



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



Diego Tarley Ferreira Nascimento

**CHUVAS NO ESTADO DE GOIÁS E NO DISTRITO
FEDERAL A PARTIR DE ESTIMATIVAS POR SATÉLITE
E CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA**

Goiânia-GO, 2016.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☐ **Dissertação** ☒ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):		Diego Tarley Ferreira Nascimento			
E-mail:		diego.tarley@gmail.com			
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? ☒ Sim ☐ Não					
Vínculo empregatício do autor		Universidade Estadual de Goiás			
Agência de fomento:		Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico		Sigla:	CNPQ
País:	Brasil	UF:GO		CNPJ:	01567601/0001-43
Título:		Chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal a partir de estimativas por satélite e circulação atmosférica			
Palavras-chave:		Chuva, TRMM, Climatologia, Goiás, Distrito Federal			
Título em outra língua:		<i>Rainfall in the state of Goiás and the Federal District from estimates by satellite and atmospheric circulation</i>			
Palavras-chave em outra língua:		<i>Rainfall, TRMM, Climatology, Goiás, Federal District</i>			
Área de concentração:		Natureza e Produção do Espaço			
Data defesa: (dd/mm/aaaa)		16/05/2016			
Programa de Pós-Graduação:		Programa de Pós-Graduação em Geografia			
Orientador (a):		Dr. Ivanilton José de Oliveira			
E-mail:		oliveira.ivanilton@gmail.com			

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Diego Tarley F. Nascimento

Assinatura do (a) autor (a)

Data: 22 / 06 / 2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Diego Tarley Ferreira Nascimento

**CHUVAS NO ESTADO DE GOIÁS E NO DISTRITO
FEDERAL A PARTIR DE ESTIMATIVAS POR SATÉLITE
E CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás com vistas à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Natureza e Produção do Espaço

Orientador: Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira

Goiânia-GO, 2016.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira

Chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal a partir de estimativas por
satélite e circulação atmosférica [manuscrito]

/ Diego Tarley Ferreira NASCIMENTO. - 2016.

cc, 200 f.

Orientador: Prof. Dr. Ivanilton José de OLIVEIRA.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Estudos Socioambientais (Iesa) , Programa de Pós-Graduação em
Geografia, Goiânia, 2016.

1. Chuva. 2. TRMM. 3. Climatologia. 4. Goiás. 5. Distrito Federal. I.
OLIVEIRA, Ivanilton José de, orient. II. Título

Diego Tarley Ferreira Nascimento

**CHUVAS NO ESTADO DE GOIÁS E NO DISTRITO FEDERAL A
PARTIR DE ESTIMATIVAS POR SATÉLITE E CIRCULAÇÃO
ATMOSFÉRICA**

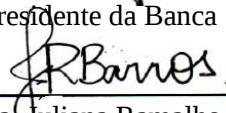
Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, área de concentração Natureza e Produção do Espaço, com vistas à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Data de aprovação: 16 de maio de 2016.

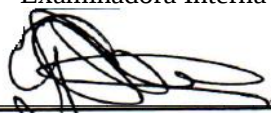
Banca Examinadora



Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira
Universidade Federal de Goiás – UFG
Presidente da Banca



Profa. Dra. Juliana Ramalho Barros
Universidade Federal de Goiás – UFG
Examinadora Interna



Profa. Dra. Gislaine Cristina Luiz
Universidade Federal de Goiás – UFG
Examinadora Interna



Profa. Dra. Zilda de Fátima Mariano
Universidade Federal de Goiás – UFG / Regional Jataí
Examinadora Externa



Prof. Dr. João Afonso Zavattini
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP / Rio Claro
Examinador Externo

RESUMO

Com o advento de novos sensores e produtos do Sensoriamento Remoto, surge a possibilidade de aplicação de imagens satelitárias como alternativa para uma coerente representação do complexo climático, partindo do pontual para uma análise do contínuo espacial. Sendo assim, a presente tese de doutorado teve como objetivo geral prover um estudo das chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal, valendo-se de estimativas de precipitação realizadas por satélite e considerando a circulação atmosférica. Os procedimentos metodológicos compreenderam a definição de anos-padrão como recortes amostrais do regime habitual e excepcional das chuvas e o uso de estimativas mensais e diárias de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) para o estudo das chuvas, amparada numa análise quali-quantitativa dos valores anuais, sazonais, mensais e diários de precipitação, com a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes e responsáveis pela formação de chuvas. A distribuição espacial da precipitação refletiu a influência dos compartimentos topográficos na entrada e no deslocamento ou mesmo como barreira ao avanço dos sistemas atmosféricos produtores de chuva na região. A variabilidade da precipitação entre os diferentes anos-padrão leva a entender que a condição de seco, habitual e chuvoso não se refere essencialmente à altura pluviométrica anual, mas, sobretudo, à distribuição das chuvas no decorrer dos meses e à delimitação do período chuvoso e seco. Também foi posta em evidência as diferenças de atuação e participação das massas de ar na gênese das chuvas do estado de Goiás e do Distrito Federal, em que no regime habitual percebe-se uma atuação equilibrada entre os principais sistemas atmosféricos atuantes na região, ao passo que o regime seco apresenta aumento da atuação da massa tropical atlântica (mTa) e o regime chuvoso reflete elevação da atuação da massa equatorial continental (mEc).

Palavras-chave: Chuva, TRMM, Climatologia, Goiás, Distrito Federal.

RÉSUMÉ

Avec l'avènement des nouveaux capteurs et produits de télédétection, il existe la possibilité d'appliquer des images de satellite comme une alternative à une représentation cohérente du complexe climatique, à partir du point de départ pour une analyse de la continuité spatiale. Ainsi, cette thèse de doctorat vise à fournir une étude des pluies dans l'état de Goiás et au District fédéral, en profitant des estimations des précipitations par satellite. Les procédures méthodologiques incluent la définition des années établies (années-standards) comme d'échantillons du régime habituel et des précipitations exceptionnelles, et l'utilisation d'estimations mensuelles et quotidiennes des précipitations de Mission de Mesure de Pluies Tropical (Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM) et l'étude de la pluviométrie, basée sur une analyse qualitative et quantitative des données des précipitations annuelles, saisonnières, mensuelles et journalières, avec l'identification des systèmes météorologiques actifs et responsables pour la formation de la pluie. La distribution spatiale des précipitations reflète l'influence des compartiments topographiques à l'entrée et le déplacement ou même comme un obstacle à l'avancement des systèmes atmosphériques qu'ils sont producteurs de pluie dans la région. La variabilité des précipitations entre les différentes années établies conduit à comprendre que l'état de sèche, normale et humide ne fait pas référence à la hauteur annuelle des précipitations, mais, surtout, la distribution des précipitations au cours des mois et la délimitation de la saison des pluies et sec. En outre, il a été mis en évidence les différentes activités et la participation des masses d'air dans la genèse des pluies sur l'Etat de Goiás et le District fédéral, où normalement on voit une représentation équilibrée entre les principaux systèmes atmosphériques opérant dans la région, alors que le régime sec a augmenté les performances du mTa et le régime des pluies reflète la haute performance de mEc.

Mots-Clé : Pluie, TRMM, Climatologie. Goiás, District Fédéral.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	p. 08
Objetivos	p. 09
Justificativa e hipótese	p. 10
Estrutura da tese	p. 10
 CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	p. 12
1.1. Localização e principais características demográficas	p. 13
1.2. Características fisiográficas	p. 16
1.2.1. Geomorfologia, Altimetria e Compartimentação do Relevo	p. 16
1.2.2. Cobertura e uso do solo	p. 23
1.2.3. Caracterização climática	p. 26
1.2.4. Massas de ar e sistemas atmosféricos atuantes	p. 32
1.2.5. Dinâmica das massas de ar e dos sistemas atmosféricos	p. 36
 CAPÍTULO 2 – O EMPREGO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA CLIMATOLOGIA	p. 38
2.1. Histórico das observações e registros do tempo e do clima	p. 39
2.2. O problema dos registros feitos por estações meteorológicas	p. 42
2.3. O sensoriamento remoto e o advento de satélites de observação do tempo e monitoramento do clima	p. 43
2.4. Produtos do sensoriamento remoto voltados à climatologia	p. 50
2.4.1. Estimativa de precipitação	p. 51
2.4.1.1. Estimativa do <i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i> – TRMM	p. 54
2.4. Potencialidades e restrições do emprego de dados orbitais na climatologia	p. 62
 CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	p. 68
3.1. A abordagem da Climatologia Geográfica	p. 69
3.2. Definição dos anos-padrão como recortes amostrais do regime habitual e excepcional das chuvas no estado de Goiás e Distrito Federal	p. 70
3.3. Etapas e procedimentos para o estudo das chuvas	p. 98
3.4. Sintetizando.....	p. 100

CAPÍTULO 4 – AS CHUVAS DO ESTADO DE GOIÁS E DO DISTRITO FEDERAL	p. 102
4.1. Média anual, sazonal e mensal das chuvas do estado de Goiás e do Distrito Federal (1998/2012)	p. 103
4.2. Variabilidade anual e sazonal das chuvas do estado de Goiás e do Distrito Federal (1998/2012)	p. 113
4.3. Regime das chuvas do estado de Goiás e do Distrito Federal	p. 118
4.3.1. Ano-padrão habitual (2011)	p. 118
4.3.1.1. Variabilidade anual e sazonal das chuvas no ano-padrão habitual (2011)	p. 118
4.3.1.2. Variabilidade mensal e diário das chuvas no ano-padrão habitual (2011)	p. 122
4.3.1.3. A gênese das chuvas no ano-padrão habitual (2011)	p. 134
4.3.2. Ano-padrão seco (2007)	p. 137
4.3.2.1. Variabilidade anual e sazonal das chuvas no ano-padrão seco (2007)	p. 137
4.3.2.2. Variabilidade mensal e diário das chuvas no ano-padrão seco (2007)	p. 141
4.3.2.3. A gênese das chuvas no ano-padrão seco (2007)	p. 151
4.3.3. Ano-padrão chuvoso (2009)	p. 154
4.3.3.1. Variabilidade anual e sazonal das chuvas no ano-padrão chuvoso (2009)	p. 154
4.3.3.2. Variabilidade mensal e diário das chuvas no ano-padrão chuvoso (2009)	p. 158
4.3.3.3. A gênese das chuvas no ano-padrão chuvoso (2009)	p. 166
4.4. Síntese do ritmo das chuvas entre os anos-padrão habitual e excepcionais	p. 169
4.5. Síntese do regime das chuvas entre os anos-padrão habitual e excepcionais	p. 174
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 p. 182
As chuvas a partir das estimativas do TRMM	p. 183
As potencialidades e as restrições perante o uso de estimativas do TRMM no estudo das chuvas	p. 186
O estudo genético do clima a partir da dinâmica das massas de ar nos anos-padrão do regime habitual e excepcional das chuvas	p. 187
 REFERÊNCIAS	 p. 190

INTRODUÇÃO

As características do tempo e do clima têm influência direta na organização e na produção dos espaços e das atividades humanas, com repercussões diversas nas esferas social, econômica e ambiental.

Por isso, configura-se como de suma importância o conhecimento da variabilidade dos elementos do clima de determinada região, sobretudo por possibilitar melhor avaliação das potencialidades climáticas, para fins e aplicações diversas, se constituindo, ainda, em importante subsídio ao planejamento urbano, rural, regional e/ou ambiental. Essa ressalva também se apoia no fato de ainda não haver recursos técnico-científicos para se controlar e modificar os atributos do clima. Contudo, o conhecimento de sua variabilidade espaço-temporal permite dele retirar o proveito necessário para as atividades antrópicas e, ainda, prever riscos e prevenir perdas.

A busca pelo conhecimento sobre as características e a variabilidade do clima possui longa trajetória histórica, sempre respondendo às necessidades da ciência e às aplicações práticas, como no auxílio às práticas agrícolas desde a Antiguidade e na orientação às navegações, principalmente entre os séculos XV e XVI.

Sabe-se que o desenvolvimento de instrumentos meteorológicos, no decorrer do século XVI, proporcionou uma grande melhoria nos estudos climatológicos, subsidiando o conhecimento dos reais valores dos elementos climáticos de dada localidade – que outrora eram estimados com base em descrições e relatos de naturalistas, principalmente das grandes explorações geográficas promovidas pelos europeus a partir do século XV¹.

Não obstante, já no século XX, o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e das técnicas de Geoprocessamento possibilitaram um melhor tratamento e uma melhor representação espacial dos dados climáticos, inclusive por permitir a inferência automatizada dos valores em regiões que não possuem estações meteorológicas, seja por interpolação ou por aproximação geoestatística.

Contudo, Zavattini (1990), ainda na década de 1990, ressaltava que vasta porção do território nacional continuava carente de maiores e melhores análises climatológicas, sobretudo embasadas na análise da dinâmica das massas de ar e na busca da gênese do clima. Santos, Carvalho e Yanagi Júnior (2006) compartilham desta ideia, ao afirmarem

¹Anteriormente a essa fase, as referências aos elementos climáticos eram apenas indiretas ou tinham mais cunho simbólico.

que os estudos tradicionalmente realizados são incapazes de representar adequadamente toda a configuração e dinâmica do clima.

Nesse mesmo contexto, Monteiro (1990b, p. 17) comenta a respeito do problema “da extensão dos fatos observados-mensurados além do ponto de leitura” e questiona até onde os valores obtidos pelas estações meteorológicas podem ser projetados espacialmente. O autor destaca ainda que, por uma questão de lógica, os valores registrados pontualmente seriam válidos e extensíveis enquanto persistirem as mesmas condições fisiográficas e morfoestruturais existentes naquele local (MONTEIRO, 1990a) e acrescenta que “o emprego de isolinhas apenas sugere uma variação espacial e deve ser considerado como um recurso introdutório”.

Sendo assim, pelo fato das estações meteorológicas fornecerem registros válidos apenas para um pequeno entorno dos seus instrumentos, associado à sua escassez e à sua rarefeita distribuição no território brasileiro (sobretudo nas regiões Centro-Oeste e Norte), a representação espacial dos dados registrados por estações meteorológicas resulta em uma forte generalização – essencialmente por conta da interpolação de valores medidos em pontos de coleta localizados distantes uns dos outros.

A espacialização realizada com base em métodos de extrapolação/interpolação não fornece adequada compreensão da variabilidade espacial dos elementos climáticos, visto que a representação para áreas mais distantes dos pontos medidos, sem qualquer indício físico real, não informa a verdadeira extensão dos valores, mas sim a variação entre aqueles coletados (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003).

Com o advento e, na atualidade, o desenvolvimento de novos sensores e produtos do Sensoriamento Remoto, surge a possibilidade de aplicação de dados e informações obtidas por imagens registradas em satélites como alternativa para a inexistência de uma rede de estações meteorológicas aceitável, associada, ainda, à viabilidade de uma coerente representação do complexo climático, uma vez que se parte do pontual, baseado em dados provenientes de estações meteorológicas, para uma análise do contínuo espacial, com dados históricos e sinóticos provenientes de imagens satelitárias.

Objetivos

A presente tese de doutorado teve como **objetivo geral** prover um estudo das chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal, valendo-se de estimativas de precipitação realizadas por satélite e considerando a circulação atmosférica.

De forma complementar e a título de **objetivos específicos**, pretendeu-se:

- ✓ realizar uma revisão bibliográfica e discussão acerca do emprego de dados e informações provenientes do Sensoriamento Remoto na Climatologia, ressaltando as potencialidades e restrições desse recurso – com maior atenção dada às estimativas de precipitação por satélite, em especial, realizadas pelo *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).
- ✓ definir os anos-padrão tidos como recortes amostrais do regime habitual e excepcional das chuvas na área em estudo, comparando a definição de anos-padrão por meio de estimativas satelitárias e com base em dados de estações meteorológicas.
- ✓ estudar as chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal, sob o aporte da abordagem genética, com vistas a identificar e descrever a variabilidade, o regime e a gênese das chuvas – conforme preconizado pela Climatologia Geográfica.

Justificativa e hipótese

A proposição deste trabalho teve como principal justificativa a falta de trabalhos embasados nos pressupostos da Climatologia Geográfica para o estado de Goiás e para o Distrito Federal, em área contígua. Apesar de Barros (2003) ter estudado o regime e as excepcionalidades do ritmo das chuvas para o Distrito Federal, a escala espacial não pode ser projetada para todo o território compreendido pelo estado de Goiás.

Da mesma forma, os poucos trabalhos realizados para a região Centro-Oeste (SETTE, 2000; STEINKE, 2004; SANTOS, 2010) não propiciaram adequado conhecimento no que diz respeito ao papel que a dinâmica das massas de ar exerce sobre a variabilidade, o regime e a gênese do clima dessa região.

A hipótese do trabalho foi de que os produtos de Sensoriamento Remoto atualmente disponíveis sejam capazes de subsidiar uma melhor e maior representatividade da variabilidade espacial das chuvas, capaz de substituir, com ganhos, aquela baseada na interpolação e inferência espacial de dados registrados por uma pequena e rarefeita rede de estações meteorológicas.

Estrutura da tese

A tese de doutorado foi estruturada em quatro capítulos. O primeiro deles faz um panorama da área em estudo, em relação à localização e à exposição das principais

características demográficas e fisiográficas do estado de Goiás e do Distrito Federal, principalmente no que diz respeito à descrição das principais características climáticas e dos sistemas atmosféricos atuantes.

O segundo capítulo apresenta o estado da arte em relação ao emprego de dados de Sensoriamento Remoto na Climatologia, sendo apontadas e analisadas as potencialidades e restrições desse recurso e dada maior atenção às estimativas de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

No terceiro capítulo, são detalhados os procedimentos metodológicos utilizados na tese, principalmente com relação à explanação da abordagem da Climatologia Geografia e a definição, escolha e análise prévia dos anos-padrão utilizados como recortes amostrais para o estudo do regime habitual e excepcional das chuvas.

O quarto e último capítulo apresenta os resultados alcançados a partir do estudo das chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal, valendo-se de estimativas de precipitação por satélite. Por fim, a tese se encerra com as considerações dos objetivos alcançados, da metodologia empregada e dos resultados obtidos, com uma discussão e apontamentos para futuros trabalhos.

CAPÍTULO 1 .

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

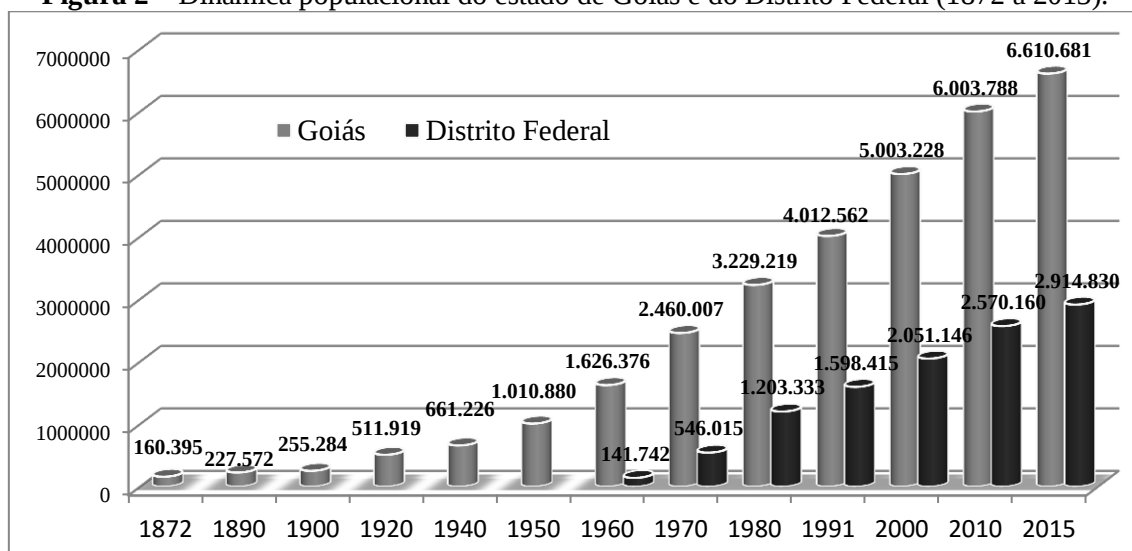
1.1. Localização e principais características demográficas

A área de estudo compreende o estado de Goiás e o Distrito Federal, que fazem parte da região Centro-Oeste e localizam-se no Planalto Central brasileiro (**Figura 1**), abrangendo uma extensão de 345.890 km² (quase 4% do território nacional), sendo 340.111km² referentes à Goiás e 5.779km² ao Distrito Federal.

De acordo com a estimativa realizada para 2015 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), esse território apresenta uma população total de 9.525.511 habitantes, dos quais 69,4% estão em Goiás e 30,6% no Distrito Federal.

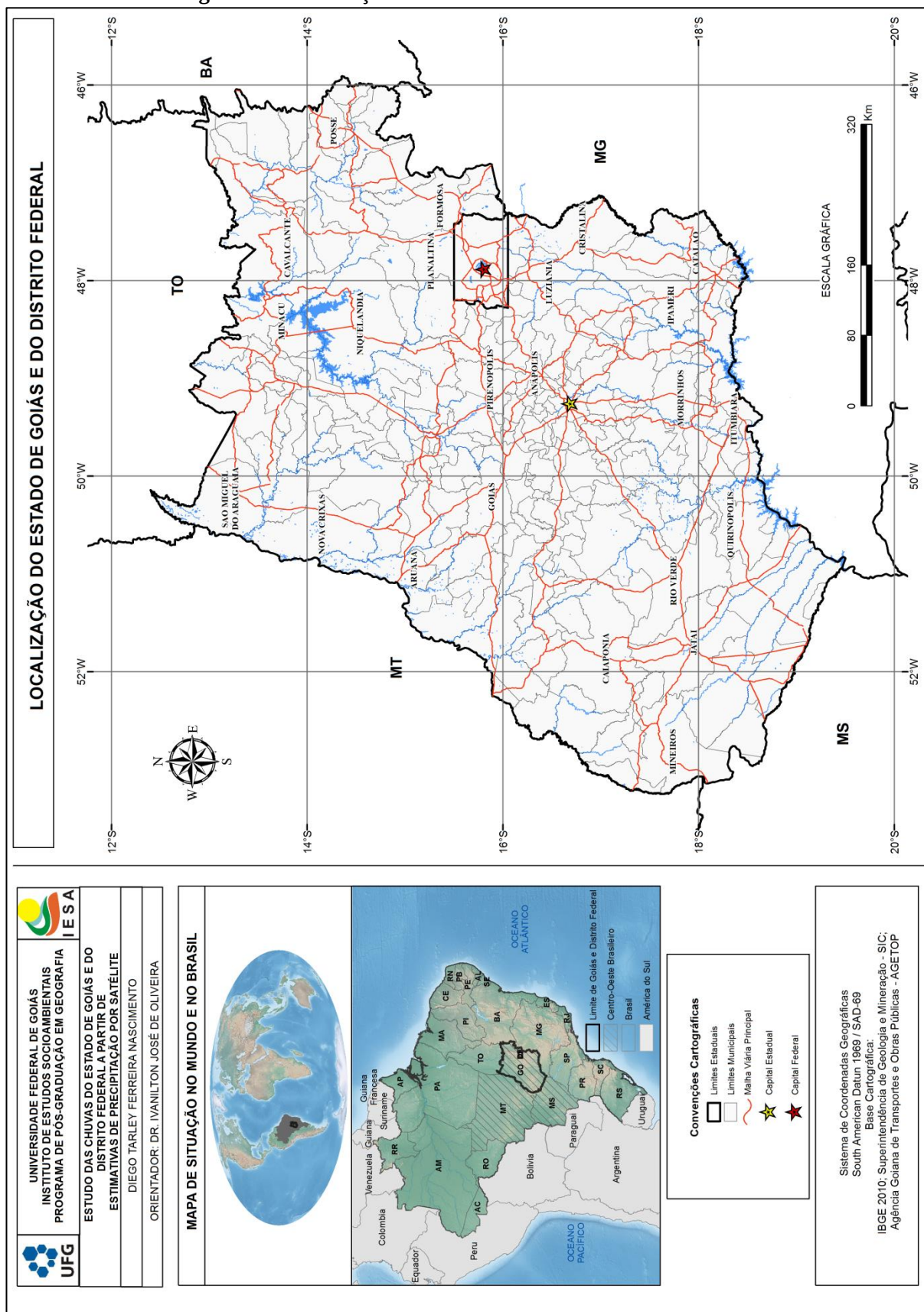
O gráfico da **Figura 2** ilustra o crescimento demográfico no estado de Goiás e no Distrito Federal entre 1872 e 2015, sendo possível perceber que o Distrito Federal apresentou maior aumento populacional na década de 1960, quando foi criado, e 1980. A partir daí, vê-se menor ritmo em seu crescimento demográfico. Por sua vez, Goiás percebeu um ligeiro aumento entre 1872 e 1900, reflexo de estagnação do período de transição da atividade mineradora para uma economia baseada na agricultura. Nas décadas seguintes, há um constante aumento da população, com destaque para o período compreendido entre 1940 e 2010, possivelmente em resposta à implementação da pecuária extensiva como a base da economia goiana na década de 1960, à modernização da agricultura na década de 1970, à industrialização da agricultura nas décadas de 1980 e 1990, e pela expansão da fronteira agrícola, principalmente na década de 1970.

Figura 2 – Dinâmica populacional do estado de Goiás e do Distrito Federal (1872 a 2013).



Fonte: IBGE - Censos Demográficos e Estimativas da População.

Figura 1 – Localização do estado de Goiás e do Distrito Federal.



Elaboração: Nascimento (2016).

Todos esses fatores corroboraram esse intenso crescimento demográfico e, principalmente, um fluxo migratório advindo, principalmente, dos estados do Sul, Norte, Nordeste e Sudeste – quase sempre à procura de melhores oportunidades de trabalho e qualidade de vida.

Reflexo disso foi a mudança do predomínio da população rural para urbana no estado de Goiás na década de 1980, quando a população urbana (2.172.965) já representava o dobro da rural (1.056.254); a partir daí, a população rural passa a diminuir enquanto a população urbana aumenta vertiginosamente (**Tabela 1**). Convém a ressalva de que, apesar do aumento populacional no censo demográfico seguinte, em 1998, o estado de Goiás perdeu toda população dos municípios que passaram a compor o estado do Tocantins.

Tabela 1 – Proporção da população urbana e rural em Goiás, Distrito Federal, Centro-Oeste e Brasil (1950/2010).

ANO	Goiás		Distrito Federal		Centro-Oeste		Brasil	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
1950	219.370	791.510	-	-	397.200	1.135.724	18.782.891	33.161.50
1960	541.469	1.084.907	89.698	52.044	995.171	1.683.209	32.004.817	38.987.526
1970	1.134.242	1.325.765	524.315	21.700	2.358.218	2.271.422	52.904.744	41.603.839
1980	2.172.965	1.056.254	1.164.659	38.674	4.950.203	2.053.312	82.013.375	39.137.198
1991	3.241.119	771.443	1.513.470	84.945	7.648.757	1.763.485	110.875.826	36.041.633
2000	4.396.645	606.583	1.961.499	89.647	10.092.976	1.543.752	137.953.959	31.845.211
2010	5.420.714	583.074	2.482.210	87.950	12.482.963	1.575.131	160.925.792	29.830.007

Fonte: IBGE, Censos Demográficos de 1950 a 2010.

É interessante pontuar que o Distrito Federal surge na década de 1960 praticamente urbano, população essa que aumenta gradualmente no decorrer dos anos. A população rural sofre um recuo significativo na década de 1970 e, a partir de 1991, volta a se estabilizar.

Desde o fim do período colonial, o estado de Goiás tem na agricultura e na pecuária a base de sua economia. Com os projetos de ocupação e modernização da agricultura, essas atividades assumiram maior peso, ao ponto da região que incorpora a área de estudo ser considerada com o celeiro do Brasil – com destaque para a produção de grãos. As características fisiográficas apresentaram importante papel nesse cenário, conforme visto nos tópicos que seguem.

1.2. Características fisiográficas

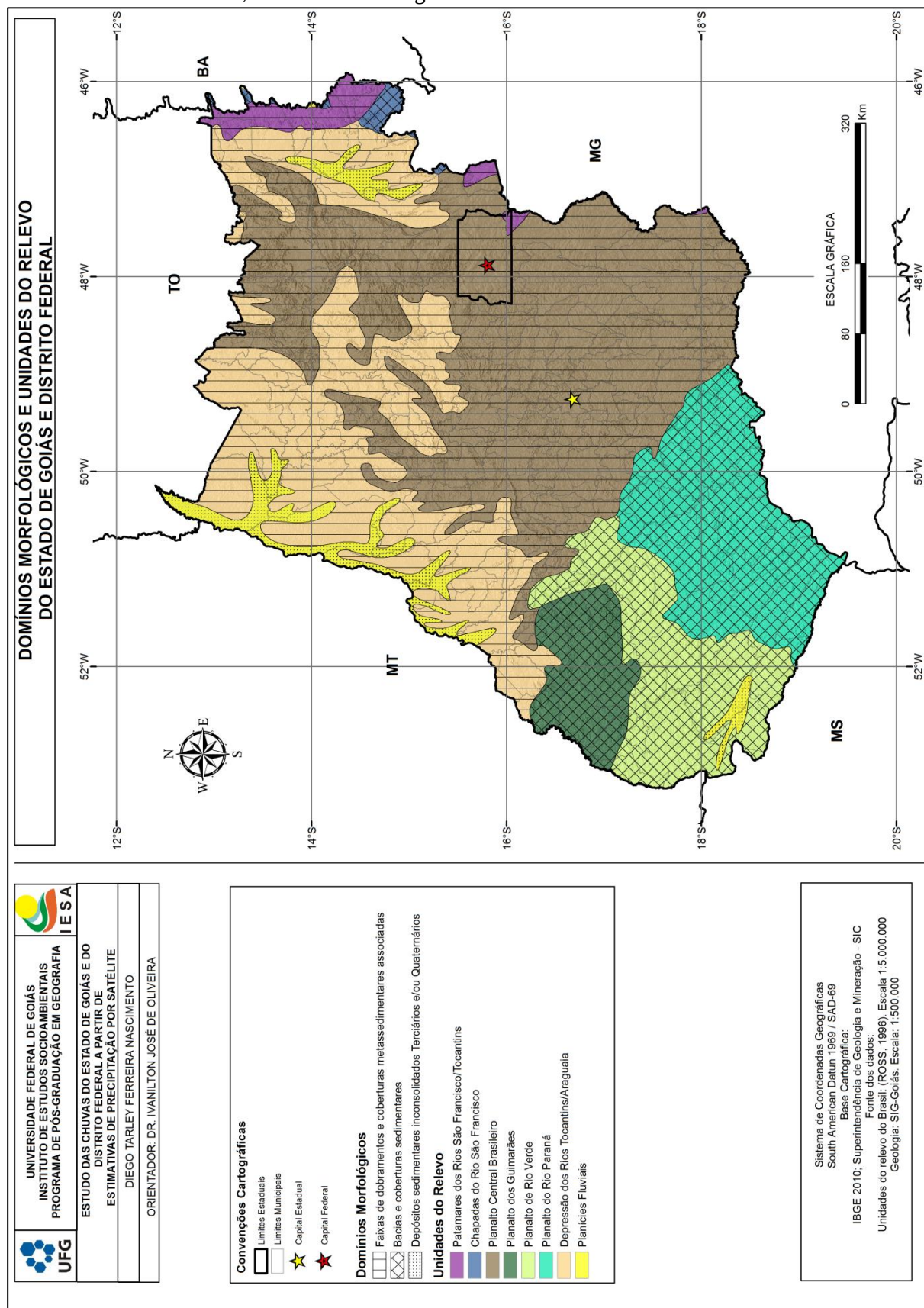
1.2.1. Geomorfologia, Altimetria e Compartimentação do Relevo

O relevo é a expressão da forma, gênese e evolução da superfície terrestre, sendo produto das forças endógenas e exógenas, responsáveis pela morfoestrutura e morfoesculturas.

Mais de metade da área em estudo corresponde a faixas de dobramentos do Pré-Cambriano, que foram desgastadas por várias fases erosivas, representadas pelo Planalto Central Brasileiro, pelos Patamares do Rio São Francisco/Tocantins e pela Depressão do Rio Tocantins/Araguaia. No sudoeste e numa pequena porção no nordeste do estado, são encontradas bacias e coberturas sedimentares referentes aos Planaltos dos Guimarães, do Rio Verde e do Rio Paraná e às Chapadas do Rio São Francisco. Por sua vez, no noroeste, nordeste e numa pequena mancha no sudoeste de Goiás ocorrem depósitos sedimentares do terciário e quaternário, representados por planícies fluviais (**Figura 3**).

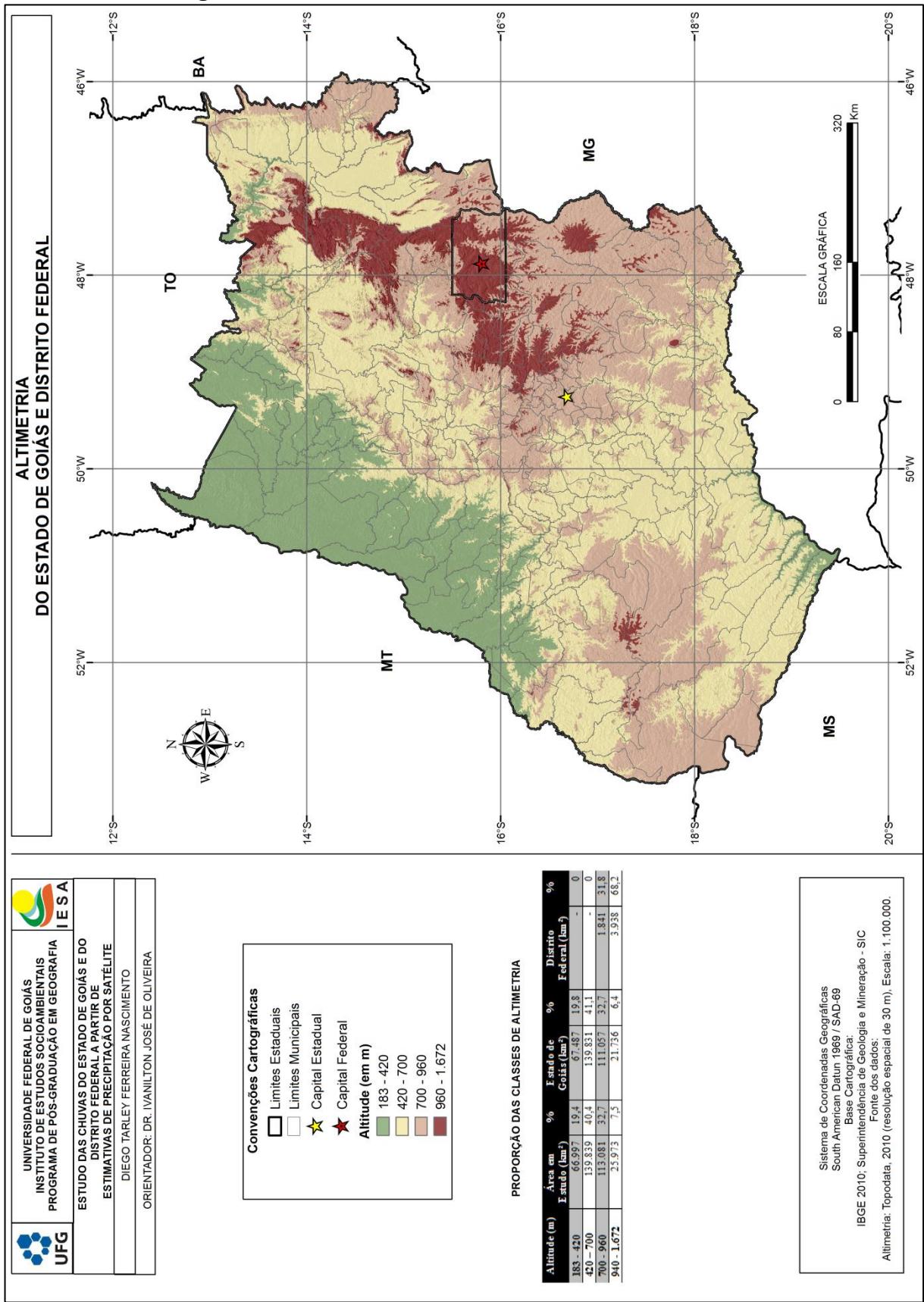
A altitude média da área em estudo é de 634m acima do nível do mar, variando desde os 183m, na depressão do Rio Araguaia (no noroeste), aos 1.672m, nos chapadões da região da Chapada dos Veadeiros (no nordeste). Conforme representado pela **Figura 4**, as menores altitudes variam entre 183 e 420m, e correspondem a 19,4% da área, ocorrendo sobre a depressão do Rio Araguaia e pequenas porções ao sul e ao norte do estado. Altitudes intermediárias, variando entre 420 e 700m, representam quase metade do estado de Goiás e Distrito Federal (40,4%), e são verificadas, principalmente, nas porções sul, centro-norte e nordeste. Altitudes mais acentuadas, entre 700 e 960m, representam 32,7% da área em apreço, ocorrendo, principalmente, no sudoeste, sudeste e leste. Enquanto que as altitudes mais elevadas, entre 960 e 1.762m, ocupam 7,5% da área total e representam a Serra Dourada (sudoeste), a Serra de Caldas (sudeste), o domo de Cristalina (leste) e uma faixa com início a oeste do Distrito Federal, passando pela região do Distrito Federal, compondo a Serra dos Pirineus, e seguindo em direção ao norte do estado, desde a Chapada da Contagem até a Chapada dos Veadeiros.

Figura 3 – Unidades do relevo, domínios morfológicos e classes de rochas do estado de Goiás e Distrito Federal.



Elaboração: Nascimento (2016), com base em Ross (1996).

Figura 4 – Altimetria do estado de Goiás e Distrito Federal



Ainda no mapa de altimetria de Goiás e Distrito Federal (**Figura 4**) é possível estabelecer alguns compartimentos topográficos que condizem com a proposta de definição de unidades do relevo brasileiro desenvolvida por Ross (1996), sendo elas:

- as menores altitudes (183 a 420m) a noroeste, norte e nordeste, que correspondem à Depressão do Araguaia e do Tocantins;
- as altitudes intermediárias (700 a 900m) verificadas no sudoeste, que coincidem ao Planalto de Rio Verde;
- as altitudes intermediárias e mais elevadas (700 a 1.672m), no leste e nordeste, que condizem ao Planalto Central Brasileiro

Com base na similitude das formas de relevo, na altimetria e nas características genéticas, Nascimento (1992) realizou uma compartimentação topográfica dividindo o estado de Goiás e o Distrito Federal em cinco unidades e onze subunidades geomorfológicas, explicitadas no **Quadro 1**.

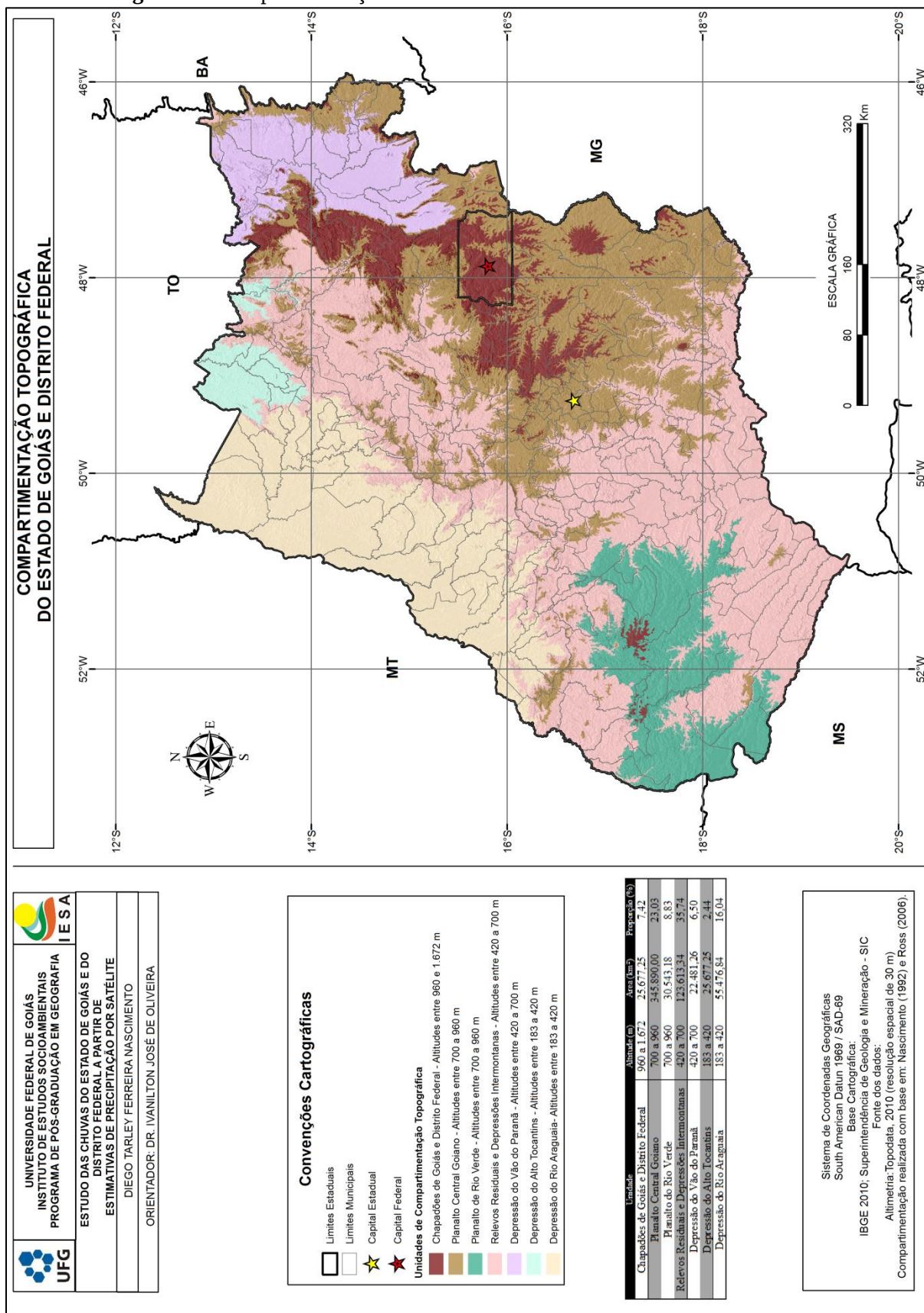
Quadro 1 – Síntese da Compartimentação Topográfica realizada por Nascimento (1992)

Unidade	Subunidade
Planalto Central Goiano	Planalto do Distrito Federal
	Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba
	Planalto Rebaixado de Goiânia
	Depressões Intermontanas
Planalto Setentrional da Bacia do Paraná	Planalto de Caiapônia
	Planalto de Rio Verde
Planalto do Divisor São Francisco/Tocantins	Patamares do Chapadão
Depressão do Tocantins	Vão do Paranã
	Depressão dos Rios Maranhão/Santa Tereza
Depressão do Araguaia	Depressão do Rio Araguaia
	Planície do Bananal

Elaboração: Nascimento (2016), com base em Nascimento (1992).

A compartimentação realizada por Nascimento (1992) descreve com maior fidelidade as diferentes morfoestruturas existentes na área de estudo e, por isso, correlacionando-a com as unidades morfoesculturais definidas por Ross (1996), desenvolveu-se na presente tese de doutorado uma tentativa de compartimentação do relevo, representada pela **Figura 5**.

Figura 5 – Compartimentação do Relevo do estado de Goiás e Distrito Federal.



Elaboração: Nascimento (2016), com base em Nascimento (1992) e Ross (1996).

De caráter predominantemente topográfico, tal tentativa aparenta ser capaz de representar a relação das similitudes das altitudes e das formas do relevo com os caminhos preferenciais e/ou barreiras encontrados para os sistemas atmosféricos atuantes na região. Foram compartimentadas sete unidades topográficas, compostas por chapadões, planaltos e depressões. O **Quadro 2** detalhada e comparada as unidades de compartimentação topográfica às suas correspondências nas propostas de Nascimento (1992) e Ross (1996), enquanto a **Tabela 2** indica a área e porcentagem ocupada por elas.

Quadro 2 – Correspondência das Unidades de Compartimentação Topográfica do estado de Goiás e Distrito Federal com compartimentações consagradas

Unidade	Altitude (m)	Unidade correspondente segundo Nascimento (1992)	Unidade correspondente segundo Ross (1996)
Chapadões de Goiás e Distrito Federal	960 a 1672	Planalto do Distrito Federal	Planalto Central Brasileiro
Planalto Central Goiano	700 a 960	Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba	Planalto Central Brasileiro
Planalto do Rio Verde	700 a 960	Planalto Setentrional da Bacia do Paraná	Planalto do Rio Verde
Relevos Residuais e Depressões Intermontanas	420 a 700	Depressões Intermontanas	Sem correspondente
Depressão do Vão do Paranã	420 a 700	Vão do Paranã	Depressão do Tocantins/Araguaia
Depressão do Alto Tocantins	183 a 420	Depressão dos rios Maranhão e Santa Tereza	Depressão do Tocantins/Araguaia
Depressão do Rio Araguaia	183 a 420	Depressão do Rio Araguaia	Depressão do Tocantins/Araguaia

Elaboração: Nascimento (2016).

Tabela 2 – Quantificação das áreas ocupadas pelas Unidades de Compartimentação Topográfica do estado de Goiás e Distrito Federal

Unidade	Altitude (m)	Área (km ²)	Proporção (%)
Relevos Residuais e Depressões Intermontanas	420 a 700	123.613,34	35,74
Planalto Central Goiano	700 a 960	345.890,00	23,03
Depressão do Rio Araguaia	183 a 420	55.476,84	16,04
Planalto do Rio Verde	700 a 960	30.543,18	8,83
Chapadões de Goiás e Distrito Federal	960 a 1.672	25.677,25	7,42
Depressão do Vão do Paranã	420 a 700	22.481,26	6,50
Depressão do Alto Tocantins	183 a 420	25.677,25	2,44

Elaboração: Nascimento (2016), calculado em ambiente SIG.

A unidade denominada “Chapadões de Goiás e Distrito Federal” se refere às maiores altitudes do estado de Goiás e Distrito Federal (960 a 1.672m). Essa unidade corresponde ao Planalto do Distrito Federal, definido por Nascimento (1992), e representa grandes interflúvios levemente dissecados em superfície de erosão antiga com formas tabulares.

A unidade “Planalto Central Goiano” apresenta altitudes que variam entre 700 e 960m, e corresponde ao que Nascimento (1992) considerou como “Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba”, com relevos rebaixados por ação de processos erosivos passados.

Essas duas primeiras unidades correspondem ao Planalto Central Brasileiro na proposta de Ross (1996), que se baseia em faixas de dobramentos do pré-cambriano em relevo ora tabulares ora bastante dissecados.

O “Planalto de Rio Verde” representa as altitudes de 700 a 960m. Para Nascimento (1992, p. 12), essa unidade corresponde ao Planalto Setentrional da Bacia do Paraná, que se subdivide em duas categorias: o Planalto do Rio Verde, em que “predominam modelados suaves, do tipo tabular, com formas muito amplas e relevos conservados, do tipo pediplano”, e o Planalto de Caiapônia, que “constitui um conjunto de patamares dissecados com grande variedade de modelados e afetados por tectônica”. Conforme compartimentação proposta por Ross (2006), essa unidade corresponderia, especificamente, ao Planalto de Rio Verde, representado por chapadas, planaltos e bordas escarpadas em morfoestruturas de bacias sedimentares, com altitudes que variam desde os 400m.

Os “Relevos Residuais e Depressões Intermontanas” compreendem as áreas com altitudes variando entre 420 e 700m. Nascimento (1992, p. 9) delimitou uma unidade homônima encontrada “em meio aos relevos residuais elevados do Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba, o que lhe confere caráter de intermontana”. Segundo a autora, essa unidade apresenta formas amplas e tabulares.

A “Depressão do Vão do Paranã” compreende altitudes variando entre 420 e 700m, referente à unidade homônima delimitada por Nascimento (1992). Segundo a autora, o termo regional “vão” foi empregado para indicar essa depressão que se encontra entre relevos mais altos. O patamar menos elevado dessa unidade apresenta morfologia de pediplano recoberta por coberturas detríticas (NASCIMENTO, 1992).

A “Depressão do Alto Tocantins” representa duas pequenas e próximas áreas situadas no extremo norte do estado de Goiás, com altitudes variando de 183 a 420 m. Para Nascimento (1992, p. 16), essa unidade se refere à Depressão do Maranhão/Santa

Tereza (nome dado devido aos principais corpos hídricos na região), apresentando superfície plana de relevo tabular com dissecação incipiente condicionada por processos erosivos (NASCIMENTO, 1992).

A “Depressão do Rio Araguaia”, situada nos limites oeste e noroeste de Goiás, tem a forma de um corredor que margeia o curso do rio, apresentando altitudes que variam entre 183 e 420m. Nascimento (1992, p. 19) definiu uma unidade homônima e chamou a atenção para o fato de que a “extensa e contínua deposição fluvial ao longo de todos os rios principais” dá origem a planícies e terraços.

As últimas três unidades caracterizadas como depressões (do Vão do Paranã, do Alto Tocantins e do Rio Araguaia) correspondem ao que Ross (2006) delimitou como Depressão do Tocantins/Araguaia, esculpida nas faixas orogenéticas e com formas de relevo compostas por superfícies aplainadas, com altitudes variando entre 300 e 450m.

Uma importante associação da topografia do estado de Goiás e do Distrito Federal pode ser feita à cobertura e uso do solo, haja vista que os terrenos com menor variação altimétrica (mais planos) geralmente estão associados aos usos antrópicos, principalmente agropastoris, enquanto que as superfícies com maiores declividades representam os locais com maior proporção de cobertura vegetal remanescente, conforme indicado no próximo tópico.

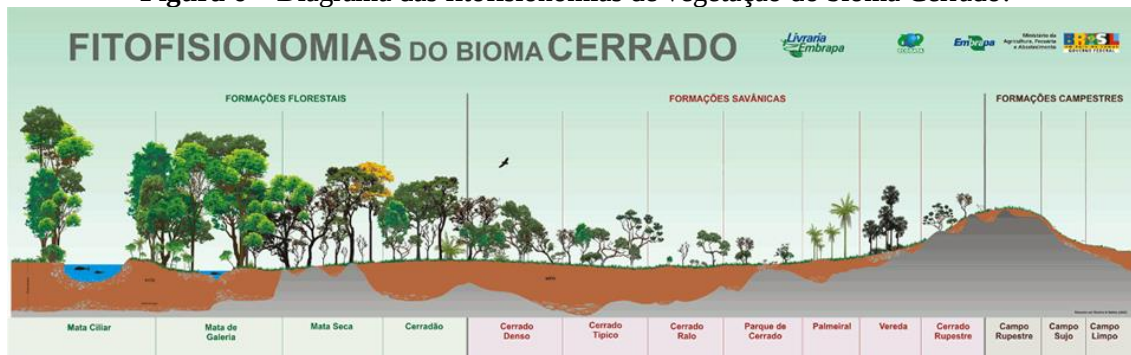
1.2.2. Cobertura e uso do solo

A região na qual se localiza o estado de Goiás e o Distrito Federal se destaca por ser área *core* do Cerrado, estando quase toda ela inserida no bioma – com exceção de uma pequena porção (2,9%) no extremo sul que constitui domínio da Mata Atlântica.

Segundo maior bioma do Brasil, o Cerrado se estende por uma área de 2.036.448 km², da qual cerca de 16,9% se refere ao estado de Goiás e Distrito Federal.

As fitofisionomias do Cerrado estão associadas às diferentes estruturas geológicas, formas do relevo e categorias de solo que, combinados com as diferentes condições climáticas, caracterizam o bioma como um mosaico de formações vegetacionais que variam desde fisionomias campestres, com predomínio de espécies herbáceas e arbustivo-herbáceas; perpassando por formações savânicas, com ocorrência de estratos arbóreos, arbustivo-herbáceo e árvores de pequeno porte espalhadas por um substrato gramíneo; até as formações florestais, nas quais espécies arbóreas definem um dossel contínuo (RIBEIRO; WALTER, 2008; SANO et al., 2007) – vide o diagrama da **Figura 6**.

Figura 6 – Diagrama das fitofisionomias de vegetação do bioma Cerrado.



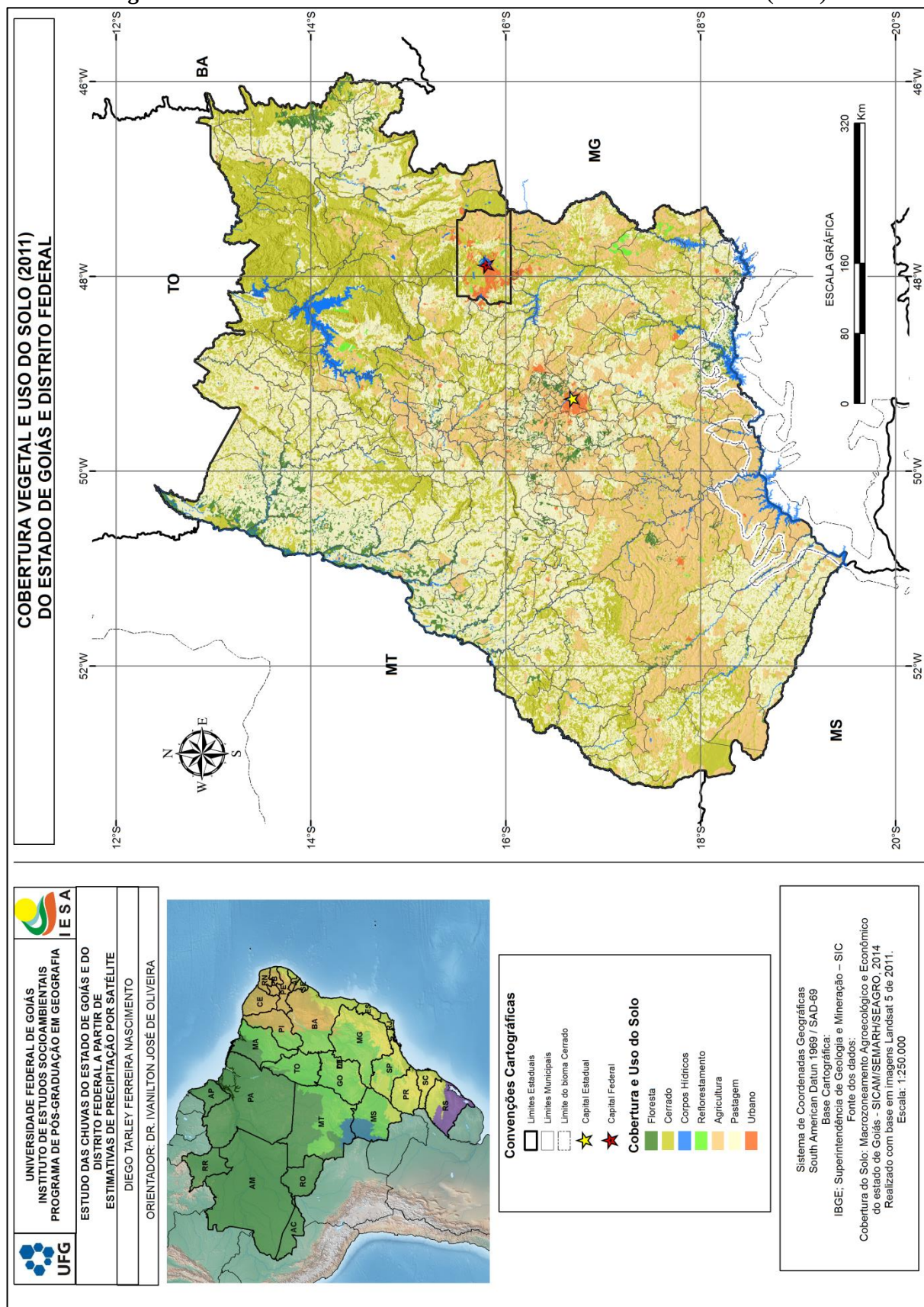
Fonte: EMBRAPA.

Contudo, mesmo reconhecido como a savana mais rica do mundo em biodiversidade, a ponto de ser tratado como um dos 34 *hotspots* de biodiversidade no mundo (MYERS et al., 2002), o Cerrado tem sido palco de um rápido processo de substituição da cobertura vegetal natural por usos antrópicos, principalmente os agropastoris. Nesse sentido, convém destacar que, para Klink e Machado (2005), o bioma representa uma das principais fronteiras de expansão agrícola brasileira.

No âmbito do Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 da estação seca de 2011 para o mapeamento da cobertura e uso do solo do estado de Goiás e Distrito Federal, representado pela **Figura 7**. Pelo mapa, percebe-se que a agricultura se concentra, principalmente, no sul e sudoeste de Goiás, sobretudo na região que engloba os municípios de Chapadão do Céu, Perolândia, Rio Verde, Jataí e Montividiu, e numa faixa latitudinal que se estende do extremo sul (Itumbiara e Goiatuba) até o centro-norte de Goiás – acompanhando o segmento da BR-153. As áreas ocupadas por pastagem se encontram de forma ora dispersa, como na região central do estado, ora concentrada, principalmente nas regiões sudoeste, oeste, noroeste (na depressão do Rio Araguaia) e no nordeste de Goiás (no Vão do Paranã).

A cobertura vegetal se encontra bastante fragmentada em praticamente toda a área em estudo. A exceção é de uma faixa que se estende desde o Distrito Federal ao extremo norte e nordeste do estado de Goiás, onde ocorre uma extensa área coberta por vegetação remanescente de Cerrado, correspondendo às maiores declividades na área em estudo – que dificulta a prática agrícola e pastoril.

Figura 7 – Cobertura e uso do solo no estado de Goiás e Distrito Federal (2011).



Elaboração: Nascimento (2016).

A **Tabela 3** representa a quantificação de cada classe de cobertura e uso do solo desse mapeamento, pela qual se percebe o predomínio de cobertura antropizada (63,2%), com maior proporção de pastagens (40,1%), seguida pela agricultura (22,3%) e área urbana (0,9%) – a mineração e o reflorestamento que não chegam a ocupar 0,2%. A cobertura vegetal natural corresponde a apenas 35,4%, com predomínio de fisionomias savânicas – representadas pelo mapeamento como Cerrado (32,2%), em comparação à formação florestal (3%). Os corpos hídricos ocupam 1,4%.

Tabela 3 – Área ocupada por classes de cobertura e uso do solo no estado de Goiás e Distrito Federal (2011)

Classes	Área (km²)	(%)
Área Urbana	3.009,25	0,9
Agricultura	76.219,48	22,0
Pastagem	138.456,38	40,1
Mineração	30,12	0,0
Reflorestamento	691,21	0,2
Cerrado (savânica)	111.922,12	32,4
Florestas	10.403,16	3,0
Massa d'água	4.947,94	1,4
Bancos de areias	24,91	0,0
Total	345.701	100%

Elaboração: Nascimento (2016), calculado em ambiente SIG, segundo o Macrozoneamento do estado de Goiás (GOIÁS, 2014).

Além da indicação da localização, das principais características demográficas e dos principais atributos da geomorfologia, altimetria e cobertura e uso do solo, uma melhor contextualização da área em estudo para o presente trabalho é subsidiada pela caracterização climática e pela descrição dos principais sistemas atmosféricos atuantes, apresentados na sequência.

1.2.3. Caracterização climática

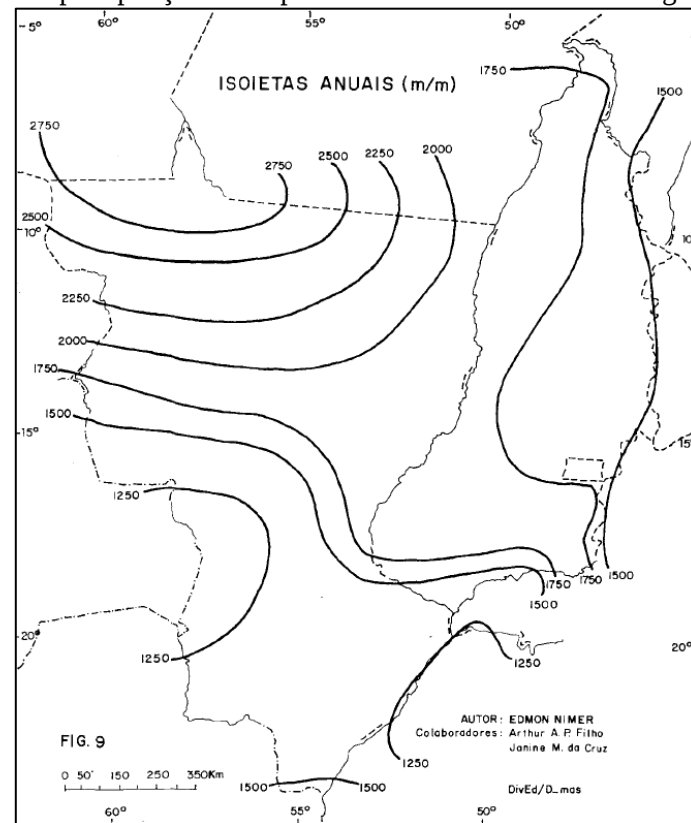
Segundo Nimer (1979), o território que contempla o estado de Goiás e Distrito Federal possui temperatura média anual de 22°C, sendo 24 °C para o mês mais quente e 18 °C para o mais frio. Com base em dados de 1989 a 1999 referentes a 47 estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Dias Cardoso, Marcuzzo e Barros (2012) definem uma média anual de temperatura para o estado de Goiás e Distrito Federal de 23,4 °C, com média para o mês mais quente (outubro) de 25,3 °C e para o mês mais frio (junho e julho) de 20,8 °C.

Com relação à precipitação, Nimer (1979) indica para a região uma média de precipitação anual variando entre 1.500 e 1.750 mm (**Figura 8**), com período de estiagem de até cinco meses, referente aos meses de maio a setembro e o trimestre consecutivo mais chuvoso referente aos meses de dezembro a fevereiro. As Normais Climatológicas de 1961 a 1990 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mostram que, na área em estudo, predomina média de precipitação anual variando entre 1.450 e 1.850 mm – **Figura 9**. Por sua vez, com base em uma série histórica de 1974 a 2008 referente a 107 estações pluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA), Costa et al. (2012) apresentam média de precipitação anual variando entre 1.100 e 2.400 mm, com média zonal de 1.529 mm, indicando como período de estiagem os meses de maio a setembro e como período chuvoso os meses de novembro a março (**Figura 10**).

Contudo, um único valor médio mascara a variabilidade existente no quadro climático da região. Campos et al. (2002) destacam que, devido à considerável diversidade do relevo, da hidrografia, da vegetação, da latitude, da continentalidade e da dinâmica das massas de ar (os fatores climáticos), o estado de Goiás e o Distrito Federal apresentam uma complexa variabilidade climática, principalmente térmica e pluviométrica. Nimer (1979) complementa que, enquanto os fatores relevo e latitude traduzem a diversidade térmica da região, a dinâmica das massas de ar reflete a variabilidade pluviométrica, existindo uma sazonalidade de atuação de massas de ar que repercute ora o período chuvoso ora seco para a região.

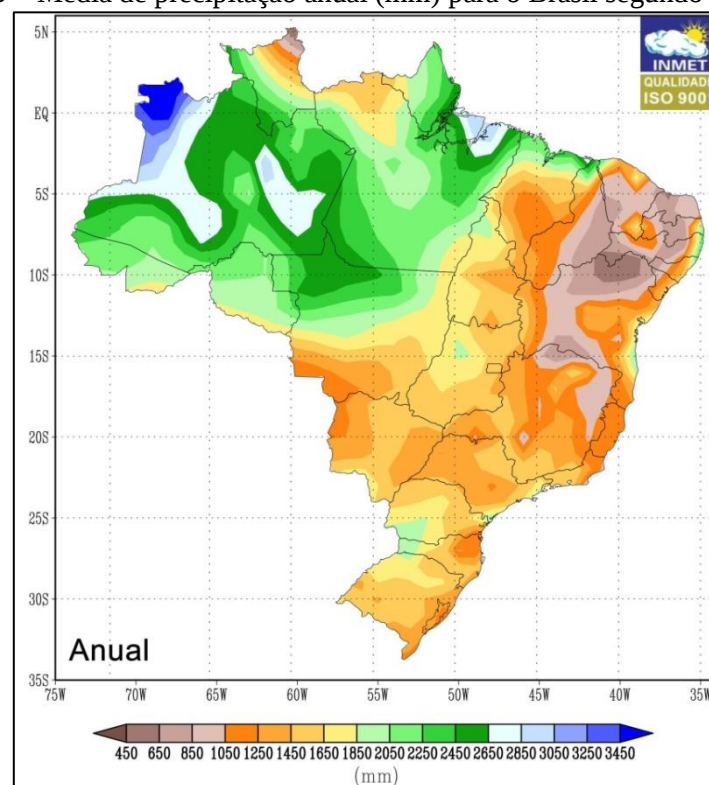
Sobre a diversidade térmica da região, Nimer (1979) afirma que a variação da latitude reflete maiores temperaturas no norte (24 °C) e menores no sul (22 °C), enquanto o relevo faz com que locais com menores altitudes possuam média entre 22 °C, diminuindo para 20 °C em áreas mais elevadas, como ocorre nas imediações de Brasília. Essa mesma variabilidade espacial da temperatura foi encontrada por Dias Cardoso, Marcuzzo e Barros (2012) ao espacializarem a temperatura média anual do estado de Goiás e Distrito Federal, encontrando médias anuais entre 26 °C e 27 °C no noroeste (onde se verificam menor latitude e altitude), em oposição aos valores entre 20 °C e 22 °C no sudeste e leste (onde se verificam maior latitude e altitude).

Figura 8 – Média de precipitação anual para o Centro-Oeste do Brasil segundo Nimer (1979).



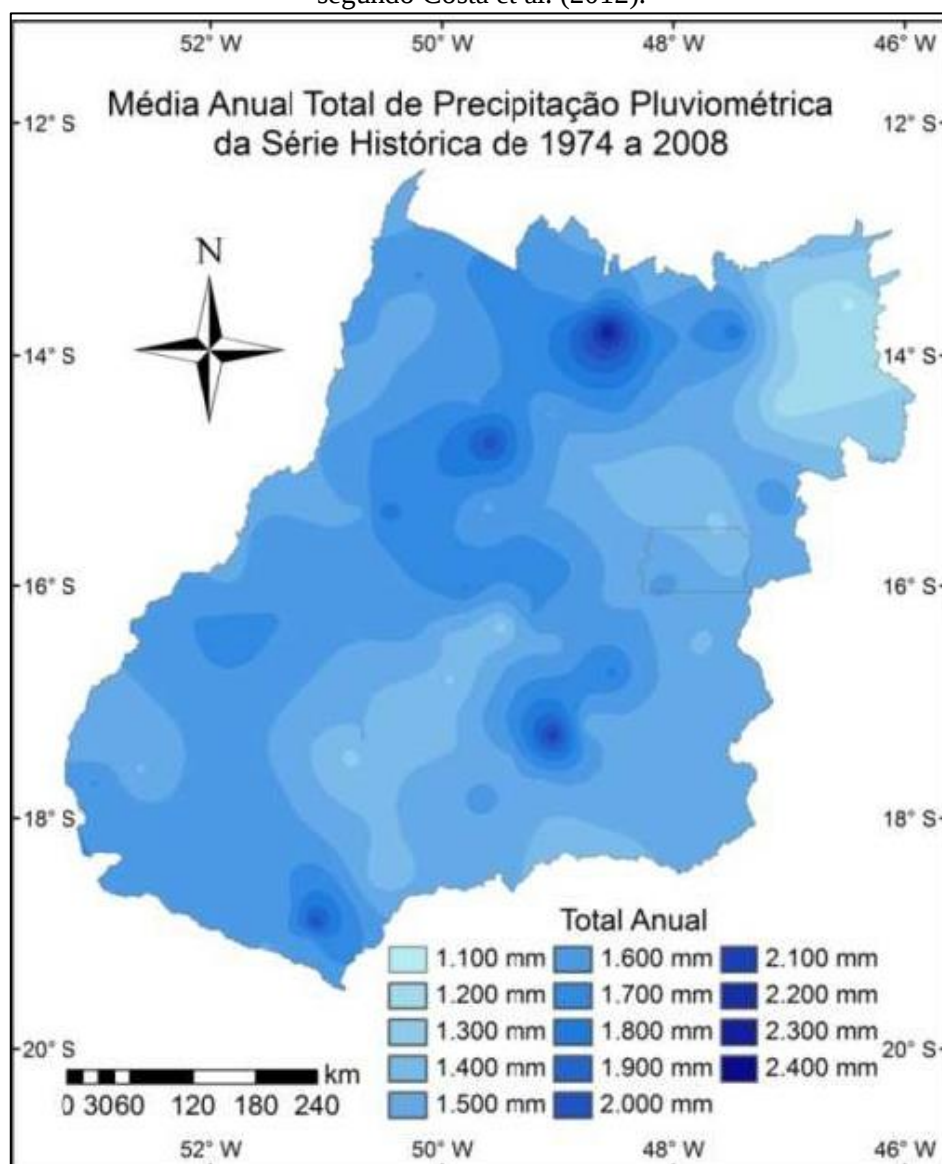
Fonte: Nimer (1979).

Figura 9 – Média de precipitação anual (mm) para o Brasil segundo o INMET.



Fonte: Normais climatológicas do INMET (1961/1990).

Figura 10 – Média de precipitação anual (mm) para o estado de Goiás e Distrito Federal segundo Costa et al. (2012).

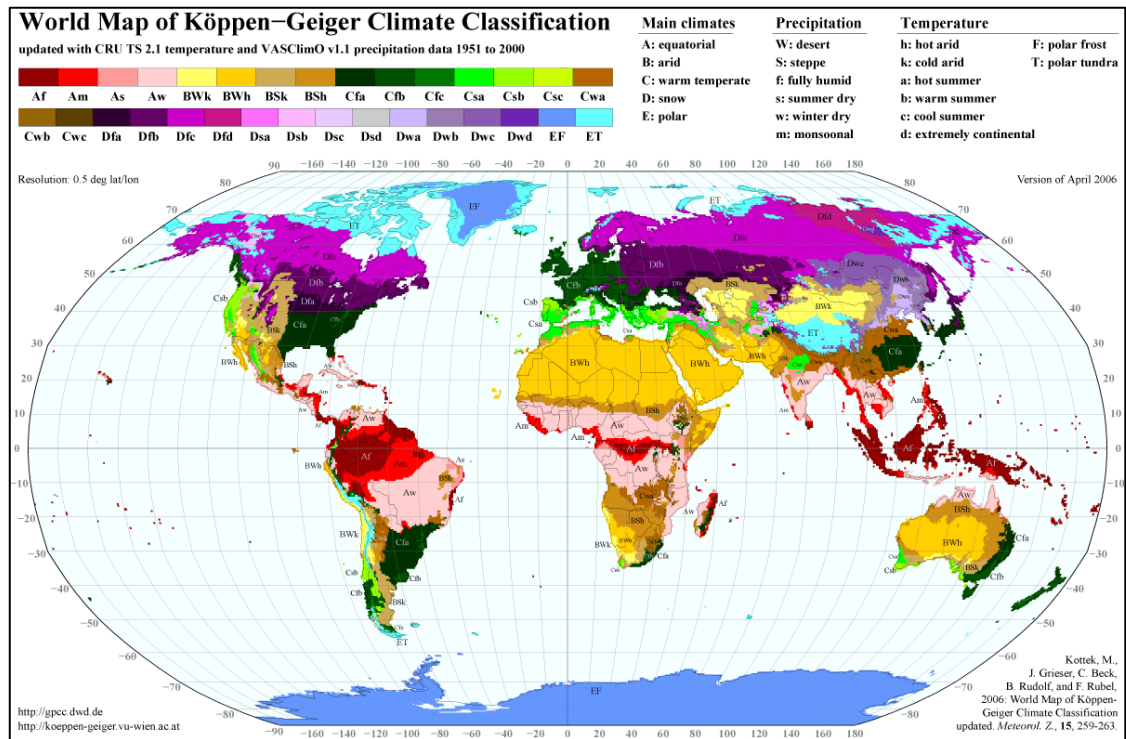


Fonte: Costa et al. (2012).

Levando em consideração os sistemas de classificação climática mais consagrados na bibliografia científica e nos livros didáticos, pela proposta desenvolvida no âmbito da abordagem empírica (descritiva) por Koppen-Geiger (1961), praticamente todo o território do estado de Goiás e do Distrito Federal corresponde à tipologia Aw – clima tropical, com chuva de verão e mês mais frio com sempre temperatura média superior a 18 °C, tendo uma pequena porção ao sul representada pela tipologia Cwa – clima tropical, com verão quente e chuvoso, mês mais frio com temperatura média entre -3°C e 18°C e mês mais quente com temperatura média maior do que 22°C (**Figura 11**). Por sua vez, o sistema de classificação de base genética proposto por Strahler (1951)

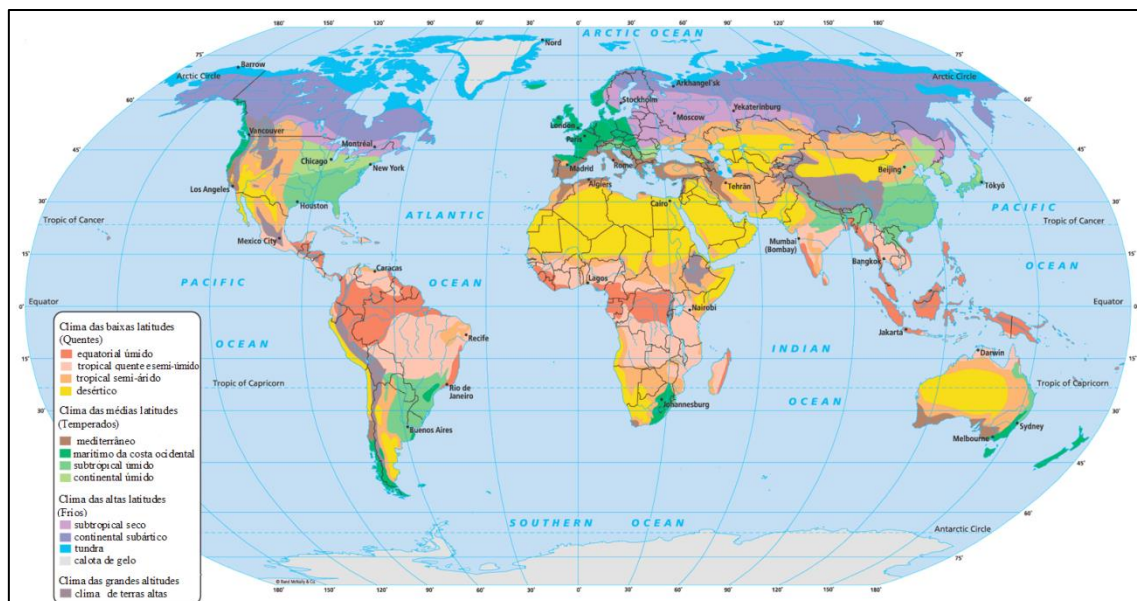
identifica para a área o clima das baixas latitudes, controlado por massas de ar equatoriais e tropicais, e que apresentam caráter tropical quente e semiúmido (Figura 12).

Figura 11 – Classificação climática de Köppen-Geiger (1961).



Fonte: Kottke et al. (2006).

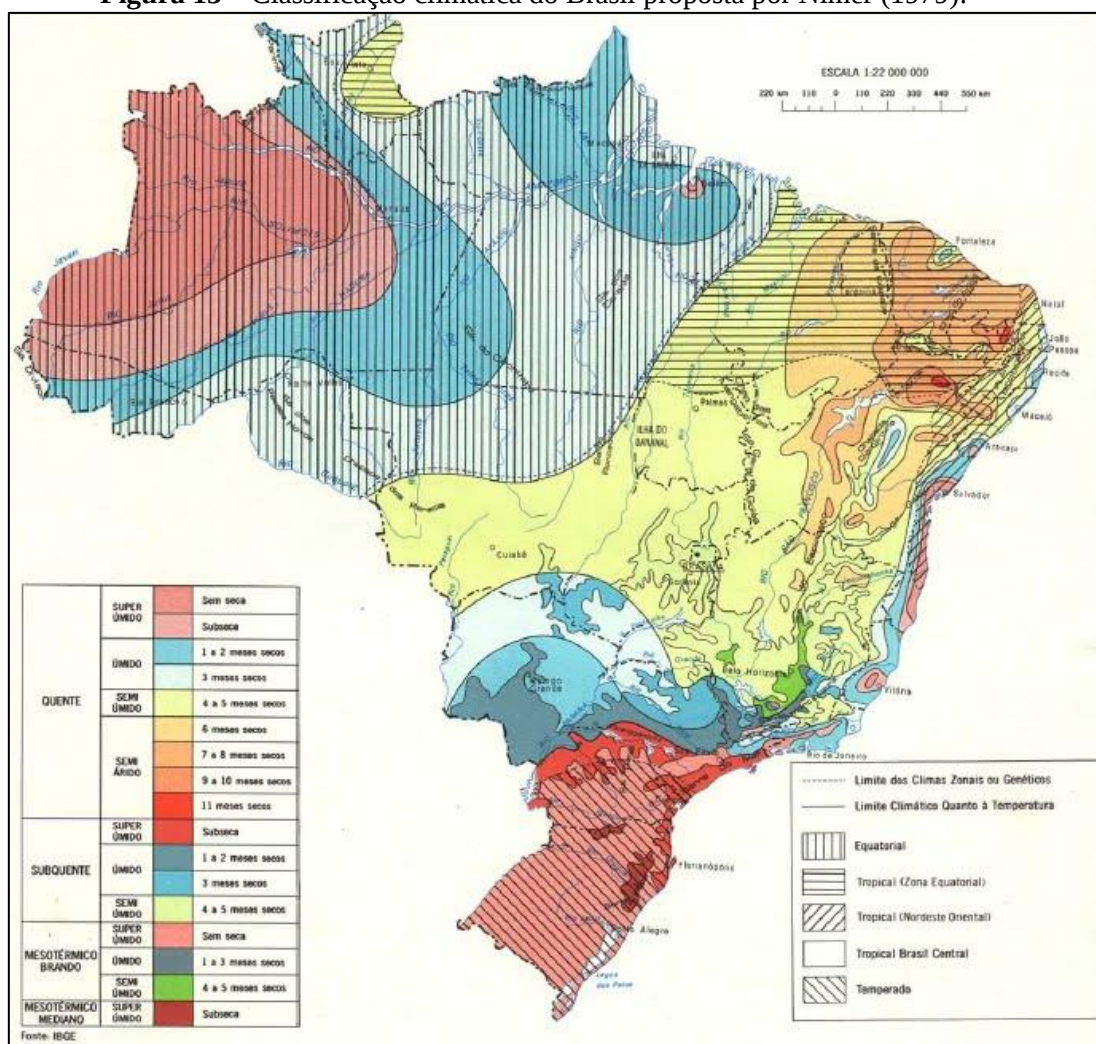
Figura 12 – Classificação climática proposta por Strahler (1951).



Fonte: <https://tabbara.wikispaces.com/file/view/Climate.jpg/162755973/Climate.jpg>.

Nimer (1979) indica para a área o clima Tropical Brasil Central, com o quase predomínio do tipo climático quente e semiúmido, média de temperatura sempre maior que 18 °C em todos os meses e ocorrência de 4 a 5 meses secos. A grande exceção a esse tipo climático ocorre no sudoeste de Goiás, que é classificado como pertencente ao clima quente e úmido, com média mensal de temperatura maior que 18 °C e ocorrência de apenas 3 meses secos. Por influência da altitude do relevo na média de temperatura, a região condizente ao Chapadão de Goiás e Distrito Federal e parte do Planalto Central Goiano é definida como clima subquente e semiúmido, com média entre 15 e 18 °C em, pelo menos, um mês e 4 a 5 meses secos. Nesse mesmo contexto, à área correspondente ao Planalto de Rio Verde no sudoeste de Goiás é atribuído o clima subquente e úmido, com média entre 15 e 18 °C em, pelo menos, um mês e apenas 3 meses secos.

Figura 13 – Classificação climática do Brasil proposta por Nimer (1979).



Fonte: IBGE < <http://biblioteca.ibge.gov.br> >.

1.2.4. Massas de ar e sistemas atmosféricos atuantes

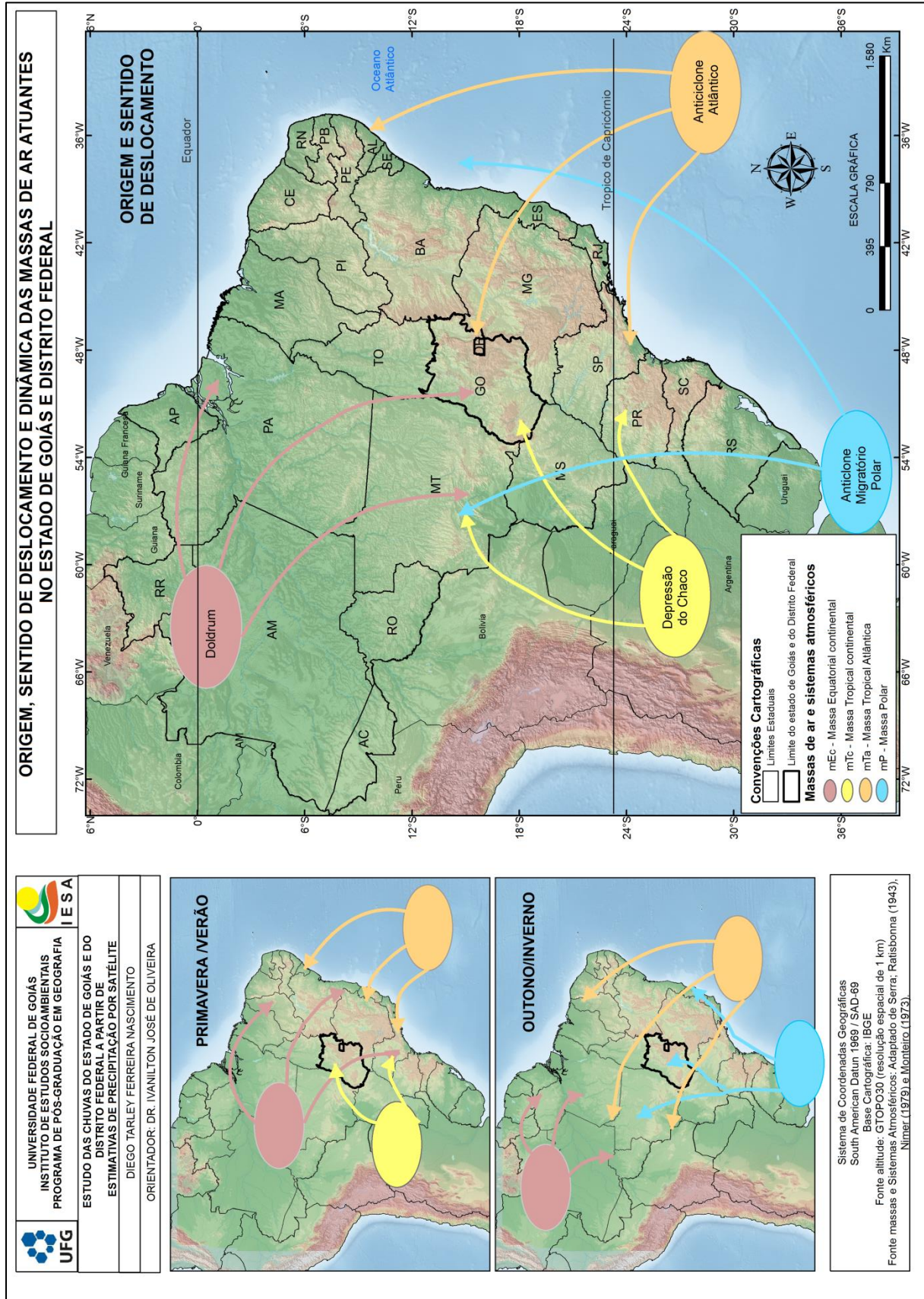
Conforme retratado pela **Figura 14**, o estado de Goiás e o Distrito Federal experimentam, durante o ano, a atuação de centros de baixa pressão de origem continental, individualizados como massas de ar Equatorial continental e Tropical continental, e centros de alta pressão que se individualizam sob a forma de massas de ar de origem marítima, representadas pelas massas de ar Tropical Atlântica e Polar Atlântica. Essas massas se deslocam sazonalmente para o continente, respeitando o caminho preferencial e as barreiras condicionadas pelo relevo e que, de acordo com o aquecimento desigual entre as estações do ano, ora avançam ora recuam sobre a região (SERRA; RATISBONNA, 1942; MONTEIRO, 1951, 1973; NIMER, 1979; CAMPOS et al., 2002).

A massa equatorial continental (mEc) tem origem numa região de doldrum (calmaria) formada pelo centro de baixa pressão localizado na Floresta Amazônica. Por se formar em uma zona de baixa pressão, essa massa de ar se configura como um sistema atmosférico ciclônico com movimento ascendente e convergente, concentrando e transmitindo para as camadas superiores da atmosfera tanto a umidade gerada pela evapotranspiração da densa vegetação e dos abundantes corpos hídricos da Floresta Amazônica quanto aquela originada pela evaporação do Oceano Atlântico, que é transportada pelos alísios. Por conta dos ventos contra-alísios nas camadas superiores da atmosfera e pela expansão da depressão térmica localizada nessa região durante a primavera e verão, essa massa de ar se desloca para o restante do país, perfazendo uma trajetória NO-SE, chegando até o litoral do sul do Brasil (SERRA; RATISBONNA, 1942). Por trazer grande proporção de umidade e, por conseguinte, de chuva da região da Amazônia para o restante do país, é feita uma analogia da mEc com “rios voadores”⁵.

A mEc adentra o estado de Goiás e o Distrito Federal com maior facilidade pela Depressão do Rio Araguaia, na região noroeste do estado, deslocando-se sobre o restante da área pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas. Os Planaltos (do Rio Verde e Central Goiano) e os Chapadões (de Goiás e Distrito Federal) funcionam como uma barreira orográfica para essa massa de ar, em sentido sudoeste/leste.

⁵ Os rios voadores fazem referência ao fluxo de água na atmosfera formado pelas massas de ar que carregam vapor da região amazônica para o Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

Figura 14 – Massas de ar atuantes no estado de Goiás e Distrito Federal.



Elaboração: Nascimento (2016), com base em Serra e Ratisbonna (1942), Nimer (1979) e Monteiro (1951; 1973).

A massa tropical continental (mTc) tem origem na depressão do Chaco, uma zona baixa, quente e árida a leste dos Andes, e é oriunda da frontólise da Frente Polar Pacífica após transpor a Cordilheira. Serra e Ratisbonna (1942) destacam que, raramente, essa massa se individualiza no inverno, atuando, sobretudo, no verão. Por se formar numa zona de baixa pressão, a mTc possui uma circulação ciclônica na superfície, com forte convergência. A baixa umidade da zona de origem impede a formação de nuvens de convecção, acarretando um tempo estável, quente e seco. A entrada da mTc no estado de Goiás se dá pelo sudoeste goiano. Contudo, o Planalto do Rio Verde condiciona a entrada dessa massa por dois caminhos preferenciais: pela Depressão do Rio Araguaia ou pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas.

Por sua vez, a massa tropical atlântica (mTa), também denominada de massa tropical marítima (mTm), tem como origem o Anticiclone do Atlântico Sul, recebendo, de forma homogênea, muito calor e umidade da superfície oceânica. Porém, por se formar em uma zona de alta pressão, configurando-se, portanto, como um anticiclone com movimento de subsidência, a umidade cedida pela superfície oceânica não se estende para as camadas superiores, limitando-se às camadas inferiores dessa massa. Ao ter que transpor a barreira topográfica condicionada pela Serra do Mar, da Mantiqueira, do Espinhaço e pela Chapada Diamantina antes de adentrar o país, toda a umidade dessa massa é precipitada na região litorânea brasileira. Assim, a mTa passa a apresentar característica de uma massa “continentalizada”, com pouca ou nenhuma umidade e condicionando tempo estável, quente e seco. Essa massa apresenta dois caminhos principais de deslocamento rumo ao estado de Goiás e Distrito Federal: um eixo que atravessa o oeste baiano pela Serra do Espinhaço e Chapada Diamantina e chega ao nordeste goiano pelo Vão do Paranã e outro eixo que transpõe a Serra do Mar e chega ao sul de Goiás pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas.

E, por fim, a massa polar (mP) se origina na zona subantártica oceânica, uma zona de alta pressão da qual migram anticiclones que, ocasionalmente, atingem o continente sul-americano por duas trajetórias condicionadas pela orografia da cordilheira dos Andes, uma a oeste e outra a leste. Da trajetória a leste dos Andes, ramificam-se outras duas, uma pela depressão topográfica do Chaco, que se estende pelo estado do Mato Grosso ao Amazonas, e outra trajetória pelo oceano Atlântico. Essa massa de ar adentra a área de estudo pela sua trajetória condicionada pela depressão do Chaco, alcançando, principalmente, a região sul e sudoeste do estado de Goiás e, quando fortalecida, avançando pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas.

Assim como ocorre com a mEc, o Planalto Central Goiano e os Chapadões de Goiás e Distrito Federal funcionam como uma barreira, dificultando a penetração e o deslocamento dessa massa para o interior e norte de Goiás. Por sua vez, decorrente da dissemetria do relevo de tipo *cuesta* do Planalto do Rio Verde, com menores altitudes ao sul e maiores ao norte desse planalto, a mP é forçada a ascender para transpor essa *cuesta*, ocasionando em chuvas orográficas nessa região.

Em seu trajeto pelo continente sul-americano, a mP, paulatinamente, perde as características térmicas da região em que se formou, adquirindo calor e chegando à área em estudo com características tropicalização, a ponto de ser tratada como mP envelhecida ou tropicalizada.

Borsato e Mendonça (2013) afirmam que a região que compreende o estado de Goiás e o Distrito Federal se configura núcleo terminal dos sistemas atmosféricos que atuam no Centro-Sul do Brasil. Contudo, as massas de ar repercutem a circulação habitual da atmosfera que, periodicamente, é interrompida e modificada por sistemas atmosféricos perturbadores, a saber: Alta da Bolívia (AB), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Frente Polar (FP).

A Alta da Bolívia (AB) é um anticiclone nos altos níveis da troposfera que ocorre na região central da América do Sul, geralmente no platô boliviano. Para Quadro et al. (1996), a AB é considerada como um sistema de grande escala semiestacionário que se forma na troposfera superior devido ao forte aquecimento convectivo durante a primavera e verão e ao escoamento em baixos níveis. Conforme apontado por Evangelista (2004), devido ao movimento anticiclônico, esse sistema atmosférico favorece a intensificação da transferência de umidade da região amazônica para o Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste brasileiro durante o verão e primavera, contribuindo para as chuvas da região em que a área em estudo se localiza.

Por sua vez, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) se baseia em uma alongada e persistente banda de nebulosidade de orientação noroeste/sudeste que se estende desde o sul da região amazônica até o oceano Atlântico Sul (KOUSKY, 1988). Luiz (2012, p. 11) afirma que a origem da ZCAS “é devida à junção da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), da Alta da Bolívia (AB), dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis no Nordeste (VCAN) e de sistemas frontais oriundos das regiões subtropicais”, que resulta numa elevada atividade convectiva principalmente ao longo da primavera e verão. Esse sistema é responsável pelo fornecimento de calor e umidade da região amazônica às maiores latitudes pela baixa troposfera, repercutindo na

intensificação e em períodos prolongados de chuvas em toda a região Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (NIMER, 1979) – a ponto de ser considerado por Quadro (1994) como um dos principais sistemas atmosféricos responsável pelo período chuvoso da região.

Ainda não há consenso na comunidade científica sobre os mecanismos de sua origem, mas estudos realizados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), como aquele desenvolvido por Rocha e Gandu (1996), apontam para influências de fatores remotos e locais. Quanto às influências remotas, os autores supracitados destacam a convecção da Zona de Convergência do Pacífico Sul, que refletem no início, duração e localização das ZCAS; enquanto aos locais, que podem ser diversos, o único consenso é com relação ao papel da convecção na região Amazônica.

A FP se configura como a zona de encontro da mP com massas de ar equatoriais e tropicais (mEc, mTc e mTa) ao se deslocar para o continente sul-americano. A atuação da FP sobre o estado de Goiás e Distrito Federal acarreta em decréscimo de temperatura que podem durar por alguns dias, sendo mais comuns durante o inverno, quando a mP alcança com maior facilidade a região por estar fortalecida.

1.2.5. Dinâmica das massas de ar e dos sistemas atmosféricos

Durante o verão e o inverno – estações contrastantes, há uma inversão da atuação e domínio das massas de ar continentais (mEc e mTc) e marítimas (mTa e mP) na região que compreende o estado de Goiás e Distrito Federal. Para um melhor entendimento da dinâmica atmosférica, em seguida, são apresentados os padrões que configuram a circulação atmosférica nas estações mais contrastantes do ano:

- ❖ **Primavera/Verão.** Durante o solstício de verão no Hemisfério Sul, o maior ângulo de incidência da radiação solar ocasiona num maior aquecimento da superfície terrestre com relação à oceânica. Devido a esse aquecimento desigual, a zona de baixa pressão localizada na região amazônica se expande e domina por grande parte do território brasileiro, intensificando a atuação da mEc sobre o país, repercutindo seu domínio sobre o estado de Goiás e Distrito Federal – o que condiciona o período chuvoso. As chuvas que ocorrem durante o verão são intensificadas pela atuação da ZCAS que, ao encontro do calor, umidade e convecção proveniente da região Amazônica com as frentes polares, repercutem nas chuvas frontais. Associada a esse período mais quente, a zona

de baixa pressão da depressão do Chaco também se expande, permitindo o fortalecimento, o deslocamento e a atuação da mTc sobre a região em estudo, ocasionando períodos de quatro dias a algumas semanas com elevadas temperaturas e estiagem, ocasião essa considerada “veranico”. Na primavera/verão, a zona de alta pressão do Atlântico Sul, onde se forma a mTa, encontra-se enfraquecida e limita-se a atuar no litoral brasileiro, ao passo que a mP não consegue adentrar por grande extensão do país, pelo fluxo da mEc em sentido N/S – barrando o deslocamento da mP. Serra e Ratisbonna (1942) ressaltam que, durante a primavera e verão, ocorrem incursões limitadas da mP que correspondem a algumas precipitações frontais;

- ❖ **Outono/Inverno.** Durante o solstício de inverno, o hemisfério sul apresenta menor ângulo de incidência da radiação solar e, por isso, a superfície terrestre se resfria com maior velocidade e intensidade que a oceânica. Devido a isso, a zona de alta pressão localizada no Atlântico Sul, em que deriva a mTa, se fortalece e avança em sentido SE-NO, predominando na região de estudo e repercutindo tempo estável, céu claro, baixa umidade e moderadas temperaturas. Fortalecida pelo sentido de deslocamento da mTa, a mP se desloca e alcança a região, ocasionando considerável diminuição das temperaturas, sobretudo durante a noite, podendo, ainda, repercutir em chuvas frontais. Durante o outono e inverno, a mEc fica limitada ao alto Amazonas enquanto a mTc, enfraquecida, não consegue se individualizar na forma de massa de ar.

Em suma, considera-se que o clima do estado de Goiás e Distrito Federal seja justificado pelos sistemas regionais de circulação atmosférica de origem equatorial, tropical e polar, e pelas características fisiográficas, sobretudo o relevo e a posição latitudinal, que condicionam para a região um regime climático marcado pela ocorrência de um verão quente e chuvoso, uma primavera com as temperaturas mais elevadas do ano e um inverno e outono seco (com umidade relativa do ar inferior a 15%) e com elevada amplitude térmica diária (NASCIMENTO et al., 2006).

CAPÍTULO 2 -

O EMPREGO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA CLIMATOLOGIA

2.1. Histórico das observações e registros do tempo e do clima

O conhecimento do estado e da variabilidade dos elementos climáticos é uma necessidade do homem desde os tempos remotos, uma vez que o planejamento das atividades de caça, cultivo e deslocamento dependiam (e dependem) diretamente da condição do tempo e do clima. Nos primórdios, referências aos elementos climáticos eram explicadas e justificadas pelo misticismo e, posteriormente, estimadas com base em observações indiretas feitas em descrições e relatos de naturalistas e viajantes, principalmente das grandes explorações geográficas promovidas pelos europeus a partir do século XV.

A invenção e o desenvolvimento de instrumentos meteorológicos a partir do século XV¹ subsidiou o conhecimento dos reais valores dos elementos climáticos de dada localidade, registrados em superfície ou na atmosfera.

A primeira rede de observações meteorológicas foi financiada por Ferdinando II de Medici em 1654, consistindo em estações situadas em algumas cidades da Europa: Florença, Cutigliano, Vallombrosa, Bolonha, Parma, Milan, Innsbruck, Osnabrück, Paris e Varsóvia. Os dados coletados eram enviados em intervalos regulares de tempo para a *Accademia del Cimento*, localizada em Florença – Itália (BRADLEY; JONES, 1992).

Na América, as primeiras observações meteorológicas sistemáticas foram feitas pelo reverendo John C. Holms em Wilmington, Delaware (EUA), no ano de 1644 (NOAA, 2013). Contudo, a transmissão dos registros era feita pelo serviço de correios (MILLER, 1931). A invenção do telégrafo por Morse, em meados de 1840, auxiliou no estabelecimento de uma rede de observações meteorológicas, com o recebimento e transmissão de dados a longas distâncias (MILLER, 1931). Foi nesse contexto que os Estados Unidos da América implantaram sua primeira rede meteorológica, em 1849, quando a *Smithsonian Institution*, liderada por Joseph Henry, forneceu instrumentos meteorológicos para empresas telegráficas em que cerca de 150 voluntários de todo o país relatavam as observações registradas pelos instrumentos diariamente (NOAA, 2013).

Referente ao território brasileiro, a primeira campanha de medições meteorológicas foi realizada em 1780 pelos portugueses Francisco de Oliveira Barbosa

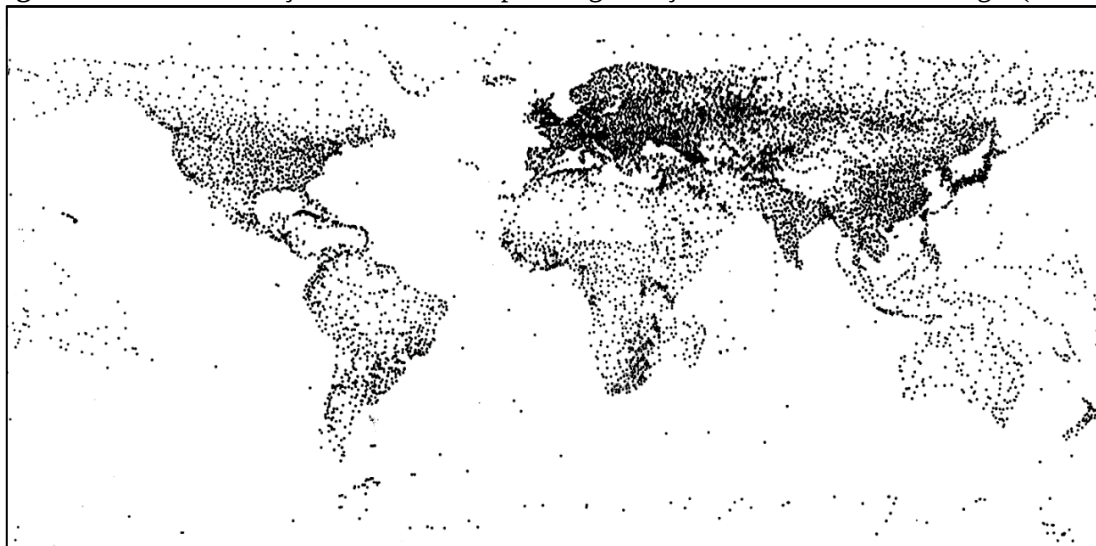
¹ A título de exemplo, o anemômetro inventado por Leon Battista Alberti em 1450 (reinventado por Robert Hooke em 1644 e readaptado para o modelo de conchas por Thomas Rommey Robinson em 1846), o termômetro foi inventado por Galileu Galilei em 1592 e o barômetro foi inventado por Evangelista Torricelli em 1643.

e Bento Sanchez d’Orta, no Morro do Castelo (Rio de Janeiro), onde foi montando um observatório para observações regulares de astronomia, meteorologia e magnetismo terrestre. Com a chegada da família real portuguesa no Rio de Janeiro em 1808, a Marinha do Brasil criou o primeiro observatório meteorológico brasileiro. Em 27 de setembro de 1827, o Imperador D. Pedro I institui a criação do Observatório Astronômico, sendo reorganizado em 1845 como Imperial Observatório do Rio de Janeiro em 1845 (OBSERVATÓRIO NAIONAL, 2013).

Segundo Sant’Anna Neto (2001), datam de 1844 as primeiras observações meteorológicas brasileiras, feita pelo Observatório Astronômico Imperial do Rio de Janeiro, enquanto observações meteorológicas regulares foram realizadas por navios da Marinha brasileira após 1862.

Conforme apontado por Sant’Anna Neto e Nery (2005), foi apenas após o fim da Segunda Guerra Mundial que se iniciou a obtenção sistemática de dados meteorológicos de superfície. Segundo os autores, foram lançadas radiossondas pelos principais aeroportos do mundo a fim de se obterem dados e informações de previsão do tempo. No início da década de 1950, haviam algumas centenas estações de radiossondagem distribuídas no mundo, aumentando para cerca de 2.000 estações na década de 1980. Atualmente, existem cerca de 20.000 estações meteorológicas oficialmente reconhecidas pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), – número ainda incapaz de fornecer dados e informações, e promover o diagnóstico climático de grandes extensões do planeta, principalmente ao destacar a desigual distribuição dessas – **Figura 15.**

Figura 15– Rede de estações reconhecidas pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM).



Fonte: KIDD (2001).

No Brasil, a observação meteorológica passou a ser realizada de forma sistemática apenas em 1910 pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Até o final da década de 60, havia cerca de 209 estações meteorológicas instaladas no país e, atualmente, esse órgão dispõe de cerca de 237 estações convencionais e 473 estações automáticas – totalizando 710 estações, vistas pela **Figura 16**. Contudo, algumas estações convencionais do INMET encontram-se em processo de desativação para implantação de estações automáticas, o que, em alguns casos, não ocorre na mesma localidade. Ainda, apesar de maior quantidade, vale destacar que a instalação da grande maioria das estações automáticas se deu nas últimas duas décadas.

Figura 16 – Rede de estações meteorológicas convencionais e automáticas do INMET.



Fonte: INMET (com adaptações).

Pelos mapas da **Figura 16** é bem perceptível a rarefeita distribuição das estações meteorológicas no território brasileiro. A distribuição das mesmas reflete o próprio processo de ocupação e desenvolvimento territorial do país, partindo do litoral para o interior do continente.

Outro ponto que merece ser destacado, conforme indicado por Nascimento e Brito (2015), se refere ao fato de 89% (211) das estações meteorológicas convencionais se situarem em áreas urbanas ou semi-urbanas, o que sugere que os dados meteorológicos registrados nessas estações sofram a influência da urbanização, ocasionando aumento da temperatura do ar e diminuição da umidade relativa do ar.

Atualmente, além do INMET, existem diversos outros órgãos e outras instituições públicas e privadas que possuem uma rede de estações que fazem o registro de elementos climáticos, como é o caso da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e da Agência Nacional de Águas (ANA).

Joly (2010) destaca como principais razões para o desenvolvimento de uma rede de observações meteorológicas o fato de providenciarem dados e informações para a previsão do tempo, por meio de modelagem climática, e proporcionarem a compreensão da variabilidade temporal e espacial dos atributos climáticos.

2.2. O problema dos registros feitos por estações meteorológicas

Mesmo se tratando de medidas diretas, as observações oriundas das estações meteorológicas apresentam uma série de problemas, como, por exemplo: 1) a questão da qualidade dos dados registrados que dependerão da forma do registro e do tipo de material utilizado nas estações, uma vez que abrigos meteorológicos de madeira, plástico ou metal influenciam diretamente o registro; 2) a densidade da rede de estações, geralmente muito pobre e desigual, principalmente sobre os oceanos (Vide **Figura 20**); 3) os erros de leituras provocados pela má escolha do local de instalação; 4) defeitos que os instrumentos possam apresentar e resultar dados anômalos ou falhas nas séries de dados; 5) mudanças dos equipamentos ou mesmo do local em que a estação meteorológica se localiza, sobretudo quando ocorre o fechamento de uma estação e abertura de outra em local diferente; 6) modificações na cobertura e uso do solo em que estão localizados os instrumentos, seja no próprio local seja no entorno, como visto nas estações que foram incorporadas aos centros urbanos; e 7) limitações na administração das estações meteorológicas que, por falta de pessoal ou má sistemática na coleta de dados, acabam gerando falhas nas séries temporais de dados (DUBREUIL, 2005; SU, HONG, LETTENMAIER, 2007; YANG et al, 2013).

Conforme lembrado por Rozante et al. (2010), os dados derivados de “*surface observations are confirmed as “the truth” in such model validation*”, sem qualquer análise mais acurada ou desconfiança com relação à qualidade ou validade dos dados registrados.

Outro problema inerente aos dados registrados por estações meteorológicas, e já abordado na introdução da tese, consiste na projeção espacial por extensas áreas além do ponto de coleta dos dados meteorológicos, sobretudo em regiões nas quais a rede de estações é rarefeita.

Além disso,

Delineating climate regions using only weather station based data may introduce serious bias. For both hard and fuzzy classifications, the sparse and uneven distribution of weather stations creates a problem in deciding borderlines between groups of stations at

considerable distance from each other, and in identifying climate characteristics of regions with low weather station density (Briggs & Lemin, 1992; DeGaetano, 1996; Fovell & Fovell, 1993). Climate characteristics generally change gradually over space and forced classification may not be natural. Some scientists argue that the delineation of hard boundaries between climate regions should not be overemphasized for this reason. On the other hand, delineated climate regions can provide a useful means to summarize and publish climatic data in an efficient way (RHEE et al, 2008, p.3100).

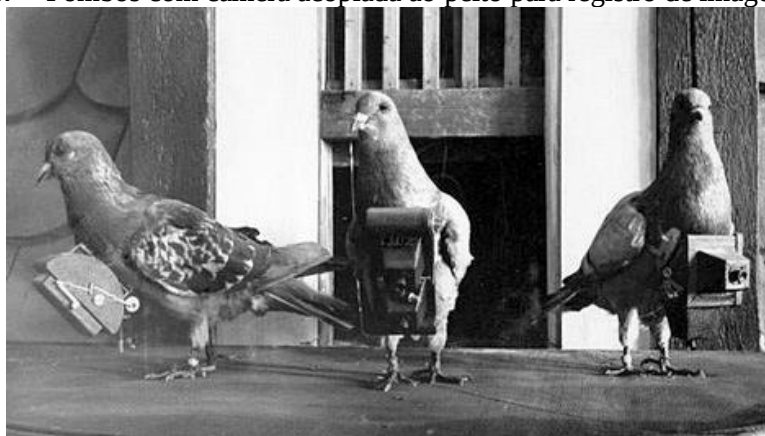
Portanto, a rarefeita rede de estações meteorológicas e a dúbia qualidade dos dados por elas registrados, associados à necessidade de registro dos elementos climáticos de forma sinótica, justificaram o emprego de dados provenientes de Sensoriamento Remoto, inicialmente, na observação do tempo, e, posteriormente, no monitoramento do clima.

2.3. O Sensoriamento Remoto e o advento de satélites de observação do tempo e monitoramento do clima

O Sensoriamento Remoto pode ser compreendido como “a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo” (ROSA, 2001, p.1), visto que diferentes objetos refletem/emitem diferentes quantidades de energia, em comprimentos de ondas distintos, sendo essas diferenças espectrais registradas pelos sensores remotos na forma de valores radiométricos associados a cada pixel da imagem e traduzidos como variações tonais de cinza.

Tendo origem com uso da fotografia registrada por equipamentos fixados em balões, aviões e até mesmo em pombos, como foi o caso da minicâmera patenteada por Julius Neubronner, em 1903, que era acoplada em pombos e ativada por um mecanismo temporizador para o imageamento de áreas por onde sobrevoavam (**Figura 17**).

Figura 17 – Pombos com câmera acoplada ao peito para registro de imagens aéreas.



Fonte: <<http://www.esteio.com.br/blog/blogs/media/geral/2010/Junho/camara-pombo.jpg>>.

Possuindo, inicialmente, aplicações direcionadas a fins militares associados às atividades de defesa e ao reconhecimento do território, o Sensoriamento Remoto apresentou uma considerável evolução no decorrer dos anos propiciada pelos avanços na telecomunicação e na informática. Apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960, sendo, ao longo dos anos, amplamente utilizado na meteorologia e nas comunicações. Atualmente, vem sendo utilizado para fins de reconhecimento e exploração dos recursos naturais com diversas e distintas possibilidades, a exemplo: no levantamento das características do solo, da água, da vegetação, do substrato geológico e do balanço de energia superficial, no monitoramento de secas, de queimadas e de safras e em estudos em áreas urbanas e naturais.

Dentre as vantagens dos sensores remotos, é possível citar a resolução espacial, capaz de cobrir toda a superfície terrestre, permitindo análises globais, regionais e/ou locais, em uma visão holística; os registros temporais constantes, fornecendo dados históricos e sinóticos², que permitem o monitoramento; e, por fim, a relativa facilidade de aquisição dos registros, em função dos acervos disponibilizados por agências e órgãos governamentais.

Nas décadas de 1940 a 1960, se deu o advento dos satélites meteorológicos para observação, monitoramento e previsão do tempo. Inicialmente voltados exclusivamente para registro da nebulosidade atmosférica, os satélites meteorológicos abarcaram uma série de possibilidades e aplicações no estudo do tempo e do clima nos anos que se sucederam.

As primeiras imagens meteorológicas registradas remotamente datam de 1947, logo após a Segunda Guerra Mundial, quando os Estados Unidos utilizaram foguetes munidos com câmaras ópticas para fotografarem os sistemas de nuvens (DUBREUIL, 2005). O referido autor destaca que a previsão meteorológica aparece frequentemente como o fruto da guerra, uma vez que o conhecimento das condições do tempo seria essencial para o sucesso das operações militares.

Para Dubreuil (2005, p. 81),

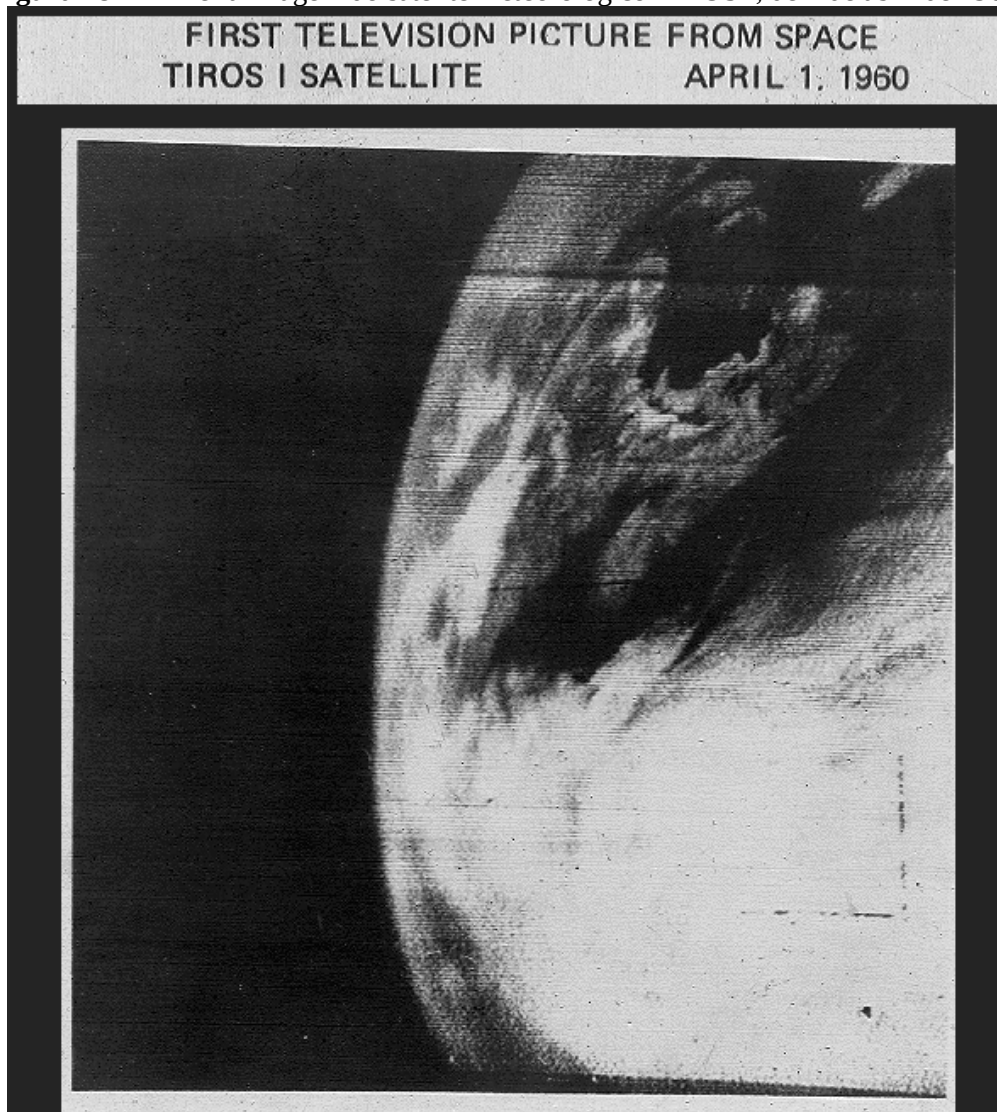
a era da teledetecção meteorológica com satélite começa realmente após a criação da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) em Março de 1958 que lança o primeiro satélite

² A título de exemplo, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) fornece imagens do continente sul-americano a cada 15 minutos e perfis de temperatura e umidade da atmosfera a cada 2 horas.

meteorológico para a estimativa do balanço da energia terrestre: "*First Earth Radiation Experiment*".

Em primeiro de abril de 1960, foi lançado o primeiro satélite exclusivamente meteorológico, o TIROS-1 (Television and InfraRed Operating System) e, *conforme enfatizado pelo site da Agência Espacial Norte-Americana (NASA), "the world's first weather satellite lifted off from Cape Canaveral, Fla., opening a new and exciting dimension in weather forecasting"*. O satélite TIROS 1 foi destinado a fornecer as primeiras imagens de topos de nuvens, e, por conseguinte, a ocorrência e intensidade de eventos chuvosos. Esse satélite mudou para sempre a previsão do tempo e a investigação científica do clima (**Figura 18**).

Figura 18 – Primeira imagem do satélite meteorológico TIROS I, de 1 de abril de 1960.



Fonte: http://www.nasa.gov/vision/earth/features/bm_gallery_3.html. Acesso em 15/06/2015

O Tiros foi o primeiro satélite exclusivamente para fins meteorológicos, lançado pelos EUA. Ainda oriunda da corrida espacial, a Rússia não fica para trás e lança, em 1966, seu satélite meteorológico, o COSMOS-122. Porém, antes deles, foram lançados também os satélites Vanguard 2, o Explorer 6 e o Explorer 7, em 17 de fevereiro de 1959, 7 de agosto de 1959 e 13 de outubro de 1959, respectivamente, com instrumentos de registro de dados meteorológicos a bordo. Contudo, os dois primeiros logo apresentaram problemas e apenas o terceiro satélite obteve sucesso na obtenção de dados meteorológicos.

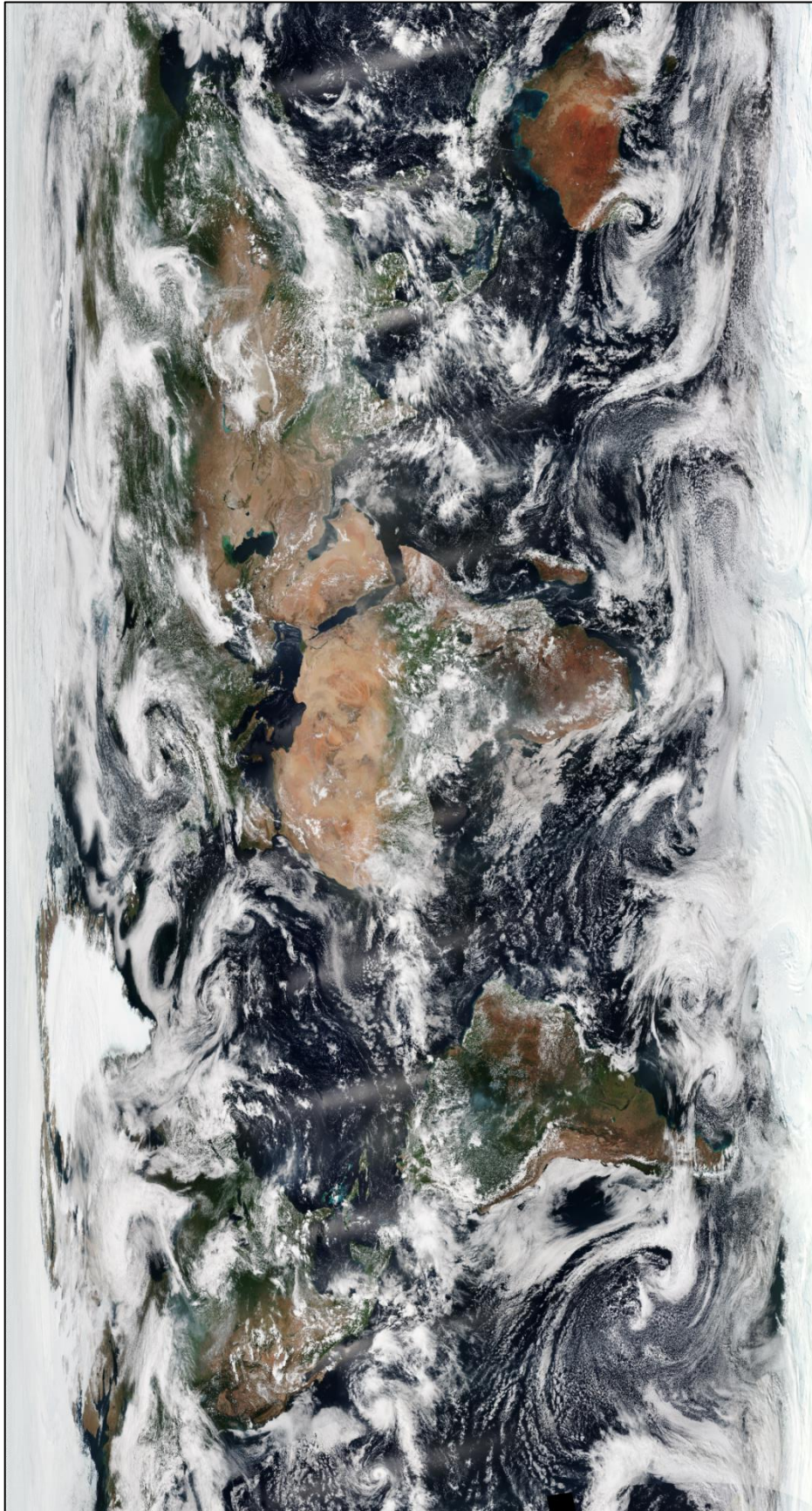
Nos anos que seguiram, uma série de outros satélites meteorológicos foram lançados, a ponto de “*In 1963 the World Weather Watch programme was set up by the World Meteorological Organization³ to establish an operational satellite observation network of geostationary and polar-orbiting meteorological satellites*” (KIDD, LEVIZZANI, BAUER, 2009, p. 474) a fim de prover dados históricos, sinóticos e de todo o globo terrestre, conforme o exemplo da composição global diária em cor real (**Figura 19**), que pode ser acessada pela plataforma de visualização de imagens globais referentes a diversos produtos NOAA disponível na homepage <<http://www.nnvl.noaa.gov/view/>>.

É nessa política que foram lançados, em 1969, o *Space Infra-Red Sounder* (SIRS-A) a bordo do Nimbus 3 – o primeiro de uma nova classe de sondas orbitais responsável por fazer o registro da temperatura vertical da estratosfera à superfície com cobertura global, e considerável resolução espacial e acurácia; em 1972, o *Vertical Temperature Profile Ifred Operational Satellite* (VTPR), a bordo do NOAA 2; e em 1978, o *Television Ifred Operational Satellite* (TIROS N), a nova geração do pioneiro TIROS, com vinte canais de operação do *High Infrared Souder* (HIRS), acompanhado pelo *Sounder Unit* (MSU) e pelo *Stratospheric Souder Unit* (SSU), formando o TIROS *Operation Vertical Souder* (TOVS).

Graças à parceria entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), outras séries de satélites administrados pelos Estados Unidos da América, seguidos por outros países, como o Japão, a China, a Rússia e a Índia que também lançaram e, atualmente, operam seus próprios satélites de observação meteorológica.

³ Em português: Organização Mundial de Meteorologia (OMM).

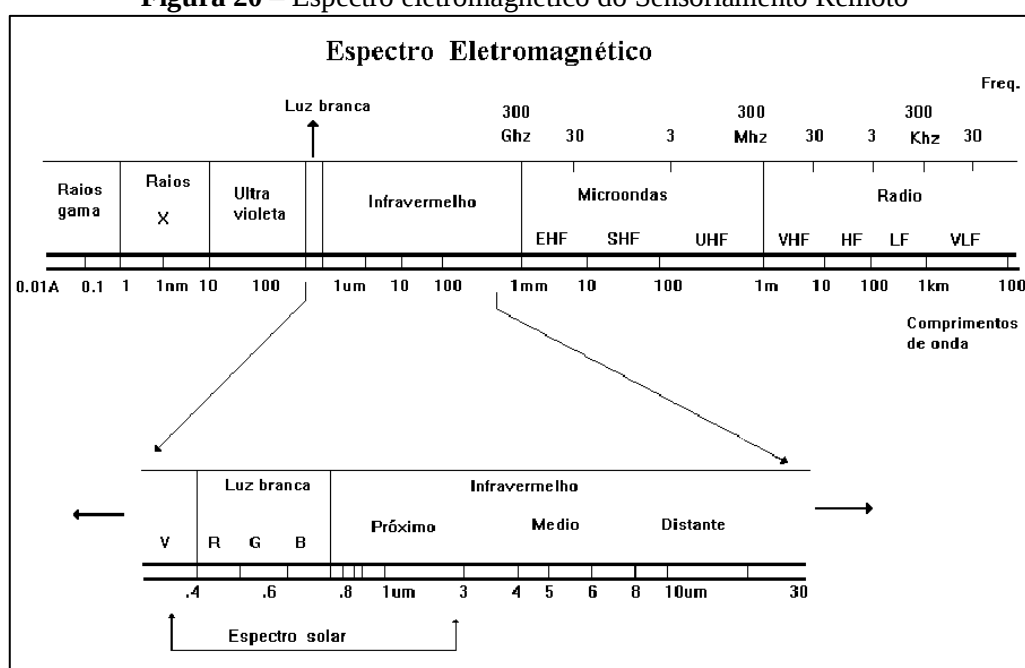
Figura 19 – Imagem em cor real obtida pelo Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), referente a 18 de agosto de 2014.



Fonte: <http://npp.gsfc.nasa.gov/viirs.html>. Acesso em 01/10/2015.

Dependendo dos canais em que os sensores presentes nos satélites operam, específicas porções do espectro eletromagnético são registradas, possibilitando distintas potencialidades de aplicações. Considerando que o espectro eletromagnético varia desde os menores comprimentos de ondas dos raios gama aos maiores comprimentos das ondas de rádio (**Figura 20**), a observação do tempo e o monitoramento do clima por Sensoriamento Remoto se fundamenta no registro de faixas específicas do intervalo do espectro eletromagnético do visível, do infravermelho próximo, do infravermelho médio, infravermelho distante (termal) e por micro-ondas.

Figura 20 – Espectro eletromagnético do Sensoriamento Remoto



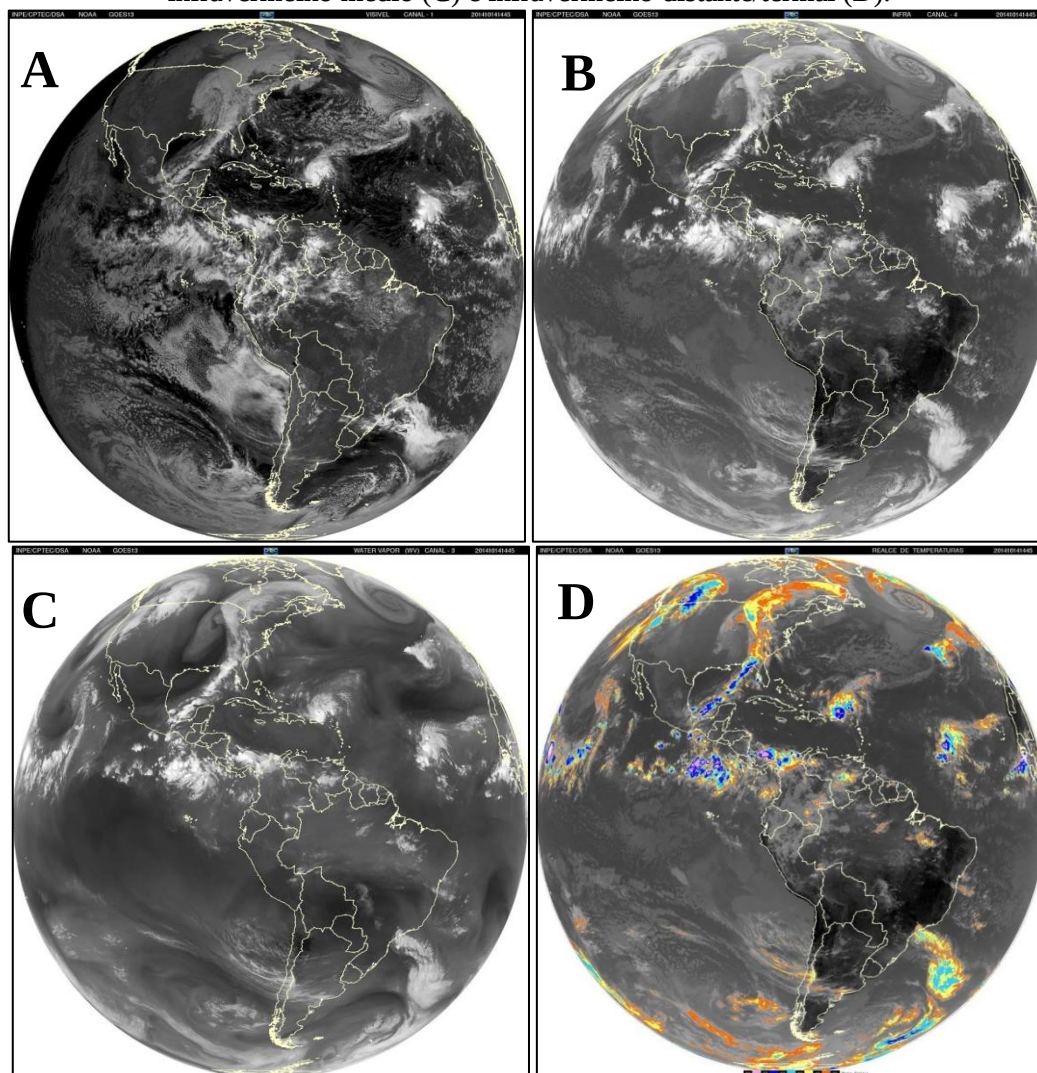
Fonte: http://www.vision.ime.usp.br/~ronaldo/mac0417-03/sensoriamento_remoto/figs/pdi_3.gif. Acesso em 20/12/2015.

As imagens registradas na faixa do visível são, geralmente, empregadas para registro do albedo de superfície e para análise do balanço de radiação. Por sua vez, as imagens registradas no infravermelho apresentam empregos diversos, por exemplo, aquelas registradas no infravermelho próximo são, comumente, utilizadas para analisar a temperatura do topo das nuvens e fornecerem informações sobre o desenvolvimento vertical e a quantidade de umidade presente; aquelas registradas no infravermelho médio são capazes de mensurar a absorção da umidade do vapor d'água na média troposfera; enquanto aquelas registradas no infravermelho distante correspondem às variações térmicas superficiais, marítimas ou do topo das nuvens.

Não obstante, o intervalo das micro-ondas do espectro eletromagnético se baseia numa forma de sensoriamento remoto ativo realizado por sistemas de “*Radio Detection And Ranging*”, comumente nominado pela sigla RADAR. Esses sistemas emitem radiação do próprio equipamento, que sofre interação (reflexão) com gotículas de água na atmosfera e retornam ao sistema. Por isso, são amplamente utilizados para mensurar a quantidade de água na atmosfera ou nas nuvens.

Portanto, conforme o intervalo do espectro eletromagnético que o sensor de sensoriamento remoto opera, diferentes “retratos” do sistema meteorológico e climático são passíveis de serem registrados (**Figura 21**), fornecendo, assim, diversos produtos aplicáveis à climatologia.

Figura 21 – Imagens do satélite GOES na região do visível (A), infravermelho próximo (B), infravermelho médio (C) e infravermelho distante/termal (D).



Fonte: Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do INPE. Acesso em: 02/01/2016.

2.4. Produtos do sensoriamento remoto voltados à Climatologia

A aplicação inicial dos satélites meteorológicos se baseava na observação dos deslocamentos dos sistemas frontais e do desenvolvimento dos sistemas locais. Atualmente, a evolução quantitativa e qualitativa dos satélites propicia o fornecimento de dados e informações referentes a distintos parâmetros climáticos, permitindo o avanço para além das simples observações dos parâmetros atmosféricos, a ponto de subsidiar complexas análises climáticas, desde o início sutil de uma seca e seu impacto sobre a vegetação até o monitoramento de fenômenos como o *El Niño* e *La Niña* ou das mudanças climáticas globais.

Ferreira (2003) destaca que as missões básicas dos satélites meteorológicos incluem o fornecimento de

imagens de nebulosidade no visível e no infravermelho, sondagem atmosférica, índice de vegetação, temperatura da superfície do mar, monitoramento de focos de queimadas, concentração de ozônio na atmosfera, sistema de busca e salvamento e receber e transmitir dados das Plataformas de Coleta de Dados (PCD), entre outros (FERREIRA, 2003, p. 34).

O **Quadro 3** indica os principais parâmetros climáticos derivados do Sensoriamento Remoto para a atmosfera, oceano e superfície, dentre os quais vale destacar os produtos de estimativa de precipitação, descargas elétricas, velocidade e direção dos ventos, classificação de nuvens, balanço de radiação, temperatura superficial terrestre e marítima, umidade, focos de calor – por apresentarem vasta aplicação.

Quadro 3 – Principais produtos de sensoriamento remoto aplicáveis na Climatologia.

Atmosfera	Precipitação; pressão atmosférica; balanço de radiação; velocidade e direção do vento; umidade; classificação de nuvens, descargas elétricas e; composição de dióxido e monóxido de carbono, metano, ozônio e aerossóis.
Oceano	Temperatura da superfície do mar; salinidade da superfície do mar; nível do mar.
Superfície	Temperatura da superfície terrestre, índice de vegetação, cobertura de gelo e geleiras; <i>permafrost</i> ; albedo; umidade do solo e; focos de calor.

Fonte: GLOBAL CLIMATE OBSERVING SYSTEMS (2003).

A seguir, é descrito e detalhado o produto referente às estimativas de precipitação – empregado nesta tese de doutorado.

2.4.1. Estimativa de precipitação

Kidd (2001) e Petty (1995) afirmam que a precipitação é o parâmetro climático de mais difícil mensuração, por apresentar grande variabilidade espacial e temporal. Os autores complementam que os totais pluviométricos podem apresentar grande variação em curtas distâncias, praticamente impossível de ser averiguada por uma rede rarefeita de estações meteorológicas – realidade existente em grande extensão do território brasileiro, principalmente na Região Centro-Oeste.

Além da coleta pontual por tradicionais pluviômetros e pluviógrafos, dados e imagens meteorológicas referentes a precipitação podem ser fornecidos por sistemas de “*Radio Detection And Ranging*”, desenvolvidos a partir da década de 1970 e comumente nominado pela sigla RADAR. Os Radares operam na faixa das micro-ondas do espectro eletromagnético e se baseiam numa forma de sensoriamento remoto ativo, ou seja, que não aproveitam a radiação solar como fonte de energia, mas utilizam de energia emitida do próprio equipamento, que sofre interação (reflexão) com as gotículas de água na atmosfera e registram a localização e a intensidade de eventos pluviométricos.

O sistema de mensuração de precipitação por radar apresenta grande vantagem quando comparado ao registro por estações meteorológicas, por ser capaz de “*estimates of precipitation are often made over wide areas*” (KIDD, 2001, p. 1043). Contudo, essa alternativa apresenta alguns problemas inerentes à estimativa dos valores de precipitação, principalmente no que diz respeito

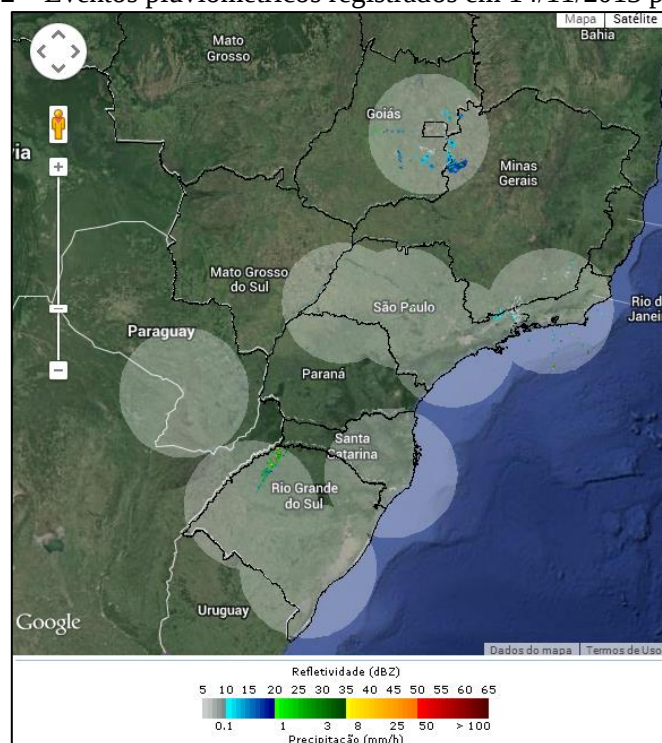
à calibração eletrônica do equipamento, à equação de transformação da refletividade efetiva em taxa de precipitação, ao efeito da curvatura da Terra, à zona de derretimento de cristais de gelo na nuvem entre outras (CALVETI et al., 2003 apud MOL, 2005, p. 8).

Além disso, a distribuição global dos sistemas de radares se apresenta tão ou mais rarefeita que a de estações meteorológicas, certamente devido ao alto custo para instalação e manutenção (KIDD, 2001).

A título de exemplo, no caso do território brasileiro, alguns órgãos e algumas instituições de Meteorologia (CPTEC, INMET, IAG-USP, UNESP, Aeronáutica etc.) possuem radares dispostos com o intuito de abranger o território brasileiro, mas considerável extensão ainda não é abrangida por tais sistemas, como é o caso de grande parte da região Nordeste e algumas porções do Centro-oeste e Norte. A **Figura 22** representa os registros pluviométricos de 14/11/2013 feitos por radares da rede do CPTEC, INMET e IAG/USP, sendo possível perceber o alcance dos sistemas de radares

pelo círculo cinza. No território compreendido pelo estado de Goiás e Distrito Federal há apenas um radar, situado na região administrativa de Gama-DF.

Figura 22 – Eventos pluviométricos registrados em 14/11/2013 por radares.



Fonte: <http://sigma.cptec.inpe.br/radar/>. Acesso em: 14/11/2013.

Não obstante, outro método alternativo para a inexistência de uma rede de estações e radares meteorológicos suficiente para a representação da variabilidade espacial das chuvas é a estimativa de precipitação por satélite. Acerca desse método de estimativa, Mol (2005) destaca que

A estimativa de precipitação por satélite possui uma ampla abrangência, pode ser realizada em áreas do globo imageadas por satélites, em intervalos de tempo de até 15 minutos, não sendo inibidas pela existência de zonas montanhosas ou outros obstáculos, e não apresentando certas inconsistências espaciais que afetam os radares (SCOFIELD E KULIGOWSKI, 2003, apud MOL, 2005, p. 8).

Desde as primeiras imagens de nuvens registradas a partir de abril de 1960 pelo satélite meteorológico TIROS I, características de estrutura e movimento de nuvens foram analisadas de modo a fornecerem importantes insumos à compreensão de padrões de áreas afetadas por chuvas, sobretudo a considerar que “*since rain falls from clouds, the knowledge of cloud locations is a first step towards precipitation estimation*” (KIDD, 2001, p. 1046). Nesse sentido, a ocorrência e mesmo intensidade de eventos pluviométricos poderiam ser inferidos com base no comportamento espectral do topo das nuvens (PETTY, 1996).

Conforme apontado por Barret (1970), desde 1960, várias técnicas de estimativas de precipitação por satélite foram desenvolvidas empregando-se satélites, sensores e metodologias distintas. Mesmo partindo de simples técnicas de indexação de nuvens para a inferência da taxa de precipitação por tipo de nuvem, desenvolvida pelo mesmo autor na década de 1970.

Os principais métodos de estimativa de precipitação por satélite se valem das informações na faixa do visível (0,3 a 0,6 μm), infravermelho (0,6 a 14,0 μm) e micro-ondas passivas ou ativas (MOL, 2005; MICHAELIDES et al., 2009). No visível, a estimativa de precipitação é feita com base na mensuração do brilho (reflectância) do topo das nuvens, que é indicativo de sua espessura e capaz de ser relacionável com a tendência de chuva. Por sua vez, no infravermelho, a estimativa é realizada com base na temperatura de brilho do topo das nuvens, que é relacionada com sua altura e espessura, e passível de ser traduzida na probabilidade de chuva (QUIROZ JIMÉNEZ, 2011). Com base nesses pressupostos do comportamento da radiação nas faixas do visível e infravermelho do espectro eletromagnético, diversas técnicas e metodologias foram desenvolvidas para correlacionar o brilho e a temperatura do topo de nuvens com probabilidade de precipitação.

Contudo, Quiroz Jiménez (2011, p. 14) destaca algumas limitações da estimativa de precipitação na faixa do visível e infravermelho, uma vez que “a radiação detectada pelos sensores vem do topo de nuvens e não abaixo destas, onde são produzidas as precipitações”. Mol (2005) ainda complementa que

Essa relação assume que a altura das nuvens está relacionada com a espessura das mesmas, uma suposição que funciona razoavelmente bem para nuvens convectivas, mas é problemática para nuvens nimbusstratus, em que a lâmina precipitada costuma ser subestimada pelos valores relativamente altos de temperatura do topo e as não precipitáveis nuvens cirrus, que podem ser identificadas como nuvens precipitáveis devido à sua baixa temperatura do topo (SCOFIELD E KULIGOWSKI, 2003, apud MOL, 2005, p. 17-18).

Outrossim, Collischonn et al. (2007, p. 94) afirmam que “nem toda a nuvem brilhante e nem toda nuvem com topo frio está efetivamente produzindo precipitação”.

Nesse sentido, estimativas de precipitação também podem ser realizadas no intervalo do espectro eletromagnético compreendido pelas micro-ondas (1 mm e 30 cm), que emprega registro da emissão termal das gotas de chuva, nas baixas frequências de micro-ondas (10-37 Ghz), e mensuração da dispersão da radiação

emitida pela superfície terrestre por conta das partículas de gelo nas nuvens, quando referente às altas frequências (>85 Ghz) (QUIROZ JIMÉNEZ, 2011).

Collischonn et al. (2007, p. 94) ressaltam que os sensores orbitais que operam na faixa das micro-ondas “respondem de forma razoavelmente física à presença de água e/ou cristais de gelo nas nuvens”. Sobre o assunto, Michaelides et al. (2009, p. 519) afirmam que a faixa das micro-ondas apresenta melhor resposta aos processos internos das nuvens e aos mecanismos de formação de precipitação, uma vez que “*in this portion of the electromagnetic spectrum the precipitation hydrometeors are the main source of the attenuation*”. Os mesmos autores complementam que

radiation measured by the sensor is an integrated quantity over the whole atmospheric column and not just from the precipitation layer close to the ground; effects of surface emission and reflection as well as absorption by atmospheric gases are thus included (MICHAELIDES et al., 2009, p. 519).

Técnicas mais atuais valem-se de múltiplas porções da faixa espectral (visível, infravermelho e micro-ondas) e mesmo de sensores para a estimativa de precipitação (KIDD, 2001). Quiroz Jeménez (2011) destaca que essa abordagem permite combinar distintos sensores e diversas faixas espectrais de modo a fornecer melhores estimativas de precipitação.

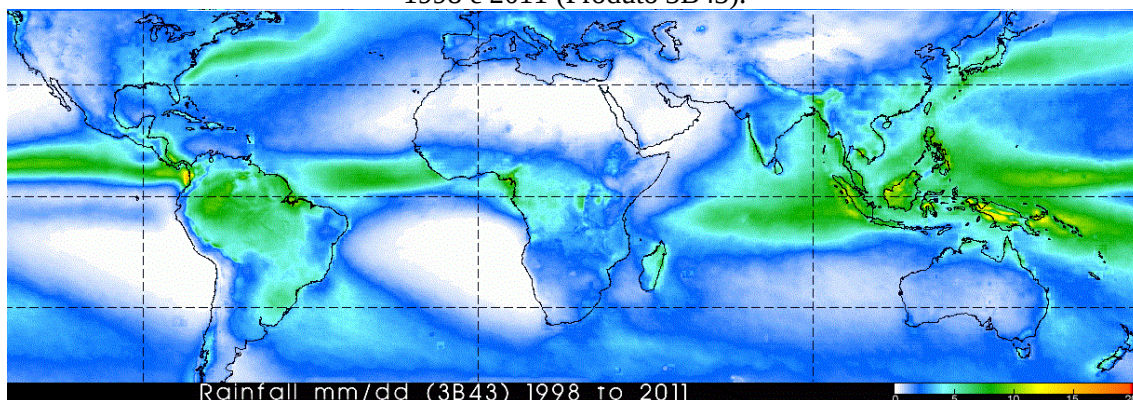
Fensterseifer (2013) destaca como principais satélites disponíveis para estimativas de precipitação o *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), *Meteorological Satellite* (METEOSAT), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Geostationary Meteorological Satellite* (GMS), *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP) e o *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). Porém, por ser aquele empregado na presente tese, na sequência, é mais bem descrito o TRMM.

2.4.1.1. Estimativa do *Tropical Rainfall Measuring Mission* - TRMM

Dentre os principais satélites que fornecem estimativas de precipitação na atualidade, está a Missão de Mensuração das Chuvas nos Trópicos (*Tropical Rainfall Measuring Mission* – TRMM), lançado em 27 de novembro de 1997 pela Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (*National Aeronautics and Space Administration* – NASA), em parceria com a Agência Japonesa Aeroespacial (*Japan Aerospace Exploration Agency* – JAXA), com o intuito de monitorar a distribuição temporal e espacial das chuvas, sistemas convectivos e tempestades nos trópicos com

vistas a subsidiar avanços no conhecimento a respeito do ciclo global de energia e água, e sua associação com o clima global (KUMMEROW et al., 2000; NASA, 2007) – **Figura 23.**

Figura 23 – Imagem do TRMM correspondente à média diária de precipitação (em mm) entre 1998 e 2011 (Produto 3B43).



Fonte: http://trmm.gsfc.nasa.gov/trmm_rain/Events/all_years.3B43.color.annotated.gif. Acesso em 15/04/2015.

Vários foram os estudos que empregaram as estimativas do TRMM para quantificação de eventos pluviométricos, análise da variabilidade espacial e temporal das precipitações, e correlação das chuvas com fenômenos atmosféricos, climáticos e ambientais, realizados numa abordagem meteorológica ou climática e referentes a diversas localidades do globo ou do próprio território brasileiro - Nesbitt, Zipser e Cecil (2000); Petersen e Rutledge (2001); Bhatt e Nakamura (2005); Berg, L'ecuyer e Kummerow (2005); Huffman et al. (2007); Collischonn (2006); Collischonn et al. (2007); Liu, Zipser e Nesbitt (2007); Tian et al. (2007); Fisch, Vendrame e Hanaoka (2007); Kodama et al. (2009); Arai et al. (2009); Jiang e Zipser (2010); Ribeiro e Ferreira (2013); Silva, Ferreira e Oliveira (2014).

Dentre todos esses trabalhos, destaca-se o desenvolvido por Pereira et al. (2013), que comparou as estimativas mensais de precipitação do TRMM realizadas entre 1998 e 2010 com os dados registrados por 183 estações meteorológicas distribuídas pelo território brasileiro, encontrando concordância de, aproximadamente, 97% entre os dados, apesar de superestimativas de 9%, 8%, 6%, 13% e 9% do TRMM vistas para as regiões Centro-Oeste, Sul, Norte, Sudeste e Nordeste, respectivamente, e aquele elaborado por Farias et al. (2013) na mesma abordagem metodológica, mas, especificamente, para o estado de Goiás e para o Distrito Federal (mesma área de estudo deste trabalho), no qual os autores encontraram correlação entre os dados de até 90%.

De fato, significativos avanços científicos foram subsidiados graças aos dados do TRMM, como é o caso de:

reducing the uncertainty of mean tropical oceanic rainfall; a documentation of regional, diurnal, and inter-annual variations in precipitation characteristics; the first estimated profiles of latent heating from satellite data; improved climate simulations; increased knowledge of characteristics of convective systems and tropical cyclones; and new insight into the impact of humans on rainfall distributions (NASA, 2007, p. 1).

Como extensão das aplicações dos dados do TRMM, convém destacar:

1) an improved climatology of precipitation characteristics, especially extremes; 2) improved diagnosis and closure of global (and regional) water cycles; 3) diagnosis and testing of inter-decadal and trend-related processes in the water cycle; 4) assessment of the impact of humans (e.g., cities, deforestation, and aerosols) on rainfall characteristics and processes; 5) robust determination of convective system, tropical cyclone, and lightning characteristics; 6) advances in hydrological applications over land (basinscale assessments, water management); 7) improved modeling of the global water/energy cycles for weather/climate predictions; and 8) improved monitoring and forecasting of tropical cyclones, floods and other hazardous weather (NASA, 2007, p. 1).

Apesar de ter sido lançado com uma vida útil prevista para 3 anos, o TRMM permanece até os tempos atuais registrando e disponibilizando seus dados – provendo uma série temporal de quase 20 anos.

Possuindo órbita oblíqua não heliossíncrona bastante baixa (inicialmente de 350 km passando, após agosto de 2001, a 403 km), o TRMM possui um curto período de translação de 92 minutos, capaz de dar 15 voltas ao planeta Terra por dia, permitindo, assim, resoluções espacial ($0,25^\circ$) e temporal (3 horas) relativamente altas para as áreas entre latitudes de 35° N e 35° S.

Primeiro lançado exclusivamente para estimativa de precipitação, o TRMM carrega uma série de sensores que permite comparações diretas de observações realizadas na faixa do visível, infravermelho, micro-ondas passivas (radiômetro) e ativas (radar) (KIDD; LEVIZZANI, 2011). Uma breve descrição dos sensores a bordo do TRMM são apresentados na sequência:

- *TRMM Microwave Imager (TMI)* – Imageador de Micro-ondas, radiômetro de micro-ondas passivo que mede a intensidade de radiação de temperatura do brilho para estimativa do vapor de água, água precipitável e intensidade da chuva, é capaz de providenciar informações quantitativas de chuvas. Para melhoria nas mensurações, utiliza os dados da estrutura vertical das nuvens registrada pelo PR;

- *Visible and InfraRed Scanner (VIRS)* – Radiômetro no visível e infravermelho, mede a radiação que retorna do planeta em cinco regiões espectrais no visível e infravermelho (0.63 a 12 μm) empregando a correlação do brilho (visível e infravermelho próximo) e temperatura (infravermelho) do topo das nuvens para delinear e estimar chuvas;
- *Precipitation Radar (PR)* – Radar de precipitação, sensor de micro-ondas ativas, sendo o primeiro e único radar meteorológico lançado a bordo de um satélite, capaz de produzir imagens tridimensionais da estrutura vertical das nuvens com vistas a classificar o tipo de chuva e obter mensurações de sua intensidade e distribuição tanto na superfície quanto no oceano;
- *Lightning Imaging Sensor (LIS)* – Sensor para imageamento de relâmpagos, pequeno e sofisticado instrumento capaz de identificar descargas elétricas e detectar o início de eventos pluviométricos extremos.
- *The Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)* – Sistema de energia radiante da Terra e Nuvens, utilizado para mensurar e estudar o balanço de energia entre o Sol, a atmosfera, a superfície, as nuvens e o espaço sideral. Porém, esse instrumento operou apenas entre janeiro a agosto de 1998 e em março de 2000.

Kummerow et al. (1998) apresentam uma profunda descrição dos sensores a bordo do TRMM e os princípios da estimativa de chuvas por esses, pela qual convém destacar que

Passive microwave radiometers measure radiances that are the end product of the integrated effects of electromagnetic absorption–emission and scattering through the precipitating cloud along the sensor viewpath. The frequency dependence of electromagnetic properties of cloud and precipitation particles allows for the design of multichannel passive microwave radiometers that can “sound” to different depths in a precipitating cloud, but the height assignment of cloud properties is not very specific. On the other hand, active microwave sensors (radars) provide specific height information based upon the time delay of the precipitation-backscattered return power.
(...)

The VIRS on TRMM adds cloud-top temperatures and structures to complement the description of the two microwave senso
(KUMMEROW et al, 1997, p. 810).

As estimativas realizadas pelo TRMM são disponibilizadas pela plataforma de aquisição de dados da NASA, em que podem ser adquiridos produtos dos diferentes sensores a bordo do satélite em formatos originais; processados e disponibilizados no formato de matriz de chuvas na escala de 0,25° x 0,25°; ou provenientes de tratamento climatológico para composição de médias mensais ou anuais de toda a série temporal. Além disso, podem ser acessados os dados auxiliares, de parâmetro e das estações de superfície, utilizados no programa de validação.

Convém destacar que, para o controle da qualidade das estimativas da precipitação, as informações provenientes do TRMM são calibradas por observações de superfície compreendendo um programa de calibração em campo (*ground validation – GV*) contínuo, que se vale de radares e estações meteorológicas situados em vários pontos na faixa intertropical. Wolff et al. (2005) destacam o programa de validação como o elemento-chave para o grande sucesso, ao passo que Berg, L'Ecuyer e Kummerow (2005) complementam o emprego de algoritmos de calibração como responsáveis pela consistência das estimativas de chuvas do TRMM.

Além disso, o grande diferencial do TRMM é o cruzamento de registros realizados por sensores ativos e passivos, capazes de providenciarem mensurações de radiação (VIRS), potência (PR) e temperatura (TMI) que, integrados por diferentes algoritmos e, por vezes, por diversas fontes, são disponibilizados na forma produtos de estimativas diárias e mensais de precipitação. A **Figura 24** apresenta o esquema do processamento de dados do TRMM, em que são detalhados os níveis de processamento e os diferentes produtos gerados.

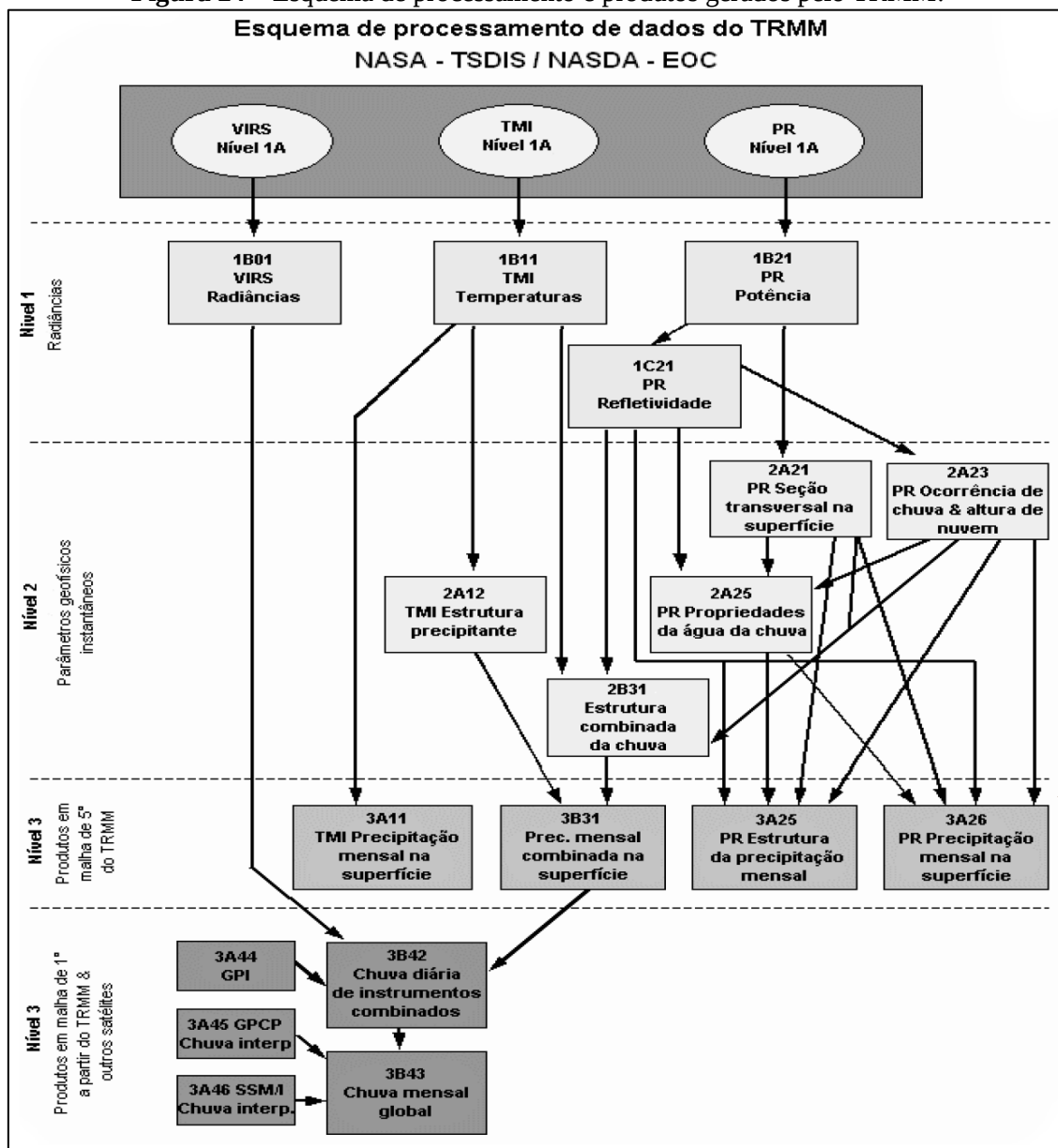
Conforme salientando, alguns produtos das estimativas de precipitação são levantados por múltiplas fontes, compreendendo o cruzamento de dados de vários satélites, e, mesmo, a correlação com dados de estações de superfície para melhoria e validação das estimativas. É nesse contexto que se ampara o *TRMM Multisatellite Precipitation Analysis – TMPA* (KIDD, 2001; HUFFMAN et al., 2007).

O TMPA se baseia na combinação de estimativas realizadas no micro-ondas e infravermelho, constituídas por algoritmos calibrados de múltiplos satélites (DMSP, AQUA, NOAA e TRMM) que são corrigidas por dados de superfície e disponibilizadas para a região compreendida entre os paralelos 50°N e 50°S, numa resolução espacial de 0,25°x0,25° e temporal mensal, diária ou a cada três horas (QUIROZ JIMÉNEZ, 2011; HUFFMAN et al., 2007).

Fensterseifer (2013) faz uma sucinta explicação dos algoritmos de calibração para a combinação de estimativas de precipitação de múltiplos satélites provenientes do TMPA:

- (1) as estimativas de precipitação de micro-ondas são intercalibradas e combinadas; (2) as estimativas de IR são criadas com ajuda de uma calibração baseada também nos resultados das estimativas de micro-ondas; (3) é feita a combinação de ambos os resultados obtidos nas etapas (1) e (2); (4) finalmente, dados observados em pluviômetros e pluviógrafos são integrados (FENSTERSEIFER, 2013, p. 38)

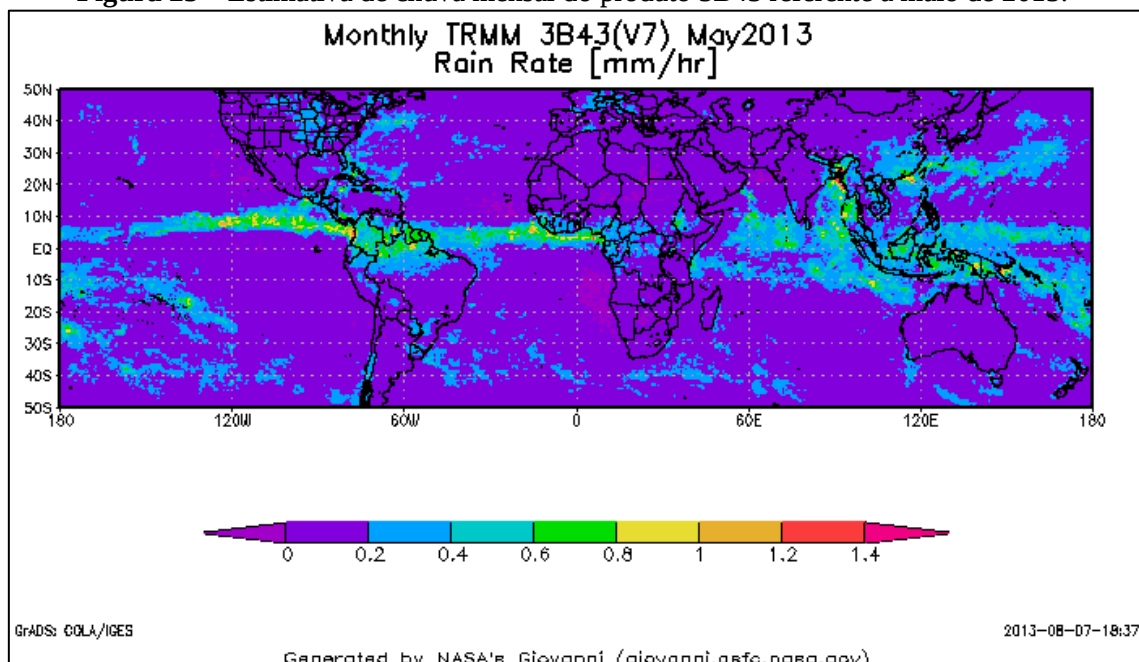
Figura 24 – Esquema de processamento e produtos gerados pelo TRMM.



Fonte: Collischonn, 2006.

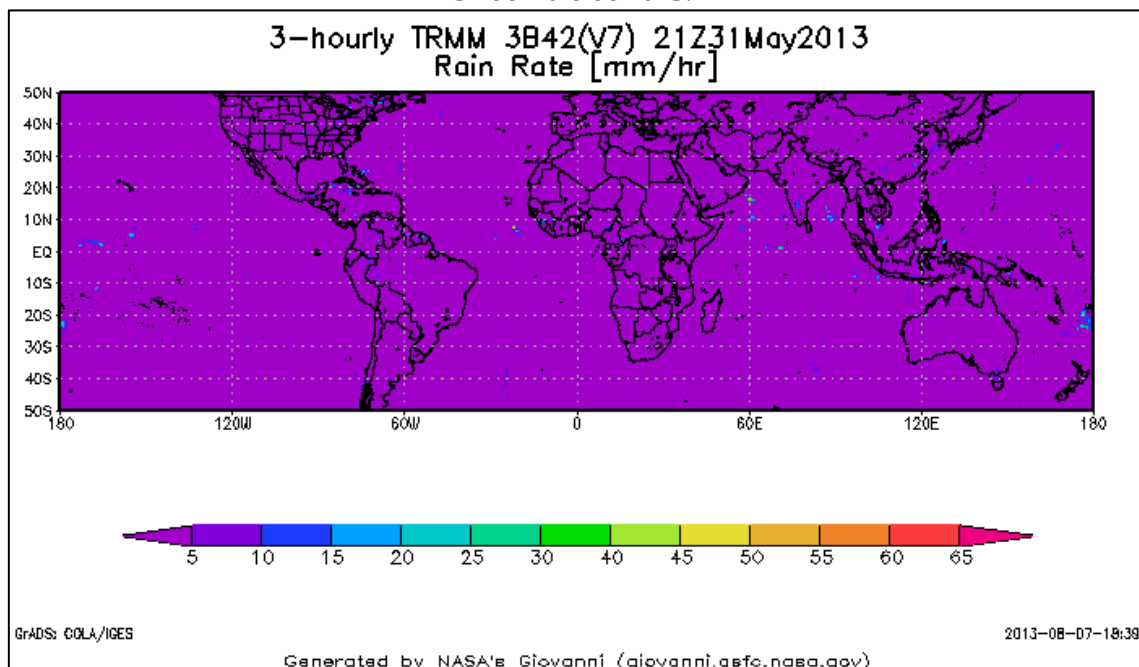
Dentre os principais produtos disponibilizados pelo TMPA, estão: 1) produto de chuva mensal com combinação de sensores de satélite (3B43) – **Figura 25**; 2) produto de chuva acumulada de 3 horas com combinação de múltiplos sensores de diferentes satélites (3B42) – **Figura 26** e; 3) produto com chuva diária acumulada de 0 UTC a 24 UTC, ou seja, entre 9 e 21 h no horário de Brasília (3B42 derivado) – **Figura 27**. Todos os produtos são disponibilizados na escala espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, ou seja, aproximadamente, 25km de resolução espacial.

Figura 25 – Estimativa de chuva mensal do produto 3B43 referente a maio de 2013.



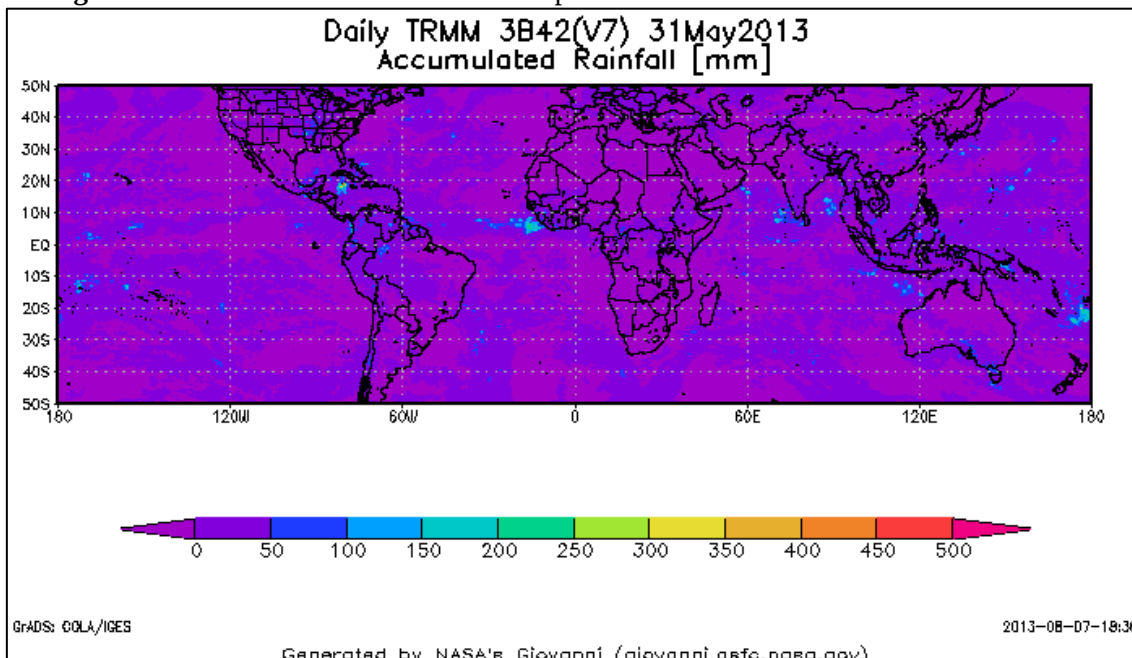
Fonte: http://mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B43_007.shtml. Acesso em: 05/05/2015.

Figura 26 – Estimativa de chuva acumulada em 3 horas do produto 3B42 referente a 21UTC de 31 de maio de 2013.



Fonte: http://mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B42_007.shtml. Acesso em: 05/05/2015.

Figura 27 – Estimativa de chuva diária do produto 3B42 referente a 31 de maio de 2013.



Fonte: http://mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B42_daily_007.shtml. Acesso em: 05/05/2015.

Em 8 de julho de 2014, as leituras do tanque de combustível do TRMM indicaram fim da reserva, o que forçou que a *Nasa* abandonasse as manobras de manutenção e iniciasse a descida, destinando a pequena quantidade de combustível para as manobras de desvio de detritos no espaço com vistas a garantir a reentrada segura do satélite na atmosfera. Segundo informações da *Nasa*, após a geração de um acervo de dados referente a 17 anos, os instrumentos a bordo do TRMM foram desligados em abril de 2015 e o satélite realizou a reentrada na atmosfera da Terra em 15 de junho de 2015.

Para continuidade das estimativas realizadas pelo TRMM, a *Nasa* tem desenvolvido o *Global Precipitation Measurement* (GPM), que consiste numa missão de cooperação entre agências espaciais internacionais, entre elas, o Centro Nacional de Estudos Espaciais da França (*Centre National d'Études Spatiales – CNES*), a Organização de Pesquisa Espacial Indiana (*Indian Space Research Organisation – ISRO*), a Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (*National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA*), e a Organização Europeia para a Exploração de Satélites meteorológicos (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites – EUMETSAT*) com o uso de múltiplos satélites equipados com sensores e radares similares ao TRMM, porém com maior resolução capazes de

detectarem até as precipitações mais leves de baixa intensidade ($<0,5$ mm/hora) (COLLISCHONN, 2006; FENSTERSEIFER, 2013).

2.4. Potencialidades e restrições do emprego de dados orbitais na Climatologia

Conforme apontado, as imagens obtidas por satélites de Sensoriamento Remoto têm servido ao estudo do tempo e do clima, mudando drasticamente as pesquisas realizadas no âmbito da Climatologia por terem propiciado avanços no entendimento do sistema climático e providenciado a mensuração e o monitoramento de elementos e fenômenos atmosféricos, em intervalos regulares de tempo e em escala sinótica (YANG et al, 2013; DUBREUIL, 2005).

As imagens dos satélites meteorológicos fornecem subsídio ao levantamento das condições do tempo atmosférico e, por consequência, à identificação e à verdadeira compreensão das características e das variabilidades espacial e temporal do clima, na medida em que a identificação, quantificação e monitoramento dos componentes climáticos (temperatura, precipitação, massas de ar etc.) ganharam uma dimensão espacial e temporal jamais obtida até então – com os registros pontuais oriundos das estações meteorológicas.

Além disso,

Satellite data are frequently used with climate models to simulate the dynamics of the climate system and to improve climate projections. Satellite data also contribute significantly to the improvement of meteorological reanalysis products (...).Data from satellite remote sensing is also widely used for developing prevention, mitigation and adaptation measures to cope with the impact of climate change (YANG, et al., 2013, p. 875).

Por isso, é possível afirmar que o Sensoriamento Remoto proporcionou à Climatologia um gigantesco desenvolvimento, tanto no que se refere ao arcabouço metodológico quanto à disponibilização de dados, ganhando uma dimensão espacial e temporal jamais obtida até então – com os registros pontuais oriundos das estações meteorológicas.

Para tanto, os estudos climáticos por sensores orbitais devem se pautar nos pressupostos de que os satélites fornecem:

As observing systems of the earth and its atmosphere. As such, weather satellites have several specially valuable characteristics and abilities. 2) As highly convenient data collection platforms. 3) As communication links between widely spaced ground stations between which large daily exchanges of weather data must take place (BARRET, 1974, p. 10).

Desde o lançamento do TIROS I em 1960, os satélites contribuíram à pesquisa em Climatologia como fonte de registros meteorológicos, fornecendo dados históricos e sinóticos horários, diários, mensais e anuais⁴ de séries de dados que variam conforme a vida útil dos satélites. É esse fundamento que possibilita o emprego de dados de satélites meteorológicos à Climatologia, pelo fato de ser possível compor séries históricas consistentes com os dados provenientes de satélites, permitindo a frequência de suas observações – sejam séries de trinta anos, conforme preconizado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) como capazes de representar todas as variações dos elementos e fenômenos climáticos em determinada porção do espaço geográfico, ou, mesmo, séries de curto-período baseados nas observações durante, pelo menos, dez anos, conforme preconizado por Galvani (2010):

períodos inferiores a 30 anos de medidas podem e devem ser considerados nas análises climáticas, contudo sempre enfatizando que são Normais Climatológicas Provisórias e devem ser calculadas com base em um período de, no mínimo, 10 anos (GALVANI, 2011, p.3).

Sobre isso, Dubreuil (2005) lembra que as séries de dados satelitários passam a ser realmente exploráveis para a Climatologia visto que as observações iniciadas no final dos anos 1970 já ultrapassam 40 anos de observação para os produtos NOAA ou GOES, portanto, ultrapassando a série temporal mínima de dados preconizada pela OMM, que é de 30 anos. Knapp et al. (2011, p. 893) complementam que “*questions on how to best use historical satellite data come to the forefront of the discussion on climate observation*”.

Outra vantagem da Climatologia por satélite se baseia na abrangência espacial dos sensores remotos capaz de cobrir toda a superfície terrestre (desde áreas habitáveis como cidades até mesmo em regiões inóspitas como geleiras e desertos), permitindo análises globais, mas também as regionais e/ou locais.

Possivelmente, esses dois pontos sejam as maiores vantagens em empregarem-se dados de Sensoriamento Remoto em Climatologia, postos à limitação da esparsa e a irregular localização das estações meteorológicas, sobretudo em áreas localizadas em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, e a qualidade e pequena extensão das séries temporais, por falta de manutenção, de problemas nos equipamentos de

⁴ A título de exemplo, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC-INPE) fornece imagens das massas de ar no continente sul-americano a cada 15 minutos, e perfis de temperatura e umidade da atmosfera a cada 2 horas.

registros ou erro dos profissionais responsáveis pela coleta e pelo registro dos dados meteorológicos.

Sobre isso, Rhee et al. (2008, p. 3100) destacam que “*delineating climate regions using only weather station based data may introduce serious bias*”, uma vez que a escassa e desigual distribuição das estações meteorológicas não permite uma ideal identificação das características climáticas regionais tão pouco não são capazes de definirem com precisão as bordas das regiões. Nessa mesma ótica, DeGaetano (1996) complementa que

Climate regions clustered using only in-situ data from individual weather stations and their spatially interpolated surface or forced spatial clusters are not sufficient to detect detailed spatial climatic information (DEGAETANO, 1996, p. 3100).

Por isso, considerando que as características do clima possuem uma gradual variação espacial, uma extensa e completa rede de estações se faz necessária, caso contrário, a caracterização, a delimitação das unidades climáticas e mesmo a classificação dos diferentes tipos de climas podem ser realizadas de forma não natural.

E, por fim, uma das grandes vantagens em se trabalhar com dados orbitais climáticos se refere à relativa facilidade de aquisição dos registros, em função dos acervos disponibilizados por agências e órgãos governamentais, como é o caso do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*.

Contudo, a Climatologia por satélites não possui apenas vantagens, alguns cuidados e observações devem ser ponderados, como: 1) o manejo de grande volume de dados; 2) o trabalho com diferentes escalas espaciais e temporais; 3) a manutenção e degradação temporal do sensor orbital; 4) a calibração do sensor e validação do dado; 5) o recurso computacional necessário para processamento. (*NATIONAL RESEARCH COUNCIL*, 2004).

O problema do grande volume de dados ao estudar a Climatologia por satélites praticamente se encontra solucionado devido ao desenvolvimento dos sistemas de armazenamentos móveis (mídia *pendrive* e DVD) e fixas (HD) dos computadores, uma vez que os arquivos orbitais referentes aos elementos climáticos se tratam de dados matriciais que, dependendo da extensão da área registrada, pode chegar a mais de 4 gigabytes. Ainda sobre os recursos computacionais, vale ressaltar o grande avanço na capacidade de processamento desses equipamentos.

A esse fato também se dá a resolução do 5º ponto apresentado pela *National Research Council* (2004), uma vez que o desenvolvimento dos computadores, tanto nos seus sistemas de armazenamento quanto de processamento, possibilitam recursos ágeis e eficientes para o processamento de arquivos digitais.

No que concerne as diferentes escalas espaciais dos dados climáticos orbitais, tem-se que a cartografia digital, consubstanciada pela tecnologia computacional dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), proporciona a compilação de diversos dados de fontes e escalas distintos. Os sistemas computacionais (SIG) admitem certas manipulações que se refletem em termos visuais como ampliações e reduções de imagem, ou seja, a mudança de escala de um dos temas para ser correlacionado a outros. Porém, a correlação de dados de diferentes escalas deve respeitar a menor escala cartográfica existente no ambiente SIG e, ainda, a simples manipulação visual (em termos de *zoom*) não é capaz de alterar a escala dos dados. No que concerne aos dados climáticos levantados por satélites, convém destacar que os diferentes elementos serão levantados por distintos satélites que possuem resoluções espaciais diferentes. Sendo assim, para a correlação de dados de diferentes resoluções, tratamentos digitais para a homogeneização das escalas se fazem necessários.

Ao elaborar uma base de dados em climatologia, outro ponto a ser observado se dá na homogeneização da série temporal. Considerando que os dados referentes aos elementos climáticos serão levantados por diferentes sensores orbitais que possuem data de lançamento e vida útil distintos, é necessário que a compilação dos dados respeite a delimitação de uma série temporal comum a todos os dados. A respeito disso, Trenberth e colaboradores (2006, p. 5002) lembram que os satélites de Sensoriamento Remoto *“are replaced on failure of a critical component there by eliminating the possibility of comparisons with the next instrument on the next satellite that is so vital for the continuity of the climate record”*.

Porém, vale lembrar que os satélites meteorológicos foram desenvolvidos para observação do tempo atmosférico, não sendo prioridade a observação do clima. Consequentemente, as séries de dados desses satélites não possuem a acurácia e homogeneidade requerida nos estudos e nas pesquisas climáticas, sendo que apenas *“Some research satellites have been able to operate for long periods of time to provide data sets useful for long-term climate studies”* (GLOBAL CLIMATE OBSERVING SYSTEMS, 2003, p. 46).

Além de considerar que os satélites necessitem de manutenção conforme a degradação temporal de seus sistemas orbitais, também se fazem necessárias a calibração e a validação dos dados orbitais com base nos dados registrados em superfície, visto que as imagens e informações orbitais sofrem a interferência da atmosfera. Alguns autores chamam a atenção para o fato de não ser possível depender apenas dos dados climáticos orbitais, uma vez que essa tecnologia é ainda jovem e não proporciona uma extensa série temporal de dados – essencialmente pelo recente começo dos registros de dados e da curta vida útil dos satélites.

Contudo, alguns cuidados devem ser observados no emprego de dados de estações de superfície para validação de dados satelitários em Climatologia. Primeiramente, convém a ressalva de que a rede de estações meteorológicas utilizadas para a validação dos dados orbitais ainda é bastante rarefeita e concentrada em regiões mais desenvolvidas. Em segundo momento, é oportuno lembrar que, enquanto o dado pontual representa o valor do elemento climático em questão apenas de um pequeno entorno da estação, aquele registrado por satélite diz respeito a uma média da área registrada que varia conforme a resolução espacial do sensor orbital. Por exemplo, um sensor com a resolução espacial de 1 km representa o valor médio de uma área de 1 por 1 km de extensão – que, geralmente, é validado com base no dado da estação que é válido até persistirem as mesmas condições fisiográficas e morfoestruturais do ponto de registro (MONTEIRO, 1990a).

Portanto, no processo de validação do dado orbital empregando os dados coletados por estações, é necessário considerar as características fisiográficas e morfoestruturais da área considerada pelo pixel da imagem de satélite, sendo importante haver uma certa homogeneidade por toda a extensão do pixel para que os dois dados sejam realmente correlacionáveis.

Ainda sobre as limitações do emprego de estimativas de precipitação por satélite, Petty (1995) comenta que são utilizadas relações indiretas entre as variáveis observadas pelo espaço (reflectância e temperatura do topo das nuvens, etc.) e o total precipitado na superfície. Por tal motivo, apesar das necessárias ressalvas anteriormente indicadas, o uso de dados de superfície se fazem importante para validação dos dados orbitais.

Apesar dessas restrições, o desenvolvimento das técnicas e dos algoritmos de Sensoriamento Remoto proporcionou grande melhoria nas estimativas de precipitação. Associado a isso, como deficiências e questões a serem sanadas para assegurar o avanço

da aplicação de satélites de Sensoriamento Remoto na Climatologia, o Segundo Relatório de Adequação do Sistema de Observação do Clima Global (GLOBAL CLIMATE OBSERVING SYSTEMS, 2003) aponta a continuidade e homogeneidade da série de dados orbitais; o desenvolvimento de novos sensores, com tecnologias mais avançadas, podem gerar medições distintas daquelas realizadas pelos sensores anteriores; e, em períodos de sobreposição entre o velho e o novo sensor deve ser realizada com calibração para garantir a continuidade dos registros. O Relatório lembra, ainda, acerca da calibração dos dados orbitais para os propósitos climáticos, que os sensores devem incluir informações sobre a calibração *on-board* e disponibilizá-las como parte dos metadados e que a calibração cruzada entre sensores semelhantes é essencial para registros de longas séries temporais.

CAPÍTULO 3 .

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. A abordagem da Climatologia Geográfica

O desenvolvimento histórico da ciência climatológica apresentou duas principais correntes teórico-metodológicas. A primeira, conhecida como Climatologia Tradicional e também chamada de Analítica-Separatista, consiste na análise desconexa dos elementos do clima, possuindo um caráter essencialmente quantitativo e uso abusivo de médias (BARROS; ZAVATTINI, 2009). Seus principais representantes foram o meteorologista austríaco Julius Von Hann e o climatologista e meteorologista russo Wladimir Peter Köppen.

Em função das críticas quanto à restrição do método analítico-separatista e com o princípio do entendimento da circulação geral da atmosfera, desenvolveu-se uma segunda corrente teórico-metodológica: a Climatologia Dinâmica, também conhecida como Sintética ou Genética. Essa abordagem defende a análise integrada do clima no ritmo de sucessão habitual, com a necessidade de recorrer à dinâmica atmosférica traduzida pela atuação das massas de ar. Como principais seguidores dessa corrente, têm-se os nomes dos geógrafos franceses Maximilian Sorre e Pierre Pédèlaborde.

Não obstante, atribui-se ao prof. Dr. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro o desenvolvimento de um segmento da Climatologia Dinâmica, a ponto de ser tratada como uma nova corrente teórico-metodológica da ciência climatológica: a Climatologia Geográfica Brasileira. Essa abordagem defende a utilização da realidade dos extremos em detrimento do uso das abstrações das médias, considerando como o paradigma do clima o "encadeamento, sucessivo e contínuo, dos estados atmosféricos e suas articulações no sentido de retorno aos mesmos estados", tratado por Monteiro (1971, p. 10) como sendo o ritmo climático. Ainda segundo o autor, a primeira aproximação à noção de **ritmo** é a variabilidade dos elementos climáticos percebida no decorrer dos anos, traduzida pela sucessão. Numa segunda instância, a atenção é dada à sequência das variações mensais e, principalmente, à repetição dessas em vários e sucessivos anos, tratada pelo autor como sendo o regime.

Porém, para Monteiro (1971, p. 9), “apenas a partir da escala diária é possível associar a variação dos elementos do clima aos tipos de tempo que se sucedem segundo os mecanismos de circulação”. Sendo assim, a melhor percepção do ritmo consiste na representação da sucessão (pelo menos) diária dos elementos do clima juntamente com a indicação dos sistemas atmosféricos atuantes no quadro regional – sendo essa a metodologia para se proceder à análise rítmica.

Para a indicação para identificação dos centros de ação e da circulação, deslocamento e atuação dos sistemas e mecanismos atmosféricos – que são considerados pelo autor como os geradores dos estados atmosféricos e constituintes do ritmo climático, são utilizados dados de superfície e os recursos de cartas sinóticas ou de imagens de satélites meteorológicos.

Levando em consideração que a sequência conduz ao ritmo e que os mecanismos atmosféricos expressam regionalmente a sucessão contínua dos tipos de tempo, Monteiro (1971) defende que é a abordagem da Climatologia Geográfica que assegura a percepção da configuração e dinâmica do clima, e subsidia a coerente compreensão da gênese do clima.

Para maiores e melhores detalhes sobre a abordagem da Climatologia Geográfica, além da obra clássica de Monteiro (1971) e seus desdobramentos (1973; 1991; 1999), convém consultar Zavattini (1998; 2000), Ely (2006), Barros e Zavattini (2009), Ogashaware (2012), Zavattini e Boin (2013).

3.2. Definição dos anos-padrão como recortes amostrais do regime habitual e excepcional das chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal

Para definição dos anos-padrão, inicialmente, foram selecionadas 14 estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) situadas em Goiás, no Distrito Federal e também no entorno da área em estudo. Considerando a falta de estações no Norte e Noroeste de Goiás, foram selecionadas outras, localizadas em Tocantins, Mato Grosso e Minas Gerais, de modo a representar toda a extensão da área de estudo, conforme visto pelas áreas delimitadas pelos polígonos de Thiessen, que indicam a abrangência da área de extensão dos dados registrados pelas estações meteorológicas considerando a distância das estações do entorno – **Figura 28**.

A etapa seguinte consistiu na compilação dos dados mensais e anuais de precipitação pluvial¹. Considerando as falhas de dados dentre as estações meteorológicas selecionadas, foi determinada uma série temporal comum a todas, sendo o período de 1998 a 2012 – 15 anos.

¹ Ao longo de toda a presente tese de doutorado, o termo precipitação se refere a precipitação pluvial, ou seja, chuvas.

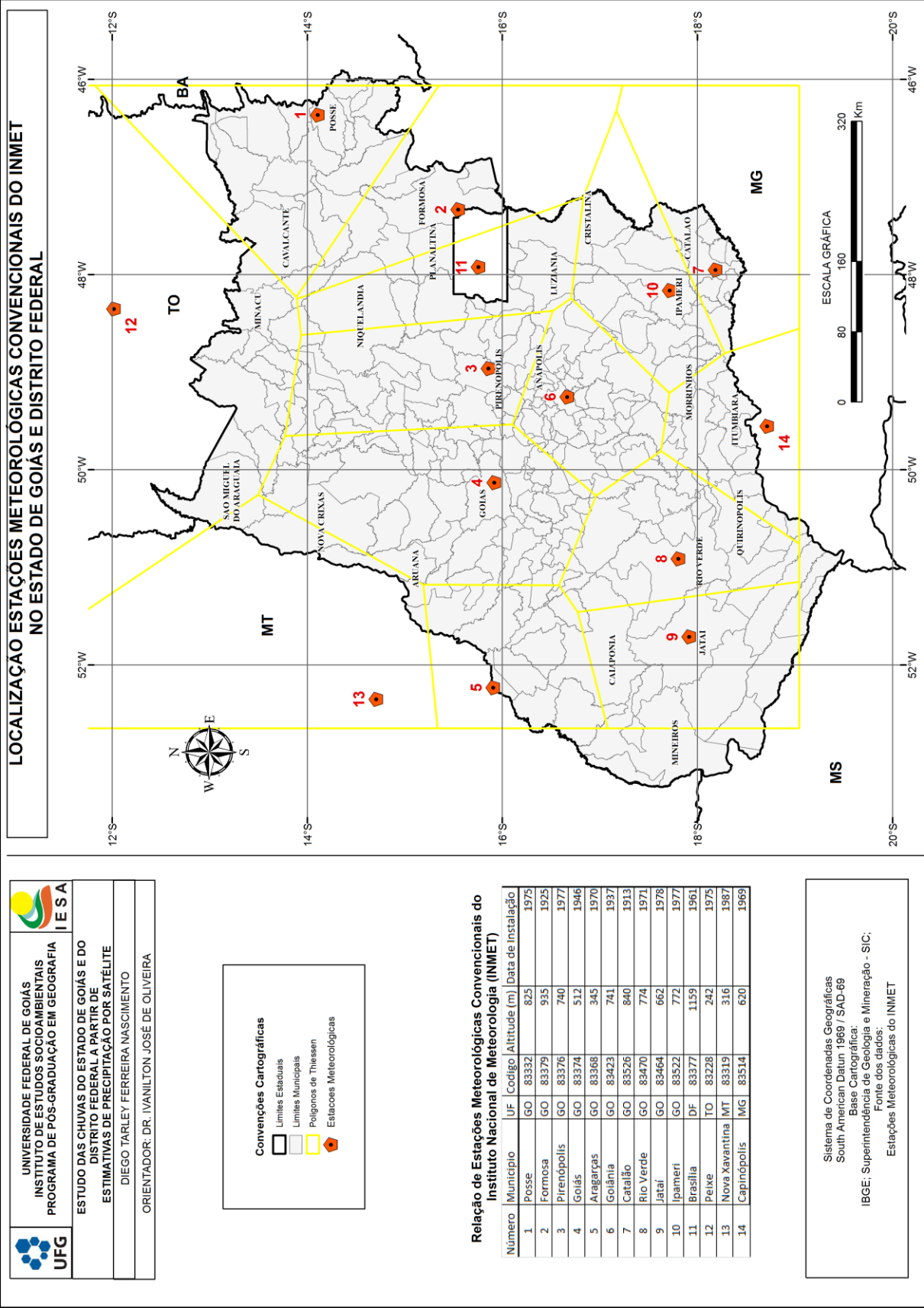
Vale lembrar que a abordagem da Climatologia Geográfica prega não serem necessárias extensas (e problemáticas) séries temporais de dados, como o caso dos 30 anos indicados pela Organização Mundial de Meteorologia. Podendo ser empregadas séries temporais menores, desde que maiores que 10 anos e comum a todas as estações. Sendo assim, sugere-se a utilização de anos-padrão ou mesmo episódios-padrão, considerados por Monteiro (1971, p. 10) como recortes amostrais capazes de refletir o habitual e o excepcional no que diz respeito ao quadro climático de determinada localidade.

Pelo fato de, nos países tropicais, como o Brasil, as precipitações serem as grandes tradutoras das variações temporais e espaciais ou habituais e excepcionais do clima, geralmente, são empregados os totais anuais (critério quantitativo) e o regime de precipitação percebido entre os acumulados mensais (critério qualitativo) para identificação e definição dos anos-padrão habituais e excepcionais (ZAVATTINI, 1990; MONTEIRO, 1971, 1973).

Tavares (1976, p. 81) destaca que um ano-padrão normal deve ser entendido como aquele em que a precipitação anual se encontra próxima ao total pluviométrico anual médio e mais frequente (moda), e sob atuação de uma circulação atmosférica típica à localidade, ao passo que os anos-padrão seco e chuvoso devem ser compreendidos como aqueles quando ocorrem grandes discrepâncias (negativa e positiva, respectivamente) com relação ao total pluviométrico médio e habitual, sobre padrões anormais da dinâmica dos sistemas atmosféricos.

Para a identificação dos anos-padrão, Tavares (1976) desenvolveu uma metodologia titulada “Desvio Percentual das Precipitações Sazonais”, que emprega o desvio padrão (percentuais) de cada valor médio sazonal ou anual das precipitações. Em sua proposta, os anos com totais sazonais ou anuais de precipitação com desvios percentuais próximos de zero, ou seja, perto da média, poderiam ser considerados como habituais, ao passo que aqueles com grandes desvios positivos e negativos poderiam condizer aos anos tidos como chuvosos e secos, respectivamente.

Figura 28 – Localização das estações meteorológicas utilizadas para definição dos anos-padrão.

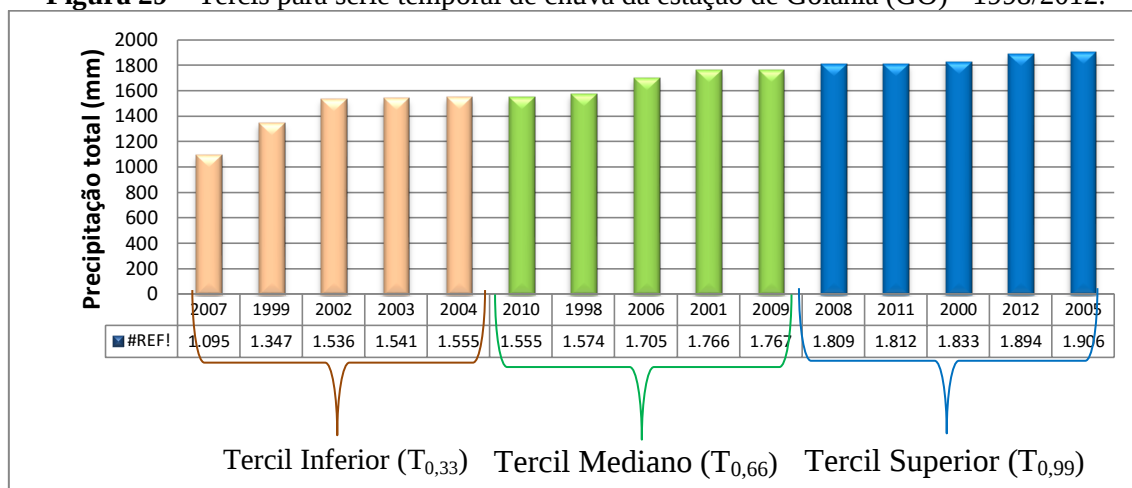


Utilizando-se de cálculos de médias e de desvio padrão, Sant'Anna Neto (1990) desenvolveu outra metodologia para avaliação de anos-padrão, definindo como critério para identificação de ano chuvoso aqueles com índices superiores a 25% da média normal; de ano tendente a chuvoso, aqueles com desvio entre +12,5% e 25%; de ano habitual, aqueles que se situam dentro dos desvios médios padrão, variando de -12,5% a 12,5%; de ano tendente a seco, como aqueles com desvios entre -25% e -12,5%; e de ano seco, aqueles com índices inferiores a -25% da média normal.

Contudo, para definição dos anos-padrão habitual e excepcional, foi empregado na tese o método dos quantis, utilizado, pela primeira vez, por Pinkayan (1966) e destacado por Xavier et al. (2002) como capaz de dar melhor significado às alturas pluviométricas. O quantil se baseia numa medida separatriz, em que os dados de um universo amostral são ordenados e separados em subconjuntos de dimensões identificadas com intervalos definidos de acordo com a função de distribuição (tercis = três subconjuntos; quartis = quatro subconjuntos; quintis = cinco subconjuntos; decis = dez subconjuntos e; percentis = cem subconjuntos).

Para a definição dos anos-padrão por esse método, os totais anuais de precipitação são ordenados de maneira crescente e divididos em subconjuntos com quantidades iguais de anos. Com o intuito de identificar os regimes pluviométricos seco, habitual e chuvoso, foi considerado o quantil específico de tercís (T), que divide o universo amostral em três subconjuntos formados por iguais números de anos. Dessa forma, são delimitados: o tercil inferior (que corresponde a 33% do universo amostral, i.e.: $T_{0,33}$), tercil mediano (66%, i.e.: $T_{0,66}$) e tercil superior (99%, i.e.: $T_{0,99}$), condizentes ao regime seco, habitual e chuvoso, respectivamente.

A título de exemplo, o gráfico da **Figura 29** representa a delimitação dos tercís referentes às chuvas registradas pela estação meteorológica de Goiânia (GO). Da ordenação crescente dos totais pluviométricos dos 15 anos da série temporal dessa estação (1998/2012), o tercil inferior foi definido pelos 5 primeiros valores, o tercil mediano delimitado pelos 5 valores medianos e o tercil superior pelos 5 últimos valores.

Figura 29 – Tercis para série temporal de chuva da estação de Goiânia (GO) - 1998/2012.

Elaboração: Nascimento (2016).

Nesse sentido, o **Quadro 4** apresenta os intervalos dos tercis inferiores, medianos e superiores para cada uma das 14 estações meteorológicas selecionadas, ou seja, o intervalo para definição do ano-padrão seco, habitual e chuvoso, respectivamente.

Quadro 4 – Intervalos definidos pelo método dos *quantis* para identificação dos anos-padrão seco, habitual e chuvoso no estado de Goiás, Distrito Federal e entorno.

Estação	Total Anual de Precipitação (em mm)					
	Ano Seco		Ano Habitual		Ano Chuvoso	
Posse-GO	820,80	1.253,40	1.330,60	1.482,60	1.497,20	1.829,70
Formosa-GO	995,50	1.261,50	1.223,90	1.400,00	1.425,20	1.757,60
Pirenópolis-GO	1350,90	1.512,30	1.604,10	1.843,00	1.843,20	2.095,10
Goiás-GO	1.209,80	1.528,90	1.614,70	1.777,40	1.869,00	2.338,50
Aragarças-GO	1.180,20	1.336,80	1.359,30	1.448,80	1.483,40	1.746,20
Goiânia-GO	1.095,20	1.555,90	1.555,90	1.767,90	1.809,30	1.906,90
Catalão-GO	1.205,30	1.364,00	1.365,10	1.456,80	1.480,10	1.676,50
Rio Verde-GO	1.172,40	1.474,40	1.488,00	1.658,30	1.673,00	2.229,80
Jataí-GO	1.257,10	1.520,50	1.565,90	1.673,00	1.718,00	1.879,20
Ipameri-GO	1.096,30	1.336,60	1.411,10	1.585,00	1.609,60	1.893,1
Brasília-DF	1.167,00	1.375,20	1.377,30	1.558,80	1.589,10	1.792,90
Peixe-TO	976,80	1.263,50	1.289,00	1.442,10	1.528,00	2.048,20
Nova Xavantina-MT	957,10	1.364,80	1.376,00	1.531,30	1.543,20	1.858,10
Capinópolis-MG	1.177,40	1.229,30	1.238,90	1.527,00	1.567,30	1.762,00

Elaboração: Nascimento (2016).

Logo na sequência, pela **Figura 30**, é representada a classificação dos anos-padrão do estado de Goiás e do Distrito Federal (e entorno), com a indicação dos anos definidos como secos (em laranja claro), habituais (em verde) e chuvosos (em azul). É

possível vislumbrar, verticalmente, a sucessão do regime das precipitações no decorrer da série temporal em cada uma das estações climatológicas utilizadas, pelo qual se percebe uma maior ocorrência do regime seco entre 1998 e 2002. Nos anos seguintes, perdurando até o ano de 2009, grande parte das estações analisadas oscila para o regime chuvoso, mas com ocorrência ainda significativa do padrão habitual. Entre 2010 e 2012, o regime seco volta a predominar em grande parte das estações meteorológicas, principalmente naquelas situadas em Goiás, com ocorrências do regime habitual nas demais localidades.

Figura 30 – Classificação dos anos-padrão do estado Goiás e Distrito Federal (e entorno).

Anos	GO										DF	TO	MT	MG
	C a t a l ã o	A r a g a r ç a s	F o r m o s a	G o i ã n i a	G o i á s	I p a m e r i	J a t a i	P i r e n o p o l i s	P o s s e	R i o V e r d e	B r a s í l i a	P e i x e	N o v a X a v a n t i n a	C a p i n ó p o l i s
1998	1205,30	1278,80	1261,50	1574,40	1488,70	1096,30	1444,70	1604,10	1351,40	1391,00	1375,20	1139,30	1628,10	1238,90
1999	1364,00	1180,20	1374,90	1347,50	1777,40	1102,20	1257,10	1491,90	1482,60	1172,40	1236,70	1530,80	1389,40	1177,40
2000	1561,70	1336,80	1425,20	1833,50	1869,00	1518,90	1718,00	1738,50	1636,00	2229,80	1377,30	2048,20	1364,80	1568,00
2001	1396,80	1371,40	1248,60	1766,90	1773,30	1271,90	1780,30	1490,80	1349,80	1441,80	1285,50	1133,00	1314,20	1189,90
2002	1281,50	1483,40	995,50	1536,40	1209,80	1642,50	1673,00	1350,90	1221,20	1313,30	1389,50	1528,00	957,50	1224,70
2003	1365,10	1358,30	1223,90	1541,00	1620,20	1411,10	1520,50	1507,30	1237,10	1562,30	1287,20	1263,50	1469,60	1425,00
2004	1480,10	1586,00	1757,60	1555,90	1614,70	1585,00	1626,00	1964,20	1330,60	1895,40	1619,00	1593,40	1766,20	1527,00
2005	1456,80	1390,60	1577,40	1906,90	2000,10	1789,10	1591,10	2095,10	1613,20	1534,10	1760,10	1404,90	1315,00	1608,70
2006	1444,30	1448,80	1544,00	1705,10	1740,70	1893,10	1626,80	1857,00	1829,70	1673,00	1747,40	1442,10	1858,10	1567,30
2007	1399,80	1372,20	1157,50	1095,20	1351,60	1886,10	1474,40	1843,20	820,80	1474,40	1167,00	1168,10	957,10	1229,30
2008	1632,60	1628,40	1315,30	1809,30	1929,60	1311,10	1879,20	1792,50	1423,30	1769,90	1589,10	1568,80	1415,80	1627,70
2009	1573,80	1675,60	1633,50	1767,90	2338,50	1499,20	1732,70	2085,20	1679,30	1743,80	1792,90	1289,00	1614,00	1762,00
2010	1349,30	1254,80	1176,30	1555,90	1216,20	1609,60	1565,90	1843,00	1253,40	1488,00	1431,60	1355,40	1376,00	1219,40
2011	1676,50	1746,20	1400,00	1812,60	1941,60	1529,10	1514,40	1641,00	1497,20	1658,30	1558,80	1321,00	1531,30	1511,20
2012	1236,90	1312,60	1010,80	1894,10	1528,90	1336,60	1792,20	1512,30	1060,40	1514,20	1480,10	976,80	1543,20	1263,10

Ano-Padrão Seco	Ano-Padrão Habitual	Ano-Padrão Chuvoso
-----------------	---------------------	--------------------

Elaboração: Nascimento (2016).

Por sua vez, analisando horizontalmente a situação apresentada pela **Figura 30**, é possível perceber o padrão espacial do regime da pluviosidade entre as estações analisadas, como é o caso do regime de reduzida pluviosidade em grande parte das estações entre 1998 e 1999, 2001 e 2002, em 2007 e 2012, e de elevada pluviosidade na grande maioria das estações analisadas em 2000, 2004 a 2006 e 2008 a 2009. O regime mediano de precipitação predomina em grande parte das estações analisadas, principalmente nos anos de 2003 e 2010 a 2011.

Nesse sentido, uma melhor análise segundo o critério espacial, capaz de dar destaque à condição da precipitação que mais se repete em todas as estações

meteorológicas, é apresentada pela **Tabela 4**, que indica o predomínio do regime pluviométrico anual e, dessa forma, os anos-padrão mais indicados para expressar o regime habitual e excepcional da precipitação no estado de Goiás e Distrito Federal. Dentre os anos apresentados, predominam o padrão seco em 1998, 1999, 2001, 2002, 2007 e 2012, mas havendo maior proporção de estações nessa condição no ano de 2007 (71,4%). O regime habitual ocorre em 2003, 2010 e 2011, com maior predomínio dessa condição no ano de 2003 ou 2011 (ambos com 57,1%). Por sua vez, o regime chuvoso é verificado em 2000, 2004 a 2006 e 2008 a 2009, com maior predomínio no ano de 2009 (78,6%). Portanto, para o território compreendido pelo estado de Goiás e Distrito Federal, os anos de 2007, 2009 e 2011 são aqueles mais indicados para representarem o regime seco, chuvoso e habitual da precipitação, respectivamente.

Tabela 4 – Proporção e predomínio do regime pluviométrico entre as estações (em %).

Ano	Proporção de regime pluviométrico (%)			Predomínio
	Seco	habitual	Chuvoso	
1998	64,3	28,6	7,1	Seco
1999	64,3	28,6	7,1	Seco
2000	14,3	21,4	64,3	Chuvoso
2001	50,0	42,9	7,1	Seco
2002	64,3	14,3	21,4	Seco
2003	42,9	57,1	0,0	Habitual
2004	7,1	35,7	57,1	Chuvoso
2005	7,1	35,7	57,1	Chuvoso
2006	0,0	42,9	57,1	Chuvoso
2007	71,4	14,3	14,3	Seco
2008	7,1	28,6	64,3	Chuvoso
2009	0,0	21,4	78,6	Chuvoso
2010	42,9	50,0	7,1	Habitual
2011	7,1	57,1	35,7	Habitual
2012	57,1	21,4	21,4	Seco

Elaboração: Nascimento (2016).

Além da análise quantitativa para definição dos anos-padrão, vale considerar as ressalvas feitas pela Climatologia Geográfica a respeito da importância da análise qualitativa da distribuição mensal das precipitações, pela qual é possível conhecer tanto a variabilidade excepcional e habitual das chuvas quanto se aproximar da noção de regime. Para tanto, procedeu-se a uma análise qualitativa apoiada no pluviograma proposto por Schroder (1956), em que é representada a distribuição porcentual dos valores mensais de precipitação com relação ao total anual. Considerando que, se

houvesse uma distribuição homogênea e equilibrada da precipitação ao longo de todo o ano, a proporção de chuva em cada mês seria de 8,3% (visto que $100\% / 12 \text{ meses} = 8,333\ldots$), em sua proposta, o autor define cinco classes de porcentagem (até 1,9%; 2 e 3,9%; 4 e 8,2%; 8,3 e 12,4; acima de 12,5%) para indicação dos meses muito secos, apenas secos, chuvosos e muito chuvosos. A classe intermediária (4 a 8,2%) não tem o regime de precipitação tipificado pelo autor, mas, no presente trabalho, sendo considerada como o período de transição entre os distintos regimes (chuvoso/seco).

Conforme indicado pela **Figura 31**, o ano-padrão de reduzida pluviosidade (2007) apresenta valores totais de precipitação variando entre 820 mm, em Posse-GO, a 1.843 mm, em Pirenópolis-GO. O período de estiagem (meses com valores mensais menores de 3,9% do total anual) representa cinco meses consecutivos em grande proporção das estações meteorológicas, com esse período iniciando em maio e terminando em setembro. O período chuvoso (com precipitação mensal acima de 8,3% do total anual) corresponde a apenas quatro meses, referente aos meses de janeiro a fevereiro e novembro a dezembro. Nesse regime excepcional, os meses de março, abril e outubro apresentam valores mensais de precipitação representativos de período de transição entre os regimes chuvoso e seco.

Para o ano-padrão de elevada pluviosidade (2009), os totais anuais variam desde os 1.298 mm, visto em Peixe-TO, aos 2.338 mm, em Goiás-GO. Nesse ano, o período de estiagem geralmente representa quatro meses, entre maio e agosto. O mês de setembro se apresenta como representativo da faixa de transição para o período chuvoso, sendo que esse corresponde a sete meses, entre os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro.

No ano de pluviosidade habitual (2011), percebe-se que os totais anuais de precipitação encontram-se entre 1.321 e 1.941 mm, com o menor valor verificado em Peixe-TO e o maior em Goiás-GO. Assim como ano de reduzida pluviosidade, o período de estiagem corresponde a cinco meses, de maio a setembro. O período chuvoso representa seis meses, entre os meses de janeiro a março e outubro a dezembro – tendo o mês de abril como período de transição.

Figura 31 – Análise qualitativa da distribuição mensal da precipitação (mm) dos anos-padrão de 2007 (seco), 2009 (chuvoso) e 2011 (habitual).

Ano-Padrão Seco de 2007													
Estação	Total	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Posse-GO	820,80	163,7	197,5	86,2	45,0	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0	47,0	58,6	203,4
Formosa-GO	1157,50	225,0	409,1	38,7	56,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,3	240,6	130,0
Pirenópolis-GO	1843,20	425,1	414,1	156,7	300,5	4,5	0,1	0,2	0,0	0,6	56,6	125,4	359,4
Goiás-GO	1351,60	233,6	451,7	170,7	125,2	1,2	1,2	5,5	0,0	0,0	72,6	81,8	208,1
Aragarças-GO	1372,20	392,3	439,9	65,8	26,3	1,8	0,0	2,6	0,0	0,0	43,7	145,9	253,9
Goiânia-GO	1095,20	200,1	267,4	87,3	59,6	9,2	5,1	6,0	0,0	1,8	55,9	223,1	179,7
Catalão-GO	1399,80	563,0	259,1	43,7	76,7	4,1	0,0	12,9	0,0	0,0	73,3	121,5	245,5
Rio Verde-GO	1474,40	320,4	375,3	247,4	35,8	37,8	0,0	21,2	0,0	0,8	112,6	88,2	234,9
Jataí-GO	1474,40	276,1	295,4	152,0	66,3	60,1	4,5	31,2	0,0	21,4	103,9	215,4	248,1
Ipameri-GO	1311,10	457,9	293,4	64,2	48,1	4,0	5,2	2,9	0,0	1,0	47,8	205,4	181,2
Brasília-DF	1167,00	269,6	265,9	35,7	50,1	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	38,3	224,9	275,0
Peixe-TO	1168,10	207,9	318,5	127,4	56,7	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	106,3	219,9	127,0
Nova Xavantina-MT	957,10	221,9	311,1	64,3	11,8	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	101,6	70,2	170,0
Capinópolis-MG	1229,30	506,6	123,1	93,1	7,3	23,8	7,8	27,1	0,0	1,0	105,4	62,6	271,5
Ano-Padrão Chuvoso de 2009													
Estação	Total	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Posse-GO	1679,30	168,5	164,2	160,2	242,5	88,5	2,1	0,0	17,4	39,2	253,3	218,2	325,2
Formosa-GO	1633,50	235,5	164,0	101,1	279,7	8,3	9,5	0,0	62,7	31,7	219,0	153,9	368,1
Pirenópolis-GO	2085,20	227,9	328,9	280,0	226,8	30,9	11,9	0,0	44,5	95,3	243,8	257,5	337,7
Goiás-GO	2338,50	281,5	266,4	405,8	183,4	20,3	16,0	0,6	27,2	100,3	253,8	227,9	555,3
Aragarças-GO	1675,60	302,0	279,5	169,1	116,0	6,4	9,9	0,0	24,2	24,0	83,9	208,5	452,1
Goiânia-GO	1767,90	178,6	148,2	185,6	258,0	41,2	31,3	2,0	16,8	71,0	196,4	194,9	443,9
Catalão-GO	1573,80	365,6	214,2	120,9	42,8	81,5	43,4	3,9	54,7	80,4	185,1	148,6	232,7
Rio Verde-GO	1743,80	175,5	254,9	302,8	39,3	15,6	34,9	5,7	23,0	94,9	188,4	265,4	343,4
Jataí-GO	1732,70	141,0	217,3	221,8	53,6	16,2	29,3	5,8	20,3	198,2	207,4	288,6	333,2
Ipameri-GO	1609,60	428,2	178,9	150,8	115,7	30,3	16,7	0,4	22,8	98,3	115,1	206,0	246,4
Brasília-DF	1792,90	205,0	134,8	81,0	375,9	61,2	9,3	0,0	72,5	50,5	295,8	199,1	307,8
Peixe-TO	1289,00	255,8	143,2	103,0	215,1	78,5	1,1	0,0	0,0	89,5	111,3	73,8	217,7
Nova Xavantina-MT	1614,00	191,7	186,9	156,3	164,0	1,0	43,0	0,0	37,6	35,3	188,7	192,2	417,3
Capinópolis-MG	1762,00	378,5	152,0	109,1	131,7	43,9	17,1	8,2	24,7	235,7	83,9	174,4	402,8
Ano-Padrão Habitual de 2011													
Estação	Total	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Posse-GO	1497,20	341,6	128,4	234,2	106,5	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	192,0	184,0	296,3
Formosa-GO	1400,00	336,3	103,7	191,2	64,5	5,9	0,3	0,0	0,0	7,8	149,3	274,0	267,0
Pirenópolis-GO	1641,00	236,0	288,2	336,5	34,4	21,7	8,4	0,0	0,0	6,1	212,2	233,5	264,0
Goiás-GO	1941,60	512,1	105,7	383,5	67,9	0,0	36,0	0,0	0,0	6,9	219,3	288,2	322,0
Aragarças-GO	1746,20	368,7	199,4	531,3	53,4	4,4	28,6	3,6	0,0	4,2	139,6	120,2	292,8
Goiânia-GO	1812,60	287,8	240,4	367,1	62,3	0,0	15,3	0,0	0,0	1,2	300,3	245,4	292,8
Catalão-GO	1676,50	273,3	123,7	487,7	159,4	0,0	16,2	0,0	0,0	0,0	137,2	132,9	346,1
Rio Verde-GO	1658,30	257,0	258,8	419,1	70,4	0,7	63,3	0,0	4,5	10,5	264,1	145,0	164,9
Jataí-GO	1514,40	244,5	240,3	359,4	92,6	24,8	30,0	0,0	5,5	19,2	114,4	123,6	260,1
Ipameri-GO	1529,10	261,8	91,7	323,8	98,2	0,2	9,7	0,0	0,0	0,0	320,8	98,9	324,0
Brasília-DF	1558,80	126,8	172,4	243,2	69,5	13,9	3,8	0,0	0,0	7,0	263,9	333,8	324,5
Peixe-TO	1321,00	301,4	194,8	201,5	41,9	5,1	0,0	0,0	0,0	5,4	172,5	184,7	213,7
Nova Xavantina-MT	1531,30	425,0	206,7	294,3	64,4	0,0	3,5	0,7	0,0	8,8	172,6	77,0	278,3
Capinópolis-MG	1511,20	256,7	202,4	517,6	57,6	0,0	34,9	0,0	4,6	7,6	161,2	132,1	136,5

Distribuição porcentual dos valores mensais de precipitação com relação ao total anual

	Abaixo de 1,9%	Entre 2 e 3,9%	Entre 4 e 8,2%	Entre 8,3 e 12,4%	Acima de 12,5%
--	----------------	----------------	----------------	-------------------	----------------

Elaboração: Nascimento (2016).

Com base na comparação entre o regime habitual de 2011 e os excepcionais seco e chuvoso de 2007 e 2009, respectivamente, é possível afirmar que o regime seco pode ser explicado tanto pelos menores valores totais de precipitação quanto por um menor período chuvoso (apenas quatro meses) e maior de estiagem (oito meses). Por sua vez, o regime chuvoso apresenta maiores totais anuais e, principalmente, um mais extenso período chuvoso (sete meses), iniciando em outubro e se estendendo até abril. Nesse regime de elevada pluviosidade, o período de estiagem é representado por apenas cinco meses, contudo, há ocorrência precipitação ao longo de grande parte desses meses,

apesar dos baixos valores mensais. O regime habitual é indicado pela distribuição equilibrada entre o período chuvoso e seco, com seis meses em cada regime.

Após definidos e analisados os recortes amostrais dos anos-padrão seco, habitual e chuvoso com base em dados de estações meteorológicas, se procedeu à aquisição dos dados orbitais referentes às estimativas mensais de precipitação, registradas pelo TRMM. Vale lembrar que a presente tese de doutorado defende o uso de dados orbitais em detrimento aos dados de superfície, por subsidiarem uma melhor representação espacial da variabilidade espacial da precipitação quando comparada àquela realizada com base na interpolação e inferência estatística dos dados de estações meteorológicas.

Sendo assim, foram adquiridas pela homepage <<http://mirador.gsfc.nasa.gov/>> as imagens de estimativa mensal de precipitação, referente ao produto 3B43 do TRMM, compreendendo a série temporal de 1998 a 2012 (15 anos) – coincidentemente, a mesma série temporal dos dados de estações meteorológicas. Disponibilizadas originalmente em formato *Hierarchical Data Format* (HDF) as imagens foram pré-processadas no *software* Envi, sendo reprojatadas para o hemisfério Sul, rotacionadas em 270° e tidos seus pixels multiplicados pela quantidade de horas no mês, uma vez que o produto 3B43 corresponde à taxa de precipitação dada em mm/hr, sendo, então, convertido para mm/mês. Por fim, as imagens foram exportadas em formato *Geotiff*.

Vale salientar que, no presente trabalho, não foram realizados testes estatísticos de avaliação dos dados do TRMM com base em dados de superfície, uma vez que diversos autores averiguaram o desempenho das estimativas do TRMM e encontraram alta correlação com aqueles dados levantados por estações meteorológicas (ADLER et al., 2000; CAGE et al., 2002; ADEYEWA; NAKAMURA, 2003; FISHER, 2004; WOLFF et al., 2005; BOWMAN, 2005; CHIU, 2006; COLLISCHONN et al., 2007; DUBREUIL et al., 2007; NOBREGA; SOUZA; GALVÍNCIO, 2008; WOLFF; FISHER, 2008; PINTO et al., 2009; VIANA, 2009; LEIVAS et al., 2009; LIAO; MENEGUINI, 2009; FRANCHITO et al., 2009; ROZANTE et al., 2010; RIBEIRO; FERREIRA, 2013; ALMAZROUI, 2011; CHEN et al., 2011; PEREIRA et al., 2013; CAMPAROTTO et al., 2013; DANELICHEN et al., 2013; SILVA; ROCHA, 2013; VIANA; FERREIRA; CONFORTE, 2013; CURTARELLI et al., 2013; MORAIS; FERREIRA, 2015).

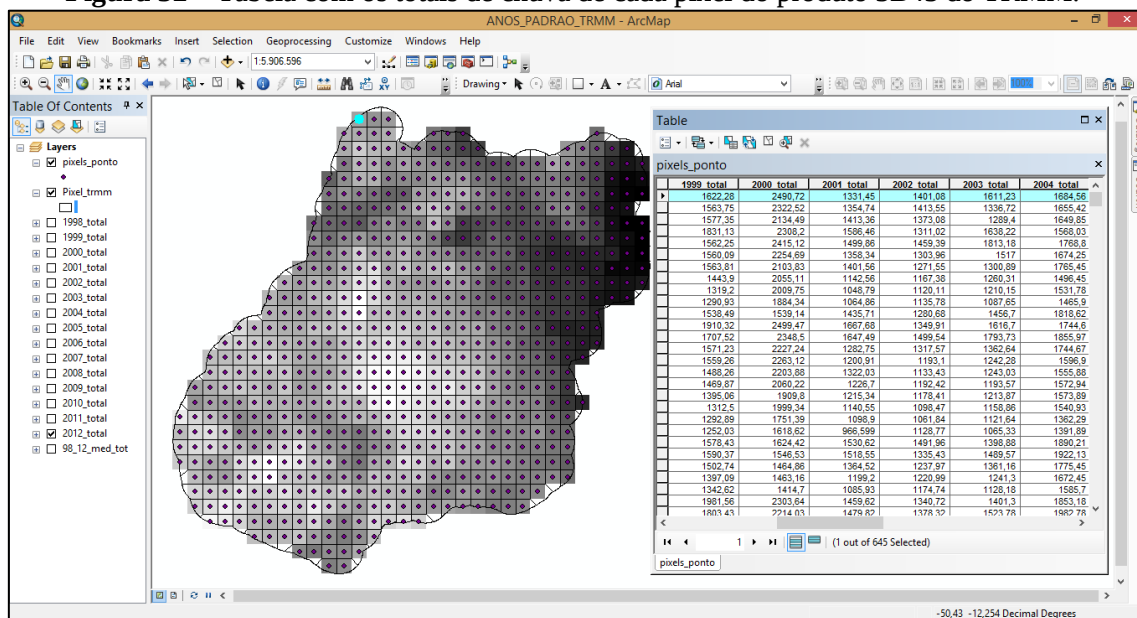
Dentre a bibliografia consultada, merecem destaque os trabalhos desenvolvidos por Farias et al. (2013) e Quirino, Paula Neto e Oliveira (2013), voltados para o estado

de Goiás. Os primeiros autores verificaram uma correlação acima de 0,88 (forte) entre os totais anuais de precipitação referente ao período de 2000 a 2007, com exceção do ano de 2006 em que esse valor foi de 0,68 (moderada). Quirino, Paula Neto e Oliveira (2013) encontraram correlação média de 0,90 (muito forte) entre os valores mensais de precipitação para o período compreendido entre 2008 a 2011.

Após pré-processadas, as imagens receberam tratamento estatístico com o cruzamento matricial realizado pela ferramenta “*band match*” do software Envi. Foram calculadas a média e o total anual e sazonal (períodos seco e chuvoso) de cada ano da série temporal, assim como as médias mensais, sazonais e anual para toda a série temporal. Considerando a data de início e término das estações do ano, a título de padronização, o período seco foi considerado como sendo os meses de abril a setembro, referentes ao outono e inverno, enquanto o período chuvoso correspondente aos meses de janeiro a março e outubro a dezembro, indicativos do verão e da primavera, respectivamente.

Por meio da ferramenta “*Extract Multi Values to Points*”, existente na caixa de ferramenta “*Spatial Analyst Tools/Extraction*” do software ArcGIS, foram extraídos os valores do totais anuais de chuva correspondentes aos pixel das imagens de cada ano da série temporal, de modo compor um arquivo vetorial, em formato de ponto, associado a uma tabela em que as linhas representam a identificação de cada pixel e as colunas indicam o total anual de chuva de cada ano de toda a série temporal –vide na **Figura 32**.

Figura 32 – Tabela com os totais de chuva de cada pixel do produto 3B43 do TRMM.



Elaboração: Nascimento (2016).

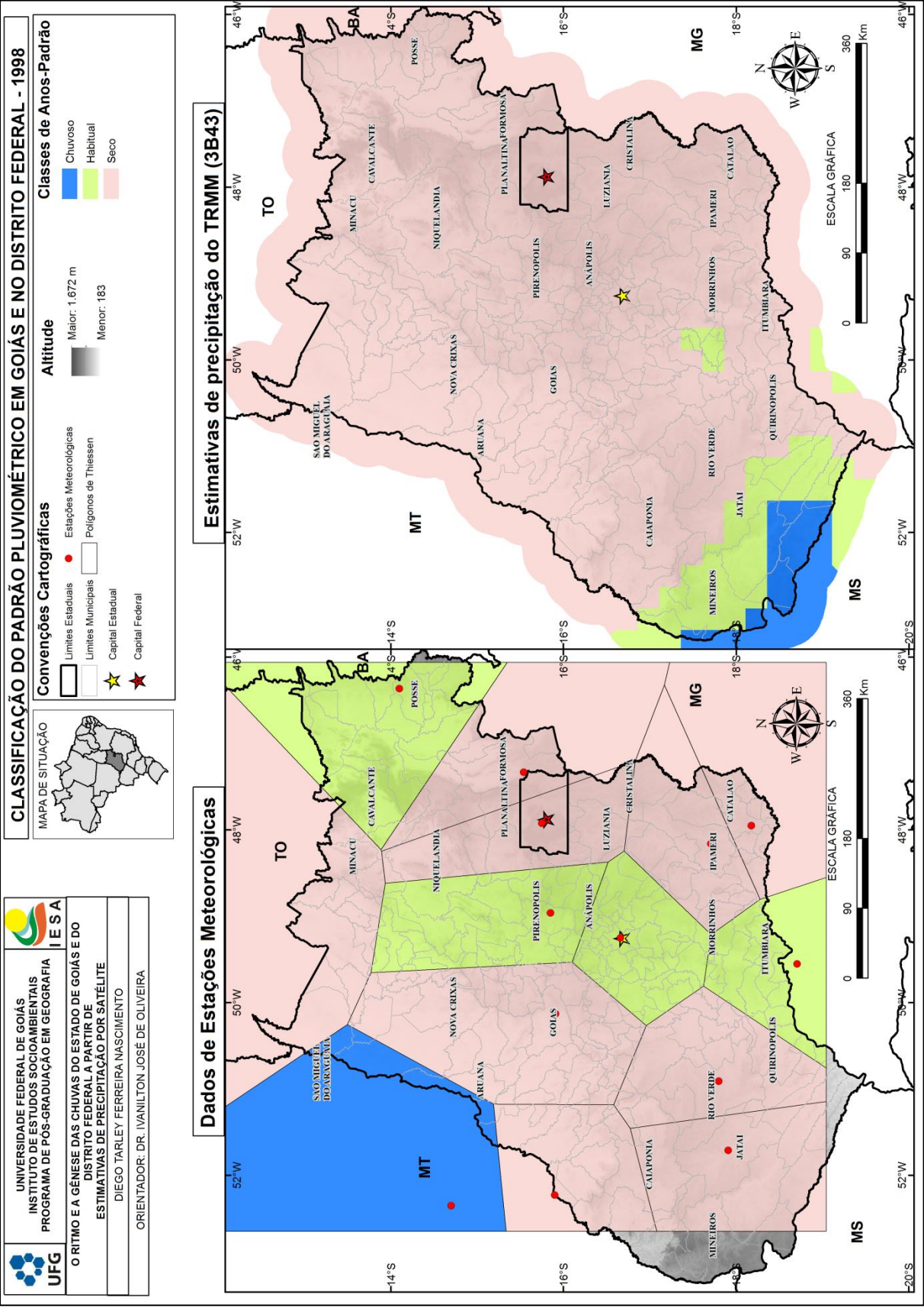
Após exportados, os dados tabulares passaram por tratamento estatístico de separatrizes no Excel, sendo calculados os limites tercís ($<0,33$ correspondendo ao padrão seco; $0,33$ a $0,66$ correspondendo ao padrão habitual e; $> 0,66$ condizente ao padrão chuvoso) e, por meio de uma equação condicional, os valores de totais anuais de cada pixel foram classificados em padrão seco, habitual e chuvoso.

A tabela com a classificação dos anos-padrão foi, posteriormente, relacionada ao arquivo vetorial de ponto, e, para melhor representação espacial, o arquivo vetorial de ponto foi convertido para o formato poligonal equivalente à área do pixel.

As imagens representadas pela **Figura 33 a 47**, na sequência, mostram a comparação entre a classificação do padrão pluviométrico realizada com base nos dados de estações meteorológicas (A) e por meio das estimativas do produto 3B43 do TRMM (B), sendo possível perceber a melhor representação por meio dos dados de satélite com relação aos dados de superfície, os quais condizem a uma rarefeita distribuição espacial das estações meteorológicas na área em estudo.

Dentre os anos representados, destacam-se os anos de 2001; 2003 a 2006; 2008 a 2009; 2011 e 2012, pelos quais é possível perceber que o padrão espacial do padrão pluviométrico habitual e excepcional identificado pelas estimativas por satélite apresenta maior coerência e detalhe, mostrando com maior propriedade o papel da configuração do relevo no deslocamento e na atuação dos sistemas atmosféricos da circulação habitual e os sistemas perturbadores responsáveis pela pluviometria e/ou pela condição de regime chuvoso na região. Dentre tais sistemas, destaca-se a massa equatorial continental (mEc), que se avança desde a região Amazônica chegando ao território do estado de Goiás pela Depressão do Rio Araguaia (a noroeste), se deslocando, principalmente, pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas (centro-sul). Essa massa de ar, ocasionalmente, tem sua atuação perturbada pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e pela Alta da Bolívia (AB), que intensificam as precipitações na região. Outra massa responsável pela pluviometria na região é a massa polar (mP), oriunda do Polo Sul, que se desloca em sentido ao continente e adentra o estado de Goiás pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas (sul e centro-sul), mas que acaba sendo barrada pelo Planalto do Rio Verde (a sudoeste) ou pelos Chapadões de Goiás e Distrito Federal (a sudeste e nordeste). A atuação da mP é intensificada na ocasião de Frentes Polares (FP), responsáveis por formar chuvas frontais à região, mesmo na estação seca.

Figura 33 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 1998 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 34 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 1999 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).

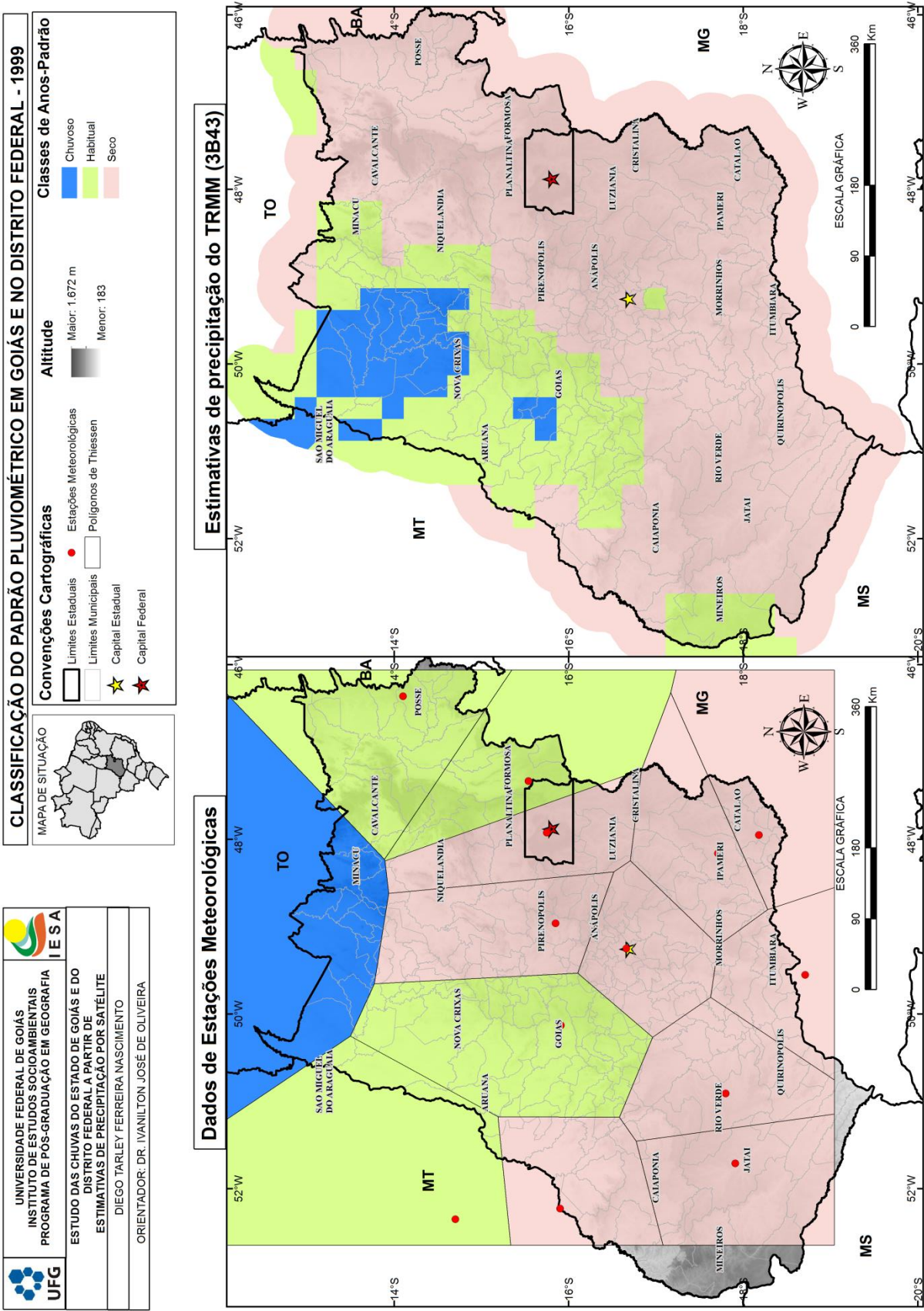
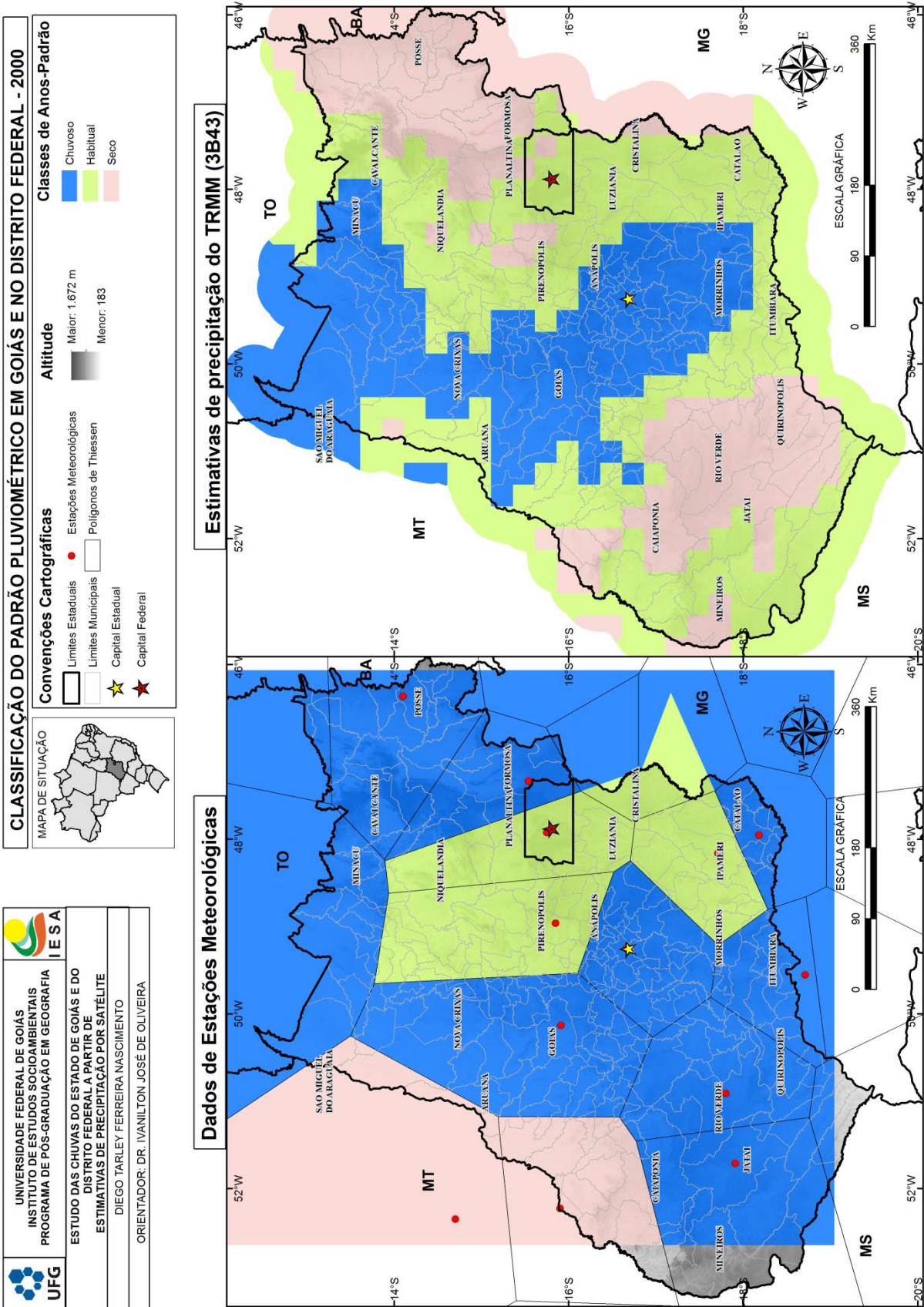
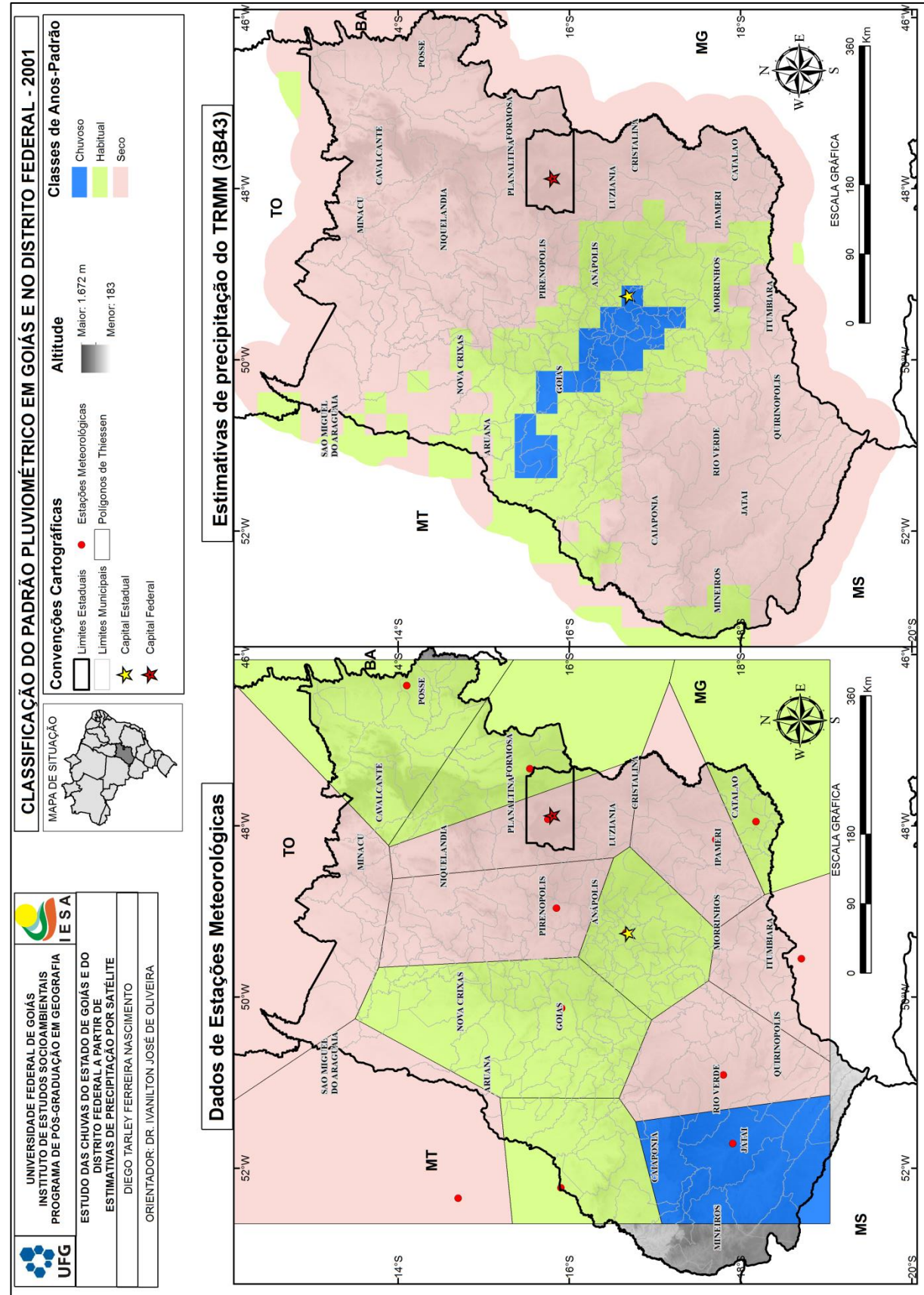


Figura 35 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2000 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



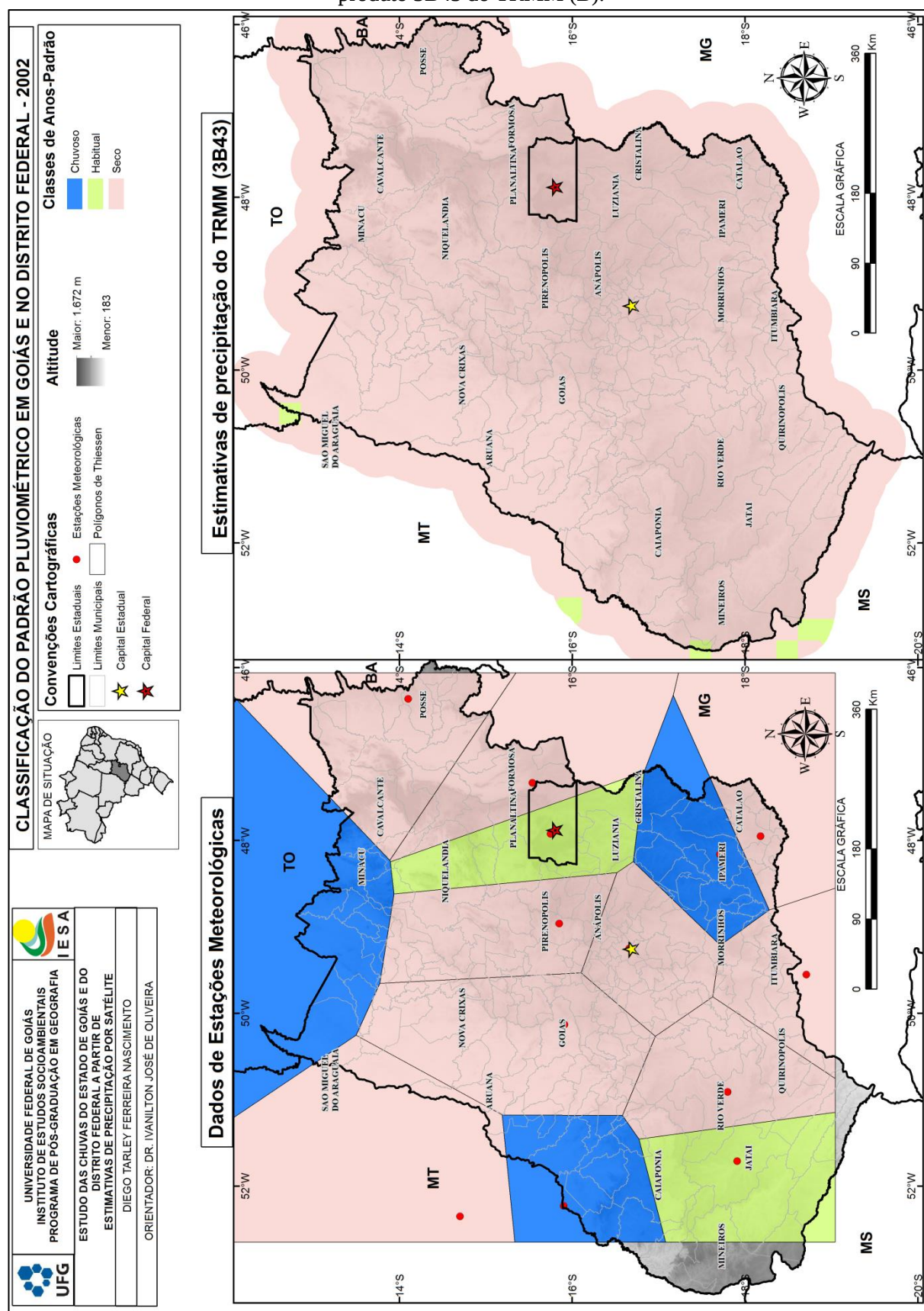
Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 36 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2001 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



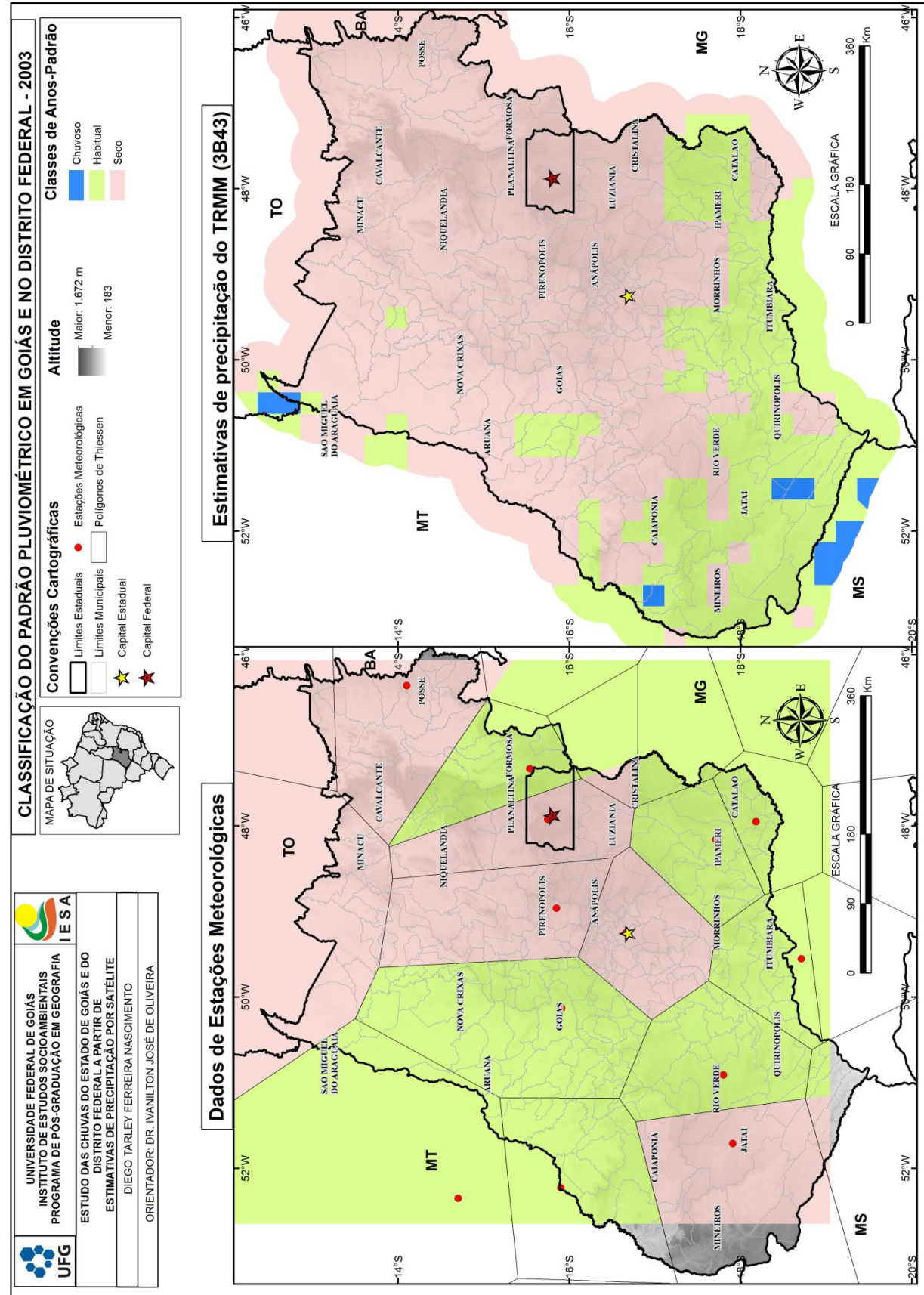
Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 37 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2002 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



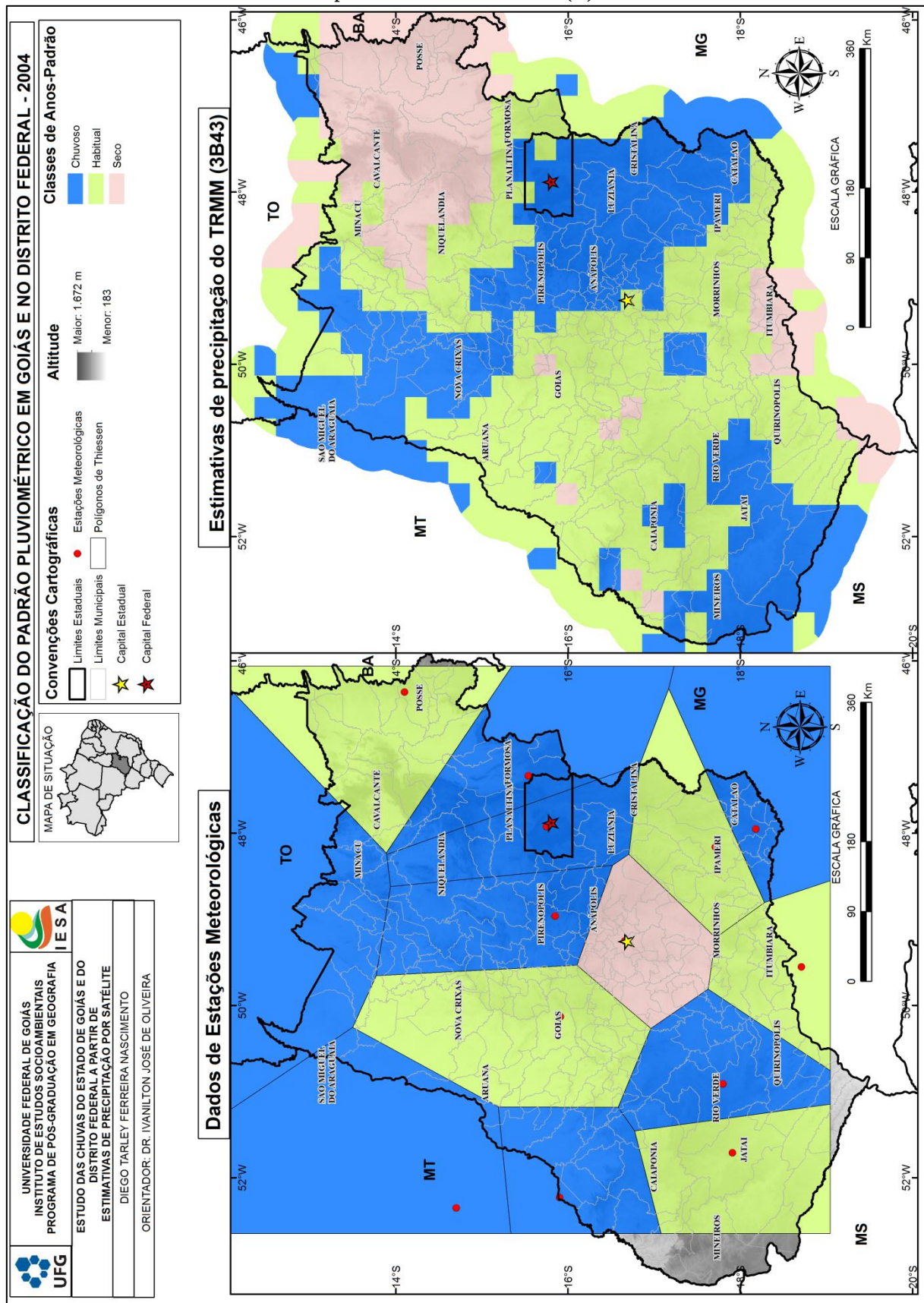
Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 38 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2003 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



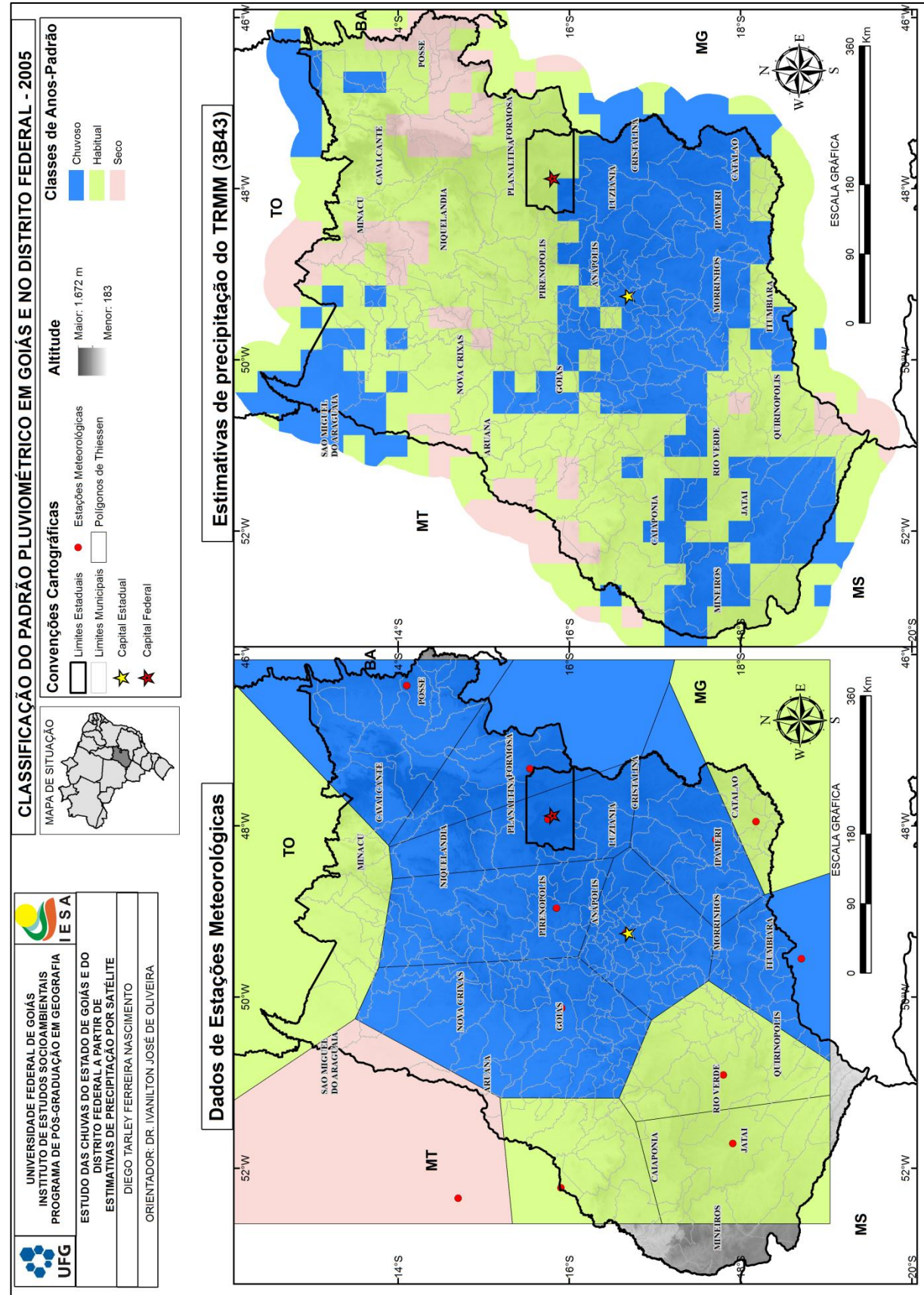
Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 39 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2004 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



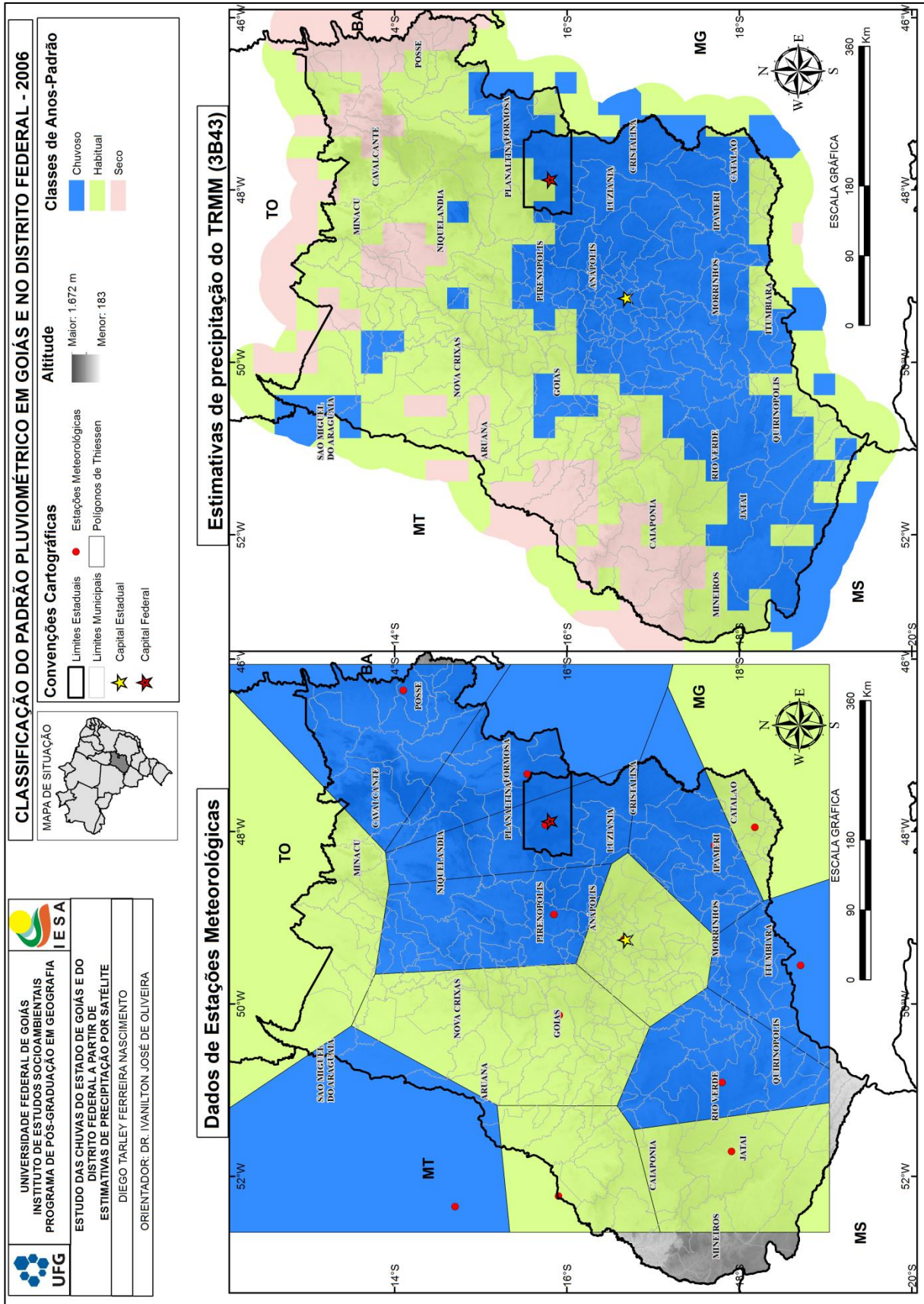
Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 40 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2005 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 41 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2006 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 42 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2007 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).

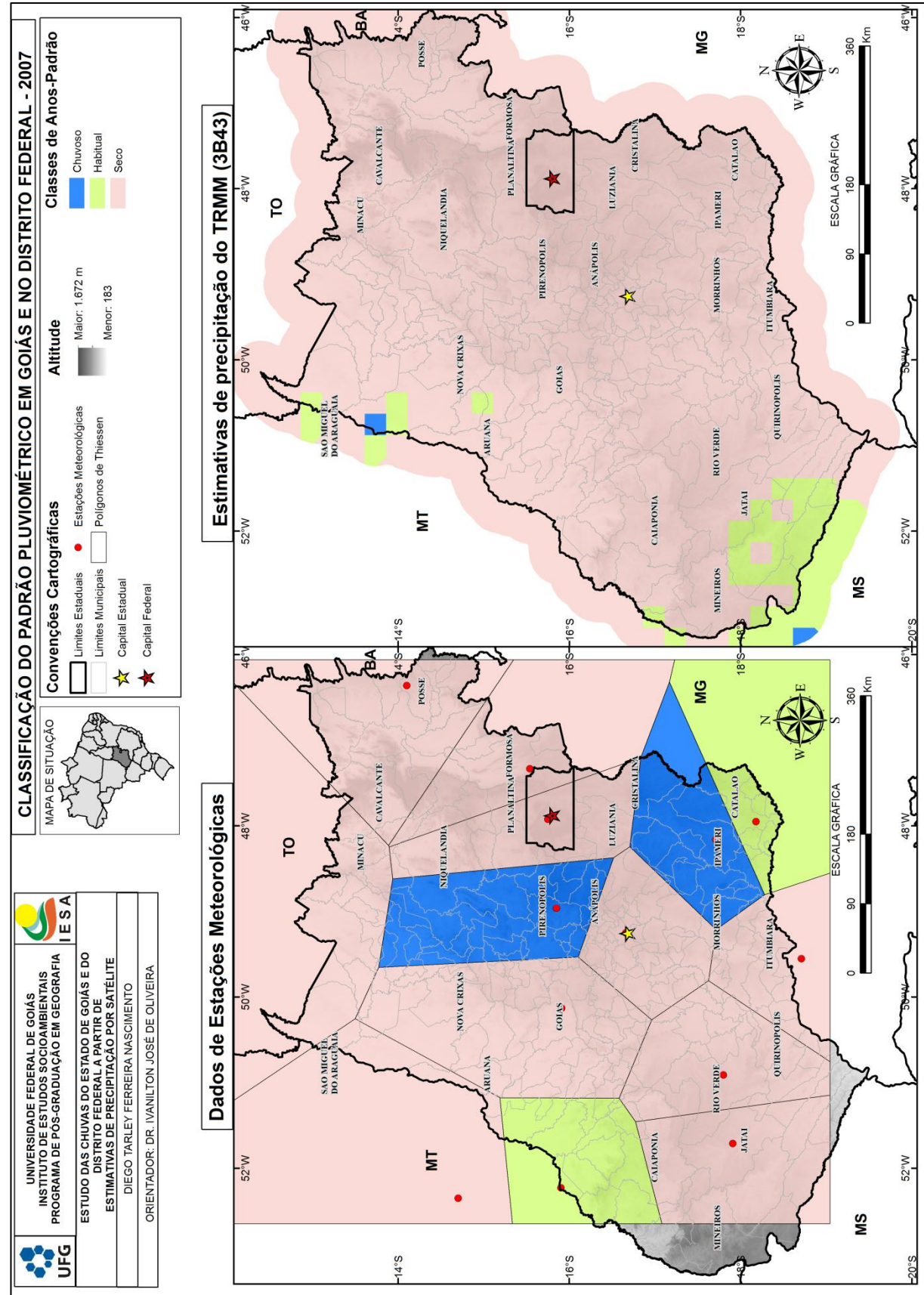
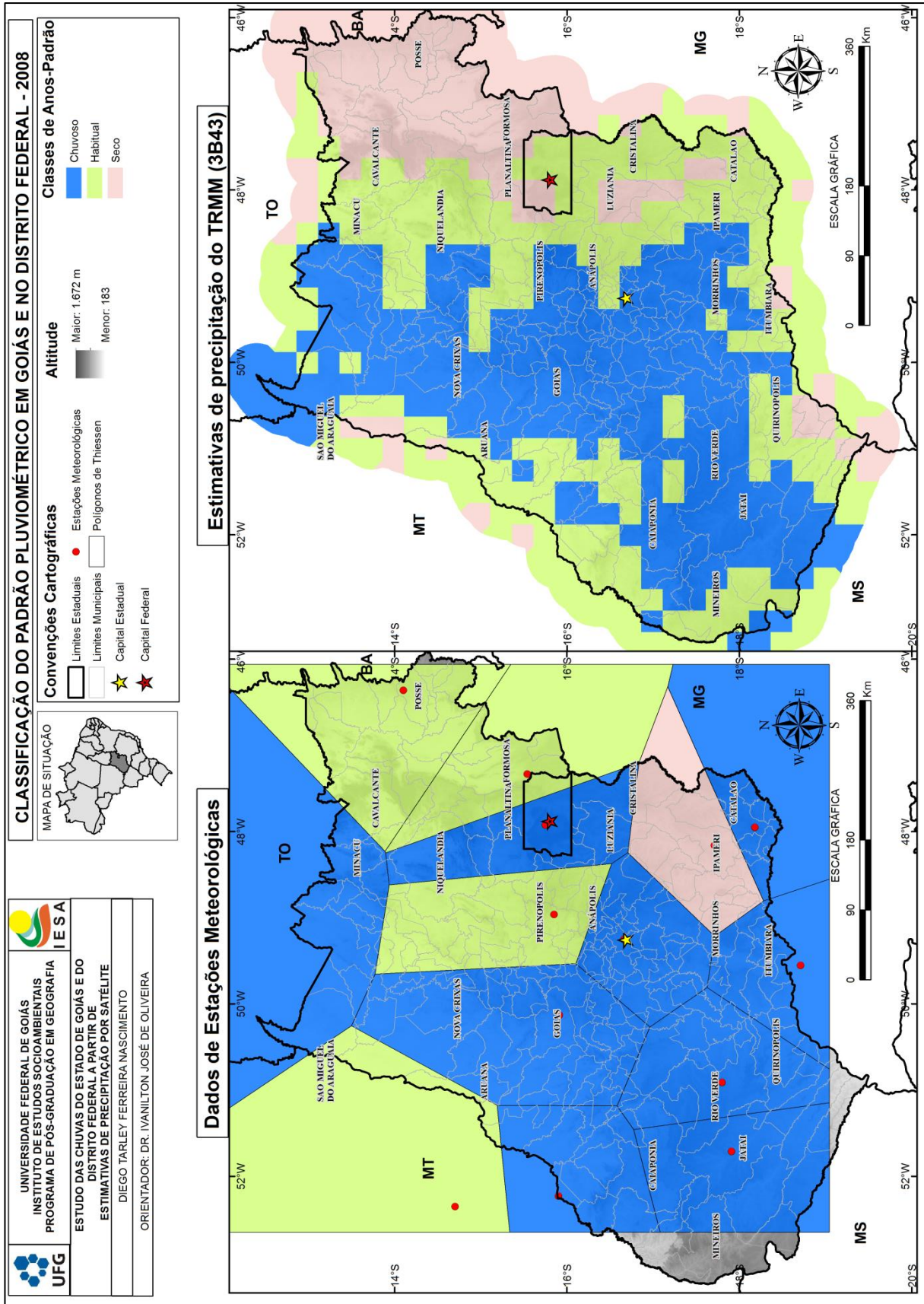
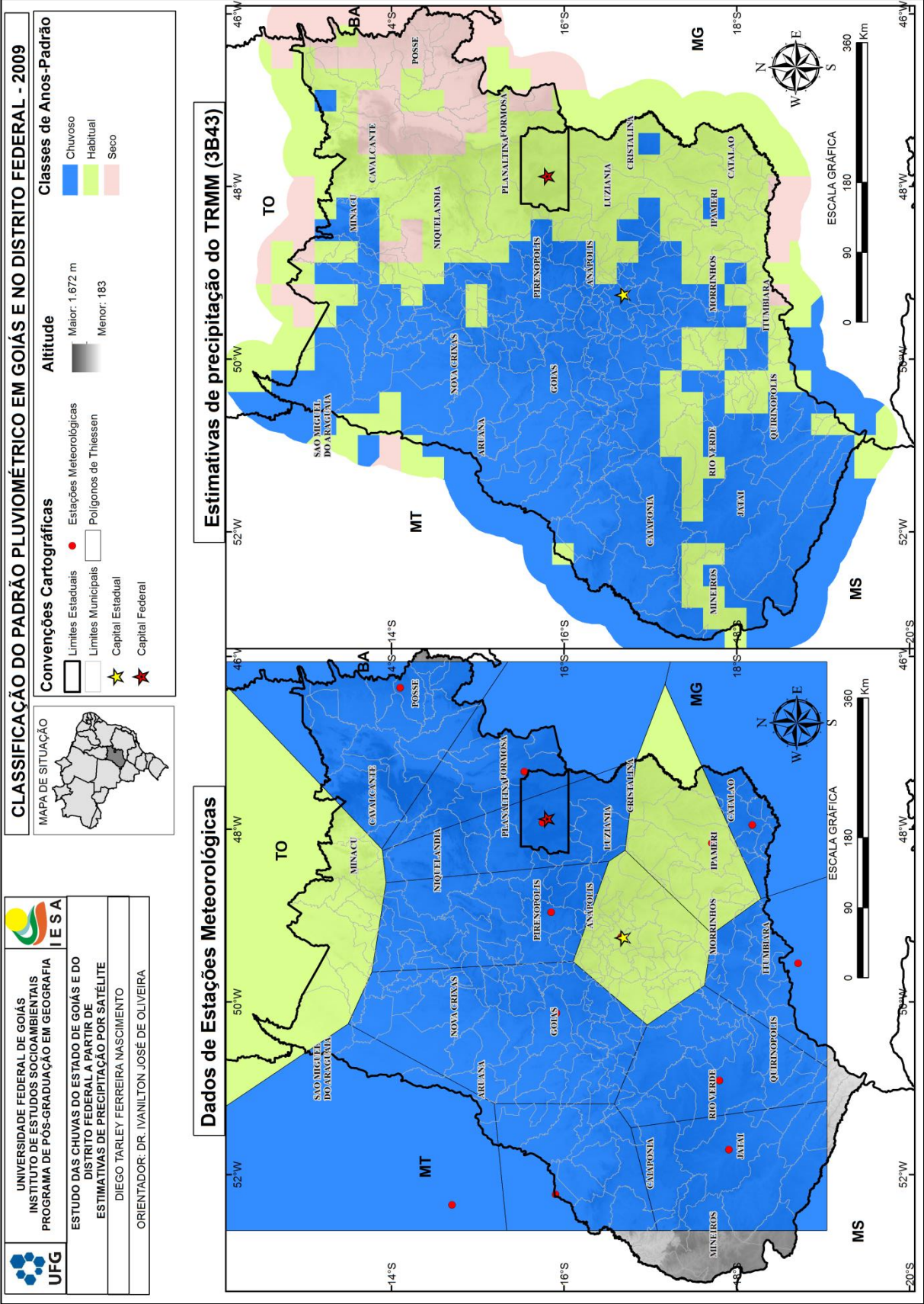


Figura 43 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2008 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



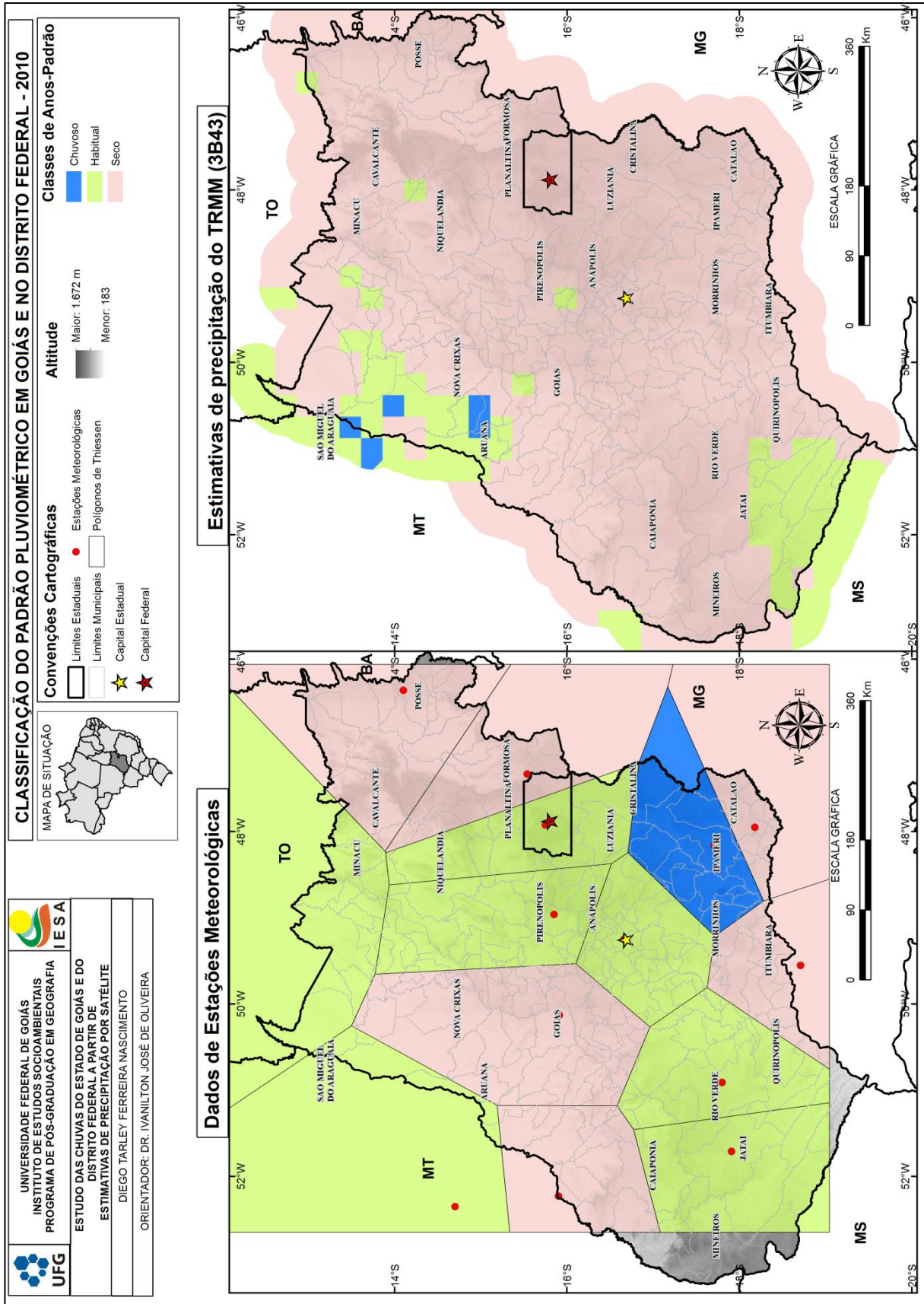
Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 44 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2009 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



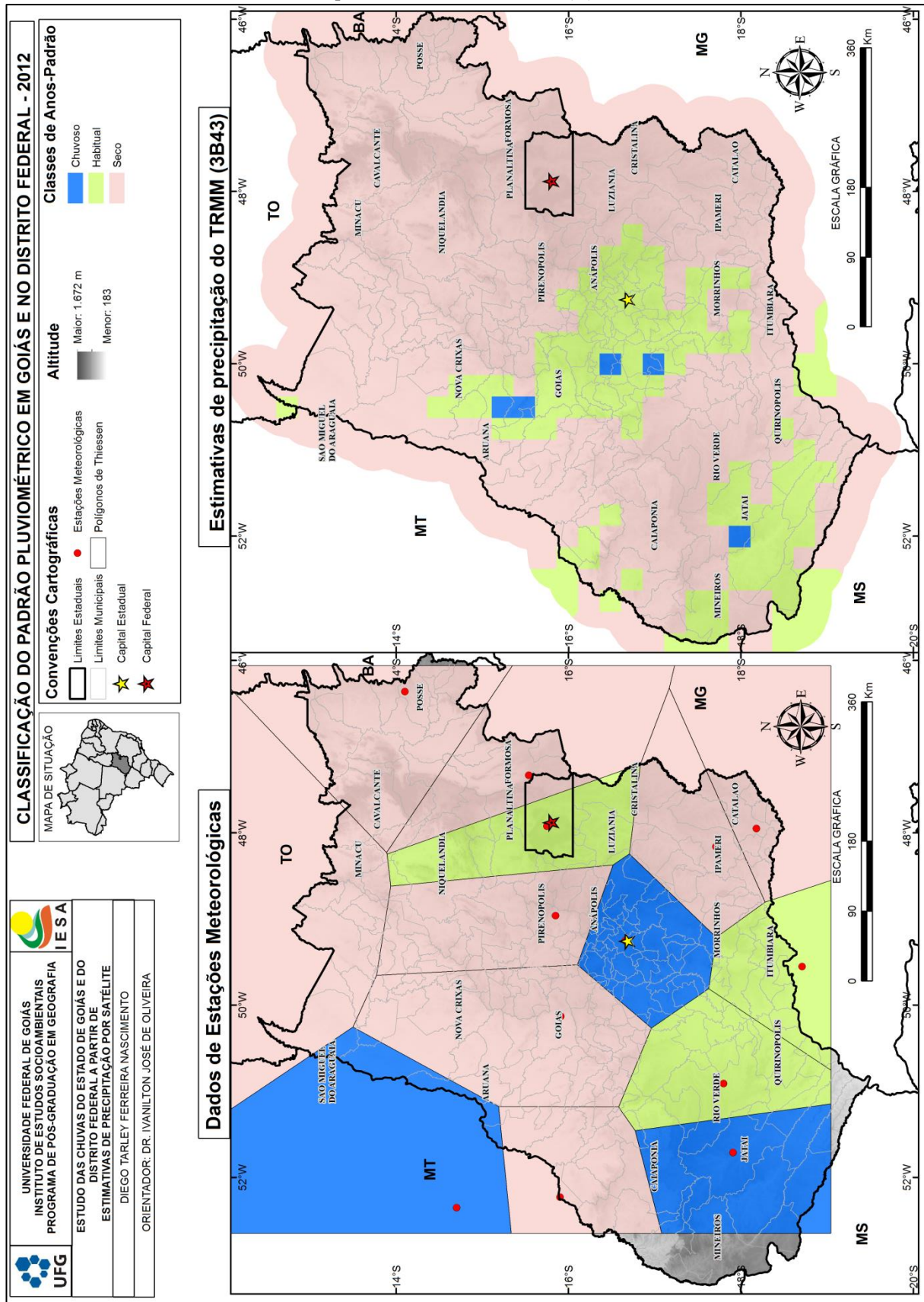
Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 45 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2010 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 47 – Comparação da classificação dos anos-padrão em 2012 valendo-se de estações meteorológicas (A) e do produto 3B43 do TRMM (B).



Elaboração: Nascimento (2016).

Por mais que a rede do INMET seja complementada por redes de outros órgãos (por exemplo, da Agência Nacional das Águas – ANA), a rarefeita distribuição das estações meteorológicas não é capaz de indicar toda variabilidade espacial das precipitações. No caso das estimativas do TRMM, os dados correspondem ao que seria uma grade de estações de superfície com distância de 25 km uma da outra.

Dentre os quinze anos utilizados para a comparação entre os anos-padrão definidos pelos dados das estações meteorológicas e pelas estimativas de precipitação, conforme **Tabela 5**, houve uma correspondência do predomínio espacial do regime pluviométrico habitual ou excepcional em oito anos (1998, 1999, 2001, 2002, 2007, 2009, 20011 e 2012 – destacados em negrito).

Contudo, apesar de haver, majoritariamente, o mesmo padrão pluviométrico nesses anos, pode ser observada certa discrepância com relação à proporção entre o regime seco, habitual ou chuvoso, que pode ser resultado da diferença entre os valores levantados por superfície ou orbital que foram utilizados para definição dos intervalos dos tercis ou mesmo pela sub ou superestimação dos dados levantados por satélite..

Tabela 5 – Proporção da área (%) e predomínio do padrão de precipitação entre os anos-padrão classificados pelas estações meteorológicas e estimativas de precipitação.

Ano	Estações Meteorológicas				Estimativa de precipitação			
	Proporção (%)			Predomínio espacial	Proporção (%)			Predomínio espacial
	Seco	Habitual	Chuvoso		Seco	Habitual	Chuvoso	
1998	64	29	7	Seco	87	7	4	Seco
1999	64	29	7	Seco	70	22	6	Seco
2000	14	21	64	Chuvoso	29	44	26	Habitual
2001	50	43	7	Seco	74	22	3	Seco
2002	64	14	21	Seco	97	1	0	Seco
2003	43	57	0	Habitual	69	28	2	Seco
2004	7	36	57	Chuvoso	19	46	34	Habitual
2005	7	36	57	Chuvoso	13	52	34	HABITUAL
2006	0	43	57	Chuvoso	19	46	34	Habitual
2007	71	14	14	SECO	92	6	0	SECO
2008	7	29	64	Chuvoso	22	39	37	Habitual
2009	0	21	79	CHUVOSO	13	36	50	CHUVOSO
2010	43	50	7	Habitual	85	13	1	Seco
2011	7	57	36	HABITUAL	25	48	26	Habitual
2012	57	21	21	Seco	80	18	1	Seco

Elaboração: Nascimento (2016), calculado em SIG.

Oriundos das estimativas do TRMM, os anos de 2007, 2009 e 2005 corresponderam aos anos-padrão seco, chuvoso e habitual, respectivamente, com maior homogeneidade espacial dessa condição na área em estudo. Contudo, para propiciar uma análise comparativa entre as duas metodologias de definição de anos-padrão (estações de superfície VS estimativa de precipitação por satélite), foi elencado o ano de 2011 como recorte amostral do regime habitual.

3.3 Etapas e procedimentos para o estudo das chuvas

Com base nas estimativas mensais de precipitação (produto 3B43), o estudo das chuvas se baseou, à priori, numa análise quantitativa da média anual, sazonal e mensal de precipitação de toda série temporal disponível (1998 a 2012), como subsídio para descrição e posterior comparação do padrão espacial da pluviosidade na área em estudo com a variação existente entre os anos-padrão. Na sequência, se procedeu a análise e descrição da variabilidade ao longo da série temporal, apoiada em representações cartográficas, tabulares e gráficas.

Num segundo momento, o estudo das chuvas foi amparado na análise qualitativa dos recortes amostrais do regime habitual e excepcional das chuvas, considerando os anos de 2011 (habitual), 2007 (seco) e 2009 (chuvoso). Nessa etapa, foram utilizadas as estimativas mensais do TRMM (produto 3B43) para análise da distribuição espacial tanto da precipitação anual e sazonal quanto mensal entre os distintos anos-padrão, com o intuito de identificar a noção do regime entre esses.

De modo a assegurar uma análise comparativa entre as representações cartográficas, foi determinado o máximo de oito classes de valores de precipitação, por avaliar como uma coerente quantidade de variações de cores para uma representação coroplética. O intervalo de valores foi calculado com base na amplitude entre o mínimo e máximo valor de precipitação verificado na área em estudo, dividido pela quantidade de classes.

Apesar do anseio em padronizar os intervalos de valores de precipitação, foram definidos diferentes limites para o caso das médias anual, sazonal (chuvoso e seco) e mensal, e para os totais anuais, sazonais (chuvoso e seco) e mensais – considerando a amplitude dos valores precipitação existente entre tais condições.

Ainda com o intuito de permitir uma melhor análise comparativa, foi padronizada a escolha das cores para representar as classes de precipitação. Seguindo os preceitos da Semiologia Gráfica (BERTIN, 1967; 1977; TEIXEIRA NETO, 1984; MARTINELLI, 2003, OLIVEIRA, 2005; OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2011), a definição de cores respeitou a

variação de laranja, verde e azul, capazes de representar condição de escassez, valores medianos e grandes proporções de precipitação— respectivamente, tendo elevação da intensidade das cores conforme o aumento dos valores de precipitação.

Associado e sucessivo ao estudo do regime das chuvas entre os distintos anos-padrão, procedeu-se ao estudo qualitativo da gênese das chuvas realizado em escala diária e exemplificada por episódios-padrão. Nessa etapa, foram empregadas estimativas diárias de precipitação (produto 3B42 – versão 7) para análise da variação espacial e temporal dos eventos pluviométricos em consonância à identificação dos sistemas atmosféricos atuantes e responsáveis pela formação e distribuição das chuvas, contemplando, assim, a noção da gênese dos diferentes tipos de tempos.

Apesar das imagens de estimativa diária de precipitação do TRMM estarem também disponíveis para download na *homepage* [<http://mirador.gsfc.nasa.gov/>], para evitar dispêndio de tempo no processamento de 1.095 imagens diárias para os três anos-padrão (2007, 2009 e 2011), conforme realizado para as 180 imagens mensais do produto 3B43 referente aos anos de 1998 a 2012, tais dados foram gentilmente cedidos pelo “Banco de dados pluviométricos integrados por dados da plataforma TRMM e estações pluviométricas no estado de Goiás e Distrito Federal”, desenvolvido no âmbito de uma dissertação de mestrado defendida em 2015 no Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (MORAIS, 2014; MORAIS; FERREIRA, 2015), sendo as imagens disponibilizadas já processadas e convertidas para o formato *.geotiff*.

O estudo da gênese das chuvas foi embasado, inicialmente, na identificação dos sistemas atmosféricos presentes em cada dia ao longo dos três anos-padrão, ou seja, da **atuação** dos sistemas atmosféricos na área em estudo, sendo quantificados e, posteriormente, transformados em valor porcentual os dias em que cada sistema operou sobre a circulação atmosférica regional. Posteriormente, o estudo contemplou a indicação e mensuração porcentual de quais sistemas atmosféricos atuaram nos dias com registros de eventos pluviométricos, ou seja, a **participação** dos sistemas atmosféricos na gênese de chuvas, independente do quantitativo ou da distribuição espacial. Conforme salientado por Monteiro (1979), atentando à preocupação puramente genética, a intenção foi, pelo menos, fornecer a relação da chuva caída com a corrente de circulação atmosférica regional responsável por ela.

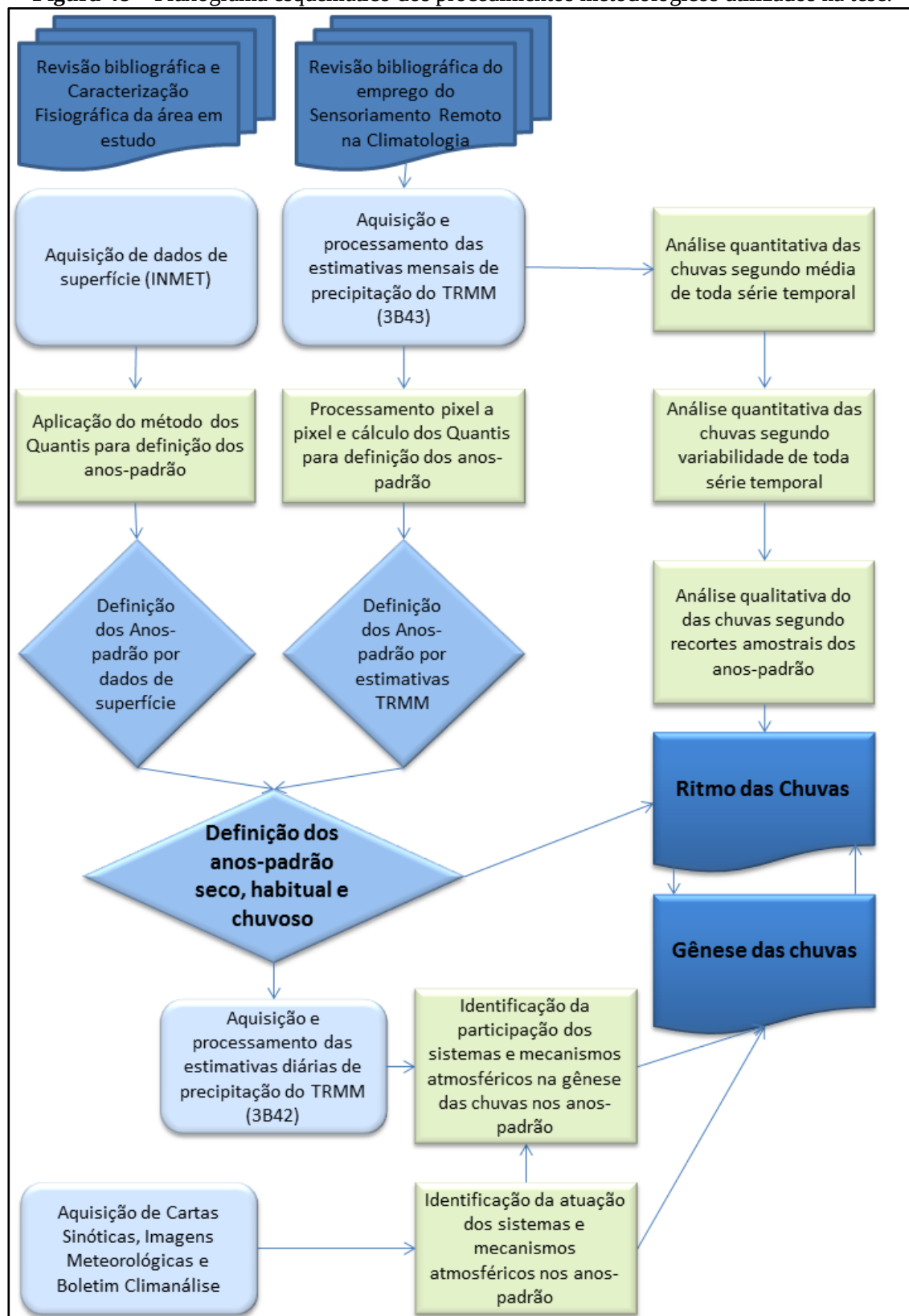
Os sistemas atmosféricos atuantes na região foram identificados a partir da leitura e interpretação de cartas sinóticas da Marinha do Brasil – horário das 12UTC, ou seja,

referente às 9 horas do Horário Oficial de Brasília. Conforme sugerido por Zavattini (1990; 2014), como suporte à identificação de tais sistemas, foram utilizadas, paralelamente, tanto as imagens em composição colorida do satélite meteorológico GOES (referente às 9h do Horário Oficial de Brasília) quanto as edições mensais do Boletim Climanálise, ambos disponibilizados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

Perante a dificuldade na identificação dos sistemas e mecanismos atmosféricos e, principalmente, a impossibilidade de delimitar os limites precisos em que esses atuam, o estudo da gênese das chuvas foi apoiado numa abordagem qualitativa, sob a escala regional e exemplificado em episódicos diários. A indicação dos sistemas e mecanismos atmosféricos atuantes e a participação desses na ocorrência de eventos pluviométricos numa sequência diária foi o que embasou a percepção do ritmo e da gênese do clima.

3.4 Sintetizando

Para sintetizar os procedimentos metodológicos descritos nesse capítulo, o fluxograma apresentado pela **Figura 48** indica todas as etapas executadas na tese.

Figura 48 – Fluxograma esquemático dos procedimentos metodológicos utilizados na tese.

Elaboração: Nascimento (2016).

CAPÍTULO 4 .

AS CHUVAS DO ESTADO DE GOIÁS E DO DISTRITO FEDERAL

4.1. Média anual, sazonal e mensal das chuvas do estado de Goiás e do Distrito Federal (1998/2012)

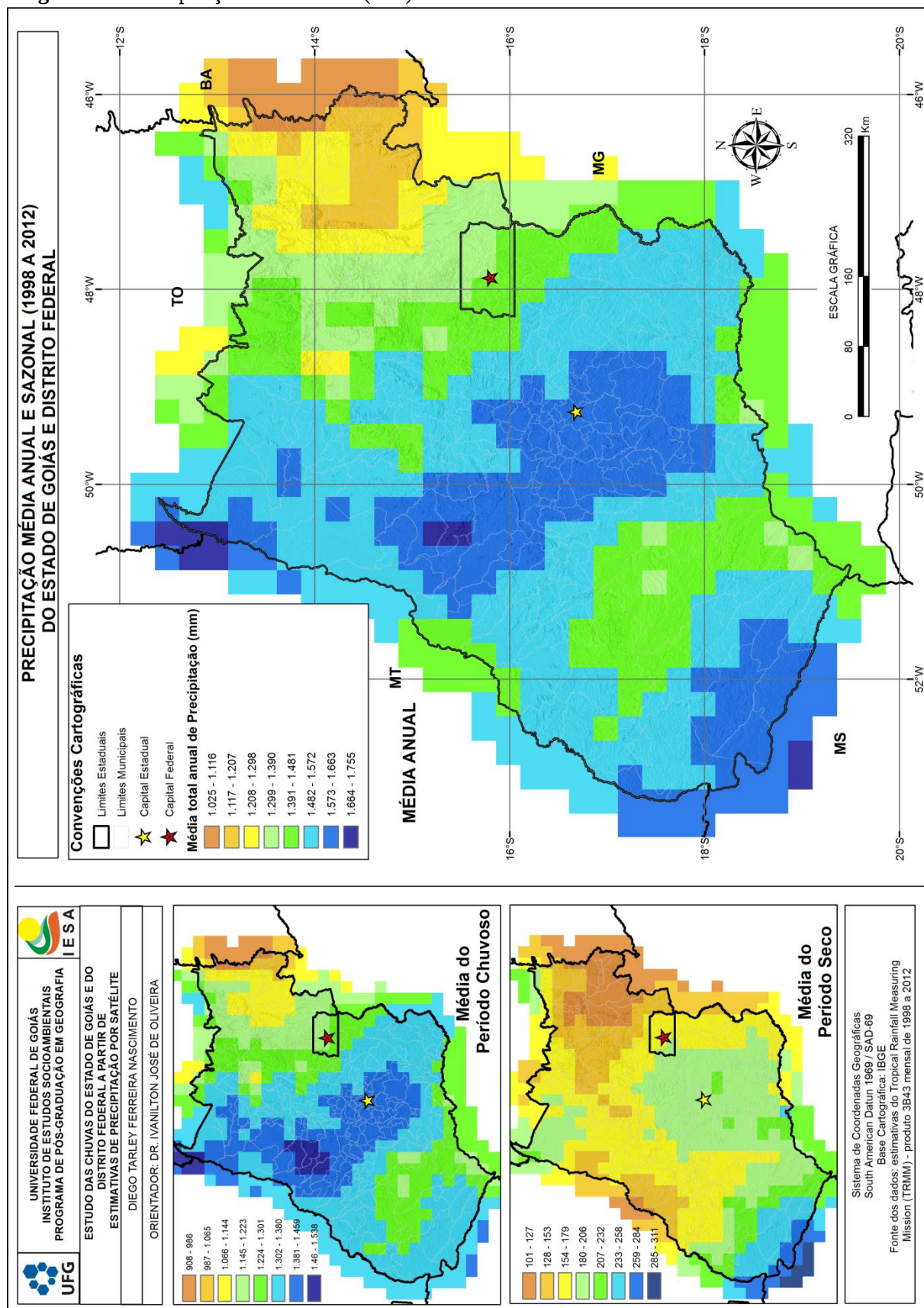
Apesar da análise quantitativa apoiada na média aritmética não ser encarada como ideal nos estudos realizados sob a ótica da Climatologia Geográfica, a caracterização climática do estado de Goiás e do Distrito Federal se inicia sob esse aporte. Essa análise pode ser justificada pelo fato do valor médio (anual, sazonal ou mensal) ser uma relevante variável de parametrização e ser entendida tanto como um meio de percepção das tendências gerais quanto uma referência para a expressão do que seja habitual e, sobretudo, extremo – como salientado por Monteiro (1973). O autor supracitado ainda ressalta que o cômputo da quantidade média anual, e seu desdobramento em situações sazonais, é pressuposto para uma associação à noção qualitativa, ou seja, à gênese do fenômeno climático.

Sendo assim, com base no tratamento estatístico das estimativas mensais de chuva do TRMM referentes ao período de 1998 a 2012, a precipitação média anual para o estado de Goiás e o Distrito Federal é de 1.468 mm (média zonal). Valor abaixo do total anual compreendido entre 1.500 e 1.750 mm, indicado por Nimer (1979), e aos 1.529 mm, verificados por Costa et al. (2012) para a região. Porém, vale salientar que Nimer (1979) levou em consideração apenas cinco estações meteorológicas (Goiânia, Catalão, Luziânia, Pirenópolis e Formosa) ao passo que Costa et al. (2012) utilizaram dados de 107 estações, ambos os trabalhos empregando uma série temporal distinta e anterior àquela referente aos dados do TRMM. A média anual de 1.468 mm se encontra entre o intervalo indicado pelas Normais Climatológicas do INMET, que é de 1.450 e 1.850 mm.

A precipitação média anual varia, espacialmente, entre 1.025 e 1.755 mm no território compreendido pelo estado de Goiás e pelo Distrito Federal, sendo o valor mínimo próximo àquele levantado por Costa et al. (2012) e o máximo bastante próximo aos valores indicados por Nimer (1979) e pelas Normais Climatológicas do INMET. Os menores valores (1.025 a 1.298 mm) são verificados, geralmente, na região nordeste, especificamente na Depressão do Vão do Paranã, que é cercada pelos Chapadões de Goiás e Distrito Federal que impedem a entrada dos sistemas produtores de chuva –

Figura 49.

Figura 49 – Precipitação média anual (mm) do estado de Goiás e Distrito Federal entre 1998 e 2012.



Elaboração: Nascimento (2016).

Os maiores valores (1.482 a 1.755 mm) são vislumbrados no extremo sudoeste, em que a disposição da *cuesta* do Planalto de Rio Verde condiciona a ascensão dos sistemas atmosféricos produtores de chuva oriundos do sul, repercutindo chuvas orográficas, e numa faixa que se estende em sentido noroeste/sudeste, referente à calha topográfica formada pela Depressão do Rio Araguaia e pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas, por onde entram e escoam os sistemas produtos de chuva na região oriundos da região amazônica, conforme também apontado por Campos e colaboradores (2002).

A **Tabela 6** mostra a área ocupada por cada classe de precipitação média anual, pela qual é possível perceber que os menores valores (1.025 a 1.298 mm), verificados principalmente na Depressão do Vão do Paranã, correspondem a apenas 12,5% da área em apreço, enquanto os maiores valores (1.482 a 1.755 mm) representam mais da metade da área– 55,8% – coincidindo com a Depressão do Rio Araguaia e com os Relevos Residuais e Depressões Intermontanas. Os valores intermediários, entre 1.299 e 1.481 mm, correspondem a 31,8% da área.

Tabela 6 – Área (km²) e proporção (%) das classes de precipitação média anual (mm) entre 1998 e 2012.

Precipitação (mm)	Área (km ²)	Proporção (%)
1025 a 1.116	8.580	2,5
1.117 a 1.207	12.334	3,6
1.208 a 1.298	21.987	6,4
1.299 a 1.390	33.248	9,6
1.391 a 1.481	76.686	22,2
1.482 a 1.572	122.805	35,5
1.573 a 1.663	65.424	18,9
1.664 a 1.755	4.826	1,4
Total	345.891	100,00

Elaboração: Nascimento (2016), calculado em SIG.

A mais importante característica climática da região é a concentração das chuvas entre os meses de outubro a março (primavera e verão) e sua praticamente ausência entre abril e setembro (outono e inverno), fruto da sazonalidade da circulação atmosférica e, conseqüentemente, da dinâmica de atuação de diferentes sistemas atmosféricos nesses dois períodos. No período chuvoso, a precipitação média zonal é de 1.291 mm, valor esse que corresponde a 88% da precipitação média anual. Por sua vez, o período seco apresenta média zonal de precipitação de apenas 176 mm, não

ultrapassando 12% da precipitação média anual – o que corrobora a intensa concentração de chuvas na área em estudo.

Durante o período chuvoso, a precipitação média varia espacialmente entre 908 e 1.538 mm – uma amplitude de 630 mm – **Figura 49**. Assim como na distribuição espacial da média anual, os menores valores de precipitação média durante o período chuvoso (908 a 1.144 mm) ocorrem, principalmente, no Vão do Paranã, ao passo que os maiores (1.302 a 1.538 mm) correspondem tanto à calha formada pela Depressão do Rio Araguaia e Relevos Residuais e Depressões Intermontanas quanto ao sudoeste de Goiás.

Segundo a quantificação da área e a proporção ocupada pelas classes de precipitação média ao longo do período chuvoso – **Tabela 7**, predominam em mais da metade da área em estudo (59,6%) valores de precipitação compreendidos entre 1.274 e 1.375 mm. Os valores abaixo desse patamar ocorrem a 22,1% ao passo que aqueles acima representam 18,1% da área.

Tabela 7 – Área (km²) e proporção (%) das classes de precipitação média (mm) no período chuvoso entre 1998 e 2012.

Precipitação (mm)	Área (km ²)	Proporção (%)
908 a 1.031	6.971	2,0
1.032 a 1.137	6.971	2,0
1.138 a 1.211	21.451	6,2
1.212 a 1.273	41.292	11,9
1.274 a 1.328	70.787	20,5
1.329 a 1.375	135.139	39,1
1.376 a 1.431	55.772	16,1
1.432 a 1.538	7.508	2,2
Total:	345.890	100,0

Elaboração: Nascimento (2016), calculado em SIG.

No período seco, a precipitação média varia espacialmente entre 101 e 311 mm – uma amplitude de 210 mm, com os menores valores (101 a 179 mm) situados na região do Vão do Paranã e da Depressão do Rio Araguaia e os maiores valores (223 a 311 mm) verificados, principalmente, no extremo sudoeste de Goiás – **Figura 49**. Ao contrário do que foi visto para a média anual e para o período chuvoso, no caso do período seco, o predomínio é dos menores valores de precipitação, uma vez que os valores abaixo de 184 mm correspondem a 83,4% da área ao passo que os valores acima desse patamar representam apenas 16,6% – **Tabela 8**.

Tabela 8 – Área (km²) e proporção (%) das classes de precipitação média (mm) no período seco entre 1998 e 2012.

Precipitação (mm)	Área (km ²)	Proporção (%)
101 a 127	34.857	10,1
128 a 148	60.598	17,5
149 a 166	103.499	29,9
167 a 184	89.556	25,9
185 a 203	28.958	8,4
204 a 225	16.088	4,7
226 a 253	9.117	2,6
254 a 311	3.218	0,9
Total:	345.890	100,0

Elaboração: Nascimento (2016), calculado em SIG.

A precipitação média mensal na área em estudo é de 122 mm, variando espacialmente entre 85 e 146 mm, com a mesma configuração geográfica vista para a média anual – por tal motivo, não sendo representada cartograficamente. O predomínio é de valores variando entre 116 e 138 mm (76,6%). Valores abaixo desse patamar ocorrem sobre apenas 22,1% da área – **Tabela 9**.

Tabela 9 – Área (km²) e proporção (%) das classes de precipitação média mensal (mm) entre 1998 e 2012.

Precipitação (mm)	Área (km ²)	Proporção (%)
85 a 95	11.798	3,4
96 a 100	9.117	2,6
101 a 107	20.378	5,9
108 a 115	35.393	10,2
116 a 123	83.657	24,2
124 a 130	114.761	33,2
131 a 138	66.497	19,2
139 a 146	4.290	1,2
Total:	345.890	100,0

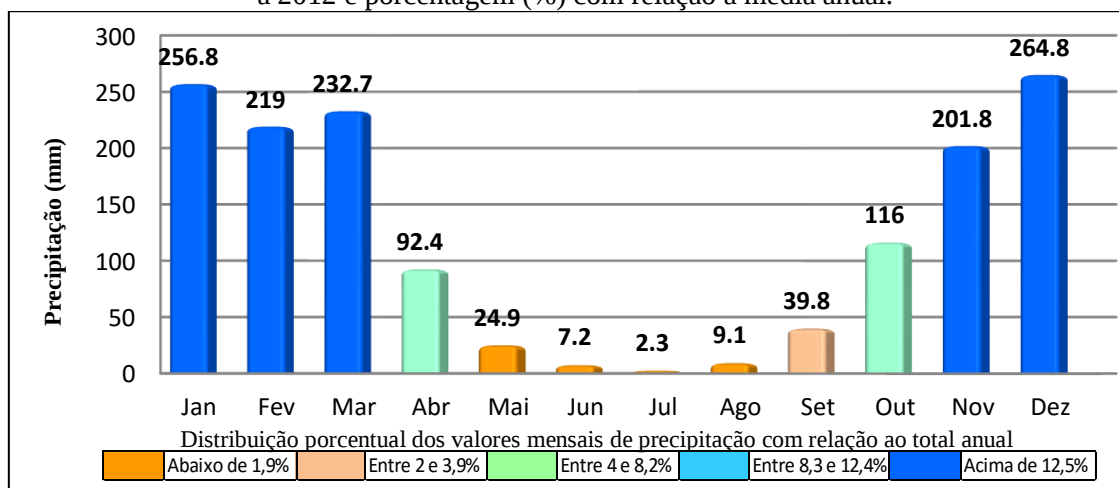
Elaboração: Nascimento (2016), calculado em SIG.

Apesar de ser um valor de referência, a média mensal pouco informa sobre o quadro climático de determinada área. Melhor relevância pode ser atribuída à variação da precipitação média mensal ao longo do ano, principalmente para a área em estudo, que apresenta duas estações climáticas bem definidas: uma chuvosa e outra seca.

Não obstante, a **Figura 50** indica a precipitação média mensal ao longo do ano, associada à distribuição percentual da média mensal com relação à anual, sendo possível perceber os meses de janeiro a março e novembro a dezembro como mais representativos do período chuvoso para a região, uma vez que esses cinco meses

possuem médias mensais acima de 12,5% da média anual e somam 80,1% do que é precipitado ao longo do ano. Os meses mais chuvosos são dezembro, janeiro e março, com 264, 256 e 232 mm, respectivamente; sendo o trimestre consecutivo mais chuvoso representado pelos meses de janeiro/fevereiro/março (verão).

Figura 50 – Gráfico da variação da precipitação média mensal (mm) da série temporal de 1998 a 2012 e porcentagem (%) com relação à média anual.

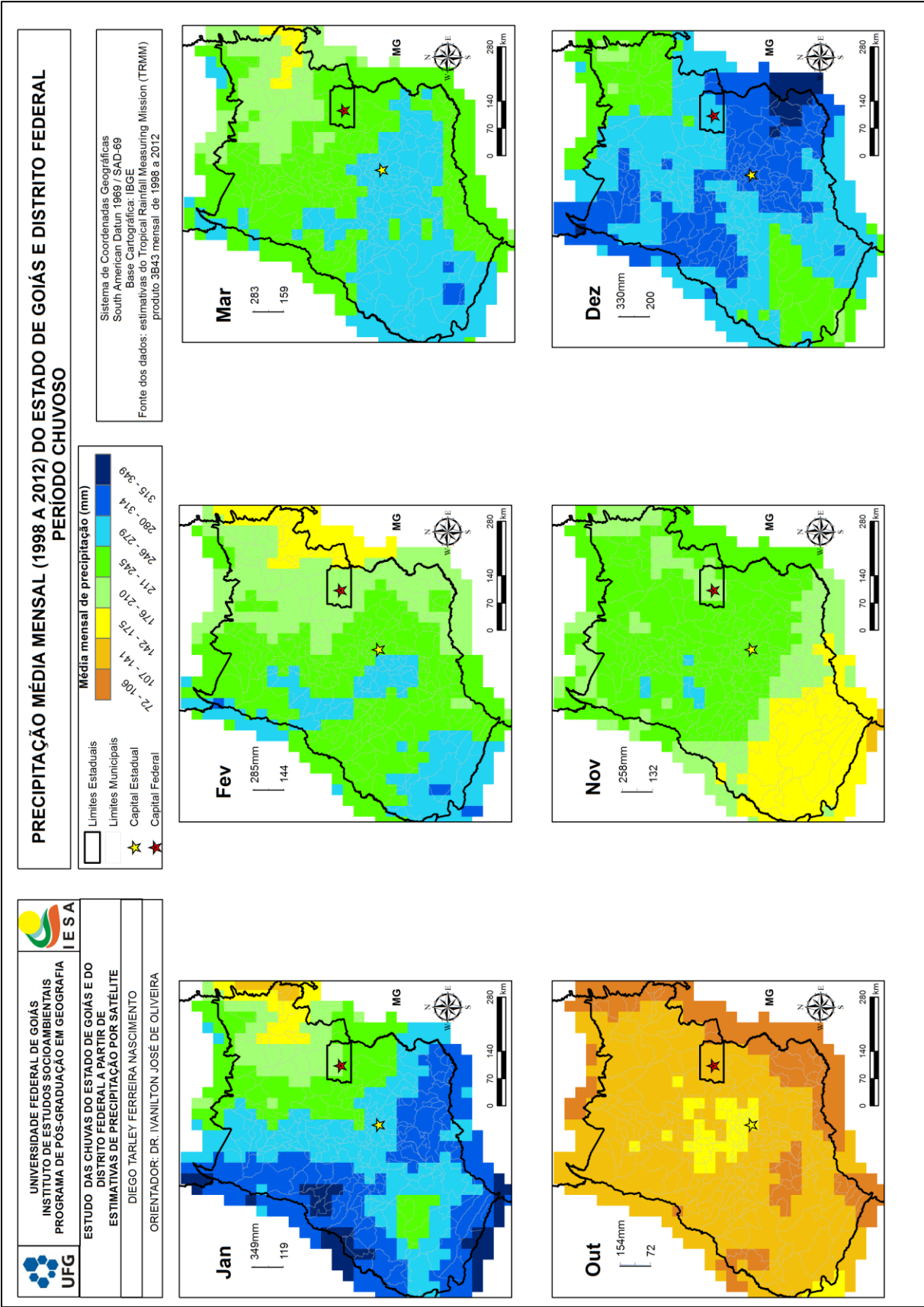


Elaboração: Nascimento (2016).

Por outro lado, os meses de maio a setembro caracterizam o período seco para a área em estudo – correspondendo ao período de estiagem indicado por Nimer (1979) e Costa et al. (2012) à região. Esses meses são assim classificados por representarem precipitação média mensal sempre inferior a 3,9% da média anual, a ponto de não somarem mais que 5,7%. Os meses de junho, julho e agosto se destacam por representarem os meses e o trimestre consecutivo menos chuvoso para a região, com 7, 2 e 9 mm, respectivamente. Ainda merecem ressalva os meses de abril e outubro, por representarem o período de transição entre o período chuvoso e seco e vice-versa.

A distribuição e a amplitude da precipitação média mensal são indicadas pelas **Figuras 51 e 52**, que indicam o período chuvoso e o seco, respectivamente. No período chuvoso (janeiro a março e outubro a dezembro), os mais elevados valores de precipitação média mensal situam-se, principalmente, nas porções noroeste e centro-oeste, coincidente com a Depressão do Rio Araguaia e com os Relevos Residuais e Depressões Intermontanas, ou sudoeste e sudeste, referente aos Planaltos de Rio Verde e Central Goiano. Os menores valores, geralmente, são vistos no nordeste de Goiás.

Figura 51 – Precipitação média mensal (mm) do estado de Goiás e Distrito Federal durante o período chuvoso (1998/2012).



Elaboração: Nascimento (2016).

Figura 52 – Precipitação média mensal (mm) do estado de Goiás e Distrito Federal durante o período seco (1998/2012).

