



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS DE USO DA TERRA EM COMPONENTES DO  
BALANÇO RADIATIVO EM REGIÕES ADMINISTRATIVAS DE BRASÍLIA -  
DF**

**IVANETE MAIA DIAS LEDO**

Campina Grande - PB

Novembro - 2013

IVANETE MAIA DIAS LEDO

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS NO USO DA TERRA EM COMPONENTES DO  
BALANÇO RADIATIVO EM REGIÕES ADMINISTRATIVAS DE BRASÍLIA -  
DF**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Agrometeorologia e Micrometeorologia

Subárea: Sensoriamento Remoto Aplicado

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva

Campina Grande - PB

Novembro – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L474i

Ledo, Ivanete Maia Dias.

Impactos das mudanças de uso da terra em componentes do balanço radiativo em regiões administrativas de Brasília-DF. / Ivanete Maia Dias Ledo. – Campina Grande, 2014.

65 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva".

Referências.

1. Radiação - Brasília. 2. Albedo. 3. Mudança Climática  
I. Silva, Bernardo Barbosa da. II. Título.

CDU 551.521.1(817.4)(043)

IVANETE MAIA DIAS LEDO

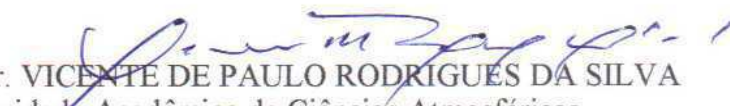
IMPACTOS DAS MUDANÇAS DE USO DA TERRA EM COMPONENTES DO  
BALANÇO RADIATIVO EM REGIÕES ADMINISTRATIVAS DE BRASÍLIA-DF

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/11/2013

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Dra. ANDREA MALHEIROS RAMOS  
Instituto Nacional de Meteorologia

Aos meus pais Armando (em memória) e Izolda.

Ao meu esposo Ramiro e aos meus filhos Rúben, Roger e Rodrigo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pela minha existência, conhecimento e força para perseverar nesse trabalho.

Aos meus pais, Armando e Izolda, por serem o motivo de hoje eu estar aqui.

Ao meu esposo Ramiro, pelo amor, companheirismo, compreensão, paciência e dedicação em todos os momentos de convivência.

Aos meus filhos Rúben e Rodrigo, pelo estímulo, amor, força e confiança.

Ao meu filho doutorando Roger, pela paciência, entusiasmo, ânimo e dicas na utilização de ferramentas para análise desse trabalho.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia, pelos dados meteorológicos fornecidos para a pesquisa.

À funcionária do programa de Pós-Graduação em Meteorologia Divanete C. Rocha pela atenção e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG e ao Instituto Nacional de Meteorologia, e a todos os professores, em especial ao prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva, pela atenção e auxílio durante a realização desse trabalho.

Aos colegas e amigos do Instituto Nacional de Meteorologia, Maria das Graças, Wagner Aragão, Morgana Viturino, Sidney Abreu e Cristina Costa, pela troca de conhecimento, convivência, alegria, força e encorajamento. Em especial, ao Dr. Kleber Ataíde e à Dra. Andrea Ramos, pelos ensinamentos e dicas na utilização de ferramentas necessárias para a execução desse trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do presente trabalho, minha sincera gratidão.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Quadros.....	viii
Lista de Símbolos.....	ix
Resumo.....	xi
Abstract.....	xii
1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	4
1.1.1. GERAL.....	4
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1. Área de Estudo.....	9
3.2. Características Climáticas do Distrito Federal.....	11
3.3. Período de Estudo e Seleção de Imagens.....	13
3.4. Satélite Landsat 5.....	15
3.5. Metodologia desenvolvida.....	16
3.5.1. Cálculo do balanço de Radiação.....	17
3.5.1.1. Calibração Radiométrica.....	18
3.5.1.2. Cálculo da Refletância.....	19
3.5.1.3. Cálculo do Albedo de Superfície.....	20
3.5.1.4. Índice de Vegetação.....	21
3.5.1.4.1. Cálculo do NDVI.....	21
3.5.1.4.2. Cálculo do SAVI.....	21
3.5.1.4.3. Cálculo do IAF.....	22
3.5.1.5. Emissividade Espectral.....	22

3.5.1.6. Cálculo da Temperatura de Superfície.....	23
3.5.1.7. Cálculo da Radiação de Onda Longa Emitida pela Superfície.....	23
3.5.1.8. Cálculo da Radiação de Onda Longa Emitida pela Atmosfera.....	23
3.5.1.9. Cálculo da Radiação de Onda Curta Incidente.....	24
3.5.1.10. Cálculo do Saldo de Radiação.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	288
4.1. Albedo.....	288
4.2. Saldo de Radiação.....	33
4.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.....	38
5. CONCLUSÕES .....	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59



## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

Figura 1.1: Imagens representativas de dois períodos do desenvolvimento urbano em Brasília no ano de 1958 (a) e da cidade atualmente (b).....3

### Capítulo 3

Figura 3.1: Visualização espacial do Distrito Federal na região Centro Oeste e suas regiões administrativas. Fonte Instituto Brasília ambiental - IBRAM - GDF - 2011.....10

Figura 3.2: Visualização espacial da região administrativa do Cruzeiro (Fonte: INMET).....14

Figura 3.3: Visualização espacial da região administrativa do Samambaia (Fonte: INMET). ).....14

Figura 3.4: Visualização espacial da região administrativa parte do Paranoá (Fonte: INMET). ).....15

Figura 3.5: Diagrama das etapas para obtenção do balanço de radiação à superfície. Fonte: Adaptado de Allen et al. (2002). ).....26

### Capítulo 4

Figura 4.1(a,b): Histograma da frequência do albedo para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) no Cruzeiro-Distrito Federal (DF).....30

Figura 4.1(c,d): Histograma da frequência do albedo para o período seco de 1985(c) a 2010(d) no Cruzeiro-Distrito Federal (DF).....30

Figura 4.2(a,b): Histograma da frequência do albedo para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010(b) em Samambaia-Distrito Federal (DF).....32

Figura 4.2(c,d): Histograma da frequência do albedo para o período seco de 1985(c) e 2010(d) em Samambaia-Distrito Federal (DF).....	32
Figura 4.3(a,b): Histograma da frequência do albedo para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) em parte do Paranoá-Distrito Federal (DF).....	33
Figura 4.3(c,d): Histograma da frequência do albedo para o período seco de 1985 (a) e 2010 (b) em parte do Paranoá-Distrito Federal (DF).....	34
Figura 4.4(a,b): Histograma do saldo de radiação para o período chuvoso de 1985(a) no Cruzeiro-Distrito Federal(DF).....	35
Figura 4.4(c,d): Histograma do saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ ) para o período seco de 1985(c) e 2010(d) no Cruzeiro-Distrito Federal (DF).....	35
Figura 4.5(a,b): Histograma da frequência do saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ ) para o período chuvoso de 1985(a) e 2010(b) em Samambaia-DF. ).....	37
Figura 4.5(c,d): Histograma da frequência do saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ ) para o período seco de 1985 (c) e 2010(d) em Samambaia-DF. ).....	37
Figura 4.6(a,b): Histograma da frequência do saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ ) para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) de parte do Paranoá - Distrito Federal (DF).....	38
Figura 4.6(c,d): Histograma da frequência do saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ ) para o período seco de 1985 (c) e 2010 (d) de parte do Paranoá- Distrito Federal (DF).....	39
Figura 4.7(a,b): Histograma da frequência do NDVI para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) do Cruzeiro- Distrito Federal (DF).....	40
Figura 4.7(c,d): Histograma da frequência do NDVI para o período seco de 1985 (c) e 2010(d) do Cruzeiro- Distrito Federal (DF).....	41
Figura 4.8(a,b): Histograma da frequência do NDVI para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010(b) em Samambaia-Distrito Federal (DF).....	42
Figura 4.8(c,d): Histograma da frequência do NDVI para o período seco de 1985(c) e 2010(d) em Samambaia- Distrito Federal (DF).....	43

Figura 4.9(a,b): Histograma da frequência do NDVI para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) para parte do Paranoá- Distrito Federal (DF).....	44
Figura 4.9(c,d): Histograma da frequência do NDVI para o período seco de 1985 (c) e 2010 (d) para parte do Paranoá- Distrito Federal (DF).....	45
Figura 4.10: Associação entre tempo (anos) e de índice de vegetação (NDVI médio) em três regiões administrativas de Brasília (Cruzeiro, parte do Paranoá e Samambaia), Distrito Federal (DF).....	46
Figura 4.11: Associação entre NDVI médio e Albedo de superfície médio, levando em consideração o período chuvoso (A), o período seco (B) e a totalidade (C).....	47
Figura 4.12a: Índice de Vegetação no Distrito Federal (DF) para estação chuvosa de 1985.....	48
Figura 4.12b: Índice de Vegetação (INDV) do Distrito Federal (DF) para estação chuvosa 2010.....	49
Figura 4.13(a,b): Saldo de radiação da Região Administrativa do Cruzeiro-DF para os anos de 1985 (a) e 2010(b).....	50
Figura 4.14(a,b): Composição RGB para a Região Administrativa do Cruzeiro-DF, para o período chuvoso em 1985(a) e 2010(b).....	51
Figura 4.15(a,b): Composição RGB para a Região Administrativa de parte do Paranoá-DF para 1985(a) e 2010(b).....	52.
Figura 4.16(a,b): Composição RGB para a Região Administrativa de Samambaia-DF para o período chuvoso em 1985(a) e 2010(b).....	53
Figura 4.17: Índice de conforto térmico humano (ID <sub>k</sub> ), proposto por Ono-Kawamura (ID <sub>k</sub> ) para a região administrativa do Cruzeiro - DF.....	55
Figura 4.18: Índice de conforto térmico humano (ID <sub>k</sub> ), proposto por Thom & Bosen para a região administrativa do Cruzeiro - DF.....	56

Figura 4.19: Comportamento mensal da média da temperatura mínima (°C) para os anos de 1985 (em azul) e 2010 (em vermelho). Fonte: INMET.....57

Figura 4.20: Comportamento mensal da média da velocidade do vento (m/s) para os anos de 1985 (em azul) e 2010 (em vermelho). Fonte: INMET.....58

Figura 4.21: Comportamento mensal da média da umidade relativa do ar para os anos de 1985 (em azul) e 2010 (em vermelho). Fonte: INMET.....58

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 3

Tabela 3.1: Informações sobre a Climatologia e a Normal Climatológica de Brasília-DF para o período de 1961-1990.....	12
Tabela 3.2: Valores das temperaturas (média, máxima e mínima) a partir da Normal Climatológica do Brasil de 1961-1990 e Média Climatológica 1981-2010 para Brasília - DF.....	13
Tabela 1.3: Bandas Espectrais do sensor TM (Thematic Mapper).....	16
Tabela 3.4: Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5.....	18

### Capítulo 4

Tabela 4.1: Valores médios de albedos no período chuvoso e seco para o Cruzeiro-Distrito Federal (DF).....	29
Tabela 4.2: Valores médios de albedos no período chuvoso e seco para a Samambaia-Distrito Federal (DF).....	31
Tabela 4.3: Valores médios de albedos no período chuvoso e seco para parte do Paranoá- Distrito Federal (DF).....	33
Tabela 4.4: Valores Médios de Saldo de Radiação ( $W.m^{-2}$ ) no período chuvoso e seco para o Cruzeiro - Distrito Federal (DF).....	34
Tabela 4.5: Valores Médios de Saldo de Radiação ( $W.m^{-2}$ ) nos períodos chuvoso e seco para a Samambaia - Distrito Federal (DF).....	36
Tabela 4.6: Valores Médios de Saldo de Radiação ( $W.m^{-2}$ ) no período chuvoso e seco para parte do Paranoá - Distrito Federal (DF).....	38
Tabela 4.7: Valores Médios do NDVI nos períodos chuvoso e seco para o Cruzeiro - Distrito Federal (DF).....	39

Tabela 4.8: Valores Médios do NDVI no período chuvoso e seco para a Samambaia-Distrito Federal (DF).....	41
Tabela 4.9: Valores Médios do NDVI no período chuvoso e seco para parte do Paranoá - Distrito Federal (DF).....	43
Tabela 4.10: Valores mensais calculados a partir do Índice de Desconforto proposto por Ono-Kawamura(1991) para os anos de 1985 e 2010.....	55
Tabela 4.11: Valores mensais da Temperatura Efetiva (TE) dos anos de 1985 e 2010 proposto por Thom & Bosen (1959).....	56

## LISTA DE QUADROS

### Capítulo 3

Quadro 3.1: Informações referentes para o período de estudo sobre o pré-processamento das imagens utilizadas.....	17
Quadro 3.2: Intervalos do índice de conforto térmico humano segundo Ono & Kawamura (1991).....	27
Quadro 3.3: Intervalos do índice de conforto térmico humano, segundo Thon & Bosen (1959).....	28

## LISTA DE SÍMBOLOS

$d_r$  - Quadrado da Distância Relativa Terra- Sol em Unidade Astronômica

DAS - Dia Sequencial do Ano

$Z$  - Ângulo Zenital solar

$E$  - Ângulo de Elevação do Sol

$T_{ar}$  - Temperatura da Superfície

$a_i$  - Radiância mínima

$b_i$  - Radiância máxima

ND - Número Digital

$L_{\lambda_i}$  - Radiância monocromática de cada banda

$\tau_{sw}$  - Transmissividade atmosférica

$K_{\lambda_i}$  - Irradiância solar espectral

$\rho_{\lambda_i}$  - Refletância monocromática

$\rho_{\lambda_i}$  - Irradiância solar espectral para cada banda

$\alpha$  - Albedo da superfície

$\alpha_p$  - Refletância planetária

$\alpha_{toa}$  - Albedo no topo da atmosfera

$\tau_{sw}$  - Transmitância da atmosfera

$\rho_7$  - Refletância da banda 7

$\rho_5$  - Refletância da banda 5

$\rho_4$  - Refletância da banda 4

$\rho_3$  - Refletância da banda 3

$\rho_2$  - Refletância da banda 2

$\rho_1$  - Refletância da banda 1



NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

SAVI - Soil Adjusted Vegetation Index

L - Constante de ajuste ao solo

IAF - Índice de Área Foliar

$\epsilon_0$  - Emissividade da superfície

$\epsilon_{nb}$  - Emissividade da superfície no domínio da banda termal

$\epsilon_a$  - Emissividade da atmosfera

$T_a$  - Temperatura do Ar

TE - Temperatura Efetiva

$T_s$  - Temperatura da superfície

$L_{\lambda,6}$  - Radiância espectral da banda 6

$K_1$  - Constante de radiação específicas do sensor TM

$K_2$  - Constante de radiação específica sensor TM

$R_{ol,emi}$  - Radiação de onda longa emitida pelo pixel

$R_{ol,atm}$  - radiação de onda longa emitida pela atmosfera

$R_{sol,inc}$  - Radiação de onda curta incidente

$S_0$  - Constante solar

$R_n$  - Saldo de radiação instantâneo

$CO_2$  - Dióxido de carbono

$ID_K$  - Índice de Conforto Térmico Humano

## RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo identificar alterações em componentes do balanço de radiação a superfície, provocadas por alterações na ocupação e uso do solo em três regiões administrativas do Distrito Federal: Cruzeiro, Samambaia e parte do Paranoá. Para este propósito foram utilizadas imagens TM – Landsat 5 com baixa ou nenhuma nebulosidade representativas das estações seca e chuvosa dos anos de 1985, 1989, 1995, 2000, 2005, 2007 e 2010. Foi calculado o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), que representa a quantidade de vegetação vigorosa; o albedo, por ser sensível a alterações de cobertura do solo e o saldo de radiação por quantificar a energia disponível para processos microclimáticos. Para o cálculo dessas variáveis foram utilizados os procedimentos adotados no Surface Energy Balance Algorithm for Land – SEBAL. Para avaliação das possíveis alterações ocorridas no uso e cobertura do solo foram utilizados parâmetros meteorológicos coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os resultados indicam a importância do estudo relacionando o sensoriamento remoto com aplicação ambiental na região de estudo uma vez que, o crescimento populacional associado com a urbanização trazem como consequências alterações no microclima. Para o período de 1981-2010 foi identificado um aumento das temperaturas (média, mínima e máxima) em relação a 1961-1990. Em relação às regiões administrativas analisadas, a resposta do albedo, saldo de radiação e o NDVI foram significativas para detectar o quanto influenciou no ambiente local de modo que em áreas urbanas o problema de mudança no uso e ocupação do solo é ainda mais intenso, uma vez que a impermeabilização decorrente da substituição, de áreas verdes por edificações e pavimentação provoca grandes alterações em alguns elementos climáticos e esse crescimento urbano proporciona alterações muitas vezes irreversíveis. O estudo indicou uma associação significativa entre a redução da cobertura vegetal (NDVI médio) e o aumento do albedo de superfície em Brasília. Isso pode estar diretamente associado com a presença e/ou desenvolvimento de ilhas de calor, uma vez que há uma tendência positiva no aumento do desmatamento em Brasília de forma que o índice de conforto térmico mostrou um aumento em 2010 quando comparado com 1985.

Palavras chave: albedo, balanço de radiação, índice de vegetação por diferença normalizada, mudança microclimática.

## ABSTRACT

The present study aims to identify changes in components of the surface radiation balance, provoked by changes in land occupation and use in three administrative regions of the Federal District: Cruzeiro, Samambaia and part of Paranoá. To accomplish the intent of this study, were used images TM – Landsat 5 with low or no cloudiness representative of the dry and rainy seasons of the years 1985, 1989, 1995, 2000, 2005, 2007 and 2011. Were calculated the normalized difference vegetation index (NDVI), which represents the quantity of vigorous vegetation; the albedo, for being sensitive to changes in land cover; and the net radiation for quantifying the energy available for microclimatic processes. To calculate these variables the procedures adopted in the Surface Energy Balance Algorithm for Land – SEBAL were used. To evaluate possible alterations occurred in land use and coverage were used the meteorological parameters collected by the National Meteorological Institute of Brazil (INMET). The results indicate the importance of the study relating remote sensing with environmental application in the region of study since population growth, associated with urbanization, brings out as consequences changes in microclimate. For the period 1981-2010 were identified increases in temperatures (medium, minimum and maximum) when compared to 1961-1990. Regarding the analyzed administrative regions, the albedo response, the net radiation and the NDVI were significant to detect how much the local environment was influenced, in urban areas the problem of changes in land use and occupation is even greater considering that land waterproofing derived from the substitution of open field areas for buildings and pavement causes great changes in some climatic elements, also, this urban growth permits changes that are oftentimes irreversible. The study indicated a significant association between the reduction of vegetation cover (medium NDVI) and the increase of surface albedo in Brasilia. This can be directly associated with the presence and/or development of heat islands, since there is a positive tendency in the increase of deforestation in Brasilia, consequently, the thermal comfort index demonstrated an increase in 2011 when compared to 1985.

Keywords: albedo, radiation balance, normalized difference vegetation index, microclimate change.

## 1. INTRODUÇÃO

A região Centro-Oeste está submetida a um intenso processo de mudança no uso e ocupação do solo, que se verifica nas áreas rurais e urbanas. Estas alterações em geral promovem grandes impactos ambientais, com grandes alterações no clima local e regional. Nas áreas urbanas o problema é mais intenso, uma vez que a impermeabilização decorrente da substituição de áreas verdes por edificações e pavimentação provoca grandes alterações em alguns elementos climáticos e esse crescimento urbano proporciona alterações muitas vezes irreversíveis. Considerada a segunda maior região do continente brasileiro, a região Centro-Oeste, localizada no planalto central, é uma das mais importantes regiões do País e vem sofrendo mudanças nas suas áreas de vegetação natural (cerrado), principalmente devido a ações antropogênicas.

O Distrito Federal está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, a uma altitude que varia entre 1.000 a 1.200 metros em relação ao nível médio do mar, tendo como estados limítrofes Goiás e Minas Gerais. Segundo a Constituição Federal de 1988, artigo 32, o Distrito Federal foi dividido em Regiões Administrativas (RAs), estabelecidas através da Lei nº 4.545/64, que inicialmente eram 19 (dezenove) e atualmente, está com 31 (trinta e uma) segundo a Companhia de Planejamento do Distrito Federal - CODEPLAN (2012). Possui uma área territorial de 5.801,93 km<sup>2</sup> e uma população de aproximadamente 2,6 milhões de habitantes, com densidade demográfica em torno de 448 habitantes/km e a capital, Brasília, apresenta uma frota de mais de 1,1 milhão de veículos, dos quais 8,5 mil são ônibus urbanos.

O crescimento populacional, o processo de urbanização, o aumento do número de veículos, o surgimento de indústrias, prédios, ruas asfaltadas e a diminuição de áreas verdes, trazem como consequências alterações no microclima. Há constatações de que a urbanização rápida e o desordenado crescimento das cidades têm proporcionado alterações de conforto térmico aos seus habitantes conforme descrito em Costa *et al.* (2012), seja como consequência do comprometimento da mobilidade urbana ou em razão das alterações causadas no clima local.

Uma das modificações mais acentuadas provocadas pela urbanização é a alteração dos padrões climáticos. Áreas com solos cada vez mais impermeabilizados e a construção de edificações de grande porte causam variações nas características climáticas locais, possibilitando

o surgimento de microrregiões termicamente desconfortáveis (Maitelli, 1991; Goldreich, 1992; Jáuregui, 1992; Junior *et al.*, 2010).

Com o advento do sensoriamento remoto tornou-se possível o monitoramento espacial e temporal dos diversos biomas que constituem a superfície do nosso planeta e a identificação em tempo real de mudanças que venham a ocorrer nos mesmos, promovidas por processos naturais e/ou antrópicos (Bastiaanssen *et al.*, 1998). Sensores instalados em diversos satélites ambientais tornaram possível medir a radiação solar refletida e também a radiação de onda longa emitida por alvos à superfície terrestre. Essas informações possibilitam entre outros a determinação do albedo, índices de vegetação, temperatura da superfície e saldos de radiação com grande precisão. Esses parâmetros são importantes para a avaliação de alterações do uso da cobertura da superfície.

Ao analisar-se variáveis como o albedo, índices de vegetação, saldo de radiação e outros componentes do balanço de radiação e energia à superfície pode-se identificar alterações que venham a ocorrer em diferentes biomas terrestres e aquáticos em tempo real.

Estudos feitos na Amazônia sobre a substituição da floresta por áreas de pastagens, mostram os sérios impactos ocasionados ao clima, tais como aumento da temperatura do ar, diminuição de precipitação (Sampaio *et al.*, 2007), aumento do albedo da superfície da absorção do CO<sub>2</sub> (Randow *et al.*, 2004).

Segundo Santos (2011), o aumento do albedo e da temperatura impactam diretamente no balanço de energia, o que implica em alterações de massa (água e CO<sub>2</sub>) para a atmosfera, ou seja, aumento nos processos associados a evapotranspiração.

A energia proveniente do Sol é um dos fatores mais importantes que influenciam os processos atmosféricos e as condições climáticas na terra. Qualquer fator que interfira e/ou altere a radiação solar incidente ou refletida ou que altere a redistribuição de energia na terra e a atmosfera pode afetar o clima. Parte da radiação solar incidente na Terra é refletida de volta para o espaço, parte dela também sofre uma série de processos ao penetrar na atmosfera (transmissão, absorção, espalhamento) e também ao incidir sobre a superfície (reflexão e absorção). Esta radiação, “de onda curta”, é em parte absorvida e em seguida, emitida em comprimentos de ondas maiores (radiação de onda longa). O saldo de radiação (R<sub>n</sub>) na superfície da terra tem grande importância nos processos de evaporação, fotossíntese e aquecimentos do solo e do ar.

Atualmente, o Distrito Federal (DF) sofre com o ritmo acelerado do desmatamento e crescimento desordenado. A diminuição da vegetação nativa, bem como na fauna e rios da região, determinado pela expansão urbana é motivo de grande preocupação, por afetar o equilíbrio ecológico e conforto térmico dos habitantes, como pode ser observado na Figura 1.1 que caracteriza dois momentos da cidade. Um mostra o início da construção da cidade de Brasília (Figura 1.1a) e o outro, a partir do desenvolvimento urbano devido a atividade antropogênica (Figura 1.1b) de modo que o Distrito Federal em 2002, perdeu 57% de sua vegetação original, segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO).

Como observado na figura 1.1(a,b), a grande concentração de asfalto (ruas e avenidas) e concretos (prédios, casas e outras construções), pouca quantidade de vegetação, índice de poluição preocupante, favorecem a concentração de mais calor, fazendo com que a temperatura fique acima da média, a umidade relativa do ar fique baixa e o albedo sofre alterações devido a sombras projetadas das construções nestas áreas. Assim, o estudo pretende identificar através de imagens de satélite alterações no uso da cobertura do solo e seus possíveis impactos em variáveis meteorológicas.



(a)

(b)

Figura 1.1: Imagens representativas de dois períodos do desenvolvimento urbano em Brasília no ano de 1958 (a) e da cidade atualmente (b).

## **1.2. OBJETIVOS**

Diante das mudanças que têm ocorrido na região metropolitana da cidade de Brasília-DF e problemas ambientais decorrentes das mesmas, o presente trabalho tem os seguintes objetivos.

### **1.2.1. GERAL**

Avaliar se as imagens TM – Landsat 5 possibilitam identificar alterações em componentes do balanço de radiação que estejam associadas a alterações no uso e ocupação do solo nesta região.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar se ocorreram alterações no clima de Brasília-DF em anos distintos utilizando dados de estação meteorológica e imagens de satélite para os anos de 1985, 1989, 1995, 2000, 2005, 2007 e 2010 para estações seca e chuvosa em algumas variáveis tais como:

- albedo da superfície;
- índice de vegetação (NDVI);
- o saldo de radiação;
- temperatura do ar (máxima e mínima);
- umidade relativa (máxima e mínima);
- velocidade do vento.

Além disso, a pesquisa se propõe analisar o conforto térmico humano, utilizando dois índices: Ono-Kawamura ( $ID_k$ ) (1991) e Thom & Bosen (1959), uma vez que a sensação de temperatura que o corpo humano sente é frequentemente afetada por vários fatores. O corpo humano é uma máquina térmica que constantemente libera energia e qualquer fator que interfira na taxa de perda de calor do corpo afeta sua sensação de temperatura. Além da temperatura do ar, outros fatores significativos que controlam o conforto térmico do corpo humano são: umidade relativa, vento e radiação solar.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sensoriamento remoto é uma ferramenta largamente utilizada na detecção de alterações ambientais no nosso planeta. Dentre as várias definições existentes de sensoriamento remoto a mais simples é a que o define como sendo a técnica de obtenção de informações sobre a natureza dos objetos ou alvos existentes, sem que haja contato físico direto entre os mesmos (Swain e Davis, 1978; Rosa, 1995). Apesar dessa definição não ser muito simples, porém pode ser ampliada, pois os métodos utilizados para fazer a obtenção dessas informações são feitos através da radiação eletromagnética, por ser a única forma de energia capaz de se propagar pelo vácuo (Meneses e Netto, 2001).

Os dados espectrais obtidos pelos sensores colocados a bordo dos satélites são codificados de modo a representar as características espaciais dos objetos, através de valores digitais dos pixels ou valores de tons de cinza de modo a representar os correspondentes valores da intensidade da refletância de cada objeto.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa na geração de informações para monitoramento ambiental em escalas local e global, devido a possibilidade de analisar informações com resolução espacial maior do que a densidade de sensores de coleta de dados instalados em superfície, tornando mais viável economicamente quando comparado com os métodos tradicionais de coleta de dados. Nos estudos de cobertura vegetal, produção agrícola, salinidade, avanço em desmatamento, desertificação, queimadas, poluição, levantamentos e mapeamentos geológicos e outros, o conhecimento atualizado da distribuição e área ocupada pelos biomas, áreas agrícolas, áreas urbanas, dentre muitas outras, o sensoriamento remoto oferece grande suporte aos legisladores e planejadores, quanto a avaliação de impactos ambientais e na formulação de políticas públicas que garantam a sustentabilidade de diversos processos produtivos.

A série de satélite Landsat (Land Remote Sensing Satellite) mundialmente utilizada, iniciou suas atividades no ano de 1972 com o lançamento do satélite ERTS-1 e seu principal objetivo foi o mapeamento multiespectral em alta resolução da superfície da Terra (fonte: <http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/txt/landsat.htm>).

De uma série de sete satélites Landsat colocados em órbita, o Landsat 5 forneceu imagens até final do ano de 2012, por meio do sensor TM (Thematic Mapper) o que possibilitou um grande número de estudos ambientais, tendo por base as imagens de suas sete bandas espectrais.



Algoritmos aplicados a imagens de satélites têm permitido determinar a evapotranspiração, balanços de energia e de radiação, índices de vegetação, temperatura da superfície e albedo, em escalas locais, regionais e até globais (Kustas *et al.*, 1990; Bastiaanssen *et al.*, 1998; Bastiaanssen, 2000; Pinker *et al.*, 1998).

Atividades que ocorrem com a vegetação podem ser estudadas através do sensoriamento remoto, pois a vegetação possui características espectrais particulares nas faixas do vermelho e infravermelho próximo. A combinação dessas faixas espectrais realça as áreas de combinação nas imagens, estudados por diversos autores como Richards e Pocard (1998); Potter e Brooks (1998) e Vicente-Serrano *et al.* (2006), relacionando a vegetação com índices climáticos.

O índice de vegetação mais amplamente utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O NDVI, uma grandeza adimensional, é um modelo resultante da combinação dos níveis de refletância em imagens de satélites, que provém da equação composta pelas respostas das bandas espectrais do vermelho e infravermelho.

Em relação ao saldo de radiação, segundo Gusmão (2011), é de suma importância nos estudos da agrometeorologia, previsão do tempo e monitoramento climático. O saldo de radiação varia temporal e espacialmente, dependendo das características óticas da superfície analisada e de acordo com o coeficiente de reflexão (albedo, da irradiância solar global, das condições de temperatura do ar e umidade da superfície (Mendonça, 2007)). Segundo Silva *et al.* (2005a), o saldo de radiação exerce um papel fundamental nos processos de troca de calor e massa na baixa troposfera, uma vez que constitui o principal responsável pelo aquecimento do solo, do ar e, principalmente, pela evapotranspiração da vegetação nativa e das culturas. A determinação do saldo de radiação instantâneo é empregada em vários algoritmos destinados à estimativa dos fluxos de calor sensível, latente no solo e têm permitido a conversão de medidas instantâneas em informações do ciclo diurno e conseqüentemente em totais diários (Bastiaanssen *et al.*, 1998, 2005; Bisht *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2010; Bezerra *et al.*, 2011; Allen *et al.*, 2007).

Silva *et al.* (2005) determinaram o balanço de radiação a superfície com base nas sete bandas espectrais do Mapeador Temático Landsat 5, utilizando procedimentos do SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land, proposto por Bastiaanssen *et al.*, 1998) e os resultados indicaram que os valores de radiação solar incidente, parametrizada com o SEBAL, foram próximos da radiação solar global observada na estação de Bebedouro, em Petrolina – PE concluindo que o método de correção de Allen *et al.* (2002), com base na altitude de cada pixel

da imagem, apresentou resultados mais próximos aos observados em os pomares irrigados naquela região.

Pinker *et al.* (1985) obtiveram o saldo de radiação diário no topo da atmosfera usando observações fornecidas pelo satélite GOES (Geostationary Earth System of Observation), e o correlacionaram com o saldo de radiação na superfície no Canadá, obtendo alta correlação entre os dias de céu claro.

Bisht *et al.* (2005) propuseram um modelo simples para estimar o ciclo diurno e a média diurna do saldo de radiação instantâneo e diário sobre grandes áreas heterogêneas em dias de céu claro, usando informações de dados disponíveis do sensor MODIS, a bordo do satélite Terra e a emissividade das bandas 31 e 32, conseguindo com isso eliminar a necessidade de dados observados a superfície.

Para o albedo, Silva *et al.* (2005) mapearam áreas heterogêneas usando imagens espectrais do TM – Landsat 5 e validaram os resultados com dados coletados em pomar de bananas localizado no município de Quixeré - CE e obtiveram concordância do albedo calculado pelo METRIC com as medições de superfície, tendo um erro padrão igual a 0,01. Vários algoritmos são utilizados para o cômputo do albedo. Wydic *et al.* (1987) relacionaram as refletâncias espectrais do AVHRR, medidas no topo da atmosfera, com o albedo da superfície. Liang *et al.* (2002) obtiveram, para vários sistemas (AVHRR, MODIS, ETM+ e outros), equações de transformação da refletância de diferentes bandas espectrais à superfície, quando feitas as devidas correções atmosféricas. Weligeopolage (2005) utilizou os algoritmos SEBAL e S-SEBI com o sensor ASTER e concluiu que o albedo estimado através da refletância com correção atmosférica caracteriza melhor o albedo da superfície.

Por outro lado, é possível constatar o surgimento de ilhas de calor devido ao crescimento vertical das cidades e decréscimo de áreas verdes, principalmente nos grandes centros urbanos, alterando o albedo, condições de umidade, ventilação e conseqüentemente o balanço de energia. As ilhas de calor, de acordo com Teza e Baptista (2005), resultam da elevação das temperaturas médias nas zonas centrais ou região metropolitana, em comparação com as zonas periféricas ou com as rurais, causadas principalmente pela influência antrópica nestas regiões. Segundo Lombardo (1985) a distribuição do gradiente de temperatura nas cidades mostra a tendência para o aumento das mesmas do centro em relação à periferia, caracterizando com isso o fenômeno ilha de calor urbano. Balling e Cerverny (1986) concluíram que as mudanças observadas no campo de vento em Phoenix estão relacionadas diretamente com a ilha de calor urbana, devido ao

crescimento do gradiente de temperatura entre a área metropolitana e os seus arredores. Katsoulis e Theoratos (1985) analisaram registros de temperatura do ar para um período de 22 anos (1961 - 1982) na cidade de Atenas (Grécia) e concluíram que houve elevação na temperatura mínima média no período de estudo e relacionaram essa elevação ao crescimento urbano.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de Estudo

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se como referência o Distrito Federal (DF), que está localizado no estado de Goiás, na região Centro-Oeste do Brasil, estando delimitado pelas seguintes coordenadas: latitudes de 15°30' a 16°03' S e longitudes de 47°25' a 48°12' W, que corresponde a uma área aproximada de 5.789,16 km<sup>2</sup>, ou seja, 0,06% da superfície do País. A vegetação contém uma gama de aspectos naturais tais como campo limpo, o cerrado (com árvores de porte elevado e alta densidade), campo sujo (cerrado ralo), cerrado típico, veredas e palmital.

O cerrado, forma de vegetação que tem diversas variações fisionômicas ao longo das grandes áreas que ocupam do território do país, em sua maior parte, é semelhante à de savana, com gramíneas, arbustos e árvores esparsas. As árvores têm caules retorcidos e raízes longas, que permitem a absorção da água disponível nos solos do cerrado abaixo de 2 metros de profundidade, mesmo durante a estação seca do inverno. Essa vegetação dominante é composta principalmente por dois estratos, o arbóreo-arbustivo, de caráter lenhoso, e o herbáceo-subarbustivo, formado pelas gramíneas e outras ervas. A combinação desses estratos produz uma cobertura vegetal em forma de um grande mosaico, constituído por trechos de campos limpos (predominância de gramíneas), de campos sujos (gramíneas e arbustos), de campos cerrados (predominância de arbustos, com espécies de 3 a 5 metros) e cerradões (florestas cujas copas se tocam e criam sombra, nas quais o estrato herbáceo-arbustivo é muito pobre e rarefeito). O cerrado compõe um ecossistema bastante peculiar, radicalmente distinto das florestas tropicais úmidas.

As estruturas geomorfológicas principais da área são: a Colina de Rodeador, a 1.349 m, em Brazlândia e do Roncador, a 1.341 m, em Sobradinho. Brasília, capital do Distrito Federal, com as seguintes coordenadas de referência 15°47'S; 47°55'W e altitude média de 1.100 m, como pode ser observado na Figura 3.1, que mostra a distribuição espacial das regiões administrativas do DF.

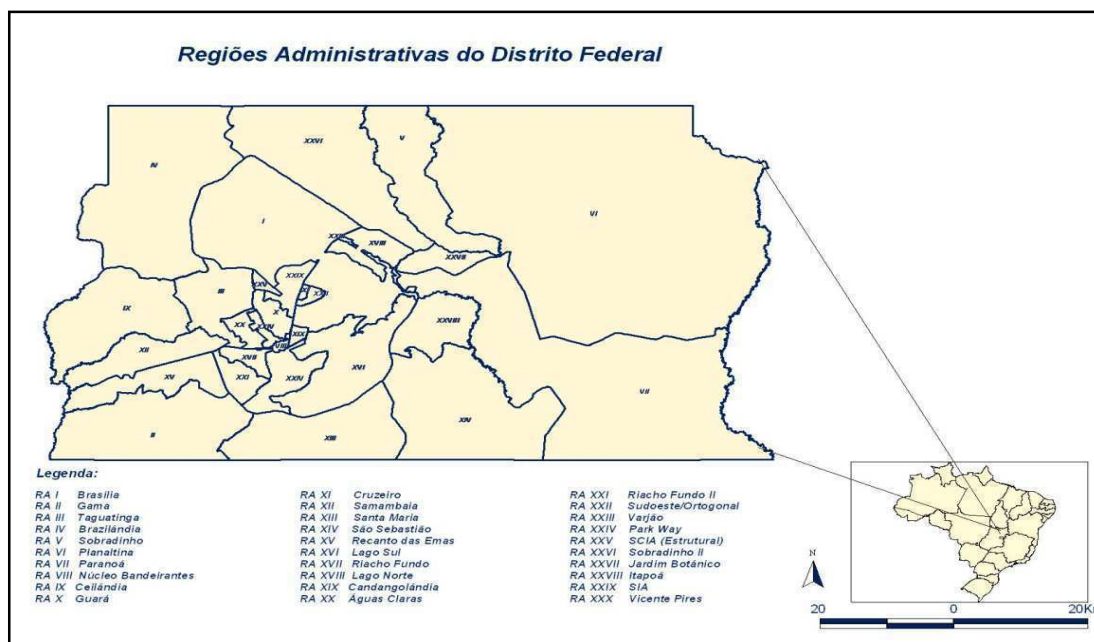


Figura 3.1: Visualização espacial do Distrito Federal na região Centro Oeste e suas regiões administrativas. Fonte Instituto Brasília ambiental - IBRAM - GDF - 2011.

A densidade demográfica é de 2.562.963 (IBGE, 2010). Está situado integralmente no domínio do bioma cerrado, considerado o segundo maior bioma do País em área, e um dos 34 *hotspots* mundiais para a conservação da biodiversidade (Myers *et al.*, 2005). O adensamento populacional no DF ocorreu em consequência da implantação das cidades-satélites, atualmente, chamadas de regiões administrativas, que tiveram inicialmente o objetivo de abrigar os operários que trabalhavam nas obras da capital e populares que habitavam as invasões, localizadas ao redor dos canteiros de obras.

A expansão urbana das regiões administrativas, atualmente em 31, fez com que o Distrito Federal atingisse o primeiro lugar no ranking das cidades com maior densidade demográfica do Brasil. Segundo o último censo, realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), contabilizou-se mais de 2,6 milhões de habitantes, ou seja, são 444 habitantes por km<sup>2</sup>, enquanto que no ano de 2000 eram 352 habitantes por km<sup>2</sup>, crescimento que preocupa para manter a sustentabilidade ambiental do território do Distrito Federal.

Neste contexto, o presente estudo limitou-se às três seguintes regiões administrativas do Distrito Federal: Cruzeiro, por ser área urbana inicialmente planejada; Samambaia, por ter inicialmente área rural e transformada em área urbana; e parte do Paranoá, por estar situada em

área de preservação e ter uma expansão não planejada e assim ter sofrido grande crescimento no período de 1985 a 2010.

### **3.2. Características Climáticas do Distrito Federal**

Em relação aos dados para análise climatológica da região de estudo foram obtidos a partir da estação meteorológica de Brasília do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com as coordenadas 15,5°S e 50,1°W. As variáveis meteorológicas utilizadas como indicadores das possíveis alterações climáticas locais nas regiões foram as temperaturas (máxima, mínima, e do ar) e umidade relativa mensais para os períodos de 1961-1990 e 1985-2010.

Em Brasília, capital do Distrito Federal, o período chuvoso estende-se desde o final de setembro ao início de maio, sob o domínio da Massa Equatorial Continental, com umidade elevada. O período seco inicia-se no final do outono e estende-se por todo inverno, com predominância da Massa Equatorial Seca. Durante a estação do inverno, as massas de ar de origem polar vindas do interior do continente proporcionam quedas, por vezes acentuadas, das temperaturas nas madrugadas e dias de céu claro com temperaturas amenas. A quantidade de chuvas pode chegar a zero em alguns meses do ano e a consequência desse comportamento sazonal é um estresse hídrico que favorece a ocorrência de focos de queimadas (Felfili et al., 1999).

A temperatura média anual é 20,6°C, a maior média é verificado em setembro (21,7°C) e a menor em julho (18,3°C). A média anual para a temperatura máxima é de 26,6°C chegando a um máximo de 28,3°C em setembro e mínimo de 25,1°C em julho. Para a temperatura mínima, a média anual é de 16,1°C com novembro, dezembro e março tendo a maior média (17,5°C) e julho com a menor média (12,9°C) de forma que julho é o mês mais frio e setembro é predominantemente o mais quente.

A média anual da precipitação acumulada é de 1540,6 mm e apresenta uma estação chuvosa no verão e outono, de novembro a abril, com máximo em janeiro (247,4 mm) e outra estação do tipo seca, principalmente nos meses de junho, julho e agosto (inverno) e setembro, sendo junho o mês mais seco com precipitação de 8,7 mm. A média anual da umidade relativa do ar é de 67,6% com dezembro sendo o mais úmido (79%) e agosto o menos úmido (49%). Para o campo de vento, a média anual da direção resultante é de 76° (NE), com variações significativas ao longo do ano, chegando a 102° (SE) em maio e 03° (NE) em dezembro, enquanto que a média

direção predominante do vento (pontos cardeais e colaterais) é de Este de abril a setembro e calmo de outubro a março, com média anual de Este.

A classificação climática dessa região segundo Köppen é do tipo *Cwa*, clima tropical de altitude. Os climas de altitude apresentam características térmicas e de precipitação que são impostas pela altitude, correspondendo a um agravamento das condições climáticas das áreas envolventes. No verão, as temperaturas raramente ultrapassam os 30°C, com verão úmido e chuvoso e um inverno seco e relativamente frio.

Tabela 3.1: Informações sobre a Climatologia e a Normal Climatológica de Brasília-DF para o período de 1961-1990.

<b>Climatologia de Brasília - DF</b>					
<b>Temperatura Mínima média</b>	<b>Temperatura Máxima média</b>	<b>Recorde Precipitação Média</b>	<b>Recorde Maior chuva em 24h</b>	<b>Recorde Temperatura Mínima</b>	<b>Recorde Temperatura Máxima</b>
15,8°C	26,6°C	602,4 mm Janeiro/1979	132,8 mm 15/11/1963	1,6 °C 18/07/1975	35,8 °C 10/2008

<b>Normal Climatológica (1961-1990) – Brasília (DF)</b>												
	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
Chuva Acumulada (mm)	247.4	217.5	180.6	123.8	38.6	8.7	11.1	13.9	55.2	166.6	231.1	246.0
Nº dias com chuva	17	14	13	9	3	1	1	1	5	13	16	18
Umidade do ar (%)	76.0	77.0	76.0	75.0	68.0	61.0	56.0	49.0	53.0	66.0	75.0	79.0

Em relação a análise das temperaturas (máxima, mínima e média) entre os períodos 1961-1990 e 1981-2010, a Tabela 3.2 mostra que para a temperaturas médias e mínimas para todos os meses, houve um aumento em relação ao período de 1981-2010 e para a temperatura máxima prevaleceu o aumento para os meses de fevereiro, abril, setembro e outubro, enquanto que para os demais meses o período 1961-1990 prevaleceu em torno de 0,5°C.

Tabela 3.2: Valores das temperaturas (média, máxima e mínima) a partir da Normal Climatológica do Brasil de 1961-1990 e Média Climatológica 1981-2010 para Brasília - DF.

<b>Brasília</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
tmed_6190	21,2	21,3	21,5	20,9	19,6	18,5	18,3	20,3	21,7	21,6	21,1	21,0
tmed_8110	21,6	21,7	21,6	21,3	20,2	19,0	19,0	20,6	22,2	22,4	21,5	21,3
tmax_6190	26,9	26,7	27,1	26,6	25,7	25,2	25,1	27,3	28,3	27,5	26,6	26,2
tmax_8110	26,6	26,9	26,7	26,7	26,0	25,0	25,3	27,0	28,5	28,3	26,7	26,2
tmin_6190	17,4	17,4	17,5	16,8	15,0	13,3	12,9	14,6	16,0	17,4	17,5	17,5
tmin_8110	18,2	18,1	18,1	17,6	15,7	13,9	13,8	15,2	17,3	18,2	18,0	18,1

### 3.3. Período de Estudo e Seleção de Imagens

O estudo foi realizado para um período compreendido entre os anos 1985 e 2010, com imagens com pouca cobertura de nuvens para dias representativos das estações chuvosa e seca dos anos de 1985, 1989, 1995, 2000, 2005, 2007 e 2010. Foram utilizadas 14 imagens do satélite Landsat 5 TM da órbita/ponto: 221/71 das quais foram extraídas informações de albedo, Índice de vegetação e saldo de radiação para análise de mudança de cobertura e uso do solo (Oliveira et al., 2001). Para o processamento foram utilizadas 42 imagens de satélites, cujo valor de órbita 221/71. As Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 apresentam as visualizações das regiões administrativas utilizadas para o estudo, que são Cruzeiro, Samambaia e parte do Paranoá. Após verificação das imagens para cada ano especificado, estabeleceu para análise os anos de 1985 e 2010, devido a não ter nenhuma cobertura de nebulosidade que poderia influenciar nos resultados.



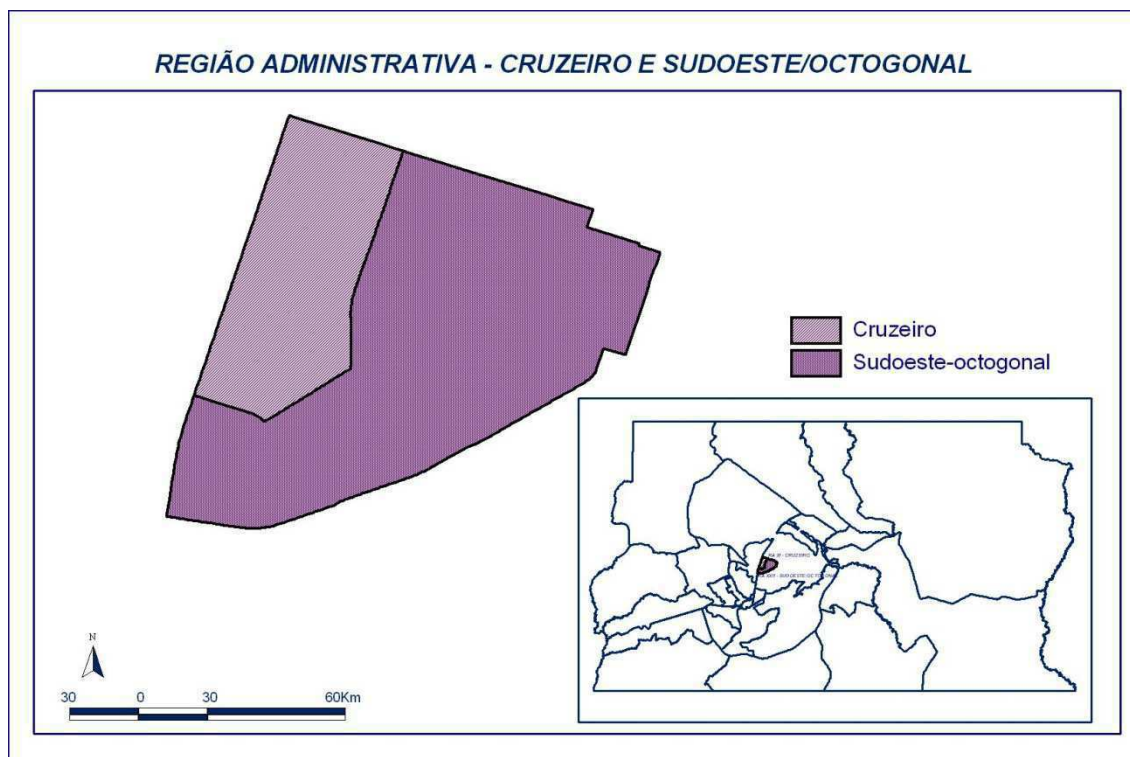


Figura 3.2: Visualização espacial da região administrativa do Cruzeiro (Fonte: INMET)

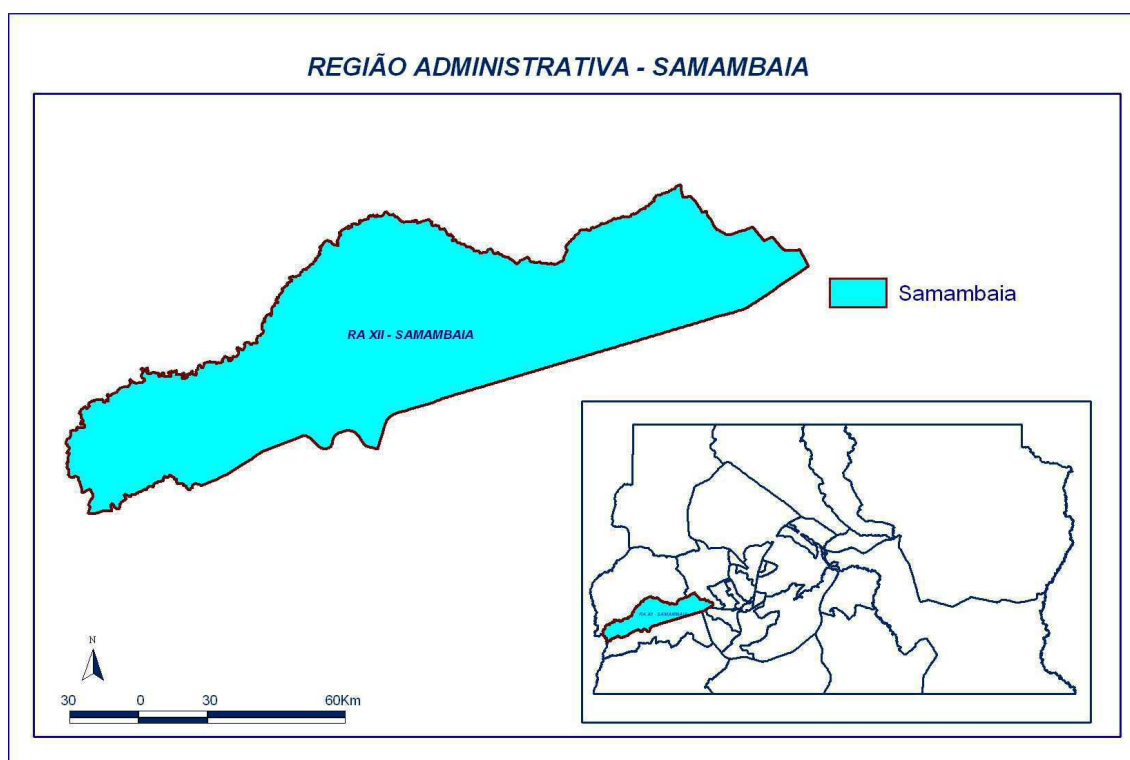


Figura 3.3: Visualização espacial da região administrativa do Samambaia (Fonte: INMET).

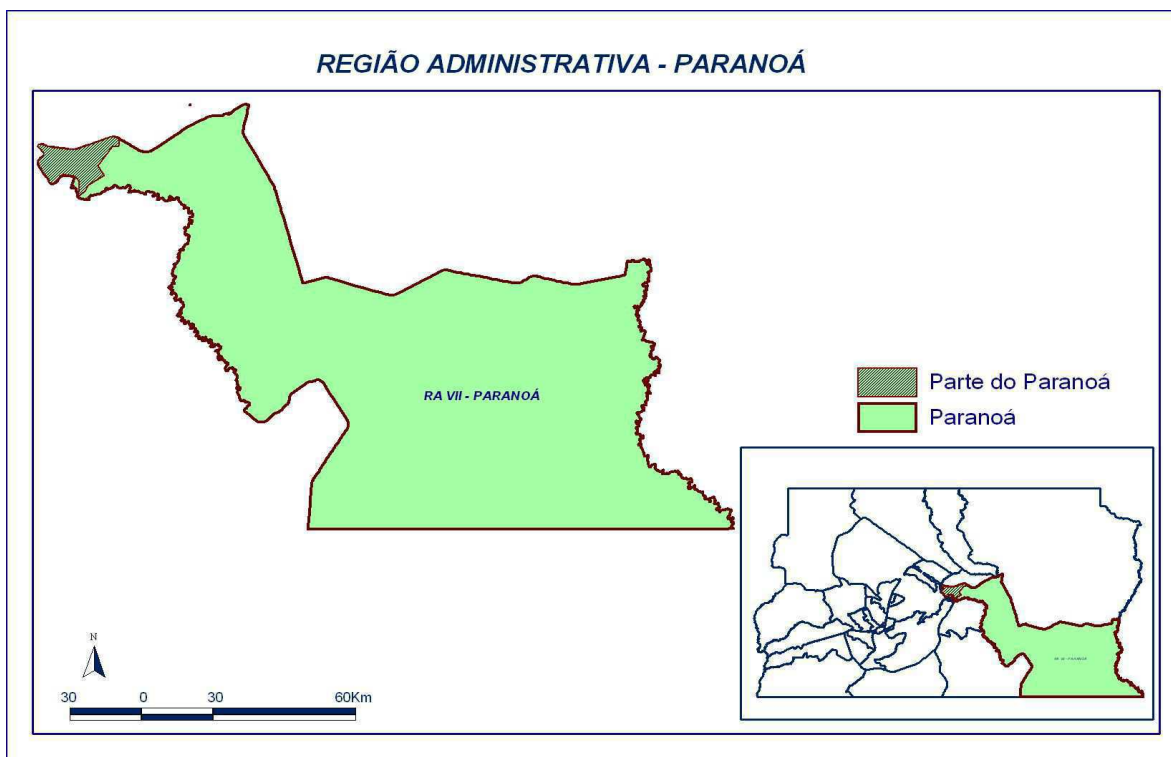


Figura 3.4: Visualização espacial da região administrativa parte do Paranoá (Fonte: INMET).

### 3.4. Satélite Landsat 5

Para esse estudo comparativo as imagens foram adquiridas do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O satélite Landsat 5, lançado em março de 1984, teve a disponibilização de suas imagens para monitoramento ambiental interrompido a partir de novembro de 2011, atuando em uma altitude nominal de 795 km, órbita circular quase polar e imageando a mesma área a cada 16 dias. O satélite cruzava o equador do norte para o sul às 9:45h e no paralelo 34, no extremo sul do Brasil às 9:50 h. Cada órbita gastava 98,9 minutos, sendo realizadas 14 órbitas por dia.

O sensor TM (Thematic Mapper) é um “scanner” multiespectral altamente avançado quanto à radiometria, geometria e ao número de faixas espectrais, atuando em sete faixas espectrais (bandas), que são amplamente utilizadas para fazer estudo como a cobertura vegetal, pois as características espectrais particulares nas faixas do vermelho e infravermelho próximo no visível (azul, verde e vermelho), e no infravermelho (próximo, médio e termal), como mostra a Tabela 3.3 indicando as bandas, faixa espectral e principais aplicações.

Tabela 2.3: Bandas Espectrais do sensor TM (Thematic Mapper)

<b>Banda</b>	<b>Faixa Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Principais Aplicações</b>
1	0,45 – 0,52	Mapeamento de águas costeiras
2	0,52 – 0,60	Mapeamento de vegetação
3	0,63 – 0,69	Diferenciação de espécies vegetais
4	0,76 – 0,90	Delineamento de corpos de água e Levantamento da biomassa
5	1,55 – 1,75	Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve
6	10,40 – 12,50	Propriedade termal do solo
7	2,08 – 2,35	Mapeamento hidrotermal

O desempenho do TM quanto à radiometria, permite que o sinal analógico/digital seja quatro vezes maior que o do MSS (Multispectral scanner Subsystem), isto faz com que pequenas mudanças nas magnitudes radiométricas, em determinada banda, proporcionem uma sensibilidade maior nas relações entre as bandas, de modo que pequenas diferenças nos valores radiométricos são percebidas mais claramente. Geometricamente os dados TM – Landsat 5 são coletados com 30 x 30 metros, que corresponde à sua resolução espacial (exceto para a banda 6 que é de 120 X 120 metros), isto representa uma diminuição na área do campo de visada que é de aproximadamente sete vezes.

### 3.5. Metodologia desenvolvida

Para avaliar a alteração dos parâmetros encontrados foi aplicado o teste estatístico *T-Student* com nível de significância de 5% e grau de liberdade maior que 200, devido a quantidade de pixels contidos dentro do recorte de cada região administrativa estudada. Abaixo segue os procedimentos de cálculo para o NDVI, albedo e saldo de radiação.

### 3.5.1. Cálculo do Balanço de Radiação

O procedimento inicial para chegar ao cálculo do balanço de radiação foi um pré-processamento nas imagens de modo a disponibilizá-las com uma mesma resolução. Os dados necessários para o processamento das imagens, quais sejam: data, ângulo de elevação do Sol (E), ângulo zenital solar (Z), distância média da Terra-Sol (dr), dia sequencial do ano (DSA), altitude (A) e temperatura da superfície (Tar), estão representados no Quadro 3.2, para cada dia selecionado para a pesquisa.

Quadro 3.2: Informações referentes para o período de estudo sobre o pré-processamento das imagens utilizadas.

Data da Imagem	DSA	Horário		dr	Ângulo (°)		Tar (°C)	Alt. (m)
		UTM	Local		E	Sen(E)		
06/02/1985	037	12:45:07	09:45:07	1,0265	51,906	0,7870	25,0	1159
16/07/1985	197	12:44:33	09:44:33	0,9680	37,428	0,6078	14,4	1159
06/04/1989	094	12:45:24	09:45:24	0,9973	47,036	0,7317	22,1	1159
27/07/1989	208	12:34:46	09:34:46	0,9701	38,240	0,6190	23,9	1159
28/07/1995	209	12:18:00	09:18:00	0,9704	34,080	0,5604	17,7	1159
16/10/1995	197	12:15:56	09:15:56	0,9680	37,428	0,9680	14,4	1159
06/05/2000	126	12:50:18	09:50:18	0,9814	43,260	0,9814	21,6	1159
09/07/2000	190	12:51:38	09:51:38	0,9673	38,070	0,6166	18,0	1159
04/05/2005	186	12:56:44	09:56:44	0,9824	45,767	0,7165	18,3	1159
23/07/2005	204	13:07:54	09:07:54	0,9692	41,280	0,6597	19,6	1159
26/05/2007	146	13:09:05	10:09:05	0,9733	43,127	0,6836	17,6	1159
13/07/2007	194	13:05:16	10:05:06	0,9676	41,065	0,6569	18,6	1159
02/05/2010	122	13:05:32	10:05:32	0,9833	46,790	0,7288	24,0	1159
05/07/2010	186	13:05:16	10:05:16	0,9671	40,074	0,6438	19,4	1159

A partir das imagens TM - Landsat 5 obtidas foi feita a sua descompactação e empilhamento das 7 bandas espectrais (banda 1 até banda 7). Em seguida, foi feito o registro do recorte obtido. Todas essas etapas foram processadas no software ERDAS IMAGINE - versão 9.1 de modo que posteriormente foram calculados os componentes do balanço de radiação. A seguir, se apresenta as etapas para o cálculo.

### 3.5.1.1. Calibração Radiométrica

A radiância espectral dos alvos capturada pelo sensor TM do satélite Landsat 5 ou intensidade de cada pixel é armazenada na forma de níveis de cinza (8 bits). Estes tons de cinza recebem valores que variam de 0 a 255 e são denominados de número digital (ND). A calibração radiométrica de cada banda só ocorre, quando o número digital de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática. A calibração é feita através de uma equação linear proposta por Markham & Baker (1987), que é dada por:

$$L_{\lambda,i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255}\right) \times ND \quad \text{Equação 1}$$

onde ND é o número digital do pixel (número inteiro de 0 a 255) e as variáveis a e b correspondem às radiâncias espectrais mínima e máxima ( $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) de cada banda espectral do TM. A Tabela 3.4 mostra as bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com seus respectivos intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração [radiância mínima – a e máxima – b ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ , Tabela 3)] e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA); e i corresponde às bandas (1 a 7) do satélite Landsat 5 - TM.

Tabela 3.4: Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5.

Bandas	Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Coeficientes de Calibração ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ )				Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera (TOA) ( $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ )
		Antes de 2000		Após 2000		
		a	B	a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,5	152,1	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,8	296,8	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,2	204,3	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	-1,5	206,2	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	27,19	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,238	15,6	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	14,38	-0,15	16,5	80,67

### 3.5.1.2. Cálculo da Refletância

Após a calibração radiométrica segue-se para o cálculo da refletância monocromática de cada banda. A equação utilizada foi proposta por Bastiaanssen (1995), de forma que a razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o fluxo de radiação solar incidente corresponde a:

$$\rho_{\lambda,i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos(Z) \cdot d_r} \quad \text{Equação 2}$$

onde  $L_{\lambda i}$  - é a radiância espectral de cada banda ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ );  $K_{\lambda i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera em ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ );  $Z$  é o ângulo zenital solar, obtido a partir do complemento do ângulo de elevação fornecido e  $d_r$  é o quadrado da distância média Terra-Sol (em unidades astronômicas), conforme equação (Iqbal, 1983):

$$d_r = 1 + 0.033 \times \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot DSA}{365}\right) \quad \text{Equação 3}$$

em que DSA é o dia sequencial do ano.

### 3.5.1.3. Cálculo do Albedo da Superfície

O albedo da superfície é definido como o coeficiente de reflexão da superfície sendo obtido a partir da radiação solar refletida e a radiação solar incidente (Santos, 2011). Com objetivo de identificar alterações no uso do solo e maior ou menor absorção de energia, foi calculado o albedo de superfície ou albedo corrigido para os efeitos da atmosfera, de acordo com a Equação 4.

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad \text{Equação 4}$$

de modo que  $\alpha_{toa}$  é o albedo no topo da atmosfera;  $\alpha_p$  é a refletância planetária da própria atmosfera para cada banda (considerado o valor 0,03, empregado por Allen et al., 2002; Silva et al., 2011);  $\tau_{sw}$  é a transmitância da atmosfera, foi calculada por meio da equação proposta por Allen et al. (1998), em que  $z$  é a altitude (m):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2,10^{-5} \cdot z \quad \text{Equação 5}$$

O albedo planetário foi obtido a partir das refletâncias das bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, conforme a combinação linear usada por (Bastiaanssen et al., 1998; Allen et al., 2002; Silva et al., 2005, 2011; Bezerra et al., 2008):

$$\alpha_{toa} = 0,293 \cdot \rho_1 + 0,274 \cdot \rho_2 + 0,233 \cdot \rho_3 + 0,157 \cdot \rho_4 + 0,033 \cdot \rho_5 + 0,011 \cdot \rho_7 \quad \text{Equação 6}$$

em que  $\alpha_{toa}$  é o albedo no topo da atmosfera e  $\rho_i$  é a refletância espectral das respectivas bandas  $i$ . Os coeficientes da equação acima foram obtidos a partir da razão entre a irradiância solar monocromática na banda  $i$  e o somatório da irradiância solar de todas as bandas.

#### 3.5.1.4. Índices de Vegetação (NDVI, SAVI, IAF)

Neste estudo foram calculados os índices de vegetação SAVI, NDVI e o IAF, pois os mesmos foram utilizados na estimativa de área vegetada e posteriormente no cálculo da temperatura de superfície para estimativa do saldo de radiação.

##### 3.5.1.4.1. Cálculo do NDVI

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) indica a quantidade da vegetação verde na superfície terrestre (ROUSE *et al.*, 1973), definido como sendo a razão entre a diferença das refletividades do canal 4 ( $\rho_4$ ) infravermelho e o canal 3 ( $\rho_3$ ) vermelho, pela soma das mesmas bandas conforme equação:

$$\mathbf{NDVI} = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \quad \text{Equação 7}$$

### 3.5.1.4.2. Cálculo do SAVI

Nas equações das emissividades, necessárias para o cálculo da radiação de onda longa emitida pela superfície e cálculo da temperatura da superfície, se faz necessário a determinação do SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), que significa Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e que introduz uma constante que minimizar os efeitos do solo. A expressão usada é a proposta por Huete (1998), que é dado pela equação:

$$\mathbf{SAVI} = \frac{(1+L)(\rho_4 - \rho_3)}{(L + \rho_4 + \rho_3)} \quad \text{Equação 8}$$

onde L é uma constante de ajuste ao solo e cujo valor usado foi o de 0,1 utilizado por Allen et al. (2002) e que foi também utilizado por Silva *et al.* (2011).

### 3.5.1.4.3. Cálculo do IAF

Para uso posterior nos cálculos da emissividade, é necessário determinar o índice de Área Foliar (IAF), definido como sendo a razão entre a área foliar de toda a vegetação e a unidade de superfície projetada no solo ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ), utilizado para estimar a área com cobertura vegetal e que foi obtido segundo parametrização proposta por Allen *et al.* (2002):

$$\mathbf{IAF} = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - \text{SAVI}}{0,59}\right)}{(0,91)} \quad \text{Equação 9}$$



### 3.5.1.5. Emissividade Espectral

A emissividade espectral  $\epsilon_{nb}$ , foi calculada a partir da banda termal de cada pixel a ser utilizada no cômputo da temperatura da superfície e também da emissividade de banda larga -  $\epsilon_0$  que é utilizada no cálculo da radiação de onda longa emitida pela superfície, conforme Allen *et al.* (2002), válidas para NDVI > 0 e IAF < 3:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \cdot IAF \quad \text{Equação 10}$$

e

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \cdot IAF \quad \text{Equação 11}$$

foi considerado  $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$ , para os casos em que os pixels apresentaram IAF  $\geq 3$ , e em corpos d'água (NDVI < 0) foi considerado,  $\epsilon_{NB} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$ , conforme Allen *et al.* (2002).

### 3.5.1.6 - Cálculo da Temperatura da Superfície

Para o cálculo da temperatura da superfície -  $T_s$  (K) foi utilizado o modelo proposto por Markham & Baker (1987), dado pela seguinte equação:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} \cdot K_1 + 1}{L_{\lambda,6}}\right)} \quad \text{Equação 12}$$

em que  $K_1 = 607,76$  ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ) e  $K_2 = 1260,56$  K são constantes de radiação específicas do sensor TM - Landsat 5 (Allen *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2005;2011),  $\epsilon_{NB}$  é a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal do TM (10,4 – 12,5  $\mu m$ ) e  $L_{\lambda,6}$  é a radiância espectral na banda 6. A temperatura obtida foi comparada com as obtidas pelas estações meteorológicas situadas na área de estudo.

### 3.5.1.7. Cálculo da Radiação de Onda Longa Emitida pela Superfície

O cálculo da radiação de onda longa emitida por cada pixel pela superfície -  $R_{ol,emi}$  ( $W m^{-2}$ ) foi obtido segundo a equação de Stefan-Boltzmann:

$$R_{ol,emi} = \epsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad \text{Equação 13}$$

em que  $\epsilon_0$  é emissividade de cada pixel,  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzmann e  $T_s$  (K) é a temperatura da superfície.

### 3.5.1.8. Cálculo da Radiação de Onda Longa da Atmosfera

A radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície -  $R_{ol,atm}$  ( $W m^{-2}$ ) foi calculada por meio da equação de Stefan-Boltzmann, e nesse caso foi utilizado a temperatura do ar medida na estação meteorológica local:

$$R_{ol,atm} = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad \text{Equação 14}$$

em que  $\epsilon_a$  é a emissividade atmosférica obtida por meio do modelo de Duarte et al. (2006),  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann e  $T_a$  é a temperatura do ar obtida na estação meteorológica do INMET localizada no setor sudeste da cidade.

### 3.5.1.9. Cálculo da Radiação de Onda Curta Incidente

A radiação de onda curta incidente -  $R_{sol,inc}$  ( $W.m^{-2}$ ) que é a soma das radiações direta e difusa que chegam à superfície, e que é válida para dias de céu claro. O seu cálculo foi obtido

conforme equação (Bastiaanssen, 1995; Allen *et al.*, 2002; Morse *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2005), dado pela equação:

$$R_{sol,inc} = S \cdot \cos(z) \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad \text{Equação 15}$$

em que  $S = 1.367 \text{ w m}^{-2}$  é a constante solar,  $z$  é o ângulo zenital do Sol,  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra –Sol e  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica.

### 3.5.1.10. Cálculo do Saldo de Radiação

O saldo de radiação à superfície foi obtido através da expressão (Bastiaanssen *et al.*, 1998; Allen *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2011).

$$R_n = R_{sol,inc} \cdot (1 - \alpha) - R_{ol,emi} + R_{ol,atm} - (1 - \epsilon_0) \cdot R_{ol,atm} \quad \text{Equação 8}$$

em que  $R_{sol,inc}$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) é a radiação de onda curta incidente,  $R_{ol,emi}$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção do pixel,  $R_{ol,atm}$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) é a radiação de onda longa emitida pelo pixel,  $\alpha$  é o albedo de cada pixel e  $\epsilon_0$  é a emissividade de cada pixel da área de estudo.

Para avaliar o impacto da antropização na área metropolitana de estudo foram selecionadas diversas áreas para que se compare a média e desvio padrão de cada variável biofísica estudada e, se identifique, mediante análise estatística, se houve alteração significativa ou não daquela variável específica entre as datas selecionadas para a pesquisa. A extensão das mudanças de algumas das áreas também será investigada e os prováveis impactos no clima da cidade serão analisados.

Para o estudo do histórico e tendência de substituição de vegetação nas regiões destacadas em Brasília, foi realizada uma análise de correlação simples (*Pearson*) entre NDVI médio dessas regiões e o tempo (ano) para os anos de dados no período que envolve desde 1985 até 2010.

Além disso, para se avaliar a celeridade na perda de cobertura vegetal em Brasília, foi gerado um modelo linear associando essas variáveis.

Para verificar a relação entre os valores de NDVI, albedos de superfície e o saldo de radiação de todas as regiões administrativas, foram realizadas correlações simples (*Pearson*) entre o NDVI médio e o albedo de superfície médio e entre o NDVI médio e o saldo de radiação médio. Foram ainda gerados modelos lineares com o objetivo de informar o quanto à variação de NDVI médio pode influenciar os valores de albedo de superfície e de saldo de radiação. Juntamente com isso, foram realizadas associações dessas mesmas grandezas considerando o período do ano (período seco e período chuvoso).

Ainda, foram realizadas correlações simples (*Pearson*) entre os valores de albedo máximo, albedo mínimo, saldo de radiação máximo e saldo de radiação mínimo em relação ao tempo (anos) a fim de se avaliar mudanças nessas variáveis com o tempo, uma vez que isso pode estar associado com informações meteorológicas importantes.

Todas essas análises foram realizadas no software estatístico R 3.0.1. (R Core Development Team, 2013) considerando um nível de significância estatístico de 5%. Previamente às análises foi avaliada a presença de *outliers* por meio da observação de valores extremos em dados médios, por meio de análises de resíduos entre associações (distância de Cook) e por meio de análises de gráficos do tipo *normal* Q-Q plots.

A Figura 3.5 apresenta as etapas utilizadas na estimativa do saldo de radiação ( $R_n$ ). O processamento dessas etapas foi realizado no *Model Maker* do programa Erdas 9.1, conforme proposto por Bastiaansen et al. (1998).

Como forma de avaliação do impacto do uso do solo, foi feito um estudo do índice de conforto humano a partir dos dados da estação meteorológica de Brasília. Compreender o conforto térmico e suas influências no homem remete-nos a entender como se processa esse parâmetro do clima urbano nas grandes e médias cidades, através de suas diversas formas de ser classificado e quantificado. O conforto térmico pode ser analisado de duas maneiras: a do ponto de vista pessoal, que leva em conta a confortabilidade do indivíduo em determinados ambientes; e a linha climato-ambiental, que propõe o estabelecimento de um estado térmico, levando em consideração as variáveis físicas como temperatura, umidade do ar, radiação e vento.

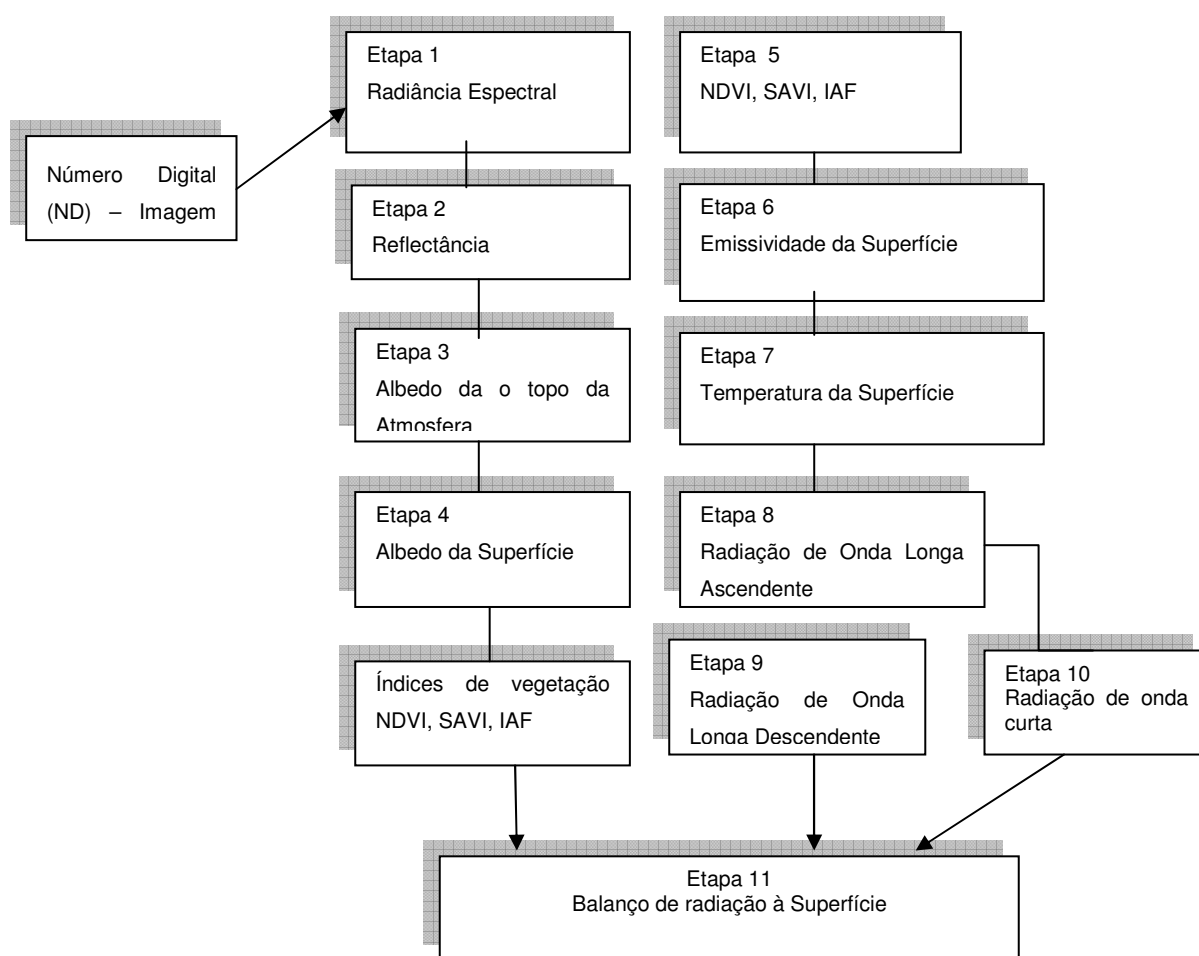


Figura 3.5: Diagrama das etapas para obtenção do balanço de radiação à superfície. Fonte: Adaptado de Allen et al. (2002).

É neste contexto que diversos autores propuseram índices para estudar mais profundamente a quantificação do conforto térmico. Para este trabalho foram utilizados dois índices de conforto térmico humano. O primeiro é o proposto por Kawamura (Ono & Kawamura, 1991) que tem como variáveis utilizadas a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ), tendo sido empregada a seguinte fórmula:

$$ID_K = 0,99.T + 0,36.T_d + 41,5 \quad \text{Equação 17}$$

onde  $T$  é a temperatura do ar e  $T_d$  a temperatura do ponto de orvalho, ambas em  $^{\circ}\text{C}$ . Com este índice, é possível estabelecer condições de conforto, desconforto ou estresse, devido ao frio ou

calor sentido pela população, dependendo da faixa atingida pelo índice de acordo com as faixas de valores estabelecida por Ono & Kawamura (1991) como pode ser observado no Quadro 3.2:

Quadro 3.2: Intervalos do índice de conforto térmico humano segundo Ono & Kawamura (1991)

$ID_K > 80 \rightarrow$ estresse devido ao calor
$75 < ID_K < 80 \rightarrow$ desconforto devido ao calor
$60 < ID_K < 75 \rightarrow$ confortável
$55 < ID_K < 60 \rightarrow$ desconforto devido ao frio
$ID_K < 55 \rightarrow$ estresse devido ao frio

O segundo índice de conforto foi proposto por Thom & Bosen (1959), que consiste num índice de Temperatura Efetiva (TE), obtido através da equação baseada nas temperaturas do bulbo seco e do bulbo úmido, dada pela seguinte equação:

$$TE = 0,4(T_s + T_u) + 4,8 \quad \text{Equação 18}$$

onde TE é a temperatura Efetiva,  $T_s$  é a temperatura do bulbo seco,  $T_u$  é a temperatura do bulbo úmido, dadas em graus Celsius e fração decimal. Como a evaporação é um processo de resfriamento, a evaporação do suor é uma maneira natural de regular a temperatura do corpo. No quadro 3.3 apresenta-se a distribuição das classes do conforto térmico humano proposto por Thom & Bosen (1959).

Quadro 3.3: Intervalos do índice de conforto térmico humano, segundo Thon &amp; Bosen (1959)

TE < 17,9 desconforto (stress) devido ao frio
18 < TE < 25,6 → Faixa de conforto
TE > 25,6 → Crescente desconforto (stress) devido ao calor
27 < TE < 29 → Desconforto significativo com deterioramento psicofísico
TE > 32 → Desconforto extremo, estado de emergência médica

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho pretendeu-se avaliar impactos promovidos por alterações antrópicas em algumas regiões administrativas do Distrito Federal (DF), sobre componentes do balanço de radiação, que possam de alguma maneira interferir no clima local.

##### 4.1. Albedo de Superfície

Os valores médios do albedo encontrados nas estações seca (em julho) e chuvosa (fevereiro, abril, maio e outubro) para o Cruzeiro, Samambaia e parte do Paranoá, estão apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, respectivamente. Os valores indicam que a área do Cruzeiro apresentou-se, para o período chuvoso, um máximo em 1995 (0,182) e mínimo em 2007 (0,152) e para o período seco, o máximo ocorreu em 1989 (0,209) e o mínimo em 2007 (0,155), de forma que houve um aumento gradual até em 1995. Em seguida, diminuiu com mínimo observado em 2007 para ambos os períodos. Já em 2010 houve um pequeno aumento para 0,159 nos períodos seco e chuvoso, ressaltando que a urbanização máxima ocorreu no início da década de 1990 e a partir de 2000 foi estabilizado em termos de construção, havendo alteração na parte de cobertura vegetal, indicando que este resultado pode estar associado ao uso e ocupação do solo.

Tabela 4.1: Valores médios de albedos no período chuvoso e seco para o Cruzeiro- Distrito Federal (DF).

Ano	Média ± DP (período chuvoso)	Média (período seco)
1985	0,159	0,160
1989	0,163	0,209
1995	0,182	0,161
2000	0,164	0,166
2005	0,156	0,156
2007	0,152	0,155
2010	0,159	0,159

Objetivando diminuir a influência de possíveis nuvens nas imagens, foi analisada a variação nos albedos mínimos ocorrido em 1985 e 2010 para todas as áreas de estudo. As Figuras 4.1 (a,b) ilustram o histograma de frequência da distribuição de albedo para os anos de 1985 (azul) e 2010 (vermelho) no Cruzeiro nas estações chuvosa (Figura 4.1a e 4.1b) e seca (Figura 4.1c e 4.1d). Observa-se, em ambos os anos, que os valores apresentam-se na faixa de 0,09 a 0,27, no seco, enquanto que no chuvoso, varia em torno de 0,11 a 0,22. Em 1985, o comportamento da curva apresenta-se similar, com um primeiro máximo na faixa de 0,11. Em seguida, desce e volta a subir na faixa de 0,18 com número de ocorrências acima de 500 para o período chuvoso e no seco, o número chegou acima de 300, enquanto que em 2010, apresentou curvas similares em ambos os períodos, mas para o período seco apresentou uma maior densidade da ocorrência na faixa e comparando com 1985, 2010 caracterizou-se com uma menor frequência ficando em torno de 150, o que é esperado em função da urbanização (cobertura vegetal).



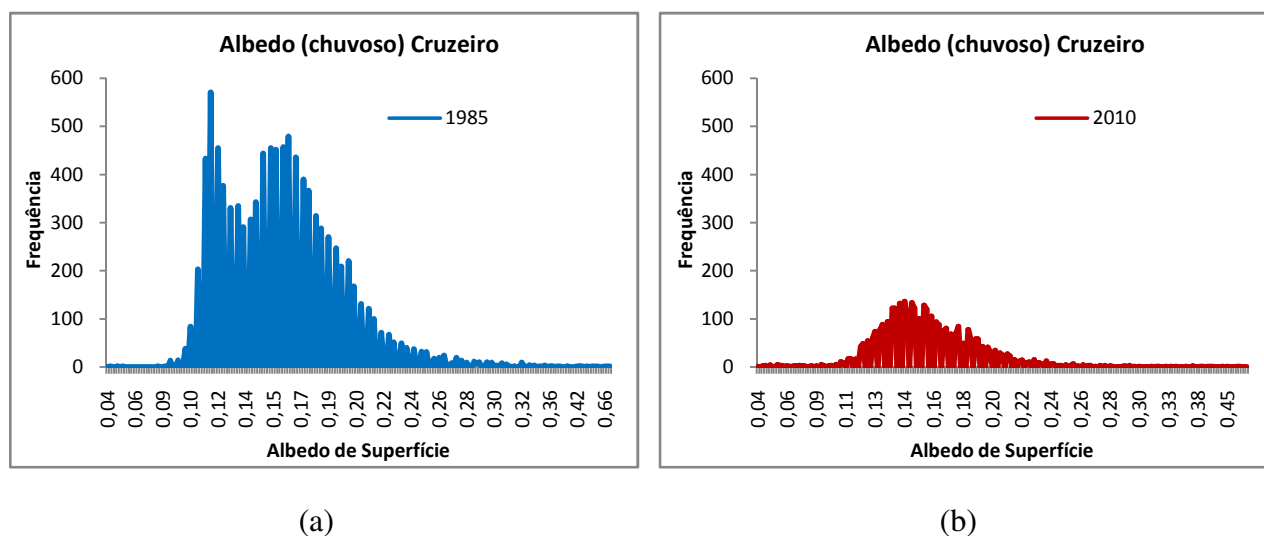


Figura 4.1 (a,b): Histograma da frequência do albedo para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) no Cruzeiro-Distrito federal (DF).

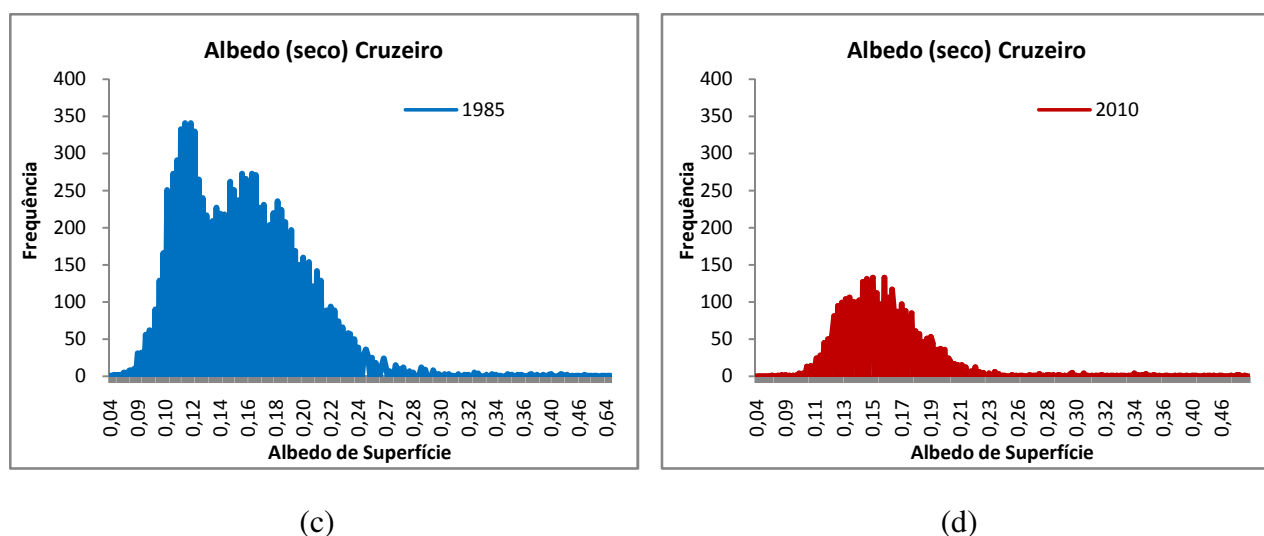


Figura 4.1(c,d): Histograma da frequência do albedo para o período seco de 1985 (c) e 2010 (d) no Cruzeiro-Distrito Federal (DF).

Em relação à Samambaia, os valores apresentados na Tabela 4.2 indicam que, para ambos os períodos, houve um aumento gradual a partir de 1985, com máximo em 2010 de 0,192 e mínimo de 0,147 em 1985 e 2007 para o período chuvoso. Para o período seco, o máximo ocorreu em 1989 de 0,199 e o mínimo em 1985 de 0,152. Em 1995 o comportamento mostrou um aumento no período chuvoso (0,184) e leve decréscimo no seco (0,167) e que está associado com começo da urbanização na região de forma que áreas foram desmatadas para construções de casas e outros. Em 2010 a média no período chuvoso foi maior do que no período seco em função das

condições sinóticas ocorridas neste período, especialmente em maio, caracterizado com totais de precipitação inferiores a média climatológica e umidade abaixo de 20%.

Tabela 4.2: Valores médios de albedos no período chuvoso e seco para a Samambaia- Distrito Federal-DF.

Ano	Média (período chuvoso)	Média (período seco)
1985	0,147	0,152
1989	0,156	0,199
1995	0,184	0,167
2000	0,149	0,164
2005	0,148	0,163
2007	0,147	0,161
2010	0,192	0,157

Objetivando diminuir a influência de possíveis nuvens nas imagens, foi analisada a variação nos albedos mínimos para 1985 e 2010. As Figuras 4.2 (a, b, c, d) ilustram os histogramas de frequências das distribuições de albedo no ano de 1985 (azul) e 2010 (vermelho) para a Samambaia nos períodos chuvoso (Figuras 4.2a e 4.2b) e seco (Figuras 4.2c e 4.2d). Observa-se que no ano de 1985 uma maior densidade (maiores frequências de observação) na distribuição do número de pixels estando concentrada na faixa em torno de 0,09 a 0,26 para o período chuvoso e de 0,07 a 0,27 no período seco, de forma que esse comportamento está associado ao albedo típico da vegetação de cerrado (ver Bastiaansen, 2000). Para ambos os períodos, 1985 apresentou um pico máximo em termos de frequência maior que 2010, mas a maior distribuição na faixa ocorreu em 2010 com dois máximos no período seco em 0,11 e próximo a 0,19. Tal característica pode estar associada ao uso e ocupação do solo.

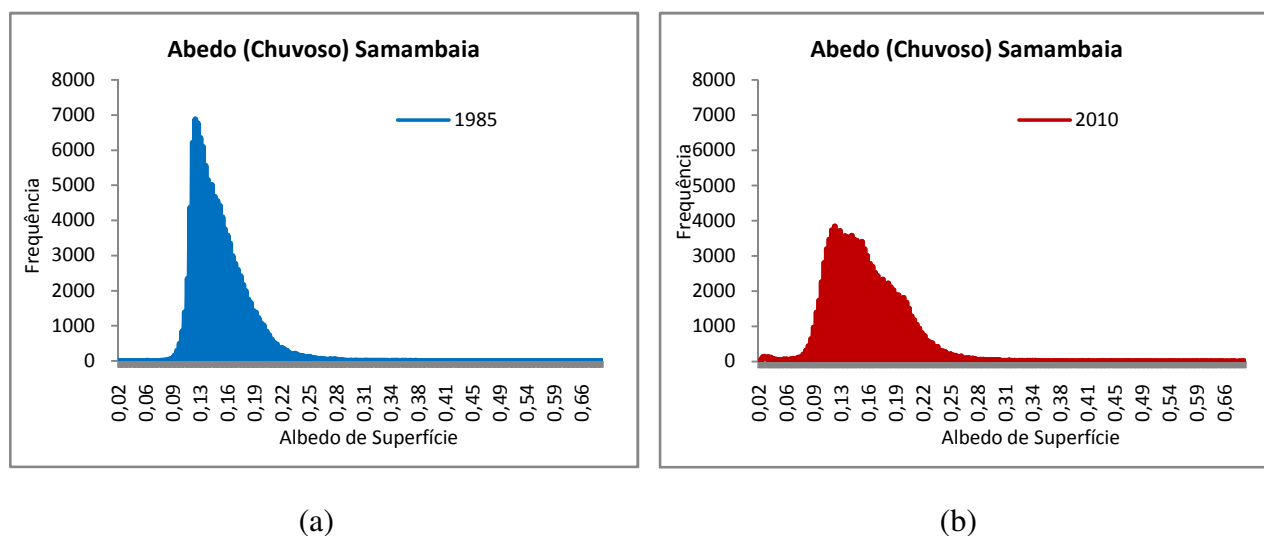


Figura 4.2(a,b): Histograma da frequência do albedo para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010(b) em Samambaia-Distrito Federal (DF).

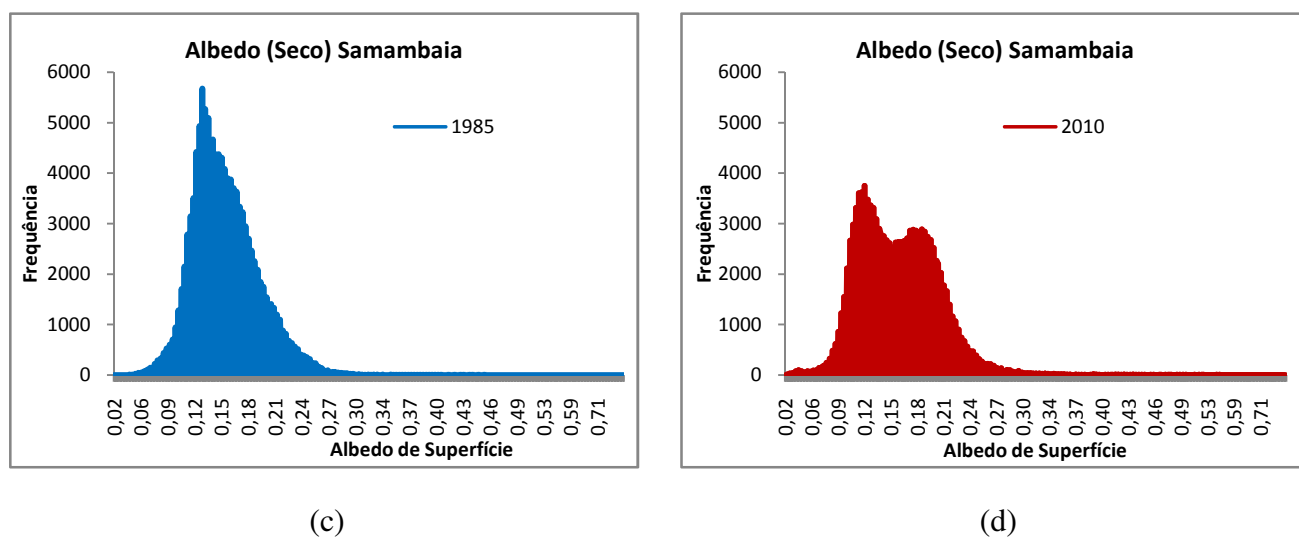


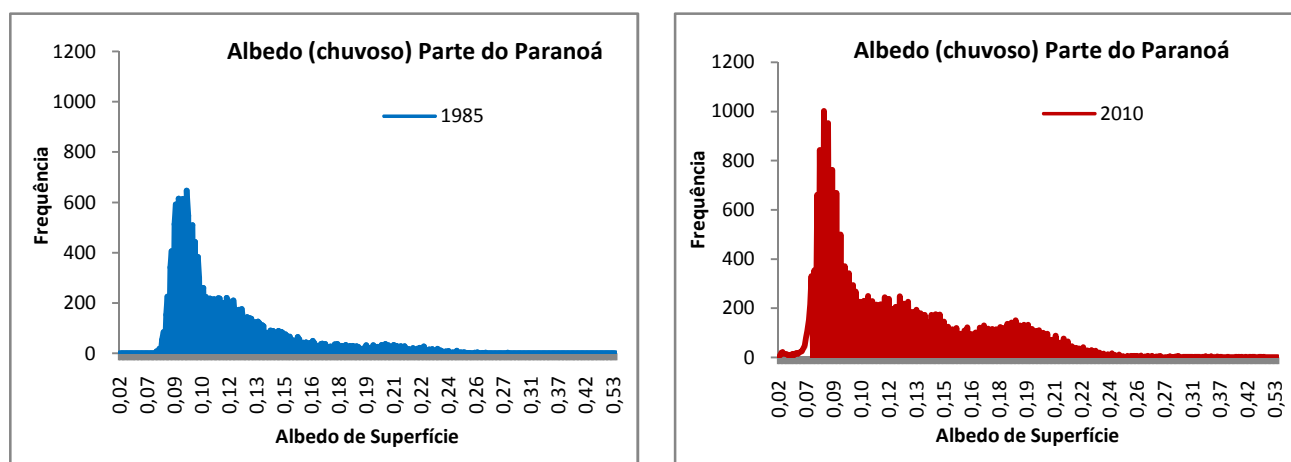
Figura 4.2(c,d): Histograma da frequência do albedo para o período seco de 1985(c) e 2010(d) em Samambaia-Distrito Federal (DF).

Em relação à parte do Paranoá, os valores apresentados na Tabela indicam que houve um comportamento similar com a região administrativa de Samambaia em relação ao ano de 1995, com um valor máximo de 0,144 quando comparado para os demais anos, sendo que em 2010 o valor foi de 0,121 para o período chuvoso e no período seco houve oscilação do máximo em 1989 (0,150) e um mínimo em 2010 de 0,110.

Tabela 4.3: Valores médios de albedos no período chuvoso e seco para parte do Paranoá-DF.

Ano	Média_chuvoso	Média_seco
1985	0,117	0,112
1989	0,114	0,150
1995	0,144	0,120
2000	0,120	0,124
2005	0,114	0,122
2007	0,119	0,120
2010	0,121	0,110

As análises da variação nos albedos mínimos para parte do Paranoá são apresentado nas Figuras 4.3 (a, b, c, d) que ilustram os histogramas de frequências das distribuições de albedo no ano de 1985 (azul) e 2010 (vermelho) nos períodos chuvoso (Figuras 4.3a e 4.3b) e seco (Figuras 4.3c e 4.3d). Observa-se que o ano de 2010 apresenta uma maior frequência na distribuição do albedo ao longo da faixa do que em relação a 1985, com um máximo de 0,09 no período chuvoso e 0,08 no seco. Em 1985, para o período seco abrange uma maior faixa na concentração de números de pixels entre 0,08 a 0,11 e a partir desta faixa, diminui a frequência. Este comportamento está associado com a ocupação do solo que ocorreu ao longo dos anos.



(a)

(b)

Figura 4.3(a,b): Histograma da frequência do albedo para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) em parte do Paranoá-Distrito Federal (DF).

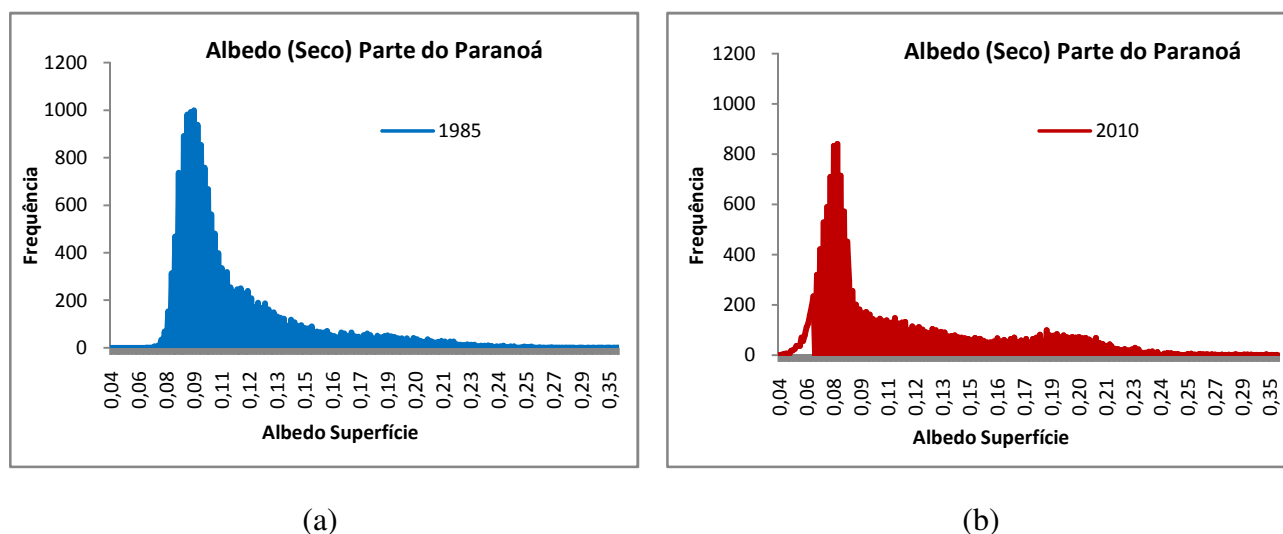


Figura 4.3(c,d): Histograma da frequência do albedo para o período seco de 1985 (c) e 2010 (d) em parte do Paranoá-Distrito Federal (DF).

#### 4.2. Saldo de Radiação

Os valores médios do saldo de radiação encontrados nos períodos seco e chuvoso para o Cruzeiro, Samambaia e parte do Paranoá, estão apresentados nas Tabelas 4.4, 4.5 e 4.6, respectivamente. Os resultados para a região administrativa do Cruzeiro-DF indicam que para o período chuvoso o saldo de radiação em 1985 é o mais alto, diminuindo para os demais anos com pequena elevação em 1995 ( $553,7 \text{ W m}^{-2}$ ). De modo geral, houve um aumento em relação ao período seco, sendo que para este período, os valores máximos ocorrem depois da década de 2000, crescendo de forma gradual com máximos em 2005 e 2010, ficando mais energia no ambiente para os processos de transformação em calor sensível no período seco.

Tabela 4.4: Valores Médios de Saldo de Radiação ( $\text{Wm}^{-2}$ ) no período chuvoso e seco para o Cruzeiro - Distrito Federal - DF.

Ano	Média (período chuvoso)	Média (período seco)
1985	610,92	372,16
1989	486,16	352,13
1995	553,71	350,83
2000	456,07	396,75
2005	497,49	451,91
2007	461,07	434,77
2010	437,12	443,11

As análises da variação do saldo de radiação estão apresentadas nas Figuras 4.4 (a, b, c, d) que ilustram os histogramas de frequência das distribuições do saldo no ano de 1985 (azul) e 2010 (vermelho) nos períodos chuvoso (Figuras 4.4a e 4.4b) e seco (Figuras 4.4c e 4.4d) no Cruzeiro. Observa-se que tanto no período seco como no chuvoso houve uma maior frequência na distribuição do saldo de radiação em 2010 do que em 1985 e esta resposta é dada em função de um maior aquecimento como verificado na análises de temperaturas para os períodos de 1961-1990 e 1981-2010 que indica um aumento das temperaturas, principalmente da mínima.

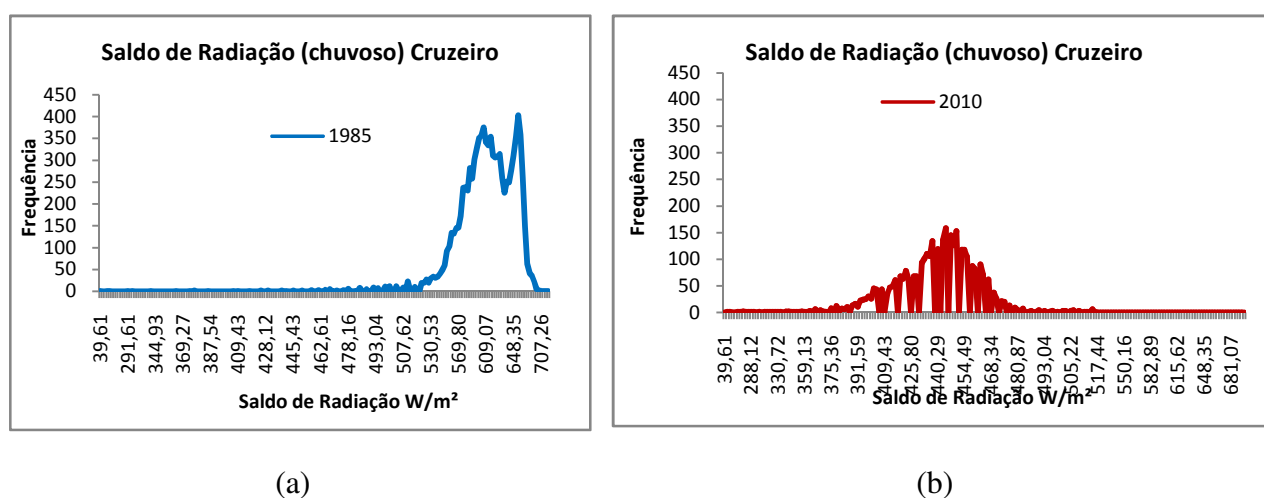


Figura 4.4(a,b): Histograma do saldo de radiação para o período chuvoso de 1985(a) e 2010(b) no Cruzeiro-DF.

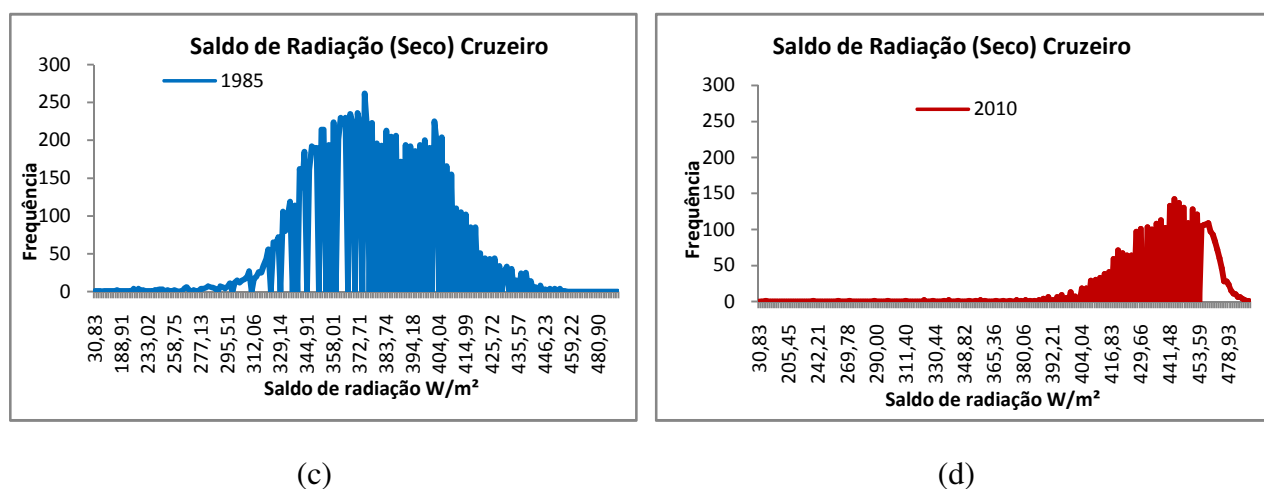


Figura 4.4(c,d): Histograma do saldo de radiação ( $Wm^{-2}$ ) para o período seco de 1985(c) e 2010(d) no Cruzeiro-DF.

A Tabela 4.5 apresenta os valores médios do saldo de radiação encontrados nos períodos seco e chuvoso para Samambaia. Os resultados indicam que para o período chuvoso, o saldo de radiação é maior do que para o período seco, com máximo em 1985 e 1995 ( $627,6 \text{ W m}^{-2}$  e  $552,3 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente) e para o seco ocorreu em 2005 e 2010 ( $449,16$  e  $442,35 \text{ W m}^{-2}$ ) e este resultado indica que pode estar associado ao período de maior disponibilidade de radiação solar, caracterizado pelo desenvolvimento da urbanização da região.

Tabela 4.5: Valores Médios de Saldo de Radiação ( $\text{Wm}^{-2}$ ) nos períodos chuvoso e seco para a Samambaia- Distrito Federal-DF.

Ano	Média (período chuvoso)	Média (período seco)
1985	<b>627,58</b>	375,85
1989	499,18	362,16
1995	<b>552,33</b>	349,43
2000	474,93	400,29
2005	509,52	<b>449,16</b>
2007	473,15	430,71
2010	451,46	<b>442,35</b>

As análises da variação do saldo de radiação são apresentado nas Figuras 4.5 (a, b, c, d), que ilustram os histogramas de frequências do saldo no ano de 1985 (azul) e 2010 (vermelho) nos períodos chuvoso (Figuras 4.5a e 4.5b) e seco (Figuras 4.5c e 4.5d) em Samambaia. Observa-se que no período chuvoso o ano de 1985 atinge um máximo da frequência em torno de  $652 \text{ W/m}^2$ , tendo uma menor distribuição do saldo radiação quando comparado com 2010, que apresenta uma maior distribuição na frequência com máximo em torno de  $500 \text{ W/m}^2$ . Para o período seco observa-se que em 2010 houve uma maior distribuição do saldo de radiação com máximo de frequência em torno de  $470 \text{ W/m}^2$  e em 1985 houve uma faixa de saldo menor com máximo em torno de  $408 \text{ W/m}^2$ .

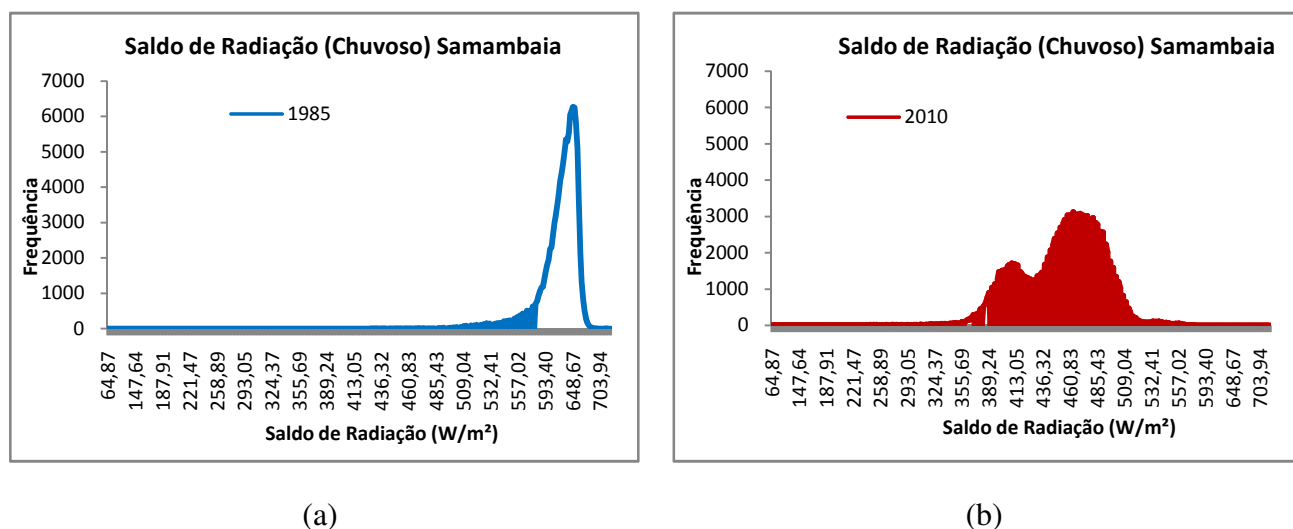


Figura 4.5(a,b): Histograma da frequência do saldo de radiação ( $\text{Wm}^{-2}$ ) para o período chuvoso de 1985(a) e 2010(b) em Samambaia- Distrito Federal-DF.

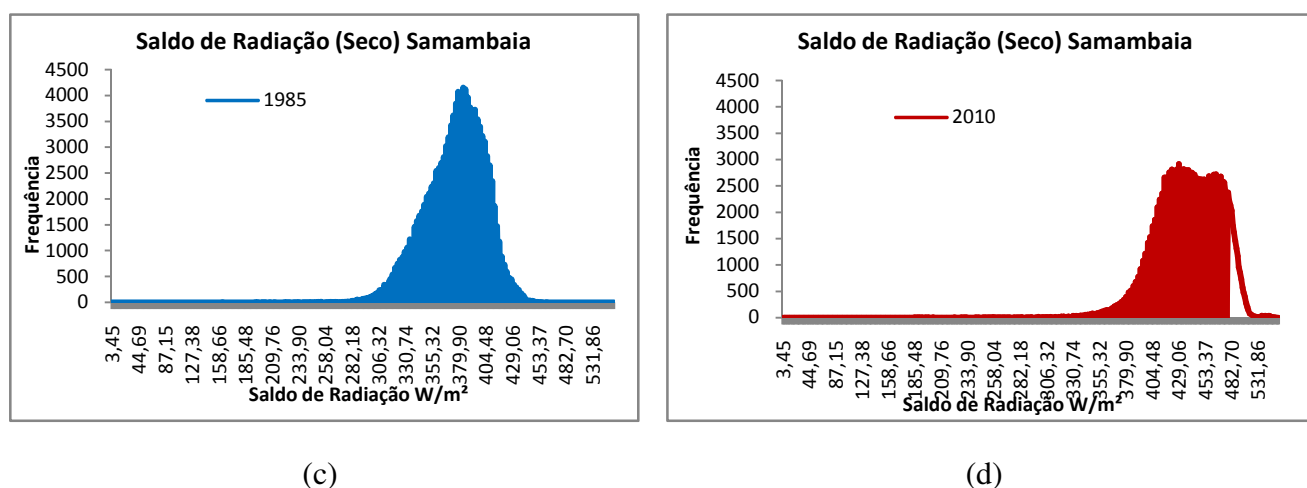


Figura 4.5(c,d): Histograma da frequência do saldo de radiação ( $\text{Wm}^{-2}$ ) para o período seco de 1985 (c) e 2010(d) em Samambaia- Distrito Federal-DF.

A Tabela 4.6 apresenta os valores médios do saldo de radiação encontrados nos períodos seco e chuvoso para parte do Paranoá. Os resultados indicam uma similaridade com Samambaia de forma que para o período chuvoso, o saldo de radiação é maior do que para o período seco, com máximo em 1985 ( $659,9 \text{ W/m}^2$ ) e para o seco ocorre em 2010 ( $492,1 \text{ W/m}^2$ ).



Tabela 4.6: Valores Médios de Saldo de Radiação ( $Wm^{-2}$ ) no período chuvoso e seco para parte do Paranoá- Distrito Federal-DF.

Ano	Média (período chuvoso)	Média (período seco)
1985	659,94	426,54
1989	548,79	410,97
1995	600,03	390,82
2000	506,22	440,88
2005	550,41	491,67
2007	510,72	475,88
2010	489,99	492,16

As análises da variação do saldo de radiação são apresentado nas Figuras 4.6(a,b,c,d) que ilustram os histogramas de frequências das distribuições do saldo no ano de 1985 (azul) e 2010 (vermelho) nos períodos chuvoso (Figura 4.6a e 4.6b) e seco (Figura 4.6c e 4.6d) da parte do Paranoá. Observa-se que tanto no período chuvoso como no seco, o comportamento é similar para os dois anos em análise, principalmente em 2010, sendo que no período chuvoso os valores do saldo de radiação são maiores do que para o período seco do mesmo modo como verificado em Samambaia.

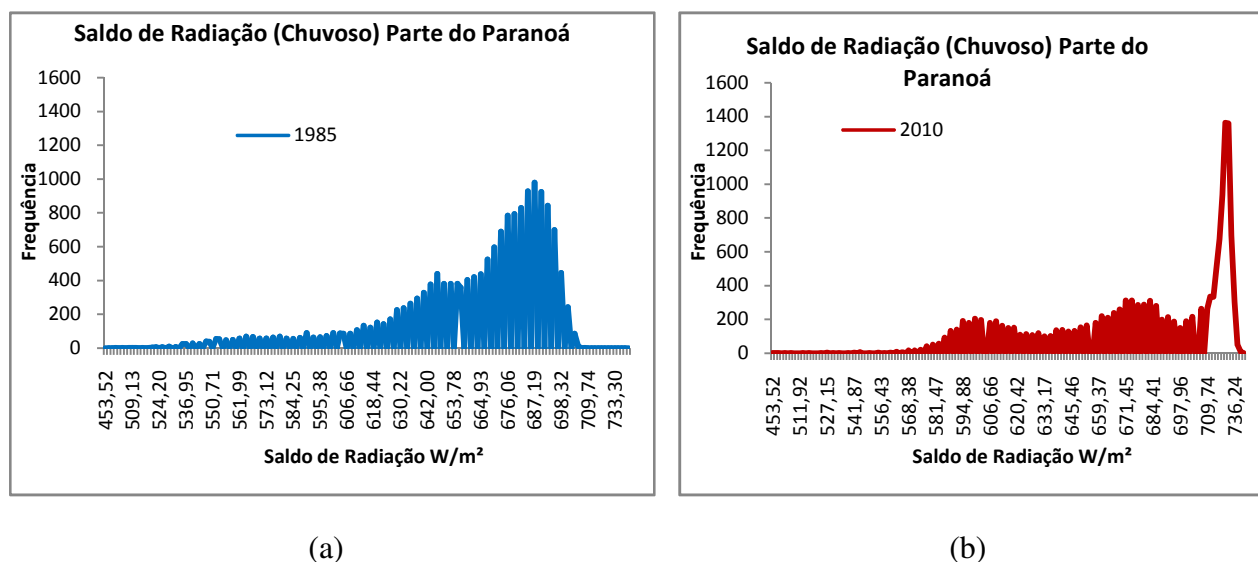


Figura 4.6(a,b): Histograma da frequência do saldo de radiação ( $Wm^{-2}$ ) para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) de parte do Paranoá-DF

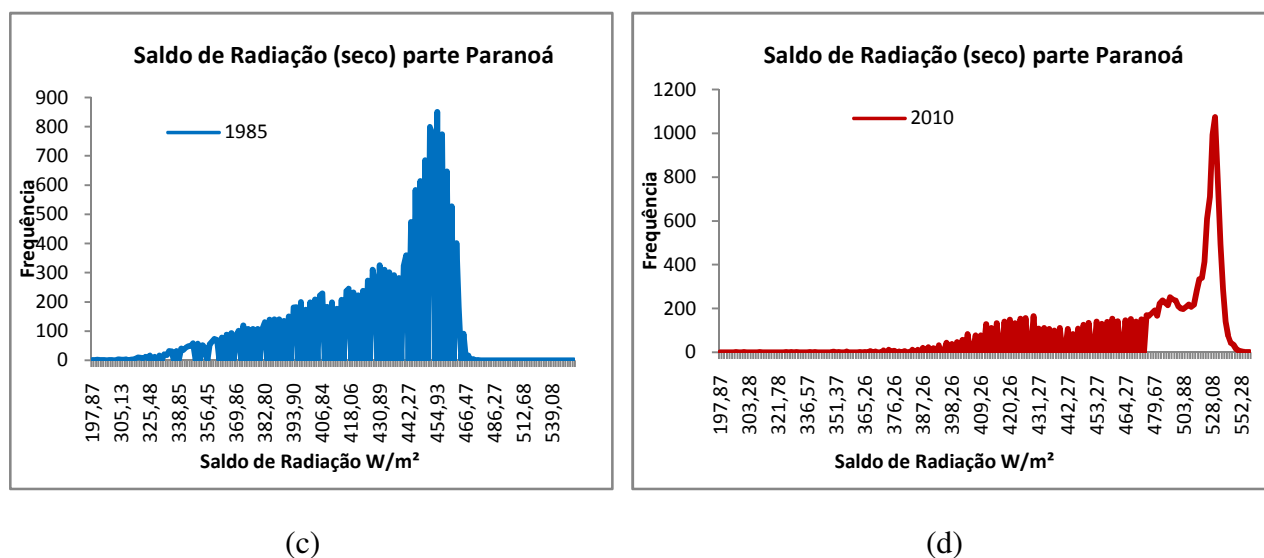


Figura 4.6(c,d): Histograma da frequência do saldo de radiação ( $\text{Wm}^{-2}$ ) para o período seco de 1985 (c) e 2010 (d) de parte do Paranoá- Distrito Federal (DF).

### 4.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Os valores médios do NDVI encontrados nos períodos seco e chuvoso para o Cruzeiro, Samambaia e parte do Paranoá, estão apresentados nos Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9, respectivamente. Para a região administrativa do Cruzeiro, os resultados indicam que para o período chuvoso, o NDVI foi maior que no período seco, com máximo em 1985 (0,422), diminuindo ao longo do tempo com um valor de 0,262 em 2010. Para o período seco o máximo ocorreu em 1989 (0,377), tendo comportamento similar do período chuvoso com diminuição ao longo do tempo de forma que se estabilizou indicando a possível influência da urbanização.

Tabela 4.7: Valores Médios do NDVI nos períodos chuvoso e seco para o Cruzeiro-DF.

Ano	Média (período chuvoso)	Média (período seco)
1985	0,422	0,222
1989	0,377	0,377
1995	0,212	0,184
2000	0,300	0,194
2005	0,319	0,204
2007	0,260	0,203
2010	0,262	0,206

As análises da variação do NDVI são apresentadas nas Figuras 4.7 (a, b, c, d) que ilustram os histogramas de frequência das distribuições no ano de 1985 (azul) e 2010 (vermelho) nos períodos chuvoso (Figuras 4.7a e 4.7b) e seco (Figuras 4.7c e 4.7d) na região administrativa do Cruzeiro-DF. A distribuição da frequência do NDVI apresenta-se em toda a faixa gradualmente sendo que em 2010, há uma menor cobertura vegetal do que em 1985, com máxima na faixa de frequência em torno de 0,60, ano em que se iniciou uma urbanização induzida com colocações de árvores, gramas para arborização da região administrativa. Em 2010, verifica-se um máximo na faixa em torno de 0,1 e ao longo do período uma menor frequência do NDVI nas maiores faixas. Para o período seco, o comportamento na distribuição do NDVI é verificado de forma que em 2010, mostra uma concentração significativa na faixa em torno de 0,08 a 0,33 enquanto que em 1985 há uma oscilação na frequência de ocorrência do NDVI que é maior quando comparado com 2010 que apresenta valores na mesma faixa, corroborando com aumento da cobertura vegetal em 1985.

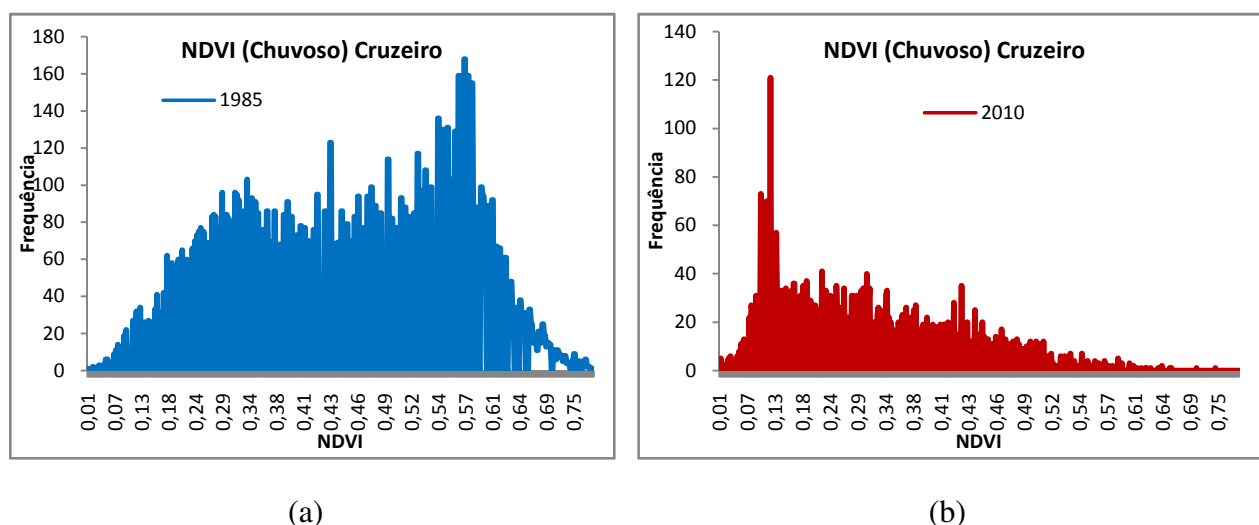


Figura 4.7(a,b): Histograma da frequência do NDVI para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) do Cruzeiro- Distrito Federal (DF).

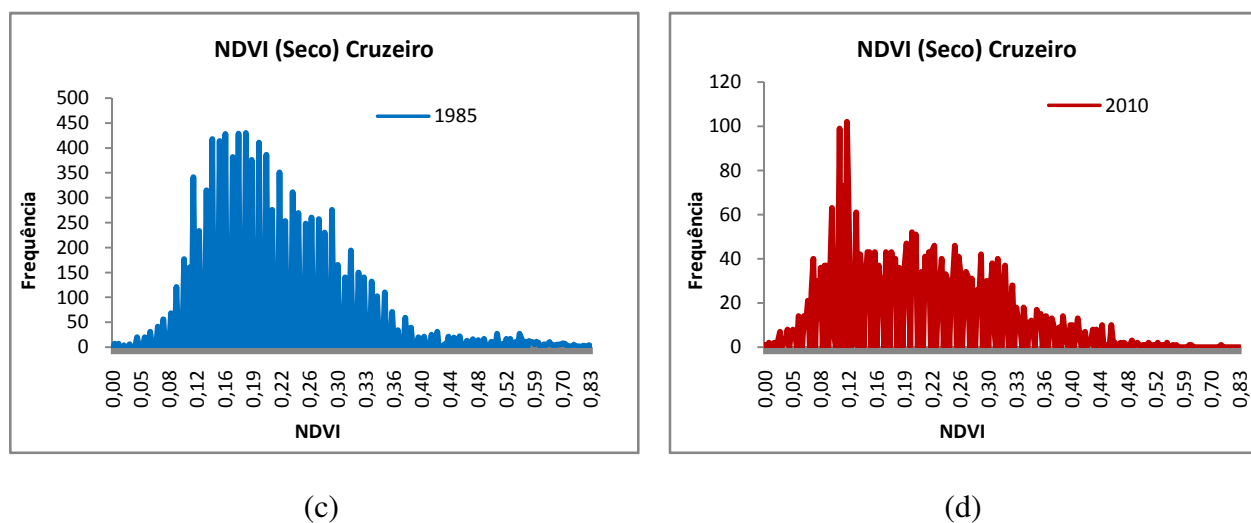


Figura 4.7(c,d): Histograma da frequência do NDVI para o período seco de 1985 (c) e 2010(d) do Cruzeiro- Distrito Federal (DF).

A Tabela 4.8 apresenta os valores médios do NDVI encontrados nos períodos seco e chuvoso na região administrativa de Samambaia-DF. Os resultados indicam que para o período chuvoso, o NDVI é maior do que para o período seco, com máximos em 1985 (0,470) e 1989 (0,462), o mesmo ocorrendo para o período seco com máximos de 0,272 em 1985 e 0,462 em 1989, que podem estar associado ao período de maior disponibilidade de arborização na cidade, período em que a região administrativa iniciou o maior crescimento desde a sua fundação.

Tabela 4.8: Valores Médios do NDVI no período chuvoso e seco para a Samambaia- Distrito Federal-DF.

Ano	Média (período chuvoso)	Média (período seco)
1985	0,470	0,272
1989	0,462	0,462
1995	0,231	0,270
2000	0,411	0,271
2005	0,428	0,270
2007	0,365	0,264
2010	0,410	0,270

As análises da variação do NDVI são apresentado nas Figuras 4.8 (a, b, c, d) que ilustram os histogramas de frequência das distribuições no ano de 1985 (azul) e 2010 (vermelho) nos

períodos chuvoso (Figuras 4.8a e 4.8b) e seco (Figuras 4.8c e 4.8d) em Samambaia-DF. A distribuição da frequência do NDVI apresenta-se em toda a faixa gradualmente em 2010, com máximos em torno da faixa de 0,10 e outro máximo em torno de 0,44. Entretanto, em 1985 verifica-se uma faixa com maior frequência de maiores valores do NDVI, oscilando de 0,29 a 0,72 indicando uma cobertura vegetal em 1985 maior do que em 2010. Em relação ao período seco a distribuição apresenta um comportamento similar em 1985 e 2010, embora que em 1985 há uma frequência maior em uma faixa oscilando em torno de 0,10 a 0,42 enquanto que em 2010, apresenta máximos nas faixas de 0,10 e em 0,29 com menor frequência do NDVI, indicando que o processo de urbanização encontra-se em desenvolvimento nesta região administrativa.

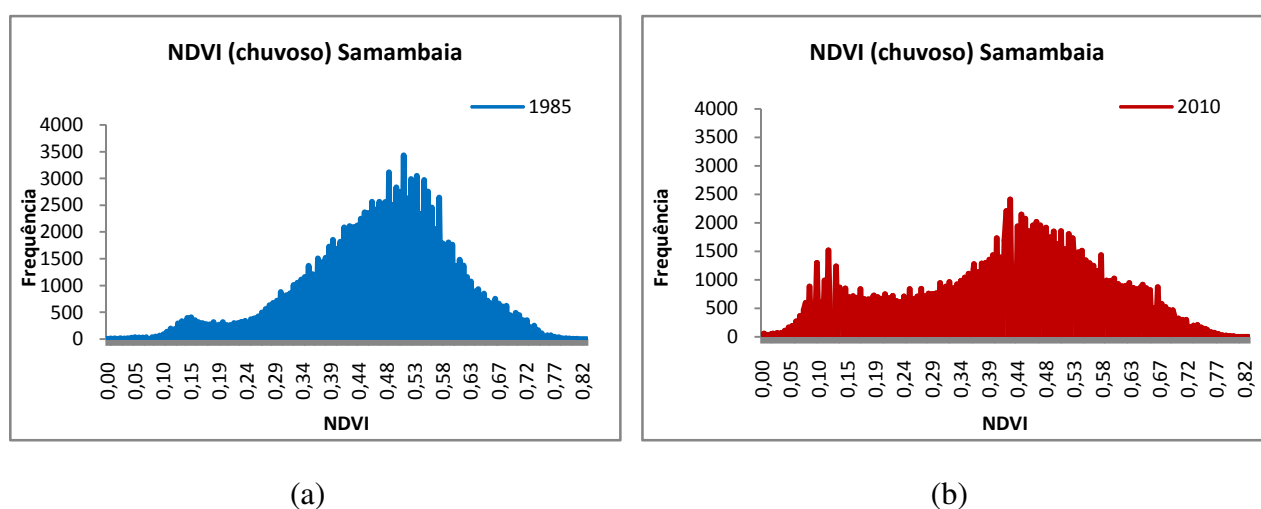
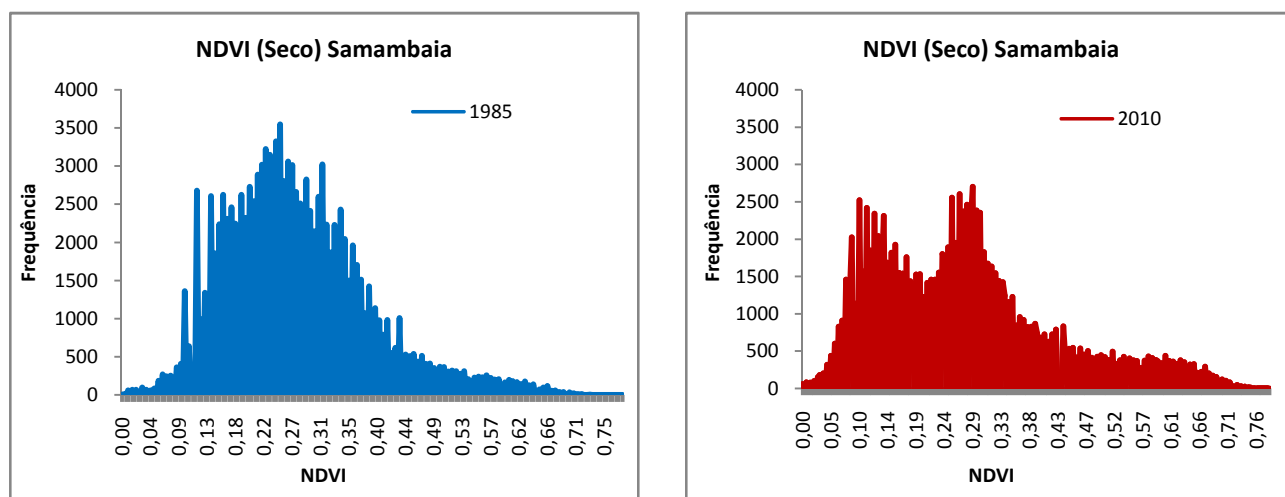


Figura 4.8(a,b): Histograma da frequência do NDVI para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010(b) em Samambaia- Distrito Federal (DF).



(c)

(d)

Figura 4.8(c,d): Histograma da frequência do NDVI para o período seco de 1985(c) e 2010(d) em Samambaia- Distrito Federal (DF).

A Tabela 4.9 apresenta os valores médios do NDVI encontrados nos períodos seco e chuvoso para parte da região administrativa do Paranoá-DF. Os resultados indicam que para o período chuvoso, houve uma oscilação do NDVI ao longo dos anos com máximos em 1985 (0,584) e em 1989 (0,572) enquanto que para o período seco os valores oscilaram durante os anos analisados, sendo que 1989 ocorreu o máximo (0,527) e mínimo em 2007 (0,358).

Tabela 4.9: Valores Médios do NDVI no período chuvoso e seco para parte do Paranoá-Distrito federal-DF

Ano	Média (período chuvoso)	Média (período seco)
1985	0,584	0,408
1989	0,572	0,527
1995	0,358	0,384
2000	0,483	0,369
2005	0,507	0,378
2007	0,451	0,358
2010	0,480	0,439

As análises da variação do NDVI são apresentado nas Figuras 4.9 (a,b,c,d) que ilustram os histogramas de frequências das distribuições no ano de 1985 (azul) e 2010 (vermelho) nos períodos chuvoso (Figuras 4.9a e 4.9b) e seco (Figuras 4.9c e 4.9d) para parte da região

administrativa do Paranoá. Para o período chuvoso, a distribuição da frequência do NDVI em 2010 apresenta-se ao longo da faixa, com máximos em torno de 0, 10 e 0,65, enquanto que em 1985, a frequência da distribuição é mais concentrada em uma faixa mais significativa de 0,60 a 0,75 com máximo de 0,70. Em relação ao período seco, 1985 a distribuição indica uma maior cobertura de vegetação quando comparado com 2010, com máximos em torno de 0,30 e 0,70, tendo frequência de valores mais baixos em 2010 do que em 1985, como máximos em torno de 0,10 e 0,65.

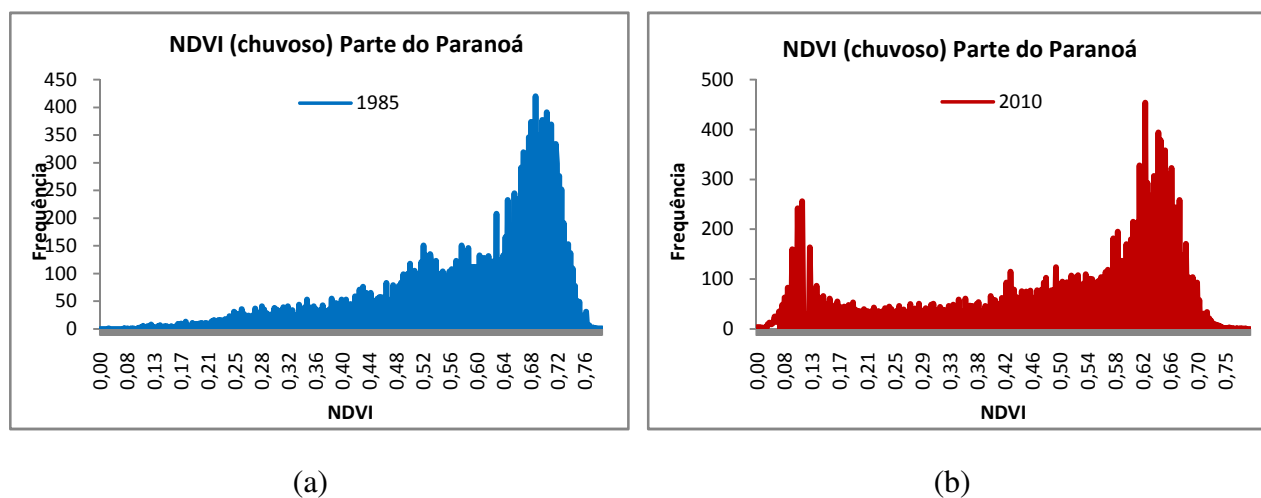


Figura 4.9(a,b): Histograma da frequência do NDVI para o período chuvoso de 1985 (a) e 2010 (b) para parte do Paranoá- Distrito Federal (DF).

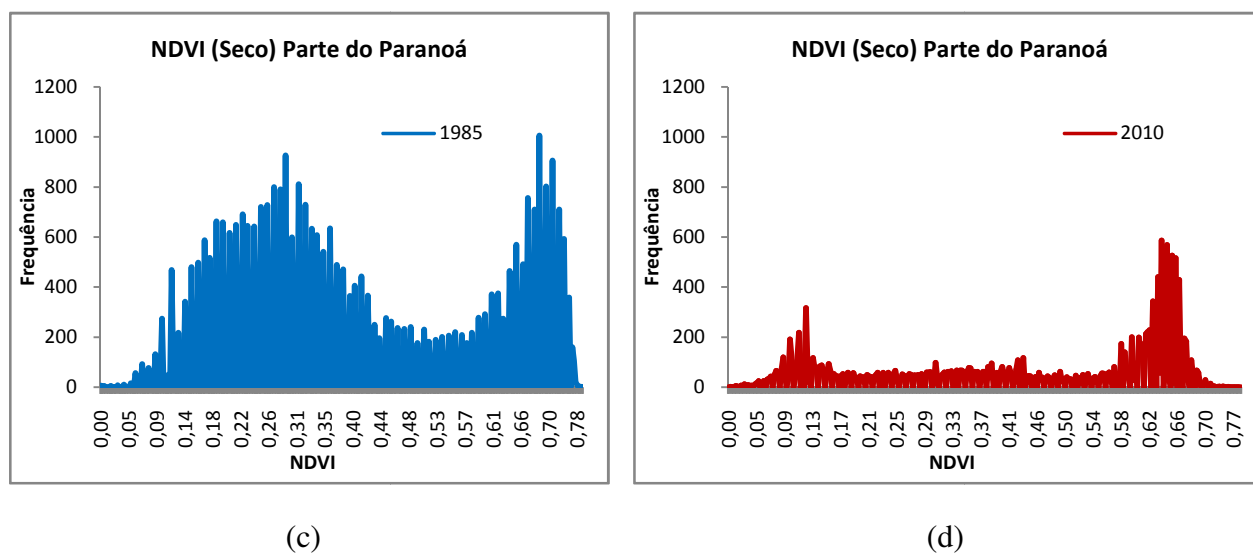


Figura 4.9(c,d): Histograma da frequência do NDVI para o período seco de 1985 (c) e 2010 (d) para parte do Paranoá- Distrito Federal (DF).

Abaixo, seguem informações sobre os resultados da avaliação do impacto da antropização nas áreas administrativas em estudo. De uma maneira global (levando em consideração os valores obtidos em todas as regiões analisadas dentro do Distrito Federal), pode-se constatar que Brasília sofreu decréscimo nos valores de NDVI médio ao longo dos anos (Coeficiente Correlação de Pearson ( $r$ ) = -0.34;  $t_{gl=50} = -2.5682$ ,  $P = 0.01326$ ), sugerindo uma progressiva redução de vegetação ao longo do tempo. Um modelo linear gerado para avaliar essa perda de vegetação sugere uma perda de aproximadamente 4% de cobertura vegetal por década nas áreas estudadas (Figura 4.10), apresentando um poder de explicação dos dados ( $R^2$ ) da ordem de 10%. O modelo linear gerado (em vermelho e a função posicionada no canto superior direito da figura 4.10) sugere uma perda vegetacional de cerca de 4% por década.



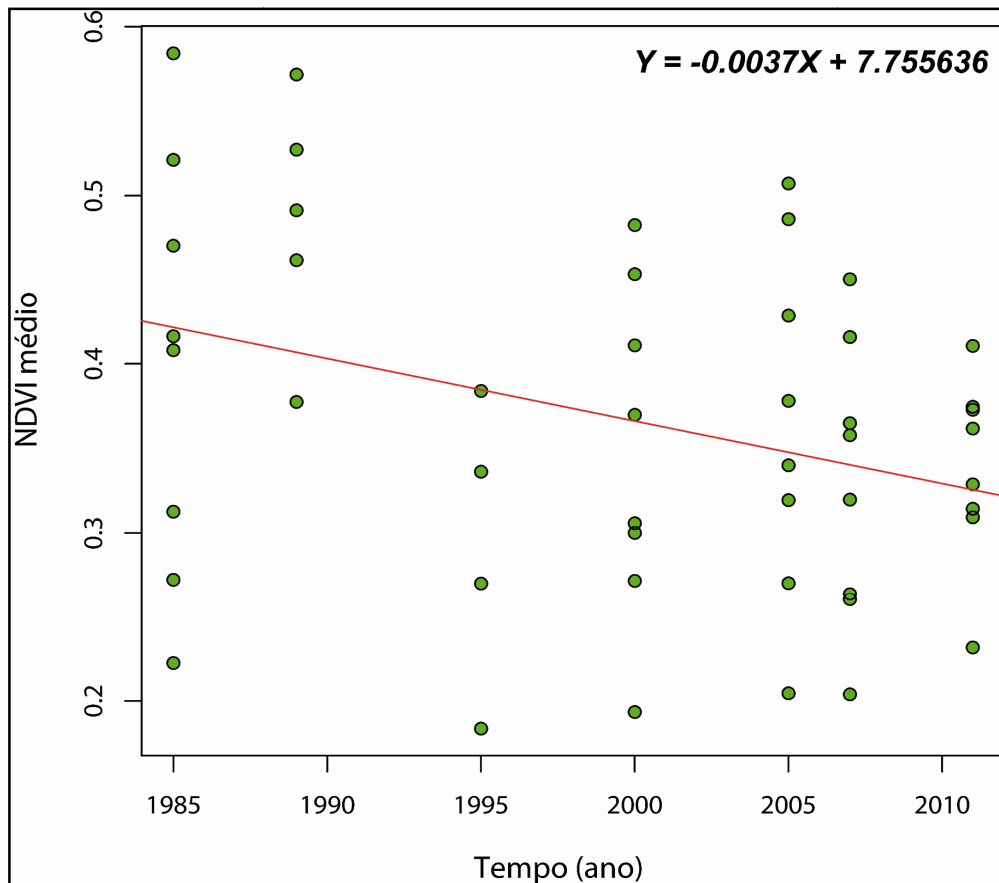


Figura 4.10: Associação entre tempo (anos) e de índice de vegetação (NDVI médio) em três regiões administrativas de Brasília (Cruzeiro, parte do Paranoá e Samambaia), Distrito Federal (DF).

Também foi encontrada uma associação significativa entre a variação do NDVI do Distrito Federal e o albedo de superfície ( $\rho = -0.44$ ;  $t_{gl=54} = -3.6377$ ,  $P = 0.0006$ ,  $R^2 = 20\%$ ), sugerindo uma forte associação entre a retirada de vegetação no Distrito Federal e efeito sobre o albedo (Figura 4.11C). A realização de um modelo linear indicou que 20% da variação total dos dados de albedo de superfície médio podem ser explicados pela variação pura nos valores de NDVI médio das regiões analisadas (Figura 4.11).

Considerando o período chuvoso apenas, os resultados mostram que a explicação dessa associação aumentou para 68% da variação dos dados, indicando uma relação mais estreita entre as variações de NDVI e seu efeito sobre o albedo de superfície ( $\rho = -0.82$ ;  $t_{gl=26} = -7.4019$ ,  $P = 7 \times 10^{-8}$ ;  $R^2 = 68\%$ ) sobre essas condições. De semelhante modo, o mesmo tipo de associação foi significativa, porém aplicado para o período seco ( $\rho = -0.56$ ;  $t_{gl=23} = -3.2653$ ,  $P = 0.0034$ ;  $R^2 = 32\%$ ) (Figura 4.11 A e 4.11 B). Ou seja, quanto menor o valor de NDVI nesses casos, maior o valor de albedo de superfície em Brasília. Em vermelho, encontra-se o modelo linear descrevendo

a relação entre as duas variáveis e no canto superior direito de cada gráfico está informado a função associada a cada modelo linear.

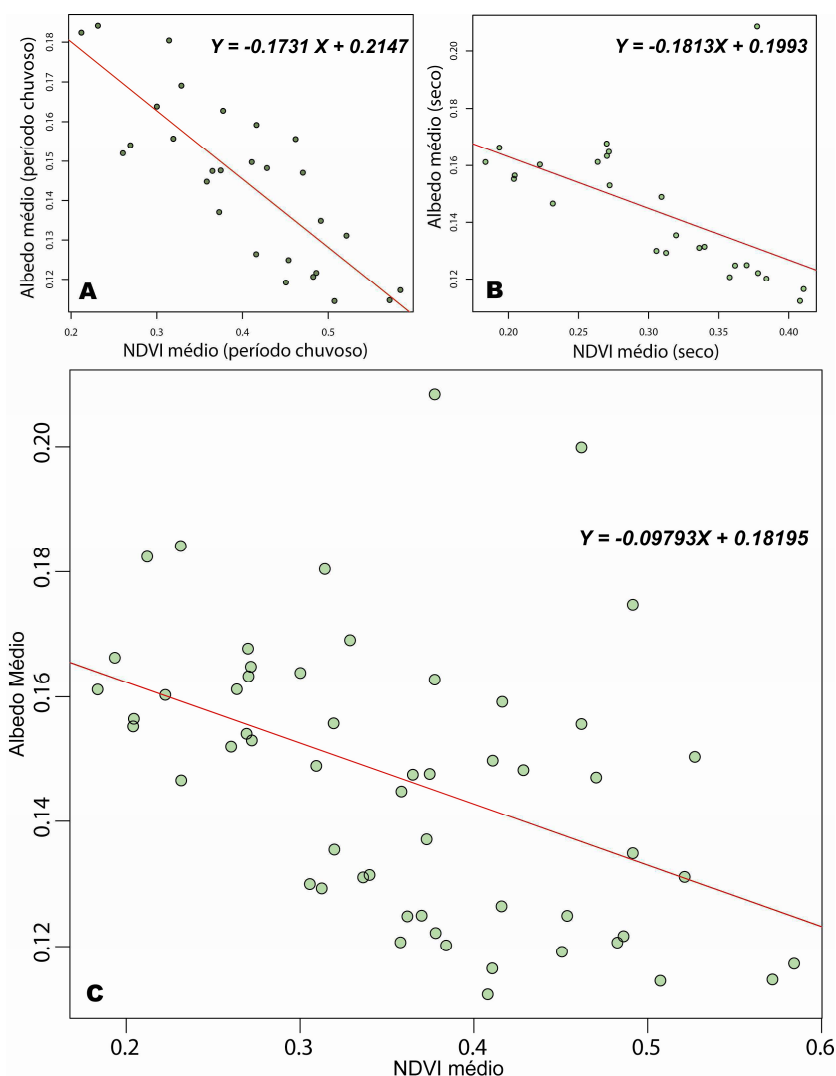


Figura 4.11: Associação entre NDVI médio e Albedo de superfície médio, levando em consideração o período chuvoso (A), o período seco (B) e a totalidade (C).

Não se constatou nenhuma associação significativa entre a variação no NDVI médio e o saldo de radiação em Brasília, tanto levando em consideração todos os dados, quanto realizando-os por período (seco e chuvoso). Também não foram encontradas associações significativas entre as variáveis mínimas e máximas de saldo de radiação e de albedo de superfície, exceto para albedo de superfície mínimo, que apresentou uma associação negativa significativa com o tempo (anos), tanto para o período seco ( $\rho = -0.45$ ;  $t_{gl=26} = -2.5476$ ,  $P = 0.0171$ ), quanto para todos os

períodos juntos ( $r = -0.36$ ;  $t_{gl=53} = -2.8001$ ,  $P = 0.0071$ ). Desta forma, destaca-se que os valores de albedo mínimo tem ficado cada vez mais baixos à medida que o tempo passa em Brasília.

Foram elaborados dois mapas temáticos do índice de vegetação (NDVI) para o período chuvoso dos anos de 1985 e de 2010, onde é mostrado uma maior cobertura de vegetação, com objetivo de se observar possíveis mudanças nestas áreas para anos específicos e os resultados indicam que em 1985 (Figuras 4.12a e 4.12b) havia mais área com cobertura vegetal do que em 2010 no Distrito Federal.

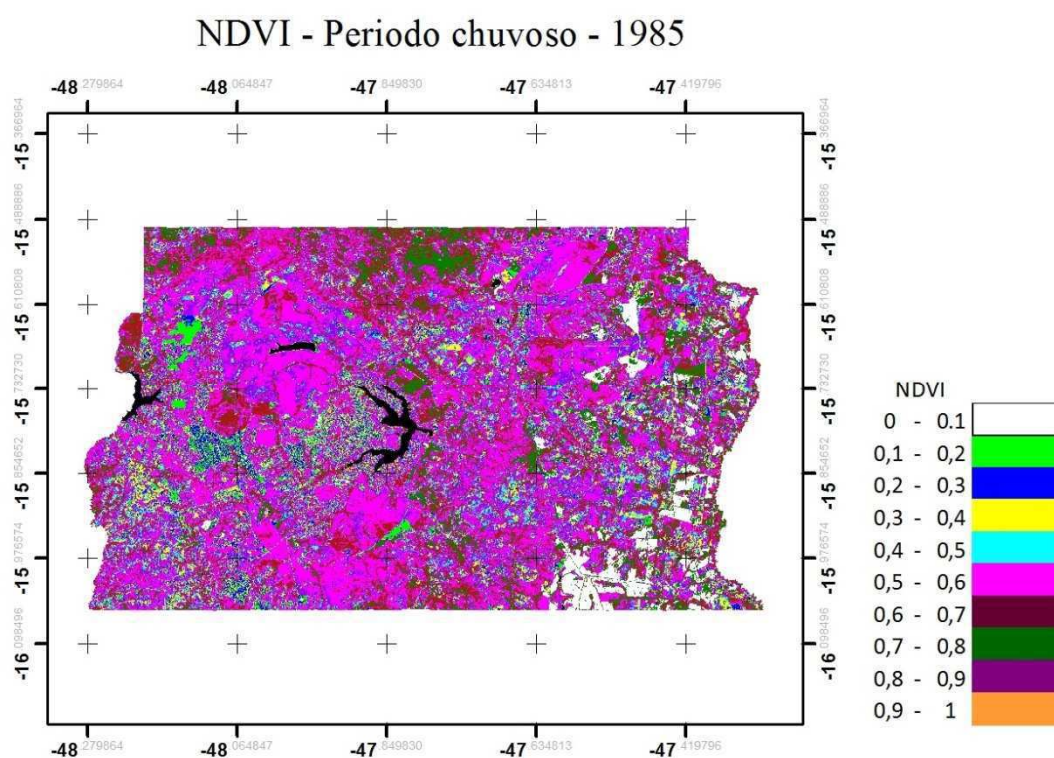


Figura 4.12a: Índice de Vegetação no Distrito Federal (DF) para estação chuvosa de 1985.

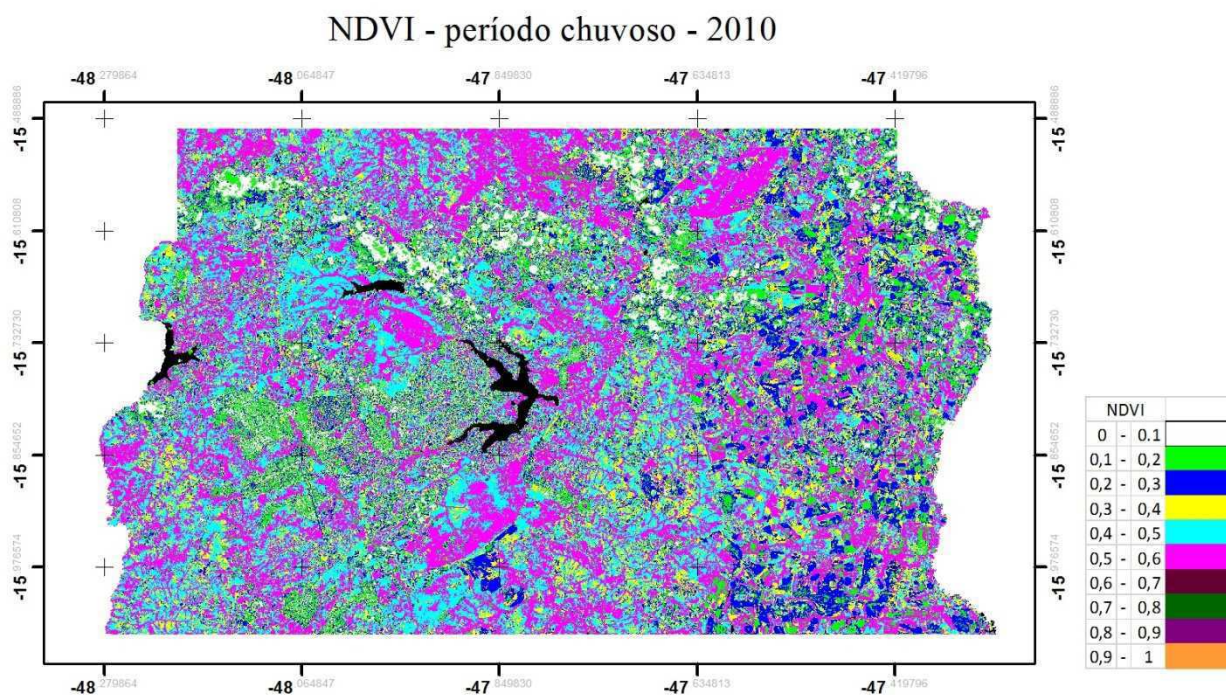


Figura 4.12b: Índice de Vegetação (INDV) do Distrito Federal (DF) para estação chuvosa 2010.

Em relação à região administrativa do Cruzeiro, como exemplo, a Figura 4.13 (a,b) apresenta o saldo de radiação para os anos de 1985 e 2010. Em 1985, o saldo de radiação foi menor, devido a cobertura vegetal, do que em 2010, que apresenta atualmente uma ocupação urbana praticamente desenvolvida.

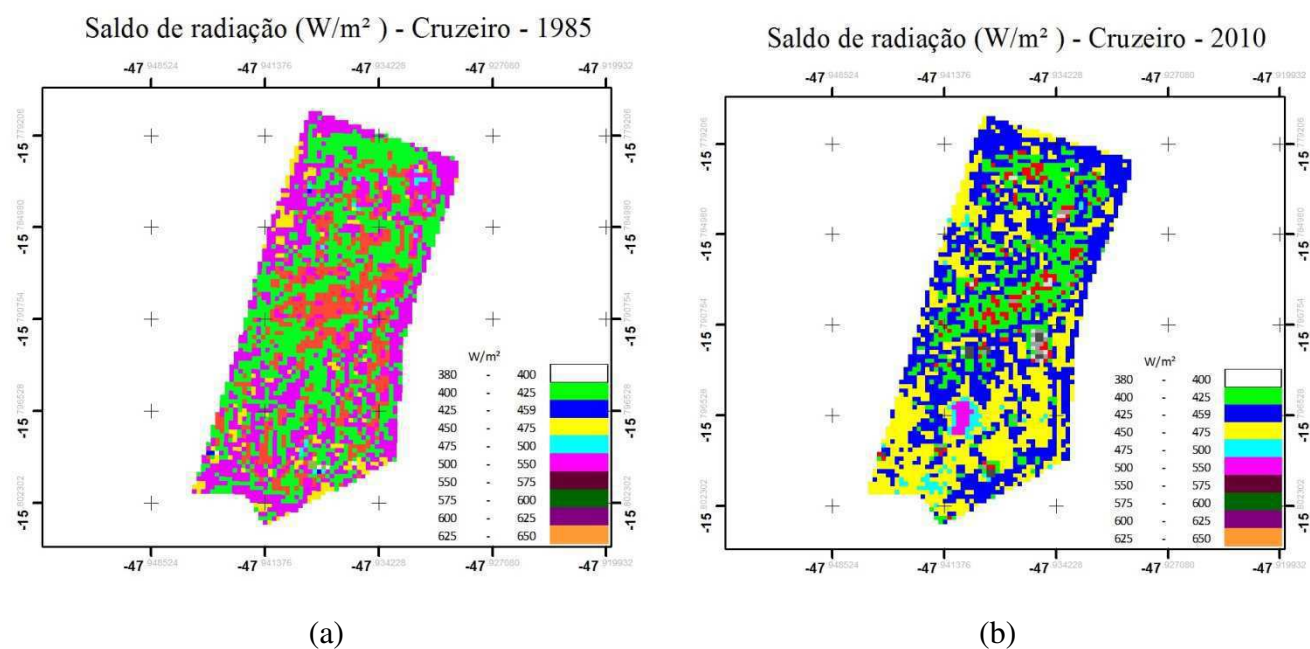


Figura 4.13(a,b): Saldo de radiação da Região Administrativa do Cruzeiro-DF para os anos de 1985 (a) e 2010 (b).

A Figura 4.14 apresenta a composição colorida RGB respectivamente nos canais 3, 2 e 1 do Landsat 5 para comparação entre os anos de 1985 e 2010 da região administrativa do Cruzeiro-DF. Constata-se que os tons avermelhados indicam maior presença de solo exposto (Latossolo vermelho) em 1985, ocorrendo diminuição desses tons avermelhados no ano de 2010, provavelmente devido o tipo de cobertura do solo e urbanização (asfalto e concreto) como mostra a Figura 20b apresentado em tom mais azulado. Também se observa que houve redução da área da vegetação de 1985 para 2010, apresentado em tons mais claros na figura.



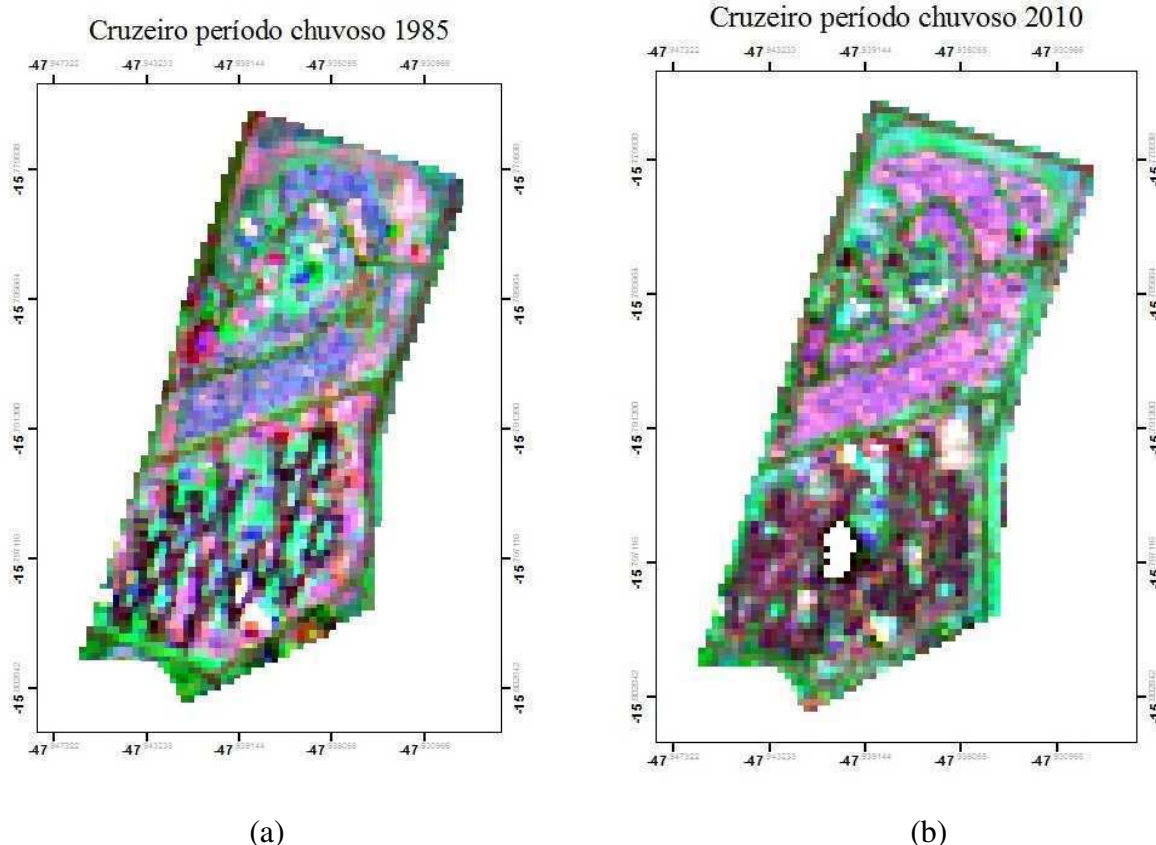


Figura 4.14(a,b): Composição RGB para a Região Administrativa do Cruzeiro-DF, para o período chuvoso em 1985 (a) e 2010 (b).

A Figura 4.15 apresenta a composição colorida RGB respectivamente nos canais 3, 4 e 5 do Landsat-5 para comparação entre os anos de 1985 (a) e 2010 (b) no período chuvoso da região administrativa de Parte do Paranoá-DF. Constata-se no ano de 2010 apresenta uma maior presença de solo exposto, quando comparado com 1985, como pode ser identificados pelas áreas em tons de vermelho na figura, devido a cobertura do solo e urbanização (asfalto e concreto). Em 2010, também é verificado a redução da área da vegetação, apresentado em tons verdes, quando comparado com o ano de 1985.

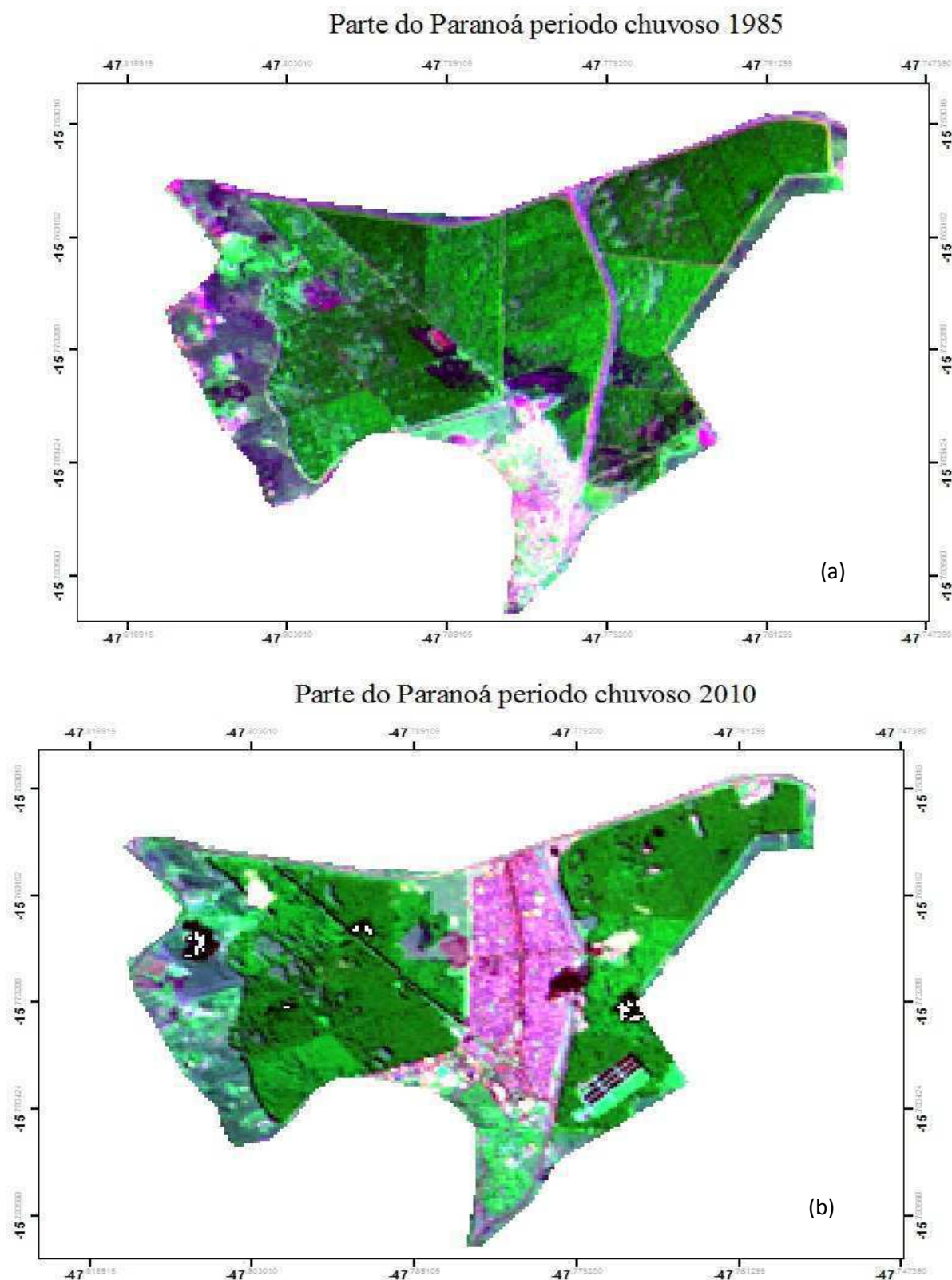


Figura 4.15 (a,b): Composição RGB para a Região Administrativa de parte do Paranoá-DF para 1985 (a) e 2010 (b).

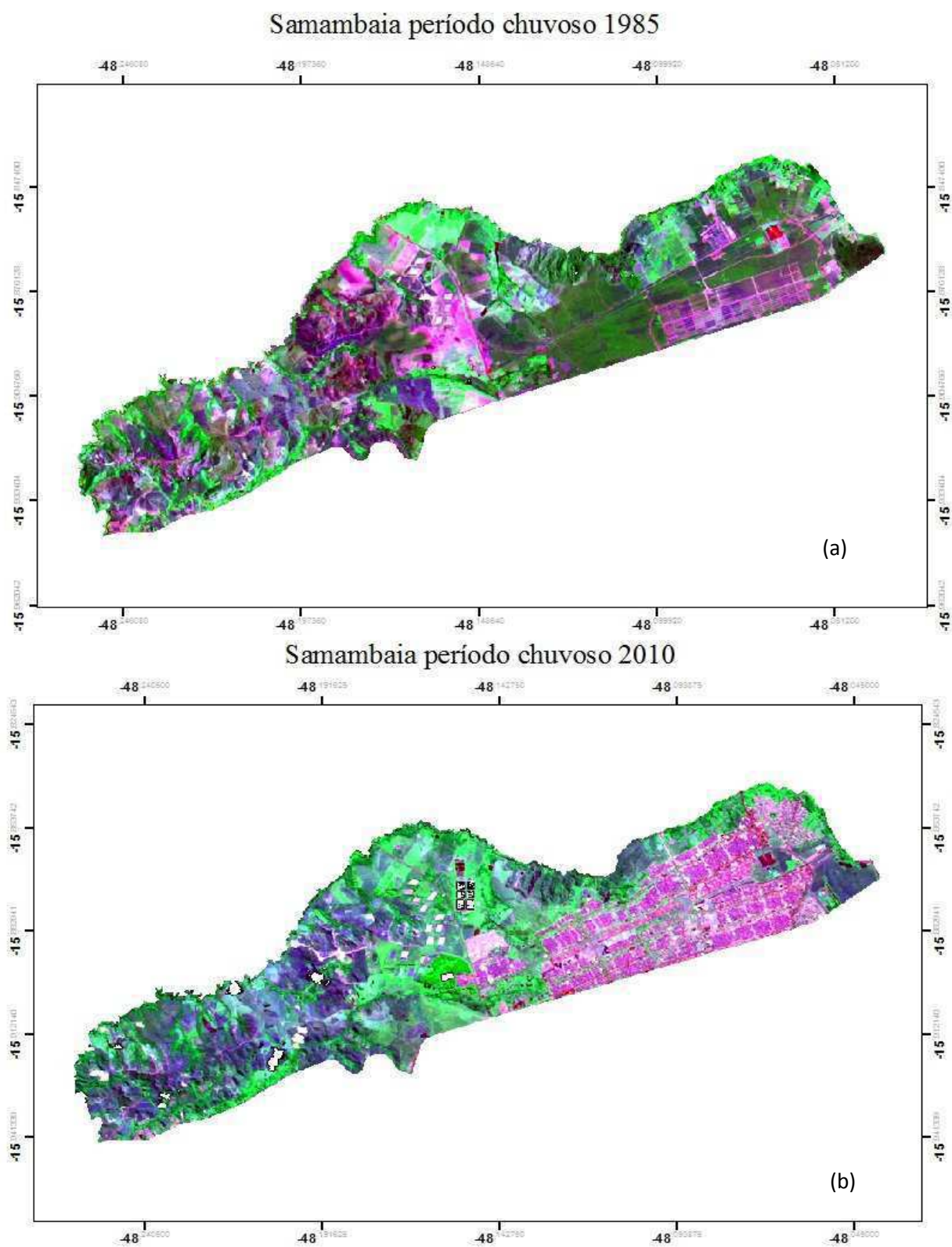


Figura 4.16 (a,b): Composição RGB para a Região Administrativa de Samambaia-DF para o período chuvoso em 1985 (a) e 2010 (b).



A Figura 4.16 (a e b) apresenta a composição colorida RGB respectivamente nos canais 3, 4 e 5 do Landsat-5 para comparação entre os anos de 1985 e 2010 no período chuvoso da região administrativa de Samambaia. Constata-se no ano de 2010 há maior presença de solo exposto, quando comparado a 1985, identificados pelas áreas em tons de vermelho, que pode estar associado com a urbanização (asfalto e concreto). Observa-se de modo análogo para a região de parte do Paranoá, que apresentou uma redução da área da vegetação em 2010 quando comparado com 1985, como pode ser observado nas Figuras 4.16a e 4.16b apresentado em tons verdes.

Em relação ao índice de conforto térmico humano proposto por Ono-Kawamura ( $ID_k$ ), que é usado para determinar a incidência de desconforto térmico sensível pelas pessoas devido ao calor ou frio excessivo, a Figura 4.17 apresenta uma comparação entre os anos de 1985 e 2010, em um período comum de dados para a região administrativa do Cruzeiro-DF e o resultado indica um aumento gradual ao longo do período, apresentando-se dentro da faixa de conforto, conforme a Tabela 4.10. Porém, pode-se perceber a elevação dos valores do Índice de Desconforto de Kawamura, mostrando uma tendência para níveis de desconforto devido ao calor, com maior elevação na estação seca.

Em relação ao índice de conforto térmico proposto por Thom & Bosen (1959), que consiste na análise a partir do índice de temperatura efetiva (TE) para região do Cruzeiro-DF, a Figura 4.18 mostra os valores encontrados para TE mensal dos anos de 1985 e 2010, que indicam um aumento expressivo de 1985 para 2010. Como pode ser observado na Tabela 4.11 e conforme descrito no Quadro 3.3, caracterizou-se o ano de 2010 de forte a muito forte desconforto, principalmente nos meses de janeiro (durante estação do verão), agosto e setembro (final do inverno e início da primavera), de forma a caracterizar o ano de 1985 com menor desconforto do que 2010, provavelmente devido ao desenvolvimento urbanista da região de estudo.

Tabela 4.10: Valores mensais calculados a partir do Índice de Desconforto proposto por Ono-Kawamura(1991) para os anos de 1985 e 2010.

Meses	IDK	IDK
	1985	2010
Janeiro	67,76	69,86
Fevereiro	69,085	70,40
Março	69,036	70,19
Abril	67,814	68,09
Maio	66,73	67,30
Junho	60,53	64,26
Julho	61,72	64,09
Agosto	64,87	63,99
Setembro	66,80	67,29
Outubro	68,16	70,27
Novembro	68,09	68,79
Dezembro	68,42	69,61

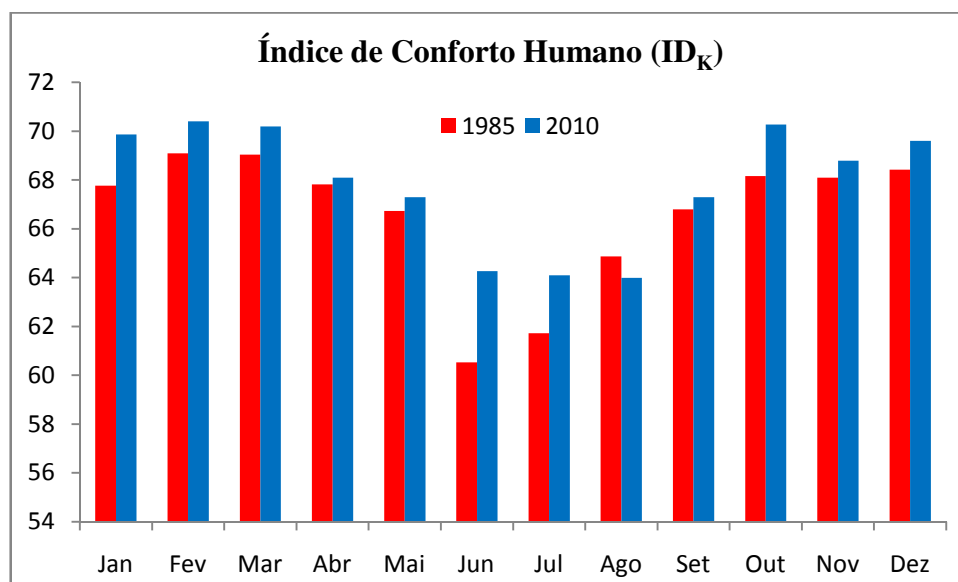


Figura 4.17: Índice de conforto térmico humano (IDk), proposto por Ono-Kawamura (ID<sub>k</sub>) para a região administrativa do Cruzeiro - DF.

Tabela 4.11: Valores mensais da Temperatura Efetiva (TE) dos anos de 1985 e 2010 proposto por Thom & Bosen (1959).

Meses	TE	TE
	1985	2010
Janeiro	24	31
Fevereiro	32	33
Março	28	30
Abril	29	32
Mai	30	34
Junho	34	34
Julho	33	36
Agosto	38	40
Setembro	37	43
Outubro	30	33
Novembro	30	28
Dezembro	28	29

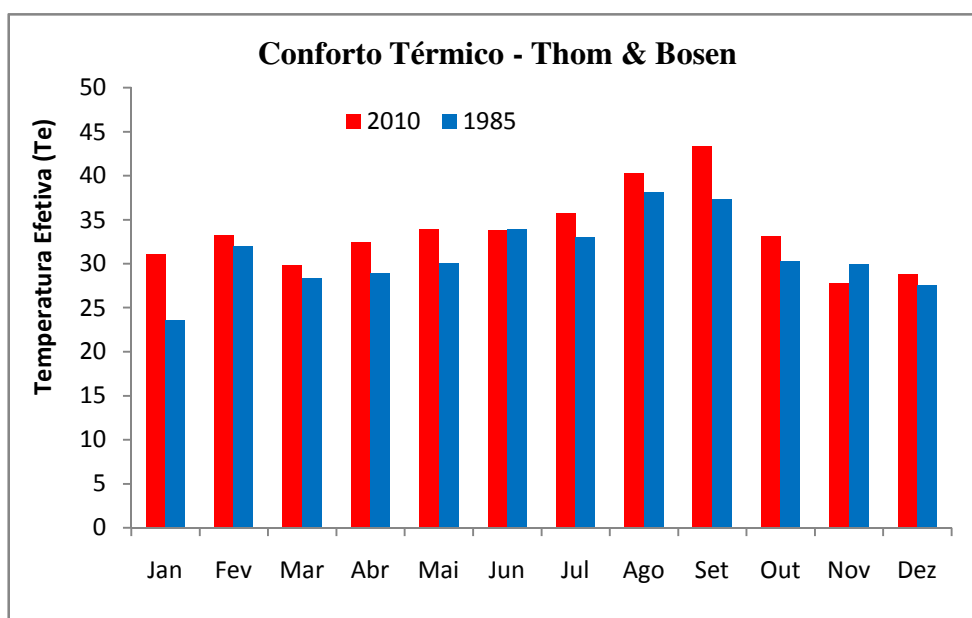


Figura 4.18: Índice de conforto térmico humano (IDk), proposto por Thom & Bosen para a região administrativa do Cruzeiro - DF.

A Figura 4.19 apresenta a média das temperaturas mínimas mensais a partir dos dados da estação meteorológica do INMET e indica, de forma geral, o aumento das temperaturas mínimas, com maior diferença durante os meses da estação seca no Distrito Federal, podendo estar associada ao decaimento da umidade relativa e, conseqüentemente, a retenção de calor pela atmosfera. A Figura 4.20 apresenta o gráfico do comportamento da velocidade do vento para os dois anos, onde se constata a redução da velocidade média mensal, podendo também estar associado a este processo de uso e ocupação urbanística. A Figura 4.21 apresenta o gráfico do comportamento médio mensal da umidade relativa, indicando decaimento no ano de 2011, (34%) em setembro, quando comparado ao ano de 1985 (50%), provavelmente associado à diminuição dos índices de vegetação (NDVI).

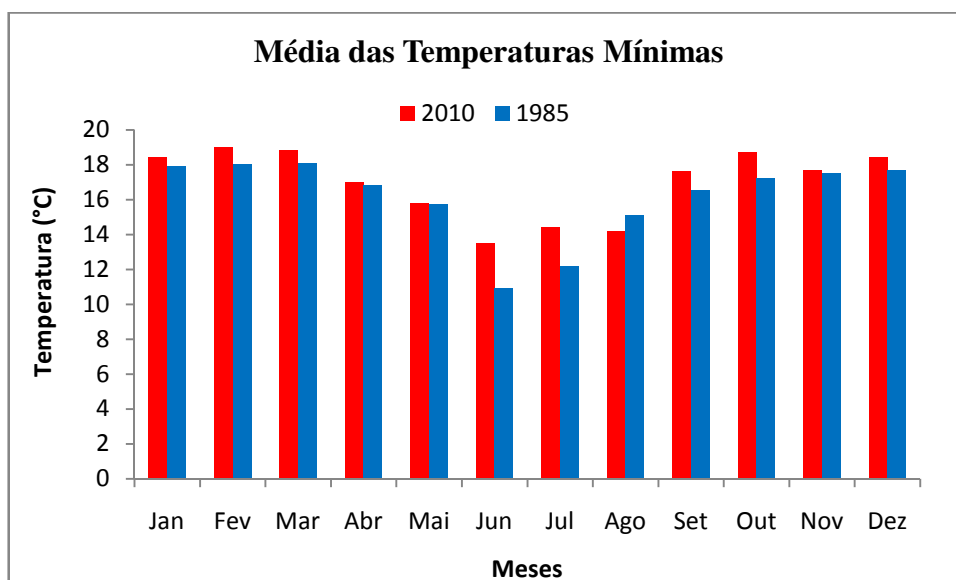


Figura 4.19: Comportamento mensal da média da temperatura mínima (°C) para os anos de 1985 (em azul) e 2010 (em vermelho). Fonte: INMET

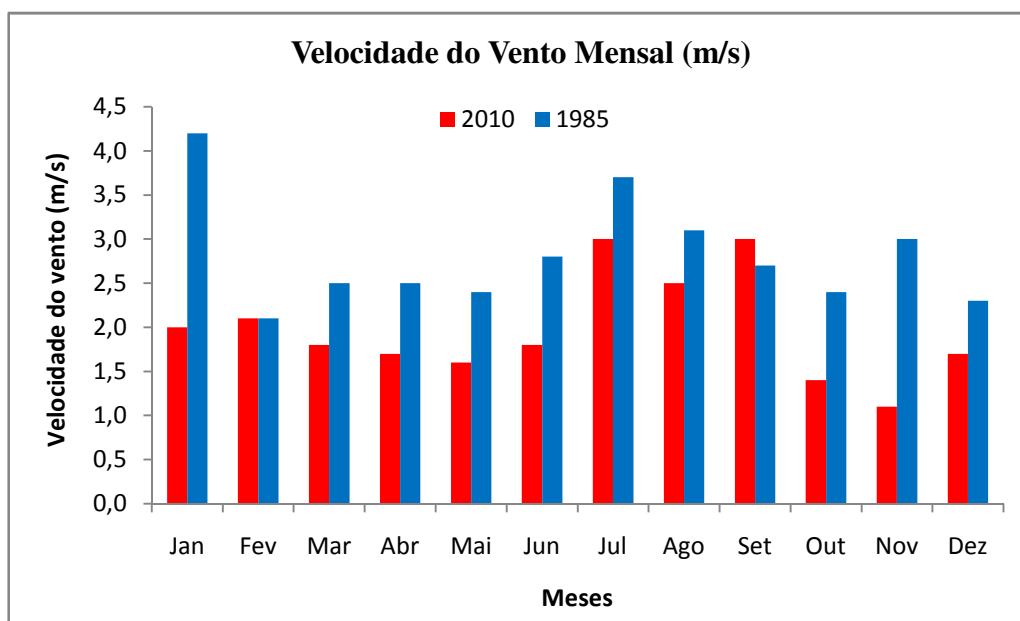


Figura 4.20: Comportamento mensal da média da velocidade do vento (m/s) para os anos de 1985 (em azul) e 2010 (em vermelho). Fonte: INMET

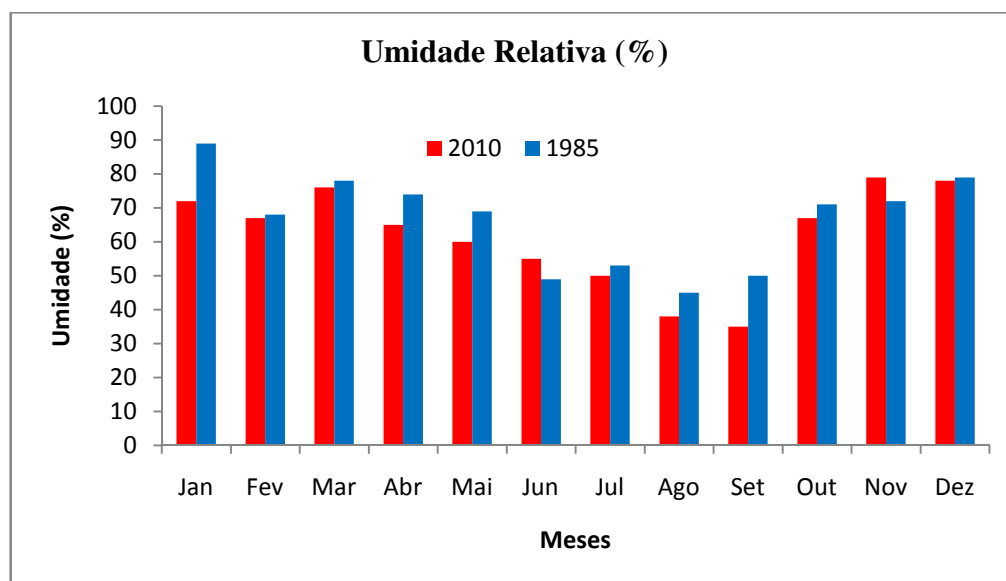


Figura 4.21: Comportamento mensal da média da umidade relativa do ar para os anos de 1985 (em azul) e 2010 (em vermelho). Fonte: INMET

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo identificar alterações em componentes do balanço de radiação a superfície, provocadas por alterações na ocupação e uso do solo em três regiões administrativas do Distrito Federal: Cruzeiro, Samambaia e parte do Paranoá.

Os resultados obtidos indicam a importância do estudo relacionando o sensoriamento remoto com aplicação ambiental na região de estudo uma vez que, o crescimento populacional associado com a urbanização, trazem como consequências alterações no microclima. Para o período de 1981-2010 foi identificado um aumento das temperaturas (média, mínima e máxima); em relação a 1961-1990, a umidade relativa e a velocidade do vento diminuíram de 1985 para 2010. Em relação às regiões administrativas analisadas, a resposta do albedo, saldo de radiação e o NDVI foram significativas para detectar o quanto influenciou no ambiente local de modo que em áreas urbanas o problema de mudança no uso e ocupação do solo é ainda mais intenso, uma vez que a impermeabilização decorrente da substituição, de áreas verdes por edificações e pavimentação provoca grandes alterações em alguns elementos climáticos e esse crescimento urbano proporciona alterações muitas vezes irreversíveis. Nas áreas selecionadas para comparação das médias (albedo, NDVI e saldo de radiação) verificou-se haver diferenças significativas entre as médias ao nível de significância de 5%, segundo o teste t-Student.

O estudo indicou uma associação significativa entre a redução da cobertura vegetal (NDVI médio) e o aumento do albedo de superfície em Brasília. Isso pode estar diretamente associado com a presença e/ou desenvolvimento de ilhas de calor, uma vez que há uma tendência positiva no aumento do desmatamento em Brasília de forma que o índice de conforto térmico mostrou um aumento em 2011 quando comparado com 1985. Esta pesquisa demonstrou que existem diferenças significativas nas variáveis saldo de radiação, NDVI e albedo, utilizadas para identificar o uso e ocupação do solo e que também ocorreram mudanças nas variáveis meteorológicas que estão relacionadas a este tipo de alteração, como velocidade do vento, temperaturas máximas e mínimas do ar, umidade relativa e índice de conforto térmico, que embora tenha permanecido na zona de conforto sofreu alterações tendendo subir para o nível de desconforto por alta temperatura.

As alterações na superfície contribuem para a mudança no microclima, que causa mudança do clima de uma região e numa escala maior pode alterar o clima global, sendo importante identificar essas relações entre o processo de urbanização e as mudanças no clima local. O presente estudo indicou uma associação significativa entre a redução da cobertura

vegetal (NDVI médio) e o aumento do albedo de superfície em Brasília. Isso pode estar diretamente associado com a presença e/ou desenvolvimento de ilhas de calor, uma vez que há uma tendência positiva no aumento do desmatamento em Brasília. Em relação ao índice de conforto térmico, a utilização deste índice, foi possível determinar a incidência de desconforto térmico sensível pelas pessoas devido ao calor ou frio excessivo, indicando que houve um aumento gradual nas últimas décadas para a zona de desconforto por calor.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO**. Irrigation and drainage, paper 56. Rome, Italy, 318p, 1998.
- ALLEN, R. G.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL) - Idaho implementation - Advanced training and **user's manual**, version 1.0, p. 97, 2002.
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. 2007. Satellite-based energy balance mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.395, p.380-394
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. **Irrigation and Drainage Systems**, v.19, p.251-268, 2005.
- ATAÍDE, K. R. P. **Determinação do saldo de radiação e radiação solar global com produtos do sensor Modis Terra e Aqua**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. - Universidade Federal de Campina Grande, 105p 2006.
- BALLING, R. C. JR. & CERVENY, R.S. Long-Term Associations between Wind Speeds and the Urban Heat Island of Phoenix, Arizona. **Journal of Applied Meteorology**, p.712-716, 1986.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Ph.D. Thesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, p. 273, 1995.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212/213, p.198-212, 1998.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, p.87-100, 2000.
- BASTIAANSEN, W.G.M. **Remote Sensing in Water Resources Management: The State of the Art**. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 118p, 1998.
- BASTIAANSEN, W.G.M.; NOORDMAN, E.J.M.; PELGRUM, H.; DAVIDS, G. SEBAL model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.131, p.85-93, 2005.



BEZERRA, M.V.C.; SILVA, B.B.da; BEZERRA, B.G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.7, p.709-717, 2011.

BEZERRA, B. G. SILVA, B. B. da; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, p.305-317, 2008.

BISHT, G.; VENTURINI, V.; ISLAM, S.; JIANG, L. E. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. **Remote Sensing of Environment**, v.97, p.52-567, 2005.

COSTA, R. L., SILVA, F.D.S., ATAÍDE, K.R.P., BAPTISTA, G.M.M., Análise Do Índice De Conforto Térmico Humano Na Região Do Distrito Federal, **Anais do XVII CBMET**, 2012.

Cdbrasil. Disponível em: (<<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/txt/landsat.htm/>>). Acesso em 12 de junho de 2012.

CODEPLAN, Coletânea de Informações Socioeconômicas 2007. Em (<[http://www.codeplan.df.gov.br/menu\\_de](http://www.codeplan.df.gov.br/menu_de)> acesso em 12 novembro 2012)

COSTA, R. L.; SILVA, F. D. S.; ATAÍDE, K. R. P.; BAPTISTA, G. M.; Análise do Índice de Conforto Térmico Humano na Região do Distrito Federal. XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2012.

DUARTE, H. F., DIAS, N. L., Maggiotto, S. R. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 139, p.171–181, 2006.

DI PACE, F. T. Estimativa do Balanço de Radiação à Superfície Terrestre Utilizando Imagens TM - Landsat 5 e Modelo de Elevação Digital. Tese de Doutorado em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, p. 120, 2004.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C.; DIAS, B. J.; REZENDE, A.V. Estudo fenológico de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville no cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.22, n.1, p.83-90, 1999.

GOMES, H. B.; SILVA, B. B. da; CAVALCANTI, E. P.; ROCHA, H. R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, v.28, p.153-164, 2009.

GUSMÃO, A. C. V. L., Obtenção do saldo de Radiação por meio de Imagens de Satélite para Ilha do Bananal - TO. Dissertação de Mestrado 2011.

HUETE, A. R.; Tucker, C.J. Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, p.1223-1242, 1991.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p.295-309, 1998.

IQBAL, M. An Introduction to solar radiation. Library of Congress Cataloging in Publication. **Academic Press**, NY, 1983.

KATSOULIS, B. D. & THEORARATOS, G. A. Indications of the Urban Heat Island in Athens, Greece. **Journal of Applied Meteorology**, p.1296-1302, 1985.

KUSTAS, W. P.; MORAN, S. M.; JACKSON, R. D.; GAY, L. W.; DUELL, L. F. W.; KUNKEL, K. E.; MATTHIAS, A. D. Instantaneous and Daily Values of the Surface Energy Balance over Agricultural Fields Using Remote Sensing and a Reference Field in an Arid Environment. **Remote Sensing of Environment**, v.32, p.125-141, 1990.

LIANG, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo - I Algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v.76, p.213-238, 2002.

LOMBARDO, Magda Adelaide. Ilhas de Calor nas Metr p les. Ed. Hucitec, São Paulo. 1985

LUTGENS, F. K. & TARBUCK, E. J. **The Atmosphere: an introduction to meteorology**, Prentice-Hall, 1979.

MARKHAM, B. L., BARKER, J. L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

MENDONÇA, J. C. Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense. Rio de Janeiro: UENF, 2007. Originalmente apresentada como tese de Doutorado em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2007. 145p.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. & Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, p.853-858, 2000.

PINKER, R. T.; EDWING, J. A.; TARPLEY, J. D. The relationship between the planetary and surface net radiation. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v.24, p.1262-1268, 1985.

POTTER, C.S.; BROOKS, V. Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.15, p.2921-2948, 1998.

RICHARDS, Y.; POCCARD, I. A statistical study of NDVI sensitivity to seasonal and interannual rainfall variations in southern Africa. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.15, p.2907-2920, 1998.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

SILVA, B. B. da; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p.145-152, 2011.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.3, p.142–149, 2010.

SANTOS, F. A. C. Alterações no balanço radiativo e impactos climáticos decorrentes do uso da terra no estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pp.83, 2011.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. de M.. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3911-3918.

MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C.A.G.P.; LOMBARDO, M.A. Ilha de Calor em Cuiabá/MT: uma Abordagem de Clima Urbano. In: Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente 3., 1991, Londrina. **Anais...** Londrina/PR: Comunicações, 1991. p. 561-571.

MENESES, P. R. O; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa - Cerrados, p.262, 2001.

OLIVEIRA, L. L.; VIANELLO, R. L.; FERREIRA, N.J. **Meteorologia Fundamental**, Erechim/RS; EdiFAPES, p.432,2001.

ONO, H. S. P.; KAWAMURA, T. Sensible Climates in Monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, v.35, p. 39-47, 1991.

RANDOW , C. V.; MANZI, A. O.; Kruijt, B.; Oliveira, P. J. de; Zanchi, F. B.; Silva, R. L.; Hodnett, M. G.; Gash, J. H. C.; Elbers, J. A.; Waterloo, M. J.; Cardoso, F. L.; Kabat, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, p.5–26, 2004.

ROUSE, J.W. et al Monitoring vegetation system and great plains with ERTS. **Earth Resources Technology Satellites**. Washington.v.1,p.309-317,mar. 1973.

UNESCO. Uma Avaliação Multitemporal da Perda de Cobertura Vegetal no DF e da Diversidade Florística da Reserva da Biosfera do Cerrado – Fase I. Vegetação no Distrito Federal – Tempo e Espaço. 2ª ed.. 80p., 2002.

USGS Complete Decommissioning of Landsat 5. Disponível em <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=5596>. Acesso em 03.11.2013.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**, versão digital 2, p. 463, 2006.

VICENTE-SERRANO, S.M.; CUADRAT, J.M.; ROMO, A. Aridity influence on vegetation patterns in the middle Ebro valley (Spain): evaluation by means of AVHRR images and climate interpolation techniques. **Journal of Arid Environments**, v.66, p.353–375, 2006.

WELIGEOPOLAGE, K. Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration by satellite remote sensing - A case study in Hupselse Beek, The Netherlands. Enschede: ITC, 2005. 127p. Thesis.

WYDICK,J., DAVIS, P. & GRUBER, A. Estimation broadband planetary albedo from operational narrowband satellite measurements. NOAA Technical Reports, NESDIS 27, 32p, 1987.