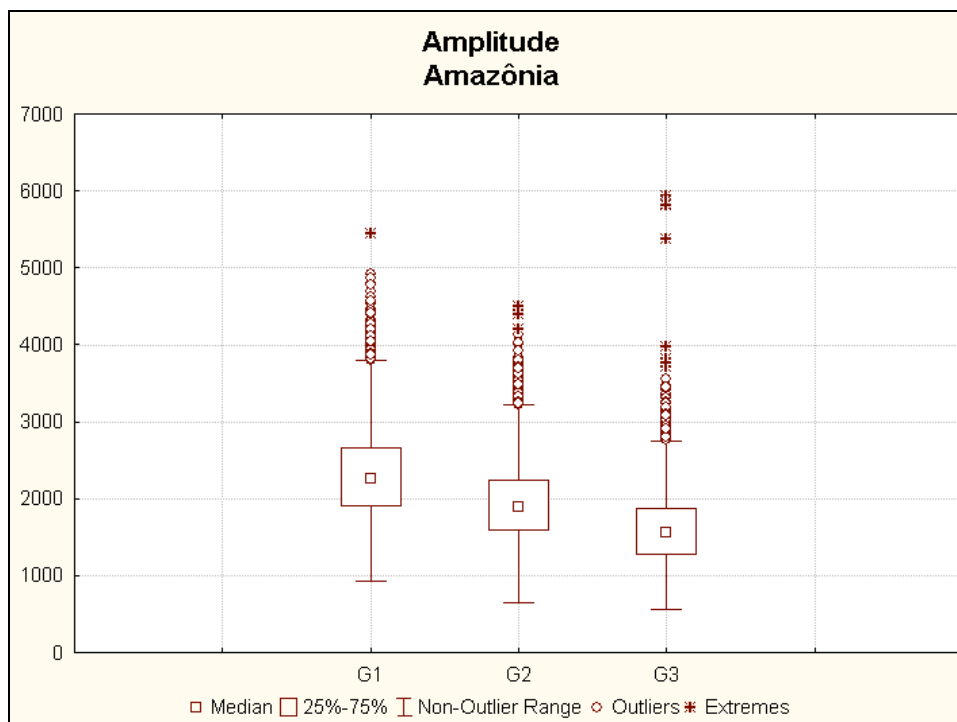
Ao comparar as Figuras 7 e 8, observa-se que os valores de anomalia não seguem o mesmo padrão, ocorrendo em anos diferentes.

A Figura 9 representa a variabilidade interanual da métrica de fenologia integral L na Amazônia, métrica que revela a produtividade total da vegetação. Observa-se que para esta métrica, houve alta variabilidade entre os anos, tendo como anomalia positiva nos anos 2001, 2003, 2006, 2009 enquanto que para os anos 2002, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 e 2013 a anomalia foi negativa.



**Figura 9:** Variação interanual dos 13 ciclos anuais (2000 a 2013) de anomalia para a métrica de fenologia Integral L na Amazônia, onde a faixa azul e vermelha indicam a faixa de variação normal.

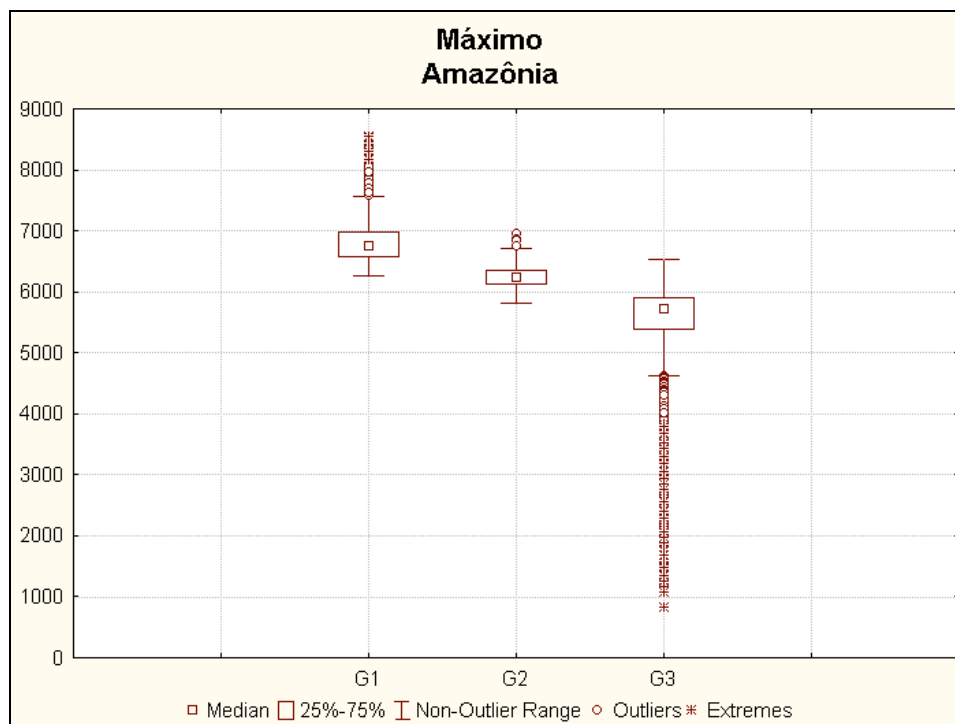
A Figura 10 mostra a comparação da métrica Amplitude para os três grupos na Amazônia.



**Figura 10.** Comparação entre grupos para métrica Amplitude na Amazônia.

Ao analisar o gráfico boxplot, nota-se que a métrica amplitude nos grupos seguiu um padrão decrescente, com valores maiores no Grupo 1, seguido do Grupo 2 e por fim o Grupo 3. Os valores medianos do Grupo 1 foi igual a 2327, de 1948 para Grupo 2 e o Grupo 3 com valor mediano igual a 1611. A maior diferença entre os grupos é entre o Grupo 1 e Grupo 3, com diferença de 716, seguida do Grupo 1 e Grupo 2 com diferença igual a 379 e o Grupo 2 com Grupo 3 apresentaram uma diferença de 337. Embora o boxplot nos três grupos apresentaram valores de *outliers*, valores que não estão dentro do que se espera, o grupos obedeceram ao padrão que se esperava devido a classificação feita através dos valores da métrica máximo.

Os valores de amplitude retratam o grau de sazonalidade existente na vegetação, e os valores encontrados em geral para os três grupos foram baixos, menores a 4000, revelando o comportamento esperado em floresta.



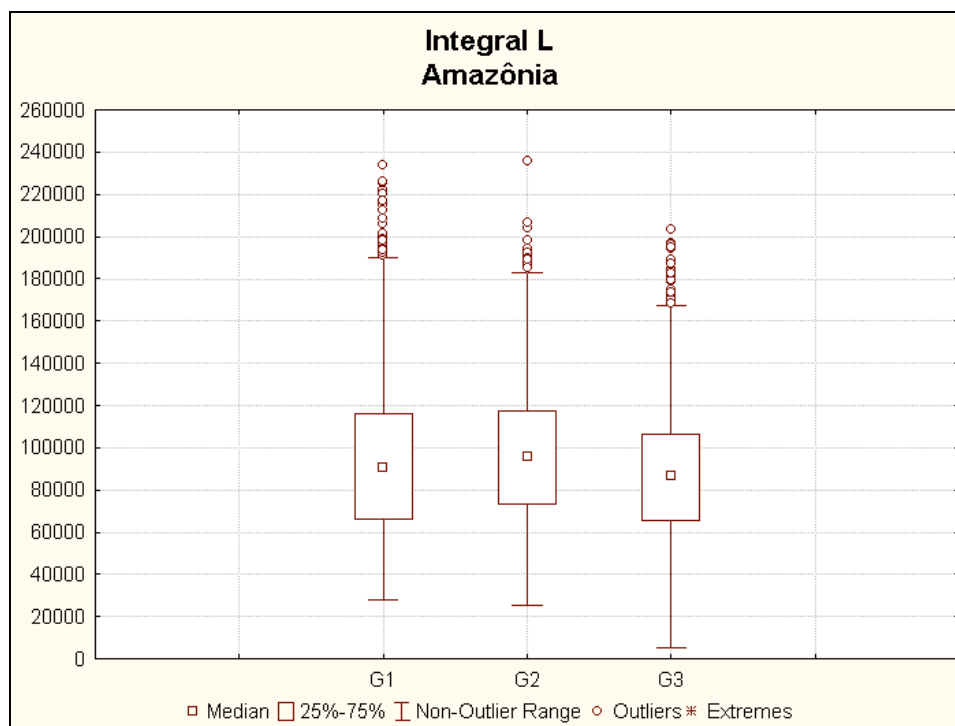
**Figura 11.** Comparação entre grupos para métrica Máximo na Amazônia.

A Figura 11 mostra o resultado da comparação da métrica Máximo para os três grupos na Amazônia. Os valores da métrica máximo revelam em qual grupo a produtividade da vegetação, através do índice de vegetação EVI, foi maior, e ao observar o resultado do boxplot pode-se concluir que os grupos também seguiram um padrão decrescente, onde os maiores valores de máximo é no Grupo 1, seguida do Grupo 2 e Grupo 3. O valor mediano do Grupo 1 é igual a 6812, para o Grupo 2 igual a 6328 e Grupo 3 com valor igual a 5496. A maior diferença entre os grupos é entre o Grupo 1 e Grupo 3, com diferença de 1316, seguida do Grupo 2 e Grupo 3 com diferença igual a 742 e o Grupo 1 com Grupo 2 apresentaram uma diferença de 574.

A Figura 12 mostra o resultado da comparação da métrica Integral L para os três grupos na Amazônia. A integral L mede a área compreendida entre o máximo EVI e o piso definido no valor de 0 EVI. Os valores da integral L representam uma medida da produção total da vegetação, é calculado pela área entre a função ajustada e o nível zero.

Ao analisar o boxplot nota-se que não houve uma grande diferenciação entre os três grupos analisados e esta métrica não apresentou o mesmo padrão das demais métricas anteriores. A mediana do Grupo 2 foi maior e igual a 95647, em seguida do Grupo 1 que foi igual a 92756 e finalmente o Grupo 3 com valor igual a 86819. A análise de diferença entre os grupos revelam uma diferença negativa entre o Grupo 1 e Grupo 2, e com maior diferença

entre o Grupo 2 e Grupo 3 com diferença igual a 8828 e o Grupo 1 com Grupo 3 apresentaram uma diferença de 5937.



**Figura 12.** Comparação entre grupos para métrica Integral L na Amazônia.

A Tabela 4 representa os valores relacionados à correlação não paramétrica, a qual avalia a relação entre as métricas de fenologia em cada grupo na Amazônia.



**Tabela 4.** Resultado da análise de Correlação para os três grupos e para as três métricas de fenologia na Amazônia. Os valores destacado em vermelho indicam correlação significativa ao 95% ( $p < 0,5$ ) e representam a correlação mais alta entre as variáveis analisadas.

Ciclos	Análise Correlação Amazônia								
	Amp x Max			Amp x Integ L			Max x Integ L		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	G1	G2	G3
Ano 1	<b>0.50</b>	0.11	0.14	0.03	0.15	0.42	-0.33	0.26	0.36
Ano 2	0.03	-0.06	<b>-0.52</b>	0.28	0.05	0.28	0.37	0.42	-0.02
Ano 3	0.29	-0.12	0.03	0.25	0.10	0.39	-0.21	<b>-0.57</b>	0.46
Ano 4	0.36	0.13	0.13	0.00	-0.05	-0.24	-0.22	0.27	0.25
Ano 5	0.26	-0.39	-0.05	0.39	0.10	0.04	0.10	-0.05	0.08
Ano 6	-0.19	-0.40	-0.22	0.13	0.02	-0.06	<b>-0.52</b>	0.02	-0.02
Ano 7	0.38	-0.16	0.31	<b>0.48</b>	0.13	<b>0.59</b>	-0.21	0.05	0.35
Ano 8	0.45	0.24	-0.02	0.03	0.16	0.47	<b>0.56</b>	<b>0.65</b>	0.17
Ano 9	0.18	-0.15	0.34	-0.30	-0.05	0.31	-0.04	0.20	0.57
Ano 10	0.16	0.06	0.17	0.01	-0.11	0.35	-0.28	-0.27	-0.14
Ano 11	0.01	-0.20	0.32	<b>-0.59</b>	0.06	0.06	-0.20	0.28	0.05
Ano 12	-0.22	-0.34	0.11	0.29	0.32	0.43	-0.40	0.34	0.25
Ano 13	-0.36	-0.32	-0.14	0.22	0.41	0.43	-0.15	<b>-0.50</b>	-0.03
Desvio Padrão	0.26	0.20	0.23	0.28	0.14	0.23	0.29	0.34	0.21
Máximo	0.50	0.24	0.34	0.48	0.41	0.59	0.56	0.65	0.57
Mínimo	-0.36	-0.40	-0.52	-0.59	-0.11	-0.24	-0.52	-0.57	-0.14

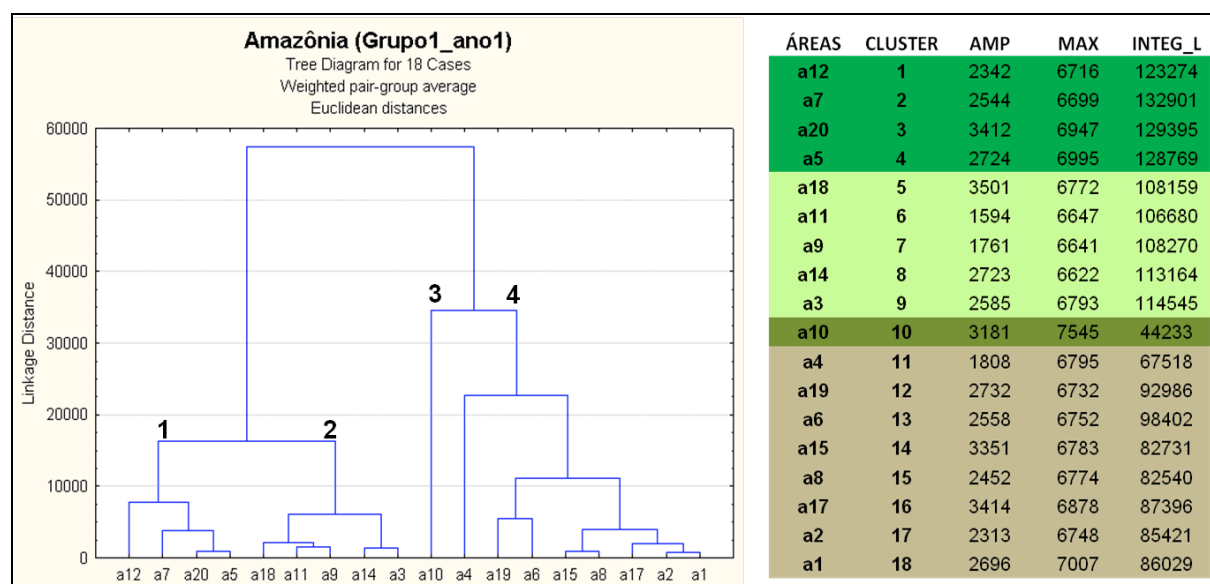
Os valores destacado em vermelho indicam correlação significativa ao 95% ( $p < 0,5$ ) e representam a correlação mais alta entre as variáveis analisadas. Em geral, o Grupo 1 apresentou a maior variabilidade entre os ciclos (anos), com desvio padrão de 0.26 (relação entre Amplitude e Máximo), 0.28 (relação entre Amplitude e Integral L) e 0.29 (relação entre Máximo e Integral L). Ainda no Grupo 1, pode observar que a maior correlação positiva, com valor máximo de 0.50 foi no ano1, de 0.48 no ano 7, e 0.56 no ano8. Houve uma correlação alta e negativa de -0.59 no ano 11 quando analisa a relação entre Amplitude e Integral L, o que era esperado uma vez que estas métricas são inversamente relacionadas, quanto maior integral L menor a amplitude, mostrando um comportamento de vegetação de floresta.

Em geral, o Grupo 2 não apresentou uma correlação significativa entre os ciclos (anos), com desvio padrão de 0.20 (relação entre Amplitude e Máximo), 0.14 (relação entre Amplitude e Integral L) e 0.34 (relação entre Máximo e Integral L). O Grupo 2, apresentou correlação positiva e significativa com valor máximo de 0.65 no ano8, e correlação negativa significativa com valor de -0.57 no ano3.

Já o Grupo 3 apresentou desvio padrão de 0.23 (relação entre Amplitude e Máximo), 0.23 (relação entre Amplitude e Integral L) e 0.21 (relação entre Máximo e Integral L). Pode observar que a maior correlação positiva e significativa encontrada no Grupo 3, foi a de 0.59 no ano 7 e a correlação negativa de -0.52 no ano 2.

Através dos resultados obtidos pela Tabela 4, foram selecionados gráficos que representam a análise de agrupamento (cluster), o critério de seleção foi baseado nos valores significativos da correlação (positivo e negativo).

A Figura 13 mostra o resultado da análise de cluster para o Grupo 1 e ano 1, que teve correlação significativa e positiva de 0.50 encontrado para as métricas Amplitude e Máximo.



**Figura 13.** Dendrograma com agrupamento para os blocos das áreas de pesquisa na Amazônia, Grupo 1 e ano 1, utilizando distância euclidiana e o método WPGE.

Foram identificados quatro grupos através da análise de agrupamento, onde observa que o terceiro grupo (área 10) se apresenta de forma diferenciada dos demais.

O primeiro grupo é constituído por quatro áreas, representando 22% do agrupamento. Os valores encontrados nas três métricas de fenologia neste primeiro grupo mostram que para a métrica amplitude, os valores estão abaixo do valor máximo que é de 3501. Ao analisar a integral L observa-se que este grupo possui os valores máximos, com valor de integral L igual a 132901, e para a métrica máximo, os valores estão acima do valor mínimo (6622). O comportamento encontrado neste grupo, o baixo valor de amplitude, alto valor de integral L e valor médio (6825) da métrica máximo, sugere que neste grupo exista uma vegetação com baixa sazonalidade e com alta produção de folhas, característica da vegetação de floresta.

A distância euclidiana entre as áreas do primeiro grupo variou de 0 a 6700. Estas áreas estão inseridas dentro dos parques nacionais, como ilustra a Tabela 1. Embora espacialmente estas áreas estejam distantes, as relações entre a composição da vegetação destas áreas através do agrupamento estão próximas, apresentando padrões similares entre as métricas de fenologia Amplitude, Máximo e Integral L.

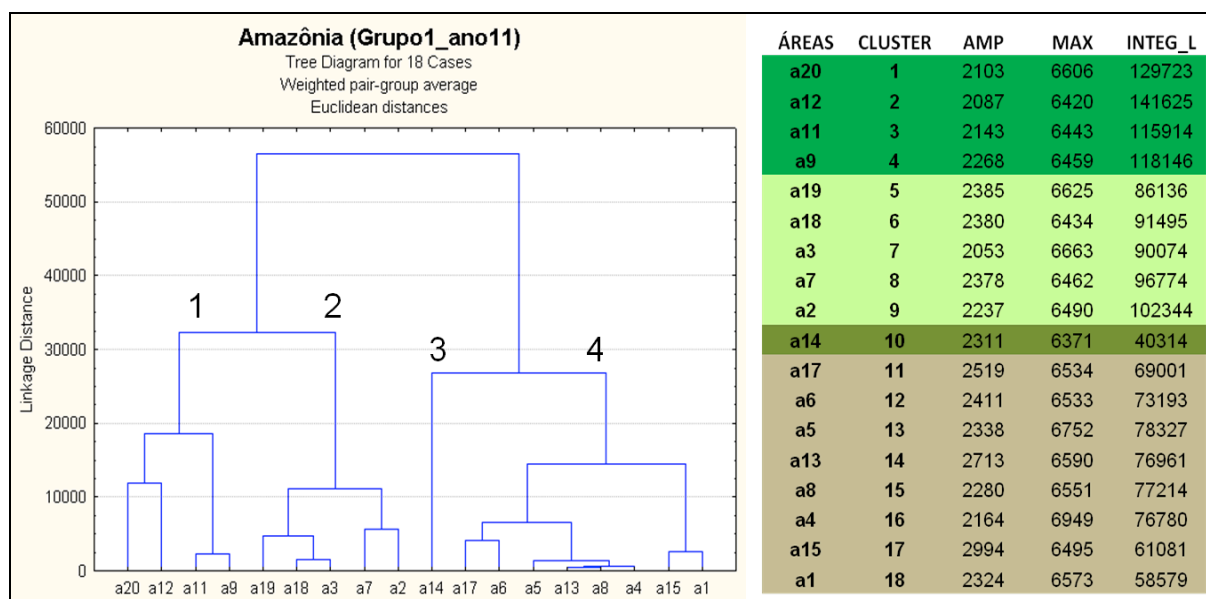
O segundo grupo reúne cinco áreas com 28%, e os valores encontrados nas três métricas de fenologia neste grupo mostram que para a métrica amplitude, os valores estão entre o valor máximo (3501) e mínimo (1594). Ao analisar a integral L observa-se que este grupo possui valores acima do valor mínimo (44233) e abaixo do valor máximo (132901) e apresentando o valor da métrica máximo o mesmo comportamento, valores acima do valor mínimo de 6622 e valores abaixo da máxima (7545). Este grupo apresentou uma distância entre 0 e 3367. Já o quarto grupo, que é formado pela maioria das áreas, representando 44% do agrupamento e a maior distância euclidiana 23333, apresentou a maior heterogeneidade entre as áreas, formando subgrupos dentro do mesmo cluster. Os valores encontrados nas três métricas de fenologia neste grupo mostram que os valores são superiores a média, amplitude superiores a média que possui valor igual a 2649, para máximo com valores superiores a 6622 e integral L com valores igual e superiores a média de 44233.

A Figura 14 mostra o resultado para análise de cluster para o Grupo 1 e ano 11, que teve correlação significativa e negativa de - 0.59 encontrado para as métricas Amplitude e Integral L.

Foram identificados quatro grupos através da análise de agrupamento, onde observa que o terceiro grupo (área 14) se apresenta de forma diferenciada dos demais. O primeiro grupo também é constituído por quatro áreas, representando 22% do agrupamento. Os valores encontrados nas três métricas de fenologia neste primeiro grupo mostram que para a métrica amplitude, os valores estão abaixo do valor mínimo que é de 2994. Ao analisar a integral L observa-se que este grupo possui os valores máximos, com maior valor de integral L igual a 141625, e para a métrica máximo, os valores estão acima do valor mínimo (6371). A distância euclidiana entre as áreas do primeiro grupo variou de 0 a 16667.

O segundo grupo reúne cinco áreas com 28%, com distância entre 0 a 10000. Os valores encontrados nas três métricas de fenologia neste grupo mostram que para a métrica amplitude, os valores se encontram entre o mínimo (2053) e médios (2338). Para métrica integral L, os valores se encontram acima da média (87982) e a métrica máximo, os valores são superiores ao mínimo (6371). O quarto grupo que é formado pela maioria das áreas,

representando 44% do agrupamento e os valores da distância euclidiana situam entre 0 a 13333. Os valores encontrados na métrica amplitude, em geral foram maiores neste grupo, com valores superiores a média (2338). O mesmo comportamento foi identificado para a métrica máximo, este grupo apresentou os maiores valores em comparação aos demais. E ao analisar a integral L, o comportamento é inverso, os valores são maiores que o mínimo (40314) e menores que a mediana (87982), apresentando os menores valores em relação aos demais grupos.



**Figura 14.** Dendrograma com agrupamento para os blocos das áreas de pesquisa na Amazônia, Grupo 1 e ano 11, utilizando distância euclidiana e o método WPGE.

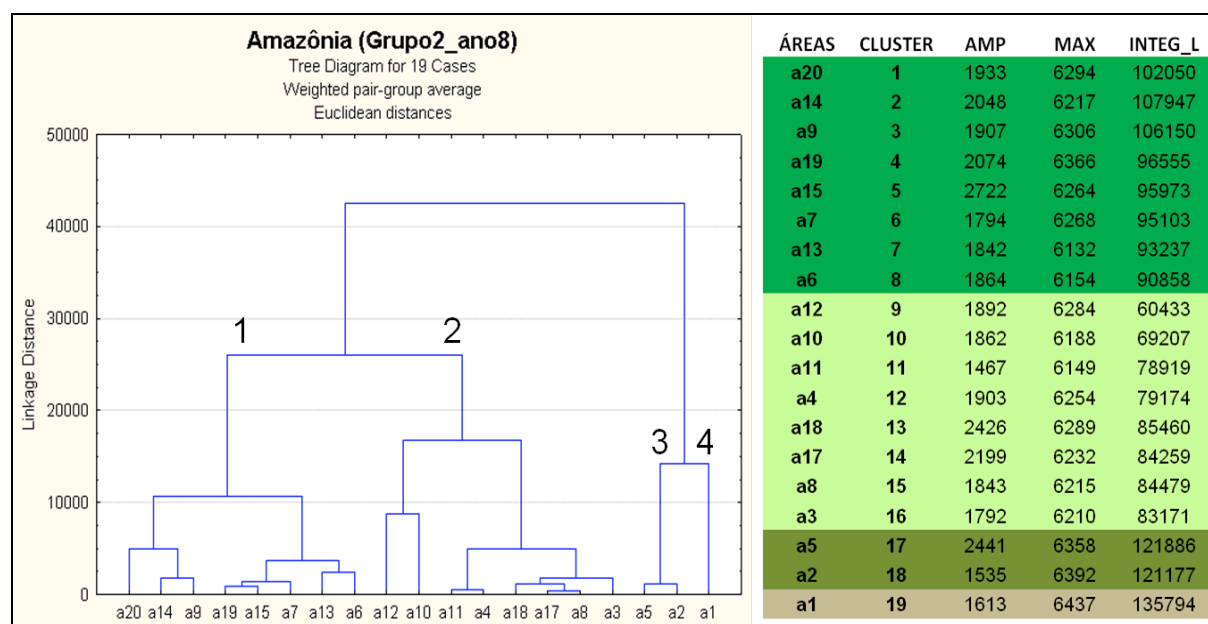
Através destas análises do Grupo 1 (que foram classificados através dos valores da métrica máxima maiores que o Quartil Superior) para o ano 1 e 11, pode observar que o agrupamento (a partir da análise de cluster) vai variar ao longo dos anos, fato que pode ser explicado pelas variações da vegetação. Contudo, este grupo apresentou características que eram esperadas para vegetação de floresta.

A Figura 15 mostra a análise de cluster para o Grupo 2 (que foram classificados através dos valores da métrica máximo e estão situados entre o Quartil Superior e Quartil Inferior).

A Figura 15 mostra o resultado para análise de cluster para o Grupo 2 e ano 8, que teve correlação significativa e positiva de 0.65 encontrada para as métricas Máximo e Integral L.

Foram identificados quatro grupos através da análise de agrupamento, onde observa que o quarto grupo (área 1) se apresenta de forma diferenciada dos demais. O primeiro grupo é constituído por oito áreas, representando 42% do agrupamento. Os valores encontrados nas três métricas de fenologia neste primeiro grupo mostram que para a métrica amplitude, os valores estão acima do valor mínimo que é de 1467. Ao analisar a integral L observa-se que este grupo possui valores altos, com o maior valor de integral L igual a 107947. A métrica máximo, os valores estão iguais e maiores que o valor mínimo (6132). A distância euclidiana entre as áreas do primeiro grupo variou de 0 a 10000.

O segundo grupo também reúne oito áreas com 42%, com distância entre 0 a 16666. Os valores encontrados nas três métricas de fenologia neste grupo mostram que para a métrica amplitude, os valores são iguais e maiores que o valor mínimo de 1467. Os valores da métrica integral L se encontram entre os valores mínimos (60433) e valores menores a mediana (94307). Já os valores da métrica máximo neste grupo, os valores são superiores ao mínimo de 6132. E finalmente o quarto grupo que é formado pela minoria das áreas, representando 11% do agrupamento e os menores valores da distância euclidiana.



**Figura 15.** Dendrograma com agrupamento para os blocos das áreas de pesquisa na Amazônia, Grupo 2 e ano 8, utilizando distância euclidiana e o método WPGE.

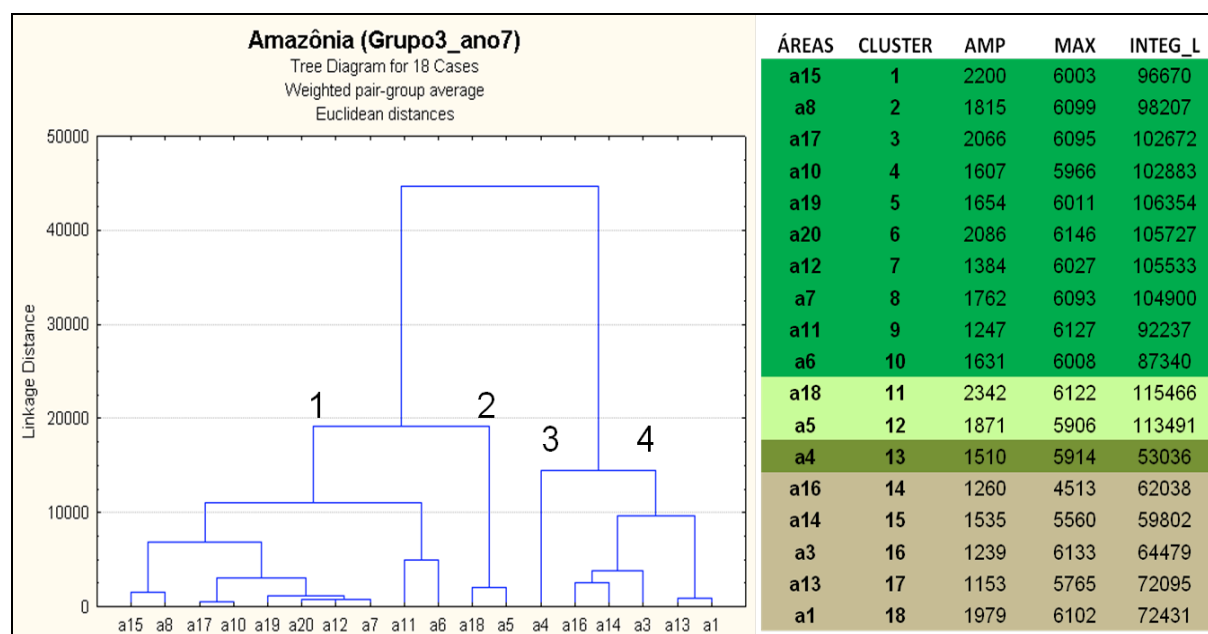
A Figura 16 mostra a análise de cluster para o Grupo 3 (que foram classificados através dos valores maiores e estão situados entre o Quartil Superior e Quartil Inferior).

Observa-se que o resultado para análise de cluster para o Grupo 3 e ano 7, que teve correlação significativa e positiva de 0.59 encontrada para métricas Amplitude e Integral L, foram identificados quatro grupos. O terceiro grupo (área 4) se apresenta de forma diferenciada dos demais.

O primeiro grupo é constituído por dez áreas, representando 56% do agrupamento. Ao analisar os valores da amplitude neste grupo, observa-se que são maiores que o valor mínimo (1153), o valor máximo maior que o valor médio (4513) e a Integral L em geral também apresentou valores maiores que a média (89742). A distância euclidiana entre as áreas do primeiro grupo variou de 0 a 10000.

O segundo grupo reúne duas áreas com 11%, com distância entre 0 a 3333. Os valores neste grupo de amplitude se encontram entre o máximo (2342) e maior que a mediana (1686). O máximo maior que o valor mínimo (4513) e Integral L com valor máximo (115466) e valor superior a mediana (89742).

O quarto grupo que é formado por cinco áreas, representando 28% do agrupamento e valores da distância euclidiana situada entre 0 a 3336. Apresentou valores da amplitude superiores ao valor mínimo (1153), o máximo entre o valor mínimo (4513) e valores menores que o máximo (6146). A integral L, este grupo apresentou valores menores a média (89742).

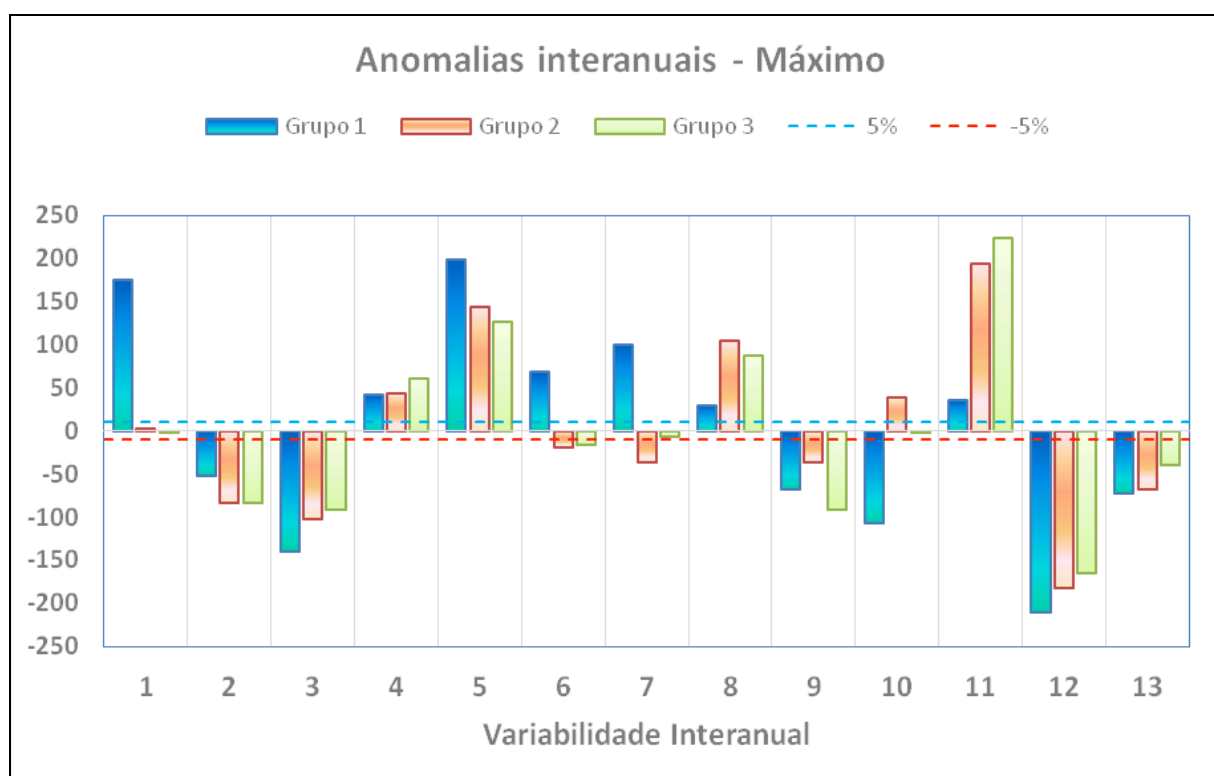


**Figura 16.** Dendrograma com agrupamento para os blocos das áreas de pesquisa na Amazônia, Grupo 3 e ano 7, utilizando distância euclidiana e o método WPGE.

## 5.2 Classificação no Cerrado

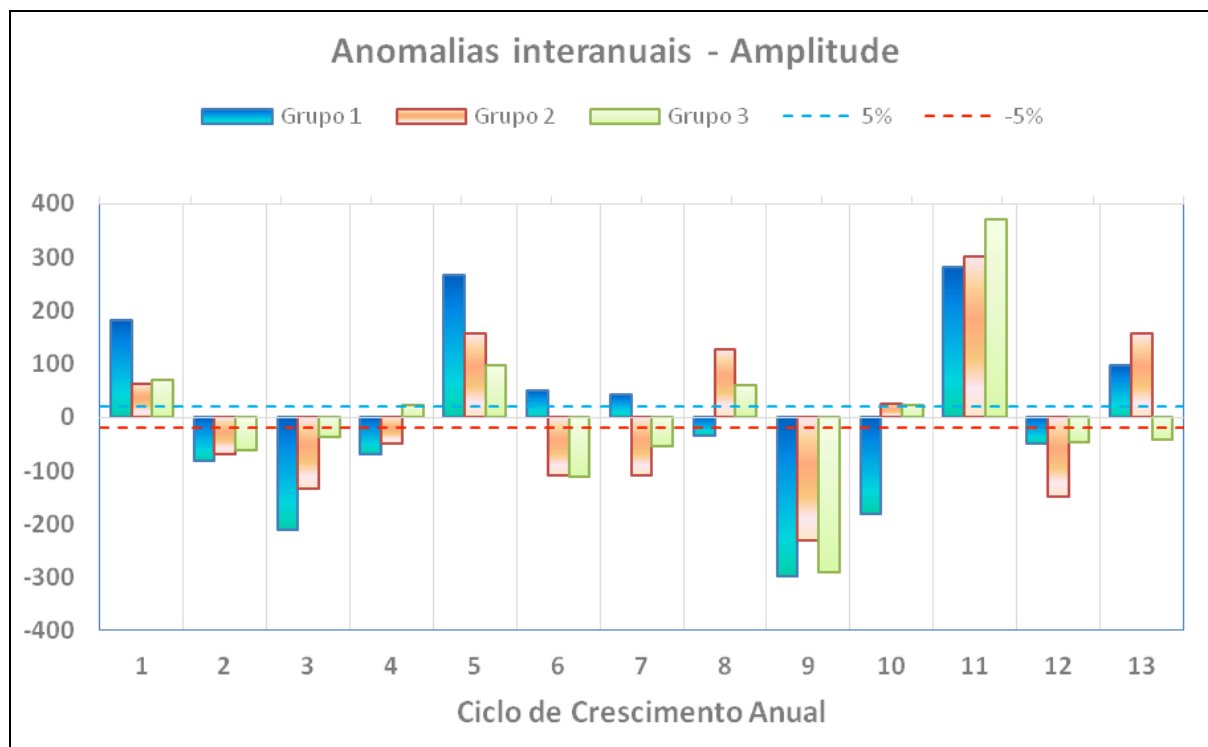
A Figura 17 ilustra a variabilidade interanual da métrica de fenologia máximo no Cerrado com destaque para anomalia ao longo da série temporal de 13 anos. Análise de anomalia mostra que todos os valores superiores a 5% são valores de anomalia positivo, os que estão abaixo deste valor são considerados como anomalia negativa. Observa-se que são poucos os valores que estão dentro da faixa de variação esperada (normal).

O Máximo de desenvolvimento da vegetação apresentou valores de anomalia positivo nos anos 2001, 2004, 2005, e 2011 e valores de anomalia negativo nos anos 2002, 2003, 2009, 2010 e 2013.

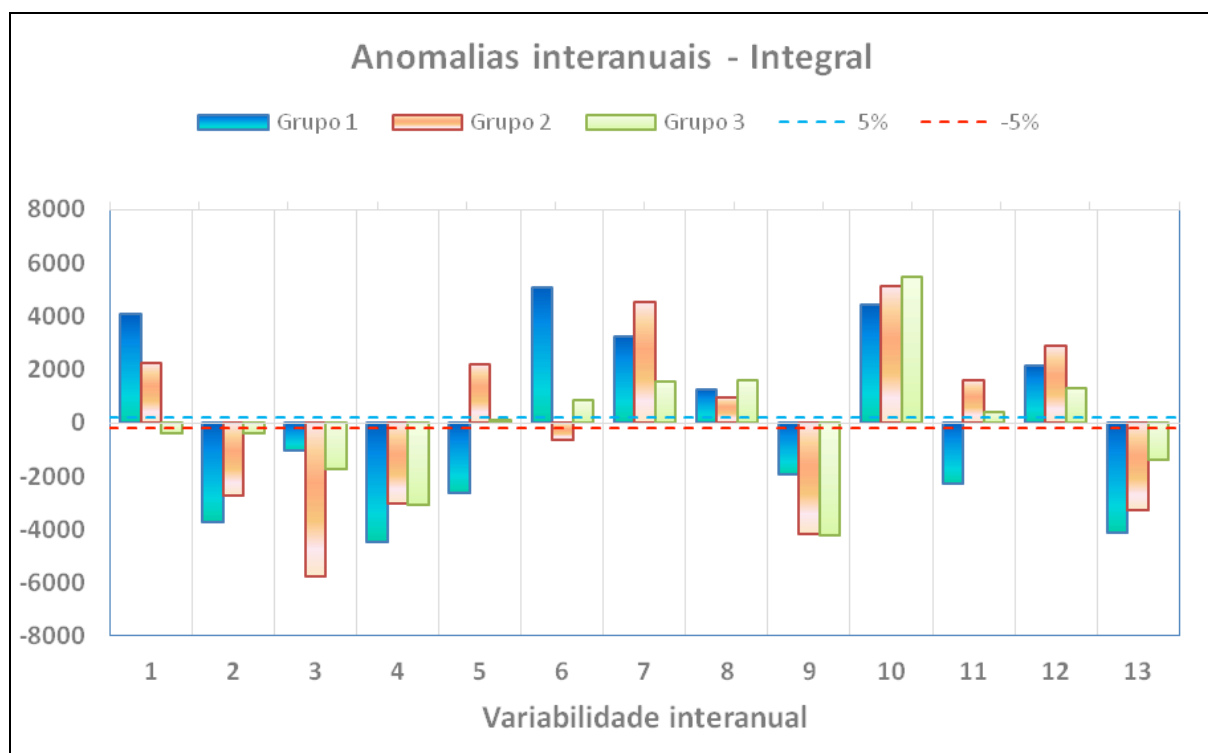


**Figura 17.** Variação interanual dos 13 ciclos anuais (2000 a 2013) de anomalia para a métrica de fenologia Máximo no Cerrado, onde a faixa azul e vermelha indicam a faixa de variação normal.

A Figura 18, representa a variabilidade interanual da métrica de fenologia Amplitude no Cerrado, métrica que revela o grau de sazonalidade da vegetação. Observa-se que a amplitude apresentou alta variação ao longo dos treze anos, retratando a alta sazonalidade existente neste ecossistema.



**Figura 18.** Variação interanual dos 13 ciclos anuais (2000 a 2013) de anomalia para a métrica de fenologia Amplitude no Cerrado, onde a faixa azul e vermelha indicam a faixa de variação normal.

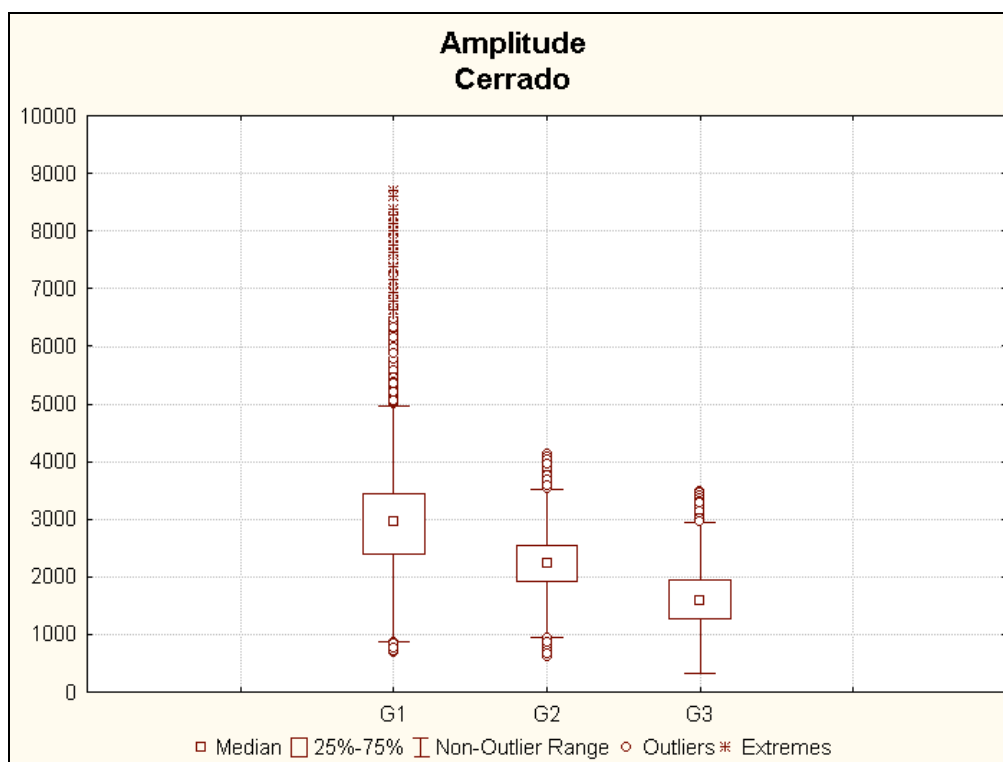


**Figura 19.** Variação interanual dos 13 ciclos anuais (2000 a 2013) de anomalia para a métrica de fenologia Integral L no Cerrado, onde a faixa azul e vermelha indicam a faixa de variação normal.



A Figura 19 representa a variabilidade interanual da métrica de fenologia integral L no Cerrado, métrica que revela a produtividade total da vegetação. Observa-se que para esta métrica, apresentou valores de anomalia em tres anos consecutivos, 2002, 2003 e 2004 e apenas o grupo 1 de 2005. Depois em 2006 a 2009 a anomalia foi positiva, em seguida os anos 2010 e 2012.

A Figura 20 mostra a comparação da métrica Amplitude para os três grupos na no Cerrado.

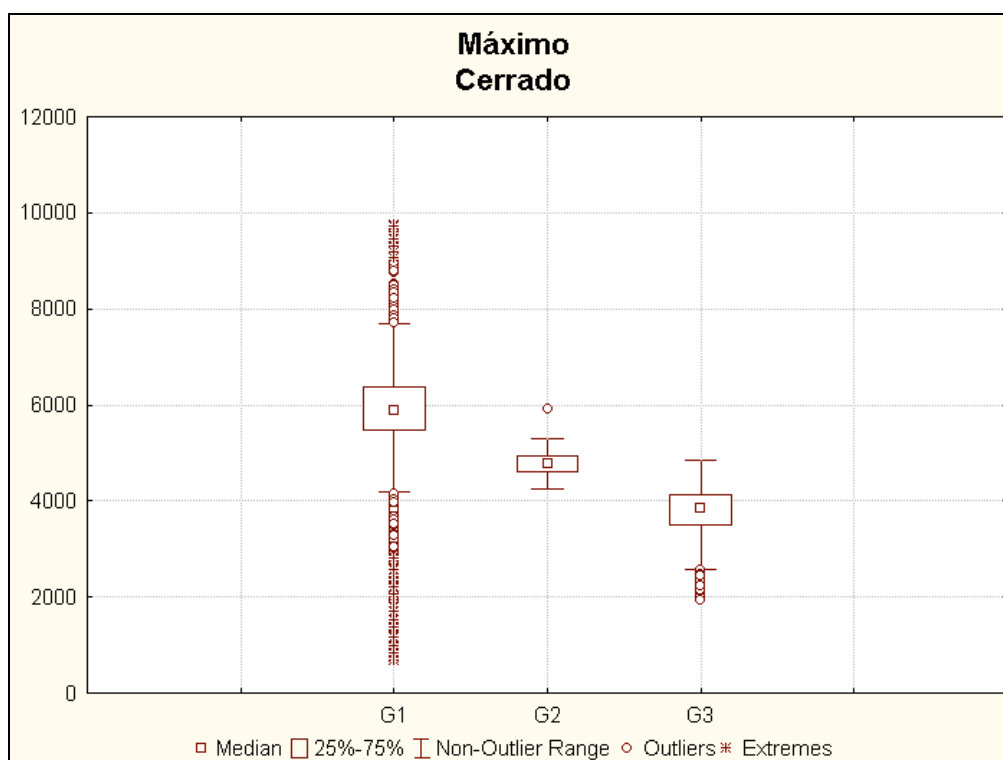


**Figura 20.** Comparação entre grupos para métrica Amplitude no Cerrado.

Ao analisar o gráfico boxplot, nota-se que a métrica amplitude nos grupos seguiu um padrão decrescente, com valores maiores no Grupo 1, seguido do Grupo 2 e por fim o Grupo 3. Os valores medianos do Grupo 1 foi igual a 2956, de 2248 para Grupo 2 e o Grupo 3 com valor mediano igual a 1621. A maior diferença entre os grupos é entre o Grupo 1 e Grupo 3, com diferença de 1335, seguida do Grupo 1 e Grupo 2 com diferença igual a 708 e o Grupo 2 com Grupo 3 apresentaram uma diferença de 627.

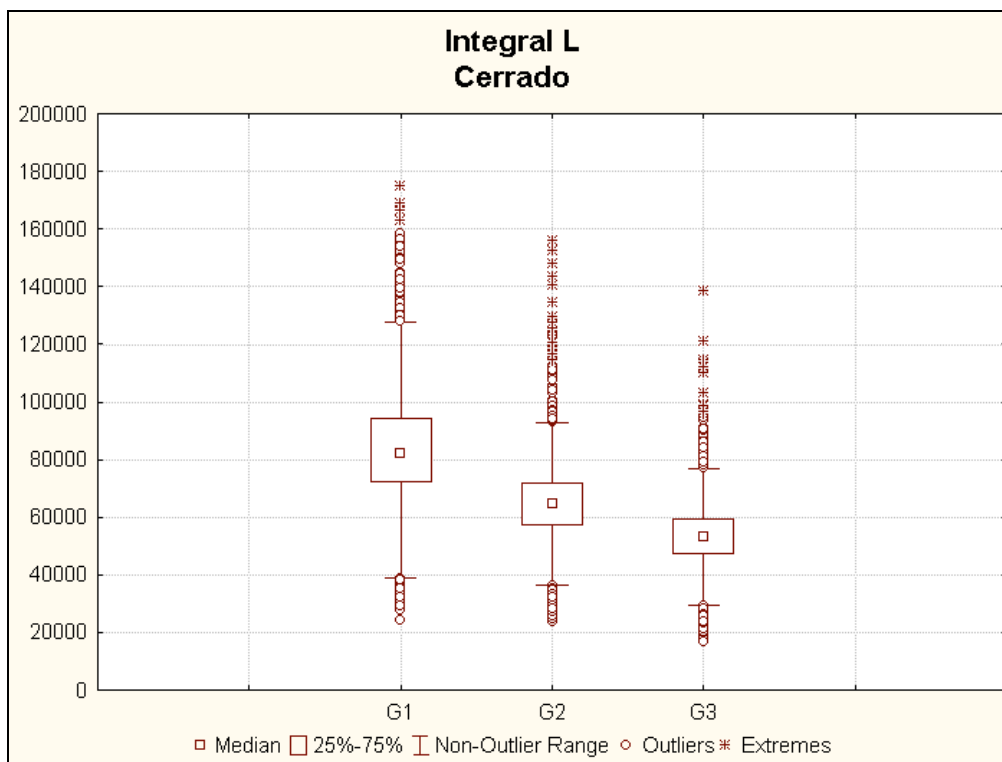
A Figura 21 mostra o resultado da comparação da métrica Máximo para os três grupos no Cerrado. Os valores da métrica máximo revelam em qual grupo a produtividade da vegetação, através do índice de vegetação EVI, foi maior, e ao observar o resultado do

boxplot pode-se concluir que os grupos também seguiram um padrão decrescente, onde os maiores valores de máximo é no Grupo 1, seguida do Grupo 2 e Grupo 3. O valor mediano do Grupo 1 é igual a 5813, para o Grupo 2 igual a 4783 e Grupo 3 com valor igual a 3800. A maior diferença entre os grupos é entre o Grupo 1 e Grupo 3, com diferença de 2013, seguida do Grupo 1 e Grupo 2 com diferença igual a 1030 e o Grupo 2 com Grupo 3 apresentaram uma diferença de 983.



**Figura 21.** Comparação entre grupos para métrica Máximo no Cerrado.

A Figura 22 mostra o resultado da comparação da métrica Integral L para os três grupos na Amazônia. Ao analisar o boxplot nota-se também um padrão com gradiente decrescente entre nos três grupos analisados. A mediana do Grupo 1 foi maior e igual a 83285, em seguida do Grupo 2 que foi igual a 64659 e finalmente o Grupo 3 com valor igual a 53104. A análise de diferença entre os grupos revelam uma diferença maior entre o Grupo 1 e Grupo 3, com diferença de 30182, em seguida do Grupo 1 com Grupo 2 com diferença de 18626 e Grupo 2 e Grupo 3 com diferença igual a 11555.



**Figura 22.** Comparação entre grupos para métrica Integral L no Cerrado.

A Tabela 5 representa os valores relacionados à correlação não paramétrica, a qual avalia a relação entre as métricas de fenologia em cada grupo no bioma Cerrado. Os valores destacado em vermelho indicam correlação significativa ao 95% ( $p < 0,5$ ) e representam a correlação mais alta entre as variáveis analisadas.

Em geral, os Grupos não apresentaram alta variabilidade entre os ciclos (anos), onde Grupo 1 apresentou valores de desvio padrão de 0.14 (relação entre Amplitude e Máximo), 0.25 (relação entre Amplitude e Integral L) e 0.21 (relação entre Máximo e Integral L). Contudo, o Grupo 1 apresentou uma alta correlação entre as métricas de fenologia, tendo a maior correlação significativa e positiva no ano 4 (0.71) ao analisar a correlação entre Amplitude e Máximo. Já na relação entre Amplitude e Integral pode ser observado uma correlação alta e negativa de -0.68 no ano 1 e de 0.70 no ano 8 quando analisa a correlação entre Máximo e Integral L.

Ao observar o Grupo 2, pode-se analisar que na correlação entre Amplitude e Máximo em geral os valores foram negativos e apenas um foi significativo, com valor de -0.56 no ano 4. Na correlação entre Amplitude e Integral L não houve valores significativos neste Grupo. Já na correlação entre Máximo e Integral L, o Grupo 2 apresentou valores significativos, tendo o maior valor igual a 0.62. Já em relação ao Grupo 3, nota-se que a correlação entre

Amplitude e Máximo a grande parte dos valores foram significativos, apresentando o maior valor significativo de 0.82 no ano 8, enquanto que na correlação entre as métricas Amplitude e Integral L apenas um único valor foi significativo, com valor igual a 0.55. A correlação entre Máximo e Integral L também apresentou muitos valores com correlação positiva e significativa, com o maior valor de 0.90 no ano 6.

**Tabela 5.** Resultado da análise de Correlação para os três grupos e para as três métricas de fenologia no Cerrado. Os valores destacado em vermelho indicam correlação significativa ao 95% ( $p < 0,05$ ) e representam a correlação mais alta entre as variáveis analisadas.

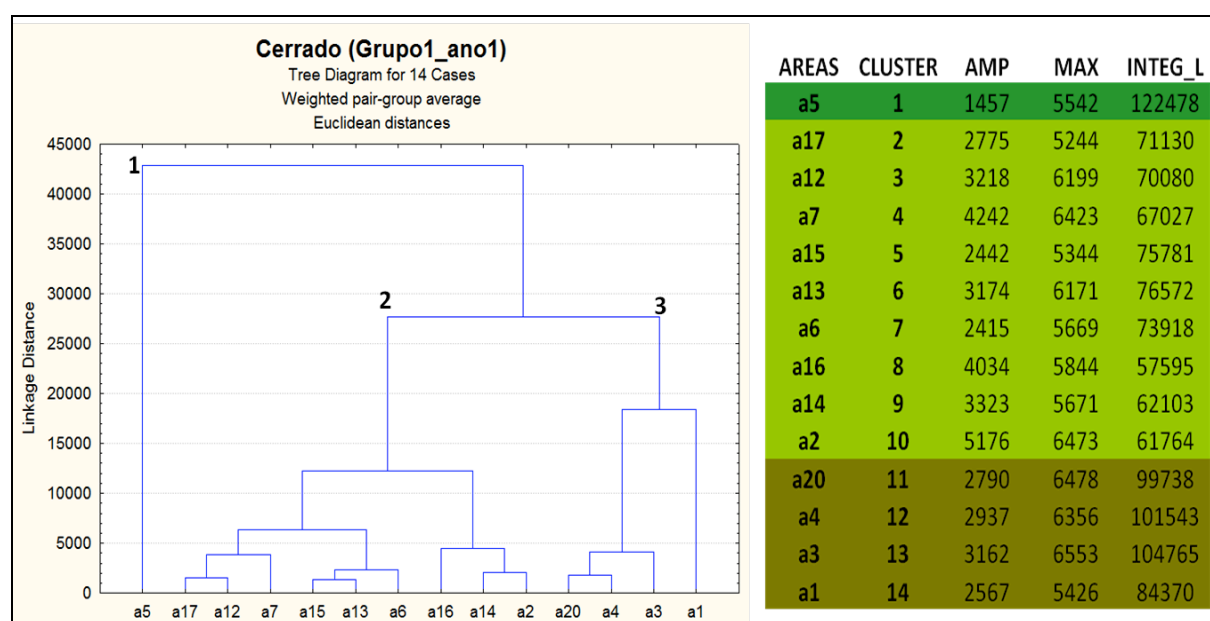
Ciclos	Análise de Correlação Cerrado								
	Amp x Max			Amp x Integ L			Max x Integ L		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	G1	G2	G3
Ano 1	<b>0.58</b>	-0.27	<b>0.74</b>	<b>-0.68</b>	-0.37	0.29	0.05	<b>0.55</b>	<b>0.55</b>
Ano 2	<b>0.56</b>	-0.11	<b>0.63</b>	0.22	0.05	0.44	0.49	0.31	0.43
Ano 3	0.24	0.09	<b>0.61</b>	-0.14	0.13	0.38	<b>0.60</b>	0.38	<b>0.73</b>
Ano 4	<b>0.71</b>	<b>-0.56</b>	0.43	-0.21	-0.19	0.46	0.11	0.37	<b>0.78</b>
Ano 5	0.38	0.00	<b>0.57</b>	-0.01	-0.37	0.38	<b>0.64</b>	0.40	<b>0.75</b>
Ano 6	0.42	0.22	<b>0.68</b>	-0.07	-0.16	0.53	<b>0.60</b>	<b>0.62</b>	<b>0.90</b>
Ano 7	<b>0.64</b>	-0.04	0.49	0.35	-0.27	0.14	0.44	<b>0.55</b>	0.19
Ano 8	0.49	0.05	<b>0.82</b>	0.11	-0.07	<b>0.55</b>	<b>0.70</b>	0.28	<b>0.77</b>
Ano 9	0.36	-0.26	<b>0.61</b>	0.14	-0.17	0.38	<b>0.63</b>	0.39	0.45
Ano 10	0.32	0.08	<b>0.58</b>	0.23	0.10	0.19	<b>0.66</b>	<b>0.51</b>	<b>0.62</b>
Ano 11	0.35	-0.35	<b>0.62</b>	0.15	-0.31	0.45	<b>0.55</b>	0.44	0.48
Ano 12	0.34	-0.25	<b>0.69</b>	-0.14	-0.29	0.15	0.21	<b>0.68</b>	0.44
Ano 13	<b>0.64</b>	0.22	<b>0.67</b>	0.02	-0.10	0.25	0.48	<b>0.57</b>	<b>0.58</b>
Desvio Padrão	0.14	0.22	0.10	0.25	0.16	0.13	0.21	0.12	0.19
Máximo	0.71	0.22	0.82	0.35	0.13	0.55	0.70	0.68	0.90
Mínimo	0.24	-0.56	0.43	-0.68	-0.37	0.14	0.05	0.28	0.19

Através dos resultados obtidos pela Tabela 5, foram selecionados os gráficos que representam a análise de agrupamento (cluster), sendo que o critério de seleção foi baseado nos valores significativos da correlação (positivo e negativo).

A Figura 23 mostra a análise de agrupamento referente ao Grupo 1 ano1 (que foram classificados através dos valores da métrica máximo e estão situados nos valores maiores ao Quartil Superior) no Cerrado. O Grupo 1 e ano1, que teve correlação significativa e negativa (-0.68) apresentado na métrica Amplitude e Integral L.

Foram identificados três grupos através da análise de agrupamento, onde observa que o primeiro grupo (área 5) se apresenta de forma diferenciada dos demais e representa a 7% do agrupamento.

O segundo grupo reúne nove áreas com 64%, com distância entre 0 e 6000. Este grupo apresenta valores de amplitude menores e maiores que a média (3122). O valor da métrica máximo é maior ao valor mínimo (5244) e valores menores e maiores a média (5957). A integral L apresenta valores menores a média (80633). O terceiro grupo que é formado por quatro áreas, representando 29% do agrupamento e distância euclidiana entre 0 a 4000. Este grupo apresenta valores da métrica amplitude com valores maiores que o mínimo (1457). Para a métrica máximo, os valores também são maiores que o mínimo (5244) e a integral L apresenta valores maiores que a média (80633).



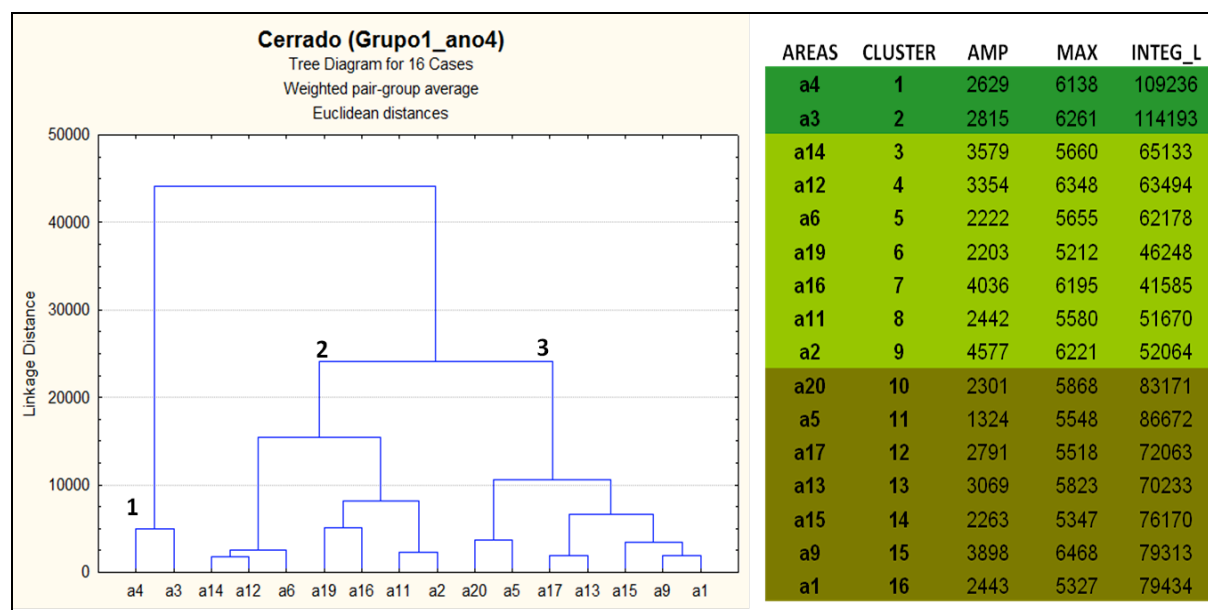
**Figura 23.** Dendrograma com agrupamento para os blocos das áreas de pesquisa no Cerrado, Grupo 1 e ano 1, utilizando distância euclidiana e o método WPGE.

A Figura 24 mostra o resultado para análise de cluster para o Grupo 1 e ano 4, que teve correlação significativa e positiva de 0.71 apresentada pelas métricas Amplitude e Máximo. Foram identificados três grupos através da análise de agrupamento.

O primeiro grupo representa a 13% do agrupamento com duas áreas. O valor da métrica máximo é maior ao valor médio (5823), assim como integral L também, com valores maiores a média (72054). E a amplitude apresentou os valores maiores que o mínimo (1324) e menores a média (2872).

O segundo grupo reúne sete áreas com 44%, com distância entre 0 e 9000. O valor da métrica amplitude ficou entre o valor máximo (4577) e valores acima e abaixo da média

(2872). A integral L apresentou valores abaixo da média (72054). A métrica máximo apresentou os valores maiores que o mínimo (5212). E finalmente o terceiro grupo que é formado também por sete áreas, representando 44% do agrupamento e distância euclidiana entre 0 a 3000. O valor da métrica amplitude em geral ficou abaixo da média (2872), a integral L apresentou em geral valores acima da média (72054).



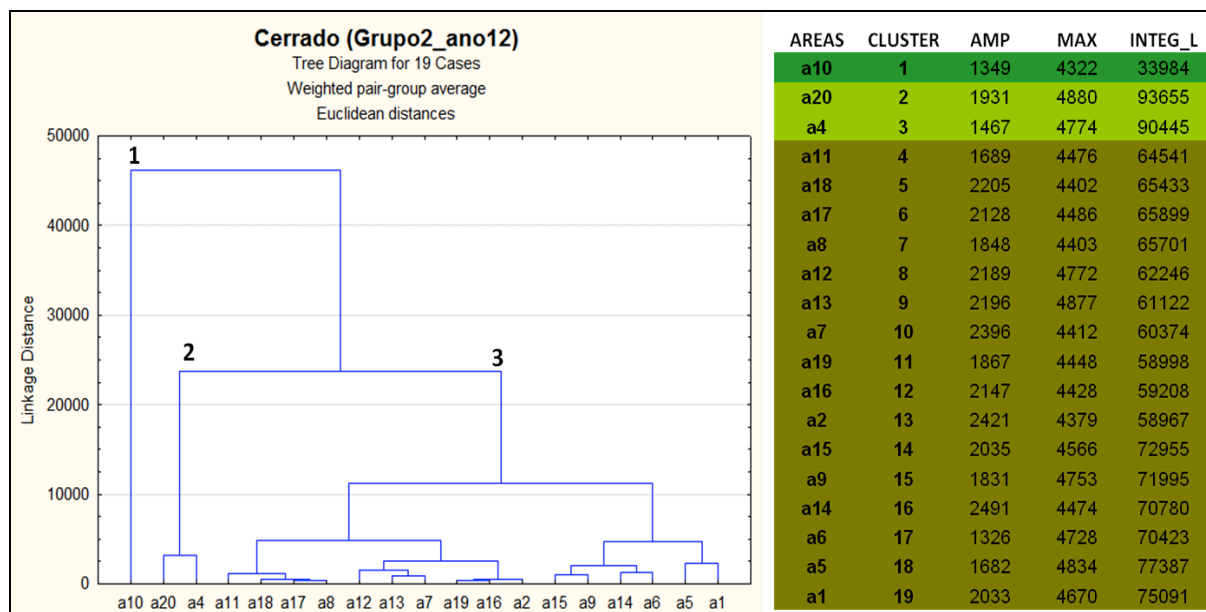
**Figura 24.** Dendrograma com agrupamento para os blocos das áreas de pesquisa no Cerrado, Grupo 1 e ano 4, utilizando distância euclidiana e o método WPGE.

A Figura 25 mostra o resultado para análise de cluster para o Grupo 2 e ano 12, que teve correlação significativa e positiva de 0.68 apresentada pelas métricas Máximo e Integral L. Foram identificados três grupos através da análise de agrupamento.

O primeiro grupo representa a 5% do agrupamento apresentou resposta diferenciada dos demais.

O segundo grupo reúne duas áreas com 11%, com distância entre 0 e 2000. Este grupo apresentou a métrica amplitude com valores maiores ao mínimo (1326) e menores a média (1959). O valor do máximo com valores maiores a média (4583) e integral L também apresentou valores acima da média (67327).

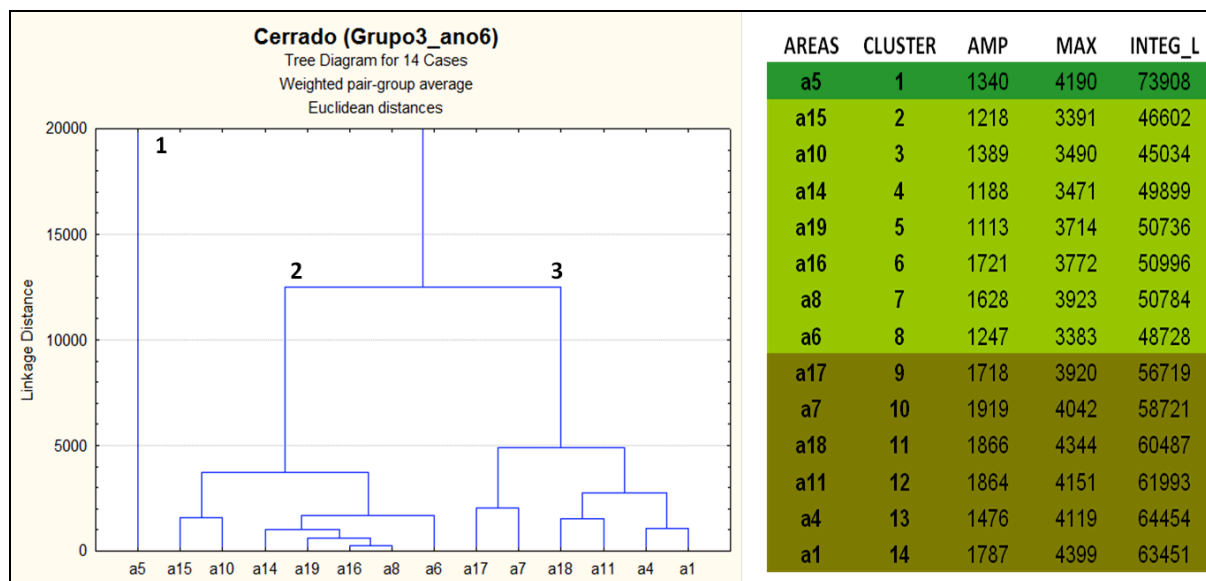
O terceiro grupo é formado pelo maior conjunto de áreas, com dezesseis áreas, representando 84% do agrupamento e distância euclidiana entre 0 a 4000. A métrica amplitude apresentou valores acima do mínimo (1326), o máximo apresentou valores maiores a 4322 e integral L maiores a 33984.



**Figura 25.** Dendrograma com agrupamento para os blocos das áreas de pesquisa no Cerrado, Grupo 2 e ano 12, utilizando distância euclidiana e o método WPGE.

A Figura 26 mostra o resultado para análise de cluster para o Grupo 3 e ano 6, que teve correlação significativa e positiva de 0.90 apresentada pela métrica Máximo e Integral L. Foram identificados três grupos através da análise de agrupamento. O primeiro grupo representa a 7% do agrupamento apresentou resposta diferenciada dos demais.

O segundo grupo reúne sete áreas com 50%, com distância entre 0 e 2000. Os valores para a métrica amplitude apresentaram valores entre valor mínimo (1113) e valores abaixo da média (1534), para a métrica máximo, os valores também estão entre o valor mínimo de 3383 e em geral abaixo do valor médio (3879). A integral L apresentou valores maiores ao mínimo (55894) e menores a média (55894). E finalmente o terceiro grupo que é formado pelo conjunto de seis áreas representando 43% do agrupamento e distância euclidiana entre 0 a 4000. Apresentou para todas as métrica valores maiores a média (1534, 3879 e 55894), para amplitude, máximo e Integra L respectivamente.



**Figura 26.** Dendrograma com agrupamento para os blocos das áreas de pesquisa no Cerrado, Grupo 3 e ano 6, utilizando distância euclidiana e o método WPGE.

## Conclusões

Neste trabalho foi avaliada a fenologia da vegetação através de áreas representativas localizadas em Parques Nacionais dos biomas Amazônia e Cerrado para um período de 13 anos, 2000 a 2013, através de dados de índice de vegetação EVI obtidos do sensor MODIS o qual foi utilizado para avaliar o comportamento da fenologia destes ecossistemas através do software TIMESAT.

Os resultados encontrados na análise da variabilidade interanual nas métricas de fenologia na Amazônia e no Cerrado retratam a sensibilidade da vegetação ao longo dos anos, quando o grau de anomalia positivo e negativo. Contudo, é necessário realizar novas análises incluindo mais variáveis bióticas e abióticas, que possam explicar as variações ao longo dos treze anos. Considerando os resultados obtidos na caracterização e comparação entre áreas de floresta através da análise de cluster, é possível concluir que as áreas apresentaram maior variação, retratando uma maior heterogeneidade entre as áreas, e que há uma variação entre a formação dos grupos entre os anos. Já no Cerrado, a análise de agrupamento foi mais homogênea, os grupos apresentaram maior similaridade, não havendo muita diferenciação entre eles.

Pretende-se dar continuidade nesta fase para realização final da classificação dos diferentes tipos funcionais de plantas nos ecossistemas brasileiros Amazônia e Cerrado. Para isto, também serão levantadas variáveis abióticas, como precipitação e fogo, bem como dados de



desmatamento, para serem correlacionadas com os padrões de distribuição espacial da vegetação e auxílio na classificação final dos TFPs.

### **Agradescimentos**

Ao Projeto Científico Variabilidade Espacial de Tipos Funcionais de Plantas para Modelagem de Biosfera na Região da Amazônia Legal desenvolvido dentro do escopo do Componente Modelagem Climática da Rede Geoma/MCTI.

Ao Programa de Capacitação Institucional PCI/MCTI que financiou a bolsa:

Processo Institucional: 465112/2014-5

Processo Individual: 301244/2015-4

Bolsista: Blga. Suzana Maria Inácio de Carvalho

Orientador Dr. Jorge Alberto Bustamante Becerra

Período de vigência da bolsa: 01/09/2014 a 30/04/2015

Modalidade da bolsa: PCI-DD - DD

## Referências

Aguiar, L. M. S.; et. al. Diversidade Biológica do Cerrado. Pp: 17-40. *In*: Aguiar, L. M. S. & Camargo, A. J. A. (Ed.). Cerrado: ecologia e caracterização. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004.

Araújo, V.C. de. 1970. *Fenologia de essências florestais amazônicas I*. INPA, Manaus, 25p. (Boletim do INPA, 4)

Ashton, P.S.; Givinish, T.J.; Appanah, S. 1988. Staggered flowering in the Dipterocarpaceae: new insights into floral induction and the evolution of mast fruiting in the aseasonal tropics. *American Naturalist*, 132:44-66.

Alencar, J. da C.; Almeida, R.A. de; Fernandes, N.P. 1979. Fenologia de espécies florestais em floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 9(1):163-198.

Barbosa, H. A., Huete, A. R., Baethgen, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, p. 288-307, 2006.

Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E.; Lawrence, W. T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n. 15, p. 3195-3210, 1997.

Bencke, C.S.C.; Morellato, L.P.C. 2002. Comparação de dois métodos de avaliação de plantas, sua interpretação e representação. *Revista Brasileira de Botânica*, 25(3):269-275

Becerra, J. A. B, et al. Relação do padrão sazonal da vegetação com precipitação na região de cerrado da Amazônia legal, usando índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, 125-134, 2009.

Bonan, G.B, et al. Landscapes as patches of plant functional types: an integrating concept for climate and ecosystem models. *Global Biogeochem. Cycles*, in press, 2002.

Carvalho, J.O.P. de. 1980. *Fenologia de espécies florestais de potencial econômico que ocorrem na Floresta Nacional do Tapajós*. EMBRAPA/CPATU, Belém, 15p. (Boletim de Pesquisa, 20).

A Handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, v.51, n. 4, p. 335-380, 2003.