



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB**  
**CENTRO DE EDUCAÇÃO - CEDUC**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA - DG**  
**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOAMBIÊNCIA**  
**E RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO**

**ANÁLISES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA, ALBEDO  
E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO COM BASE  
EM IMAGENS TM/LANDSAT 5**

**MADSON TAVARES SILVA**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**JUNHO / 2012**

**ANÁLISES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA, ALBEDO  
E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO COM BASE  
EM IMAGENS TM/LANDSAT 5**

**MADSON TAVARES SILVA**

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. **HERMES ALVES DE ALMEIDA**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**JUNHO / 2012**

**MADSON TAVARES SILVA**

**ANÁLISES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA, ALBEDO  
E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO COM BASE  
EM IMAGENS TM/LANDSAT 5**

Monografia do curso de Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido, da Universidade Estadual da Paraíba, como parte integrante dos requisitos para obtenção do grau de Especialista.

**Área de concentração:** Recursos Hídricos do Semiárido

**Subárea:** Climatologia

**CAMPINA GRANDE – PB**

**JUNHO / 2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

S586a Silva, Madson Tavares.

Análises do índice de vegetação da diferença normalizada, albedo e temperatura da superfície no semiárido pernambucano com base em imagens tm/landsat 5 [manuscrito] / Madson Tavares Silva. – 2012.

**64 f.: il. color.**

**Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Educação, 2012.**

“Orientação: Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida, Departamento de Geografia”.

1. Precipitação pluvial. 2. Monitoração ambiental. 3. Flora pernambucana. 4. Caatinga. 5. Sensoriamento remoto. I. Título.

21. ed. CDD 621.3678

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**MADSON TAVARES SILVA**

**ANÁLISES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA, ALBEDO  
E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO COM BASE  
EM IMAGENS TM/LANDSAT 5**

**APROVADO EM: 20 / 07 / 2012**

**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_

**Prof. Dr. HERMES ALVES DE ALMEIDA (Orientador)**

Departamento de Geografia - DG  
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

  
\_\_\_\_\_

**Dr. GLEIBSON DIONÍZIO CARDOSO (Examinador)**

Centro Nacional de Pesquisas do Algodão - CNPA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

  
\_\_\_\_\_

**Profa. Msc. NADJACLÉIA VILAR ALMEIDA (Examinadora)**

Departamento de Engenharia e Meio Ambiente - DEMA  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Quando tudo está perdido  
Sempre existe um caminho  
Quando tudo está perdido  
Sempre existe uma luz...

Dado Villa-Lobos/ Renato Russo/ Marcelo Bonfá

## DEDICATÓRIA

A Deus,

por sempre estar comigo, mesmo quando nem mesmo eu acreditava que iria conseguir superar as dificuldades encontradas ao longo dessa jornada.

A meus pais,

Manoel e Justina, pela compreensão e apoio incondicional, fazendo tudo que era possível e às vezes quase o impossível para me proporcionar condições que me fizessem uma pessoa capaz de traçar meus próprios caminhos, sempre com caráter, força e dedicação.

A minha irmã Márcia Tavares,

que sempre esteve ao meu lado, não apenas como irmã, mas sempre como uma amiga com dedicação quase que exclusiva.

A minha namorada,

Stephanny Egito,

pelo companheirismo, dedicação e incentivo oferecido ao longo da história que estamos construindo.

A todos os colegas e amigos do curso de Especialização,

que sempre me ajudaram quando foi necessário, e estarão sempre comigo mesmo que por acaso do destino possamos nos separar algum dia.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida, por acreditar na minha proposta de trabalho, e não menos importante pelos conselhos, nos momentos de tomadas de decisão, não apenas para minha vida acadêmica, mas para vida em construção de um ser humano justo.

Aos membros da banca examinadora, pela colaboração na melhoria e no engrandecimento desse trabalho.

A todos os professores que fazem parte do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Estadual da Paraíba, que sempre me ajudaram.

Aos funcionários do Departamento de Geografia da Universidade Estadual da Paraíba, que se mostraram sempre dispostas a ajudar quando precisei.

A Universidade Estadual da Paraíba, pela excepcional estrutura de ensino e pesquisa.

De forma geral, agradeço a todos que de algum modo fizeram parte dessa conquista muito importante na minha vida.

## RESUMO

SILVA, M. T. **Análises do índice de vegetação da diferença normalizada, albedo e temperatura da superfície no semiárido pernambucano com base em imagens tm/landsat 5.** Campina Grande – PB: DG/UEPB, 2012.

A precipitação é um dos elementos clima que influencia na variação espacial e temporal da cobertura vegetal em qualquer região e, em especial, no bioma caatinga do semiárido nordestino. Diante disto, houve a necessidade de analisar as relações sazonais da precipitação pluvial no semiárido do Estado de Pernambuco com as classes de uso e cobertura do solo e as variações no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), utilizando-se análises de componentes principais e técnicas de sensoriamento remoto, sendo essas determinações os objetivos principais deste trabalho. Quatro imagens do sensor Thematic Mapper (TM), do satélite Landsat 5, datadas de 12/12/1991, 09/12/1996, 13/12/2003 e 27/11/2009, constituíram a unidade experimental, cujas variáveis foram estimadas usando-se o algoritmo *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL), além dos dados diários de precipitação de 1996 e 2009 e da série 1975 a 2010. Os principais resultados indicaram que a quantidade e a distribuição de chuvas influenciaram na temperatura da superfície e nos valores dos índices de reflexão e IVDN, destacando-se pelo elevado poder de recuperação na cobertura vegetal, como a que ocorreu no ano de 1996, e expresso pelo maior valor do IVDN. Conclui-se que as técnicas de sensoriamento remoto associadas as de componentes principais se mostraram eficientes para quantificar as variabilidades espaço-temporal dos elementos do clima e do índice de vegetação da diferença normalizada para as condições do semiárido pernambucano.

**Palavras-Chave:** Índices espectrais de vegetação, precipitação pluvial, vegetação sazonal da caatinga.

## ABSTRACT

SILVA, M. T. **Analysis of the normalized difference vegetation index, albedo and surface temperature in the semiarid pernambucano based image tm / landsat 5.** Campina Grande – PB: DG/UEPB, 2012.

Precipitation is one of the climate that influences the spatial and temporal variation of vegetation in any region, especially in the northeastern semi-arid caatinga biome. Given this, it was necessary to analyze the relationship of seasonal rainfall in the semiarid region of Pernambuco State with the use classes and land cover and changes in the Index of Normalized Difference Vegetation (NDVI), using principal component analysis and remote sensing techniques, such determinations are the main objectives of this work. Four images of the sensor Thematic Mapper (TM), Landsat 5, dated 12/12/1991, 09/12/1996, 13/12/2003 and 27/11/2009, were the experimental unit, which were estimated algorithm using the Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL), and daily precipitation data from 1996 and 2009 series from 1975 to 2010. The main results indicated that the amount and distribution of rainfall influenced the surface temperature and the values of the indices of reflection and NDVI, especially the high resilience in vegetation cover, such as occurred in 1996, and expressed by higher value of NDVI. It is concluded that remote sensing techniques associated with the principal components were efficient to quantify the spatio-temporal variability of climatological index and normalized difference vegetation conditions for the semi-arid Pernambuco.

**Keywords:** Spectral vegetation indexes, rainfall, seasonal caatinga vegetation.

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1 - Uso do Solo e Produtividade das Culturas no Pólo Juazeiro-BA/Petrolina-PE .....	15
2.2 - Aplicabilidade do satélite Landsat 5 .....	15
2.3 - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – IVDN .....	17
2.4 - Albedo da superfície .....	18
2.5 - Temperatura da Superfície .....	18
2.6 - Análise de Componentes Principais (ACP) .....	19
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
3.1 - Área de estudo .....	19
3.2 – Variáveis meteorológicas .....	21
3.3 - Dados de sensoriamento remoto .....	21
3.3.1 - Calibração radiométrica .....	22
3.3.2 - Reflectância Monocromática .....	23
3.3.3 - Albedo Planetário .....	23
3.3.4 - Albedo da superfície .....	24
3.3.5 - Índices de vegetação .....	24
3.3.6 – Emissividades .....	25
3.3.7 - Temperatura da superfície .....	25
3.4 - Análise Estatística .....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
4.1 - Padrões de variabilidade temporal da precipitação .....	27
4.2 - Padrões de variabilidade espaço-temporal dos parâmetros de superfície .....	31
4.2.1 - Albedo da superfície .....	31
4.2.2 - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) .....	34
4.2.3 - Temperatura da superfície .....	38
4.3 - Padrões de variabilidade espaço-temporal dos parâmetros de superfície e precipitação ..	39
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	43
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	44

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1	Localização da área de estudo	20
Figura 2	Composição RGB342 do TM - Landsat 5 para os seguintes dias de estudo: 12/12/1991 (A), 09/12/1996 (B), 13/12/2003 (C) e 27/11/2009 (D)	22
Figura 3	Totais anuais de precipitação pluvial para estação agrometeorológica de Bebedouro, PE, no período de 1975 a 2010.	27
Figura 4	Totais mensais de precipitação pluvial para estação agrometeorológica de Bebedouro, PE, distribuídos ano a ano no período de 1975-2010.	28
Figura 5	Correlações mensais das cinco componentes da Análise de Componentes Principais, para precipitação pluvial, em Bebedouro, PE, no período de 1975 a 2010.	30
Figura 6	Distribuição dos escores anuais da precipitação pluvial, em Bebedouro, PE, em função dos fatores de 1 a 5.	30
Figura 7	Albedo da superfície obtido através de imagens do sensor TM para os seguintes dias de estudo: 12/12/1991 (A), 09/12/1996 (B), 13/12/2003 (C) e 27/11/2009 (D), para o semiárido pernambucano.	33
Figura 8	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), obtido através de imagens do sensor TM para os dias : 12/12/1991 (A), 09/12/1996 (B), 13/12/2003 (C) e 27/11/2009 (D), para o semiárido pernambucano.	35
Figura 9	Distribuição espacial do primeiro fator (escore).	37
Figura 10	Distribuição espacial do segundo fator (escore).	37
Figura 11	Temperatura da superfície obtida através do sensor TM, no semiárido pernambucano, para os dias: 12/12/1991 (A), 09/12/1996 (B), 13/12/2003 (C) e 27/11/2009 (D), para o semiárido pernambucano.	39
Figura 12	Mapa temático da cobertura do solo para área estudo, de acordo com o IVDN de cada pixel para o dia 09/12/1996 (A), associado com a distribuição da precipitação pluvial no período de 15 de novembro a 15 de dezembro de 1996 (B), para o semiárido pernambucano.	41
Figura 13	Mapa temático da cobertura do solo para área estudo, de acordo com o IVDN de cada pixel para o dia 13/12/2003 (A), associado com a distribuição da precipitação pluvial no período de 15 de novembro a 15 de dezembro de 2003 (B), para o semiárido pernambucano.	42
Figura 14	Variação na área (km <sup>2</sup> ) em função das classes de cobertura de solo obtidas de acordo com classificação do IVDN de cada pixel para o semiárido pernambucano, nos dias 09/12/1996 e 13/12/2003.	43

## LISTA DE TABELAS

		Pág.
Tabela 1	Esquema de recapitulação da série Landsat.	16
Tabela 2	Características espectrais e espaciais do sensor TM	17
Tabela 3	Datas, dia de ordem do ano (DOA), tempo médio de Greenwich (GMT), ângulo de elevação do sol (E) e ângulo zenital solar (Z).	21
Tabela 4	Constantes de calibração e irradiância solar espectral no topo da atmosfera para o TM – Landsat 5.	23
Tabela 5	Sequência dos cinco componentes da análise de componentes principais, autovalores e da contribuição percentual da variância total e acumulada para os totais anuais de precipitação pluvial na estação agrometeorológica de Bebedouro, PE, média do período: 1975 a 2010.	29
Tabela 6	Valores mínimo, máximo, média, mediana, moda e desvio padrão (D. Pad.) do albedo da área estudada, obtidos digitalmente na carta de albedo da superfície.	31
Tabela 7	Valores de referência do albedo (%) para diferentes tipos de superfícies.	32
Tabela 8	Valores mínimo, máximo, média, mediana, moda e desvio padrão (D. Pad.) dos índices de vegetação da diferença normalizada no semiárido pernambucano.	34
Tabela 9	Componentes, autovalores e percentuais de variância total e acumulada, nas condições iniciais e das componentes rotacionados do IVDN para o semiárido pernambucano.	36
Tabela 10	Contribuição das duas componentes, variação temporal	36
Tabela 11	Temperaturas do ar à superfície (°C): mínima, máxima, média, mediana, moda e desvio padrão (D. Pad.), obtidas na análise estatística do sensor TM, para o semiárido pernambucano.	38

## 1 - INTRODUÇÃO

A maior parte da Região Nordeste do Brasil compõe o semiárido nordestino, onde a temperatura média anual oscila de 24 a 28 °C, há uma irregularidade espacial e temporal na quantidade e na distribuição da precipitação pluvial e elevada taxa de evaporação (Strang, 1972). Esta região é frequentemente submetida aos efeitos das estiagens, sendo mais pronunciados nas áreas do chamado “Polígono das Secas”, cuja precipitação média anual é inferior a 500 mm, alcançando valores extremos abaixo de 400 mm, na parte semiárida da Paraíba e Pernambuco, assim como próximo a Petrolina no vale do São Francisco (Strang, 1972).

O Submédio do Vale do São Francisco é o principal centro produtor e exportador de uvas de mesa do Brasil, destacando-se os municípios de Santa Maria da Boa Vista e Petrolina, no Estado de Pernambuco, com 54% da área cultivada, seguidos dos municípios de Juazeiro, Casa Nova, Curaçá e Sento Sé, no Estado da Bahia, onde a videira tem uma grande importância socioeconômica pelo grande número de empregos gerados. A área plantada com essa cultura tem se expandido significativamente nos últimos anos, nessa região (Silva & Correia, 2000).

A cobertura vegetal é predominada por diversos padrões morfológicos que depende da localização geográfica e das condições climáticas. A porção mais semiárida concentra-se a caatinga arbustiva, densa ou aberta, que perde a folhagem durante o período de estiagem e reenfolha logo após o retorno das chuvas (IBGE, 2004).

Os estudos contemporâneos com enfoque físico-ambiental e o emprego de geotecnologias possuem relevância no escopo das geociências, pois, a partir deles, é possível entender as condições gerais da paisagem, contribuindo para o desenvolvimento de prognósticos e interpretações geoambientais (Lang et al. 2009).

Atualmente, com o acesso aos produtos obtidos de sensores orbitais, como imagens multitemporais e dados interferométricos, é possível elaborar diversos produtos, dentre eles, mapas de declividades, curvas de nível, modelos sombreado do terreno, destacando a arquitetura do relevo (estruturas, modelados, rede de drenagens, hierarquia de drenagens, entre outros), em diversas escalas (locais, regionais e continentais) proporcionando diversos tipos de análises no âmbito dos estudos geoambientais (Valeriano, 2008; Ross, 2006; Silva, 2003; Florenzano, 2008).

Os dados de sensoriamento remoto tem sido de fundamental importância em pesquisas direcionadas a estudar diferentes parâmetros da atmosfera, assim como o comportamento da vegetação. Tal abordagem procura tornar mais operacional o sistema de monitoramento da vegetação principalmente de extensas áreas, tendo como apoio informações coletadas de satélites meteorológicos e ambientais. Por meio da radiação refletida no infravermelho próximo (IVp) e

visível (VIS), oriunda dos sistemas de sensores AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer) do satélite NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration) e/ou TM (Thematic Mapper)/Landsat, é possível fazer a distinção entre uma superfície vegetada e outros alvos da superfície, por exemplo, areia, rochas, água etc, o que possibilita definir o mapeamento da vegetação tanto no âmbito regional como no global. O índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) é estimado pela relação entre as duas refletâncias, dos dois canais (IVp e VIS). Para vegetação seca, o IVDN é baixo, mas é alto para vegetação em pleno vigor. Isto ocorre devido à pigmentação da cor verde da vegetação sadia refletir mais no infravermelho próximo e menos no canal do visível, o que ocasiona altos valores para o IVDN (Parkinson, 1997).

Segundo Silva et al. (2011), o Brasil apresenta grande diversidade espaço-temporal quanto à ocupação de suas terras, com características e dinâmicas específicas para a agricultura, pastagens, reflorestamentos, vegetação natural, urbanização e mineração. Em face da necessidade de atualizações constantes da dinâmica do uso das terras, diversos estudos sobre a cobertura do solo foram efetuados com imagens TM/Landsat 5.

Braga et al. (2003) fizeram uso de dados do IVDN do AVHRR / NOAA e precipitação pluvial para determinar o tempo de resposta da vegetação às precipitações em regiões homogêneas na região Nordeste do Brasil. Os resultados mostraram que na Caatinga os maiores valores do IVDN ocorrem com defasagem temporal de um mês, após a maior precipitação pluvial, enquanto que, para os demais tipos de cobertura, a defasagem é de dois meses.

Em outros estudos, mapas de energia solar para o Brasil foram gerados utilizando-se dados do satélite GOES-EAST para resolver a equação de transferência radiativa da atmosfera (Martins et al., 2007). As aplicações de imagens de satélites podem favorecer a agricultura, conservação de água e solo, planejamento de cidades, proteção do meio ambiente e o monitoramento de riscos climáticos (Yuliang et al., 2009).

Houborg et al. (2007) desenvolveram um método numérico combinando índices de vegetação e parâmetros biofísicos usando o sensor MODIS Aqua-Terra em uma região da Dinamarca. Os resultados indicaram uma relação entre o IAF medido e o estimado de 62%, 46% e 63% da variância para as áreas de cultivo de cevada, trigo e sobre locais de floresta, respectivamente. Dantas (2008) utilizou dados do sistema de sensores AVHRR/NOAA e Landsat 5 /TM para encontrar uma relação funcional entre albedo, IAF, IVDN, SAVI e Fração na vegetação sobre diferentes alvos nas proximidades de Quixeré - CE.

Gurgel (2003) analisou as conexões entre o IVDN e as variabilidades dos elementos do clima anual e interanual no Brasil, aplicando a técnica de análise por componentes principais

(ACP) aos dados mensais de IVDN derivado do AVHRR, para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 1993, cujos resultados mostram que a ACP aplicada ao IVDN possibilita caracterizar a variabilidade anual e interanual dessas tipologias de vegetação relacionadas com a variabilidade climática.

Segundo Anderson (1984), existe, basicamente, duas formas de classificar as análises multivariadas: as que permitem extrair informações a respeito da independência entre as variáveis que caracterizam cada elemento, tais como análises fatorial, de agrupamento, canônica, de ordenamento multidimensional e de componentes principais; e as que permitem extrair informações a respeito da dependência entre uma ou mais variáveis ou uma com relação à outra, tais como as de regressão multivariada, de contingência múltipla, de discriminante e de variância multivariada.

Weare & Nasstrom (1982) destacam que os pontos mais importantes da utilização do método da Análise de Componentes Principais são: (i) a descrição satisfatória das variações de um campo complexo a partir de um número relativamente pequeno de funções, associando os coeficientes temporais; (ii) o fato de que as funções empíricas derivadas desta técnica são favoráveis para interpretações físicas; (iii) a ACP é adequada para campos espaciais em grades regulares ou não. Este método estatístico tornou-se mais popular em ciências atmosféricas a partir do trabalho de Lorenz (1956), que chamava a técnica de funções ortogonais empíricas (Empirical Orthogonal Function - EOF). De acordo com Wilks (1995), ambos os nomes são usados e se referem ao mesmo conjunto de procedimentos.

A ACP possui uma vasta aplicabilidade, por exemplo, pode ser utilizada para extrair padrões independentes dinâmicos e físicos, para representar variabilidade natural, ou flutuações. Kim e Wu (1999) destacaram uma aplicação essencial da ACP em estudos climáticos nas áreas de previsão, estimativas e detecção de mudanças climáticas.

No presente trabalho utilizou-se a ACP para reduzir a dimensão do conjunto de dados de precipitação e do IVDN procurando manter a maior parte da variabilidade existente nos conjuntos originais. Essas técnicas de análises permitiram avaliar a influência da variabilidade da precipitação na variação espacial e temporal da vegetação no semiárido pernambucano, sendo essas determinações os objetivos principais deste trabalho, tendo, ainda, os seguintes objetivos específicos:

- Gerar cartas de albedo da superfície, índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) e temperatura da superfície (Ts) para quatro datas distintas (12/12/1991, 09/12/1996, 13/12/2003 e 27/11/2009);

- Determinar as componentes principais referentes à variabilidade temporal da precipitação e espaço temporal do IVDN;
- Determinar as classes de cobertura do solo na área de estudo com base nas cartas de IVDN;

## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 - Uso do Solo e Produtividade das Culturas no Pólo Juazeiro-BA/Petrolina-PE**

Os estudos de solo realizados pela SUDENE, (1973), na década de 1960, identificaram diversas áreas no Submédio do Vale do São Francisco com grande potencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada. Na margem esquerda do rio, predominam solos de textura arenosa a média, enquanto na margem direita, são das classes média a muito argilosa. Nestas áreas, encontram-se implantados projetos de irrigação públicos e privados, totalizando 80.000 hectares. São públicos os projetos de irrigação Senador Nilo Coelho, Bebedouro (município de Petrolina), Tourão, Mandacaru, Maniçoba e Curaçá (município de Juazeiro). Mais 40.000 hectares estão em fase de implantação nos projetos Salitre e Pontal. Com exceção da cultura do melão, que se adapta bem aos solos argilosos ou muito argilosos, as demais culturas se desenvolvem satisfatoriamente tanto em solos arenosos quanto em solos argilosos. As mais importantes culturas em exploração no Pólo Juazeiro-BA/Petrolina-PE e as respectivas produtividades médias são indicadas a seguir (toneladas/hectare): manga (20), uva (40, em duas safras), banana (40), goiaba (25), cana-de-açúcar (110), tomate (60), cebola (30), acerola (60), melancia (25) e abóbora (25).

### **2.2 - Aplicabilidade do satélite Landsat 5**

O sensoriamento remoto é o conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre, através do registro da interação da irradiância eletromagnética com a superfície, utilizando-se sensores distantes ou remotos. As imagens orbitais são reconhecidas pelo seu baixo custo, quando comparadas com os métodos tradicionais de extração de informações geométricas a partir de fotografias aéreas (fotogramétricas) e topográficas. Mendonça (2007) cita que esses termos são usados para definir tecnologias que permitem estudar algumas características de um objeto, sem que, necessariamente, se estabeleça contato com ele. O sensoriamento remoto para Florenzano (2002) é uma técnica que permite

obter imagens ou outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação e/ou do registro da energia refletida ou emitida por alvos.

Dados espectrais obtidos por sensores a bordo de satélites e armazenados em formato digital, nas faixas espectrais do visível e do infravermelho (refletido e termal), são utilizados para obtenção do saldo de irradiância de um dispositivo de exibição, através de um pixel que é o menor ponto para formar uma imagem digital (Allen et al., 2002). Para suprir deficiências de obtenção de dados de campo, o sensoriamento remoto tem permitido a obtenção e a estimativa, com elevado grau de precisão, do albedo da superfície, de índices de vegetação, da temperatura da superfície, da emissividade, dos balanços de radiação e de energia à superfície e da evapotranspiração. Segundo Silva et al. (2005b), o saldo de irradiância é indispensável à utilização do sensoriamento remoto para obter os fluxos de calor sensível, latente e no solo e a evapotranspiração, por serem a principal fonte de energia a ser repartida no aquecimento do solo, ar e no processo da evapotranspiração.

O sensoriamento remoto apresenta uma grande vantagem, tendo em vista o tamanho da área de cobertura espacial nas imagens de satélites. Bastiaanssen et al. (1998) relataram que estimar a evapotranspiração mediante essa técnica oferece uma grande vantagem que é a de obter-lá para diferentes condições de cobertura do solo.

As imagens do satélite Landsat são as mais usadas em todo o mundo. O principal objetivo do sistema Landsat foi o mapeamento multiespectral em alta resolução da superfície da Terra. A série Landsat (Land Remote Sensing Satellite) foi iniciada em 1972 (como mostra a Tabela 1) com o lançamento do satélite ERTS-1, sequenciado com o Landsat 2, 3, 4 e, sobretudo, o Landsat 5 e 7. Atualmente, o único satélite em operação é o Landsat 5, que leva a bordo o sensor TM (Thematic Mapper) e contribui para o mapeamento temático da superfície terrestre Engesat, (2011).

**Tabela 1.** Esquema de recapitulação da série Landsat.

Satélite	Data de Lançamento	Sensor a bordo	Término da Operação
Landsat1	23 de julho de 1972	MSS e RBV	Janeiro de 1978
Landsat2	22 de janeiro de 1975	MSS e RBV	Julho de 1983
Landsat3	05 de março de 1978	MSS e RBV	Setembro de 1983
Landsat4	16 de julho de 1982	TM e MSS	Setembro de 1984
Landsat5	01 de março de 1985	TM e MSS	Em atividade
Landsat6	05 de outubro de 1993	ETM	Fracassou
Landsat7	05 de abril de 1999	ETM <sup>+</sup>	Mai de 2003

Fonte: Engesat, 2011.

As imagens TM do satélite Landsat5 possuem 7 bandas espectrais e são amplamente utilizadas para fazer estudos sobre a cobertura vegetal, pois a vegetação possui características espectrais particulares nas faixas do vermelho e infravermelho próximo. Na faixa do vermelho, a clorofila absorve a energia solar ocasionando uma baixa reflectância, enquanto na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam uma alta reflectância da energia solar incidente Allen et al. (2002). Nesse sentido, quanto maior o contraste entre essas bandas, maior o vigor da vegetação na área imageada, e a combinação destas duas faixas espectrais realçam as áreas de vegetação nas imagens.

As descrições das bandas com suas respectivas faixas espectrais e resoluções espaciais são mostradas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características espectrais e espaciais do sensor TM.

<b>Bandas</b>	<b>Faixa espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolução espacial (mxm)</b>
1	0,45-0,52	30
2	0,52-0,60	30
3	0,63-0,69	30
4	0,76-0,90	30
5	1,55-1,75	30
6	10,4-12,5	120
7	2,08-2,35	30

Fonte: Engesat, 2011.

### 2.3 - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) é largamente usado para quantificar e monitorar a variação da cobertura vegetal. Walthall et al. (2004) relataram que esse índice é usado em praticamente todas as escalas, desde investigações em pequena até em escala global, porque cômputa as bandas espectrais que envolve praticamente todos os procedimento do sensoriamento remoto.

Allen et al. (1998) definem o IVDN como sendo a razão entre a diferença das refletividades das bandas do Infravermelho e a banda do Vermelho e a soma destas. É um índice que indica o vigor e a quantidade da vegetação verde e seus valores variam de  $-1$  a  $+1$ . Além disso, evidencia à densidade da vegetação, cor, teor de umidade no solo e práticas de cultivo, devido à intensa absorção na faixa visível do espectro eletromagnético (em  $0,475$  e  $0,65 \mu\text{m}$ ), por parte da clorofila. De acordo com Paiva (2005), a reflectância espectral da superfície terrestre fornece informações a respeito da presença da clorofila e também das condições da vegetação.

O IVDN é um dos índices mais usados, sendo derivado das imagens NOAA/AVHRR desde 1981 (Tucker, 1979, 1980; Cracknell, 2001). A sua utilização vai muito além das aplicações previstas, por que estende-se desde o uso de composições temporais e do estímulo ao desenvolvimento de novos atributos da imagem. Isso resultou, que os dados IVDN sejam derivados de uma série de sensores de resolução moderada e, portanto, melhorado a resolução das propriedades espaciais, espectrais e radiométricas do AVHRR (Tarnavsky et al., 2008).

A cobertura vegetal de uma local é influenciada por um conjunto de fatores, entre eles : o clima, o relevo, solos e suas características associadas. A variação anual do IVDN é uma consequência ambiental. Vários estudos têm sido realizados para estimar variáveis biofísicas, usando-se imagens de satélites, especialmente, o índice de vegetação da diferença normalizada (Allen et al., 1998; Walthall et al., 2004; Chen et al., 2004; Asis & Omasa, 2007; Meng et al., 2007; Yuan & Bauer, 2007; Tarnavsky et al., 2008; Luedeling & Buerkert, 2008; Busetto et al., 2008; Bakr et al., 2010).

#### **2.4 - Albedo da superfície**

O albedo da superfície por definição é o coeficiente de reflexão da mesma, sendo obtido pela razão entre a irradiância solar refletida e pela irradiância solar incidente, ou seja, é uma grandeza adimensional (Santos, 2011).

O albedo varia principalmente em função das características físico-químicas da superfície, da cor, do ângulo zenital solar, dentre outras. Por isso, cada tipo de cobertura terrestre há uma resposta espectral diferenciada, ou seja, o albedo de um solo descoberto, por exemplo, é diferente de um mesmo solo com cobertura vegetal. Numa comunidade vegetal, o albedo merece uma atenção especial haja vista que está diretamente relacionada ao saldo de energia disponível ( $R_n$ ). De acordo com Pereira et al. (2002), quanto mais escura for a vegetação menor será a refletividade dos raios solares incidentes, resultando numa maior absorção e conseqüentemente maior  $R_n$  a superfície.

Shuai et al. (2011) afirmam que mudanças no albedo da superfície fornecem meios quantitativos para investigar a transferência de energia entre a superfície terrestre e a atmosfera e, conseqüentemente, auxiliar na modelagem climática regional e global. Muitos estudos têm destaque com ligações entre a alteração da cobertura natural do solo, albedo da superfície e o clima. Para Dirmeyer & Shukla (1994) o desmatamento da África e América do Sul promoveu aumento do albedo, causando diminuição da energia radiativa absorvida na superfície, redução no processo de convecção e diminuição na precipitação.

Estimativas do albedo da superfície através do sensoriamento remoto vêm sendo avaliadas por muitos autores, como por exemplo: Liang (2000), Greuell et al. (2002), Stroeve et al. (2005), Silva et al. (2005a), Lyapustin et al. (2007), Moody et al. (2007), dentre outros.

## **2.5 - Temperatura da Superfície**

A temperatura da superfície (Ts) é um elemento chave nos processos físicos da superfície terrestre em escalas regional e global, combinando os resultados de todas as interações superfície-atmosfera e fluxos de energia entre a atmosfera e o solo (Wan, 2008). Então, pesquisas recentes em sensoriamento remoto identificaram a Ts como um dos parâmetros fundamentais para o controle de processos físicos, químicos e biológicos na interface entre a terra e a atmosfera, afirmam Zhang et al. (2009). Pesquisas sobre a Ts mostram que esta partição de fluxos de calor e, assim, da resposta radioativa da superfície é uma função de variáveis de superfície, como o teor de água do solo e a cobertura vegetal (Owen et al., 1998).

Quando há uma grande quantidade de vegetação a Ts desta área irá se aproximar mais da temperatura das folhas, tendo uma grande relação com o dossel desta. Por isto, de acordo com Weng e Lu (2008), a relação entre a temperatura da superfície e a densidade de vegetação é um estudo crescente no sensoriamento remoto.

Muitos trabalhos vêm sendo feitos para estimar a Ts. Destaquem-se os resultados de Fu et al. (2011) e Vancutsen et al. (2010), que obtiveram a Ts para estimar a temperatura do ar através do sensor MODIS. Usando o sensor MODIS, Wan (2008), Wang & Liang (2009) e Tang et al. (2010) estimaram a temperatura da superfície. Já, Weng e Lu (2008), Amiri et al. (2009) e Zhang et al. (2009) obtiveram a temperatura da superfície através do sensor TM, enquanto Pinheiro et al. (2006) e Katsiabani et al. (2009) obtiveram com o AVHRR.

## **2.6 - Análise de Componentes Principais (ACP)**

A ACP consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise. Em outras palavras, as  $n$  variáveis originais geram, através de suas combinações lineares,  $n$  componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a primeira componente principal detém mais informação estatística que a segunda componente principal, que por sua vez tem mais informação estatística que a terceira

componente principal e assim por diante, este método permite a redução da dimensionalidade dos pontos representativos das amostras (Moita Neto e Moita, 1998).

A análise fatorial permite identificar fatores não diretamente observáveis, a partir da correlação entre conjuntos de variáveis mensuráveis (Corrar et al, 2007). No entanto, o processamento dos dados através da Análise de Componentes Principais permite eliminar as informações redundantes e separa o sinal de grande escala (variância comum) do ruído (variância específica) associado a cada amostra de dados. Fornecendo ainda uma síntese do conjunto de dados, isenta de subjetividade e justificada em um critério estatístico (Schunk Silva & Nery, 2000). Em geral, a primeira solução obtida com a aplicação da ACP não fornece fatores que tenham a interpretação física mais adequada. Para aumentar o poder explicativo dos fatores na análise efetuou-se o procedimento de rotação de fatores através do método VARIMAX (Wilks, 2006). Na escolha do número de fatores adequados ao estudo foi utilizado o critério desenvolvido por Kaiser (Garayalde et al, 1996). Na aplicação deste critério são excluídos os fatores com autovalores menores que um.

Sansigolo e Nery (1998) aplicaram a análise dos fatores principais a 31 anos de dados mensais (1960-1991), de 47 estações meteorológicas distribuídas sobre a região sul e sudeste do Brasil, obtendo sua regionalização e melhor compreensão de seus padrões sazonais. A região apresentou grande variabilidade sazonal, com ciclo anual bem definido, com o primeiro fator comum temporal explicando 52% e o segundo 33% da variância total. Nesta perspectiva foram identificados 3 grupos homogêneos em relação às precipitações anuais e distribuição sazonal, sendo um grupo na região sudeste e dois grupos mais dispersos na região Sul.

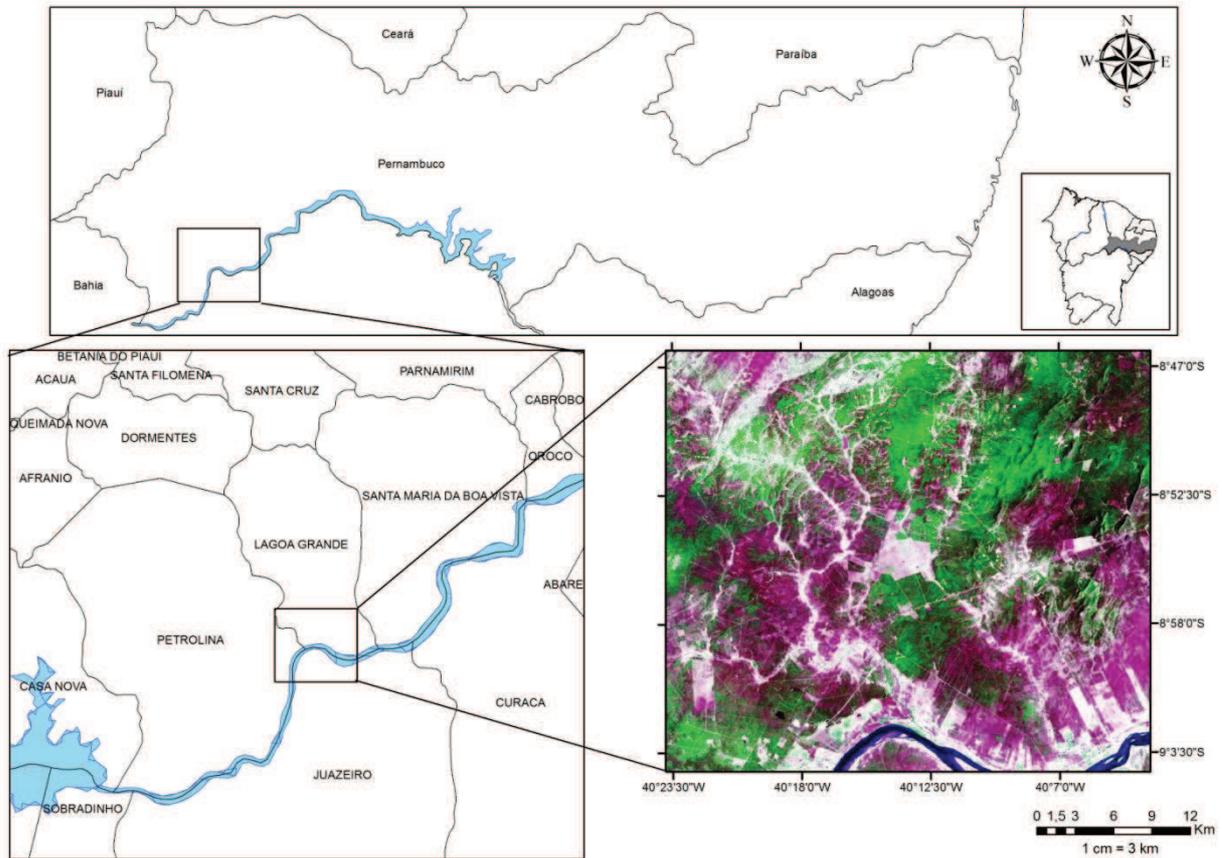
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para verificar a influência da variabilidade da precipitação sobre a dinâmica espaço-temporal da vegetação no semiárido do Estado de Pernambuco o estudo compreendeu as seguintes etapas: (I) Aquisição e processamento digital das imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5; (II) Aquisição de bases geográficas e dados meteorológicos; (III) Aplicação das técnicas de ACP nos dados de precipitação e IVDN; (IV) Análise multitemporal dos resultados por meio da integração entre as informações obtidas.

#### 3.1 - Área de estudo

A área de estudo compartilha partes do território dos municípios de Petrolina-PE, Lagoa Grande-PE e Juazeiro-BA. O recorte possui 1700,0 km<sup>2</sup> resultando em um retângulo com as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo de -8,73° e -40,41°; e canto inferior direito de -9,08° e -40,01° Figura 1. O clima predominante da região é o Semiárido, com temperatura média anual de 27 °C, classificado como BSw<sub>h</sub> por (Köppen-Geiger, 1928). Em função das características de clima e temperatura associadas à localização geográfica intertropical, a evapotranspiração potencial é muito alta, sendo da ordem de 3.000 mm anuais. Também, são alta a insolação e baixa a umidade relativa do ar. O período seco é predominante, com cerca de 6 a 8 meses. A precipitação pluviométrica média anual é da ordem de 400 a 650 mm, que ocorre de forma irregular e concentrada em 2 a 3 meses do ano, podendo ocorrer chuvas intensas (120 a 130 mm) num período de 24 horas. A vegetação de caatinga, predominante em quase toda a área do Submédio do Vale do São Francisco, é constituída por formações xerófilas, lenhosas, decíduais, normalmente espinhosas, com presença de plantas suculentas, tanto com padrão arbóreo como arbustivo, pouco densa a densa e com estrato herbáceo estacional (Andrade Lima, 1992). O porte mais elevado é definido pelas braúnas (*Schinopsis brasiliensis*), que podem alcançar até 20 m de altura. Também, podem ser encontradas espécies de porte significativo, como a faveleira (*Cnidoscolus phyllacanthus*), imbirassu (*Psudobombax simplicifolium*), aroeira (*Astronium urundeuva*) e imburana-de-cambão (*Bursera leptophloeos*). A espécie de maior predominância na região é a jurema-preta (*Mimosa hostilis*), seguida pelo caroá (*Neoglaziovia variegata*), quebra-faca (*Croton* sp.), mororó (*Bauhinia cheilantha*), pinhão brabo (*Jatropha pohiliana*), entre outras. Entre as cactáceas, são encontradas espécies como o xique-xique (*Pilosocereus gounelli*), palmatória-de-espinho, (*Opuntia palmadora*), coroa-de-frade

(*Melocactus bahiensis*), rabo-deraposa (*Arrojadoa rhodantha*), mandacarus (*Cereus jamacaru*), facheiros (*Pilosocereus pachycladus*) e quipás (*Opuntia inamoena*) (Burgos & Calvacanti, 1990).



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

### 3.2 – Variáveis meteorológicas

Utilizou-se dados diários de precipitação pluvial oriundos das estações meteorológicas de Cabrobó ( $-8,50^{\circ}$ ;  $-39,31^{\circ}$ ), Ouricuri ( $-7,90^{\circ}$ ;  $-40,03^{\circ}$ ) e Bodocó ( $-8,27^{\circ}$ ;  $-40,6^{\circ}$ ) para os meses de novembro e dezembro dos anos de 1996 e 2003, tais estações compõem a rede de monitoramento meteorológico do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A base de dados mensais para o período de 1975 a 2010 utilizados nesse estudo é proveniente da estação agrometeorológica de Bebedouro ( $-9,15^{\circ}$ ;  $-40,36^{\circ}$ ), a qual está inserida na unidade de pesquisa da EMBRAPA-SEMIÁRIDO (CPATSA).

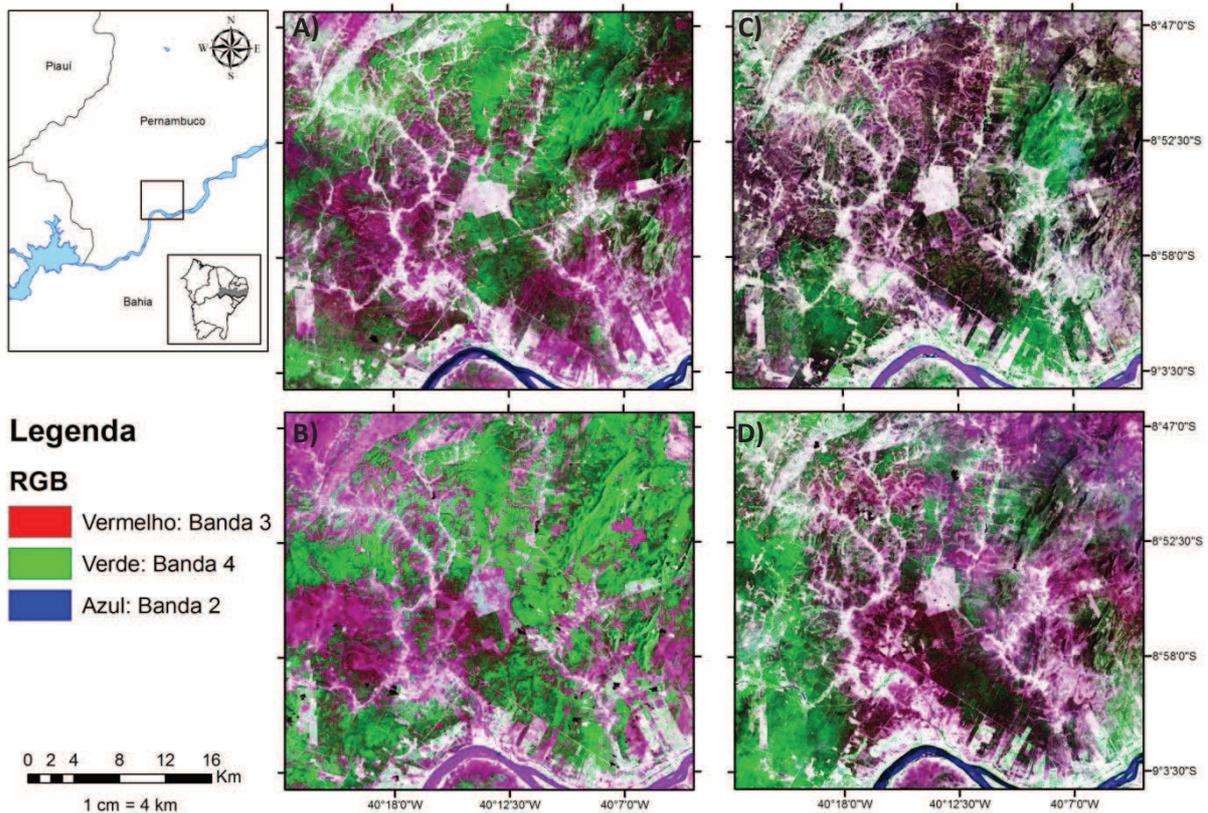
### 3.3 - Dados de sensoriamento remoto

As imagens TM – Landsat 5 selecionadas para o presente trabalho foram obtidas através do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), referentes à órbita 217 e ao ponto 66, dos dias: 12 de dezembro de 1991, 09 de dezembro de 1996, 13 de dezembro de 2003 e 27 de novembro de 2009 (Figura 2).

Para o processamento das imagens utilizou-se o software ERDAS Imagine 9.2, empregando-se as tarefas de re-amostragem, empilhamento, recortes e georreferenciamento das imagens e em operações matemáticas no cômputo dos parâmetros de superfície. A Tabela 3 contém a data, dia de ordem do ano (DOA) e horário da passagem satélite (GMT - Greenwich Mean Time), além da correção da excentricidade da órbita terrestre ( $dr$ ) e cosseno do ângulo zenital solar ( $\cos Z$ ), representativas do instante da passagem do satélite sobre a área de estudo.

**Tabela 3.** Datas, dia de ordem do ano (DOA), tempo médio de Greenwich (GMT), ângulo de elevação do sol (E) e ângulo zenital solar (Z).

Data	DOA	Horário		Ângulos	
		(GMT)	Local	E (°)	Z (°)
12/12/1991	346	12:12:28	09:12:28	53,55	36,45
09/12/1996	343	12:09:19	09:09:19	53,39	36,61
13/12/2003	347	12:26:31	09:26:31	56,55	33,45
27/11/2009	331	12:38:27	09:38:27	61,22	28,78



**Figura 2.** Composição RGB342 do TM - Landsat 5 para os seguintes dias de estudo: 12/12/1991 (A), 09/12/1996 (B), 13/12/2003 (C) e 27/11/2009 (D).

### 3.3.1 - Calibração radiométrica

Após efetuar o recorte da imagem, procedeu-se a calibração radiométrica das sete bandas espectrais do TM, o que equivale a converter o número digital (ND) de cada pixel e banda em radiância espectral ( $L_{\lambda i}$ , em  $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ ), sendo determinada pela equação (1), proposta por Chander & Markham (2003):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

em que:  $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral de cada banda;

$a$  e  $b$  são as radiâncias mínima e máxima obtidas mediante processo de calibração do TM – Landsat 5, cujos valores estão mostrados na Tabela 4;  $ND$  é o número digital (número inteiro entre 0 a 255) e  $i$  corresponde as bandas (1, 2, 3, ... e 7) do TM – Landsat 5.

**Tabela 4.** Constantes de calibração e irradiância solar espectral no topo da atmosfera para o TM – Landsat 5.

Banda	$a$ ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ )	$b$ ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ )	$K_{\lambda i}$ ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ )
1	-1,52	193,0	1957
2	-2,84	365,0	1826
3	-1,17	264,0	1554
4	-1,51	221,0	1036
5	-0,37	30,2	215,0
6	1,2378	15,303	-
7	-0,15	16,5	80,67

### 3.3.2 - Reflectância Monocromática

A refletância monocromática ( $\rho_{\lambda i}$ ) no topo da atmosfera, para as bandas de 1 a 5 e 7, que dada pela razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o do radiação solar incidente, foi determinada pela equação 2 proposta por (Chander & Markham, 2003):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot dr} \quad (2)$$

em que:  $K_{\lambda i}$  é a Irradiância solar monocromática de cada banda ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ ), cujos valores encontram-se na Tabela 4;

$Z$  é o ângulo zenital solar (graus);

$dr$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol obtido pela Equação (3):

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DOA2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

em que: DOA é o dia de ordem do ano.

### 3.3.3 - Albedo Planetário

O albedo planetário ( $\alpha_{plan}$ ) representa o albedo de cada pixel da imagem obtido sem correção atmosférica, que consiste em combinação linear da reflectância espectral de cada uma

das seis bandas reflectivas e seus respectivos pesos ( $w_b$ ), sendo estimado mediante a Equação (4) proposta por Bastiaanssem et al., (1998):

$$\alpha_{plan} = w_{\lambda 1}.\rho_{\lambda 1} + w_{\lambda 2}.\rho_{\lambda 2} + w_{\lambda 3}.\rho_{\lambda 3} + w_{\lambda 4}.\rho_{\lambda 4} + w_{\lambda 5}.\rho_{\lambda 5} + w_{\lambda 7}.\rho_{\lambda 7} \quad (4)$$

em que:  $w_{\lambda}$  é dado pela razão entre o  $K_{\lambda i}$  de cada banda e o somatório de todos os valores de  $K_{\lambda i}$ .

### 3.3.4 - Albedo da superfície

É um coeficiente de reflexão da superfície ( $\alpha_{sup}$ ) e representa o albedo com correção dos efeitos da atmosfera, que foi estimado pelo Surface Energy Balance Algorithm for Land – SEBAL mediante a equação (5) proposta por Bastiaanssem et al., (1998):

$$\alpha_{sup} = \left( \frac{\alpha_{plan} - a}{\tau_{sw}^2} \right) \quad (5)$$

em que:  $a$  é a refletância da atmosférica, adotando-se no presente estudo o valor de 0,03 recomendado por (Bastiaanssen, 2000; Silva et al., 2005a);

$\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica obtida para condições de céu claro, estimada em função da altitude de cada pixel, pela equação (6) sugerida por Allen et al. (2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \times z \quad (6)$$

em que:  $z$  = a altitude de cada pixel da imagem, obtida pelo modelo de elevação digital – DEM gerado pelo SRTM (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>)

### 3.3.5 - Índices de vegetação

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde da superfície terrestre e seus valores variam de -1 a +1. O IVDN é obtido pela razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo ( $\rho_4$ ) e do vermelho ( $\rho_3$ ) e a soma entre elas obtido, de acordo com a descrição da equação (7) citada por Allen et al. (2002):

$$IVDN = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (7)$$

O Índice de Vegetação Ajustado aos Efeitos do Solo (SAVI) foi obtido utilizando-se a equação (8) proposta por Huete (1991):

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

em que L é uma constante de ajuste ao solo, cujo valor usado no estudo do foi 0,1 (ALLEN et al., 2002).

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área da vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, que foi computado pela Equação (9) (ALLEN et al., 2002):

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

De acordo com a expressão acima o valor máximo atingido pelo IAF é igual a 6,0, ocorrendo quando o SAVI vale 0,69.

### 3.3.6 – Emissividades

Os pixels não emitem radiação eletromagnética como um corpo negro, por isso para calcular a temperatura da superfície necessita-se calcular a emissividade de cada pixel ( $\epsilon_{NB}$ ) no domínio espectral da banda termal do TM – Landsat 5 (10,4 - 12,5  $\mu\text{m}$ ). Para tanto se fez uso da Equação (10) parametrizada por Allen et al. (2002):

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \times IAF \quad (10)$$

Para calcular a radiação de onda longa emitida por cada pixel, que representa a emissividade da superfície ( $\epsilon_0$ ), deve-se considerar a emissividade da banda larga, que

compreende o intervalo de 4 a 100  $\mu\text{m}$ , utilizou-se a equação (11) proposta por Allen et al. (2002):

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \times \text{IAF} \quad (11)$$

Com base nas equações 10 e 11, as emissividades  $\varepsilon_{NB}$  e  $\varepsilon_0$  foram validadas para  $\text{IVDN} > 0$  e  $\text{IAF} \leq 3$ . Para pixels com  $\text{IAF} \geq 3$ ,  $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$  e para corpos de água ( $\text{IVDN} < 0$ ) considera-se  $\varepsilon_{NB} = 0,99$  e  $\varepsilon_0 = 0,985$  (Allen et al., 2002).

### 3.3.7 - Temperatura da superfície

Tendo obtido as cartas de radiância espectral da banda 6 ( $L_{\lambda,6}$ ) e da emissividade da banda termal ( $\varepsilon_{NB}$ ) determinou-se a temperatura da superfície ( $T_s$ ), em graus Kelvin, utilizando-se a equação (12) proposta por Markham & Barker (1987):

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

Sendo:  $K_1$  e  $K_2$  = constantes de radiação específicas para o TM – Landsat 5, com valores respectivos de  $607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  e  $1260,56 \text{ K}$ .

### 3.4 - Análise Estatística

A análise da variabilidade temporal da precipitação mensal para estação agrometeorológica de Bebedouro, PE no período de 1975-2010 foi realizada através da Análise de Componentes Principais. Os dados analisados neste trabalho foram organizados, segundo a ACP, a partir de uma matriz de dados  $n \times p$ , onde cada linha ( $n$ ) representa os anos utilizados nos estudos ( $p$ ) os meses de cada ano.

Primeiramente, a matriz de dados foi padronizada onde subtrai-se cada valor da média da respectiva variável e divide-se pelo desvio padrão das mesmas. Estas variáveis foram trabalhadas de forma mensal no período de janeiro a dezembro.

A técnica consistiu em transformar um conjunto de dados originais em um novo conjunto, isto é, em escores, em que os componentes preservam a variabilidade e não são correlacionados entre si, facilitando, assim, a separação espacial das oscilações temporais.

A técnica fundamenta-se nos procedimentos citados por (Storch & Zwiers, 2000) que consistem na relação de que, uma matriz quadrática simétrica pode ser decomposta em outras matrizes que preservam a variabilidade.

Para este estudo foi usada a matriz correlação, cujo grau de associação entre duas variáveis aleatórias X e Y é expresso pela equação (13):

$$\text{Cor}_{(X,Y)} = \frac{\text{Cov}_{(X,Y)}}{\sqrt{\text{Var}_{(X)} \text{Var}_{(Y)}}} \quad (13)$$

em que, Cov (X,Y) é a covariância das variáveis X e Y (Equação 14), e Var (X) (Equação 15) e Var (Y) (Equação 16) são as variâncias:

$$\text{Cov}_{(X,Y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n-1} \quad (14) \quad \text{Var}_{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (15) \quad \text{Var}_{(Y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} \quad (16)$$

As matrizes resultantes da decomposição da matriz correlação fornecem os autovalores e os autovetores que são obtidos pela Equação (17):

$$\mathbf{M} = \mathbf{V} \mathbf{\Lambda} \mathbf{V}^T \quad (17)$$

em que: M é matriz correlação dos dados originais  $p \times p$ ;

V a matriz com os autovetores  $p \times p$ ;

$\mathbf{\Lambda}$  a matriz diagonal com os autovalores  $p \times p$ ;

$\mathbf{V}^T$  a matriz transposta com os autovetores  $p \times p$ .

Os autovetores normalizados (pesos individuais da variação em cada posição) associados a cada autovalor (peso coletivo de todas as posições) é definido pelo Padrão de Oscilação Principal, cuja função é identificar áreas de maior importância na explicação parcial de cada autovalor.

A combinação dos autovetores V derivados da matriz M e os dados originais padronizados Y produzem novas variáveis, definidas de escores dos componentes principais que são obtidos pela Equação (18):

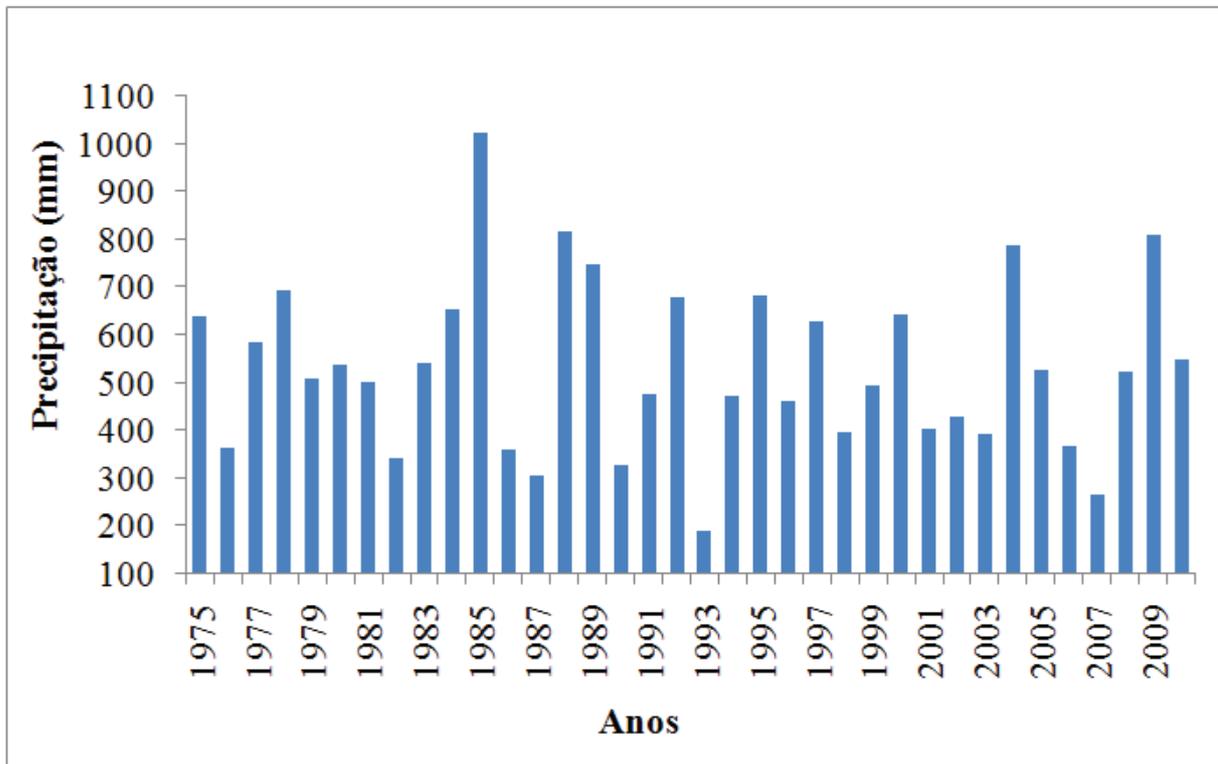
$$\underline{\mathbf{Z}} = \underline{\mathbf{V}}^T \underline{\mathbf{Y}} \quad (18)$$

Por fim os escores representam à combinação da dispersão espacial dos dados originais em cada tempo, sendo não correlacionados entre si. Assim, foi possível correlacionar todos os escores das variáveis da precipitação pluvial, de forma a verificar as relações mais evidentes. A cada autovalor não nulo corresponde uma componente com poder explanatório de informações expresso em percentual de variância total.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

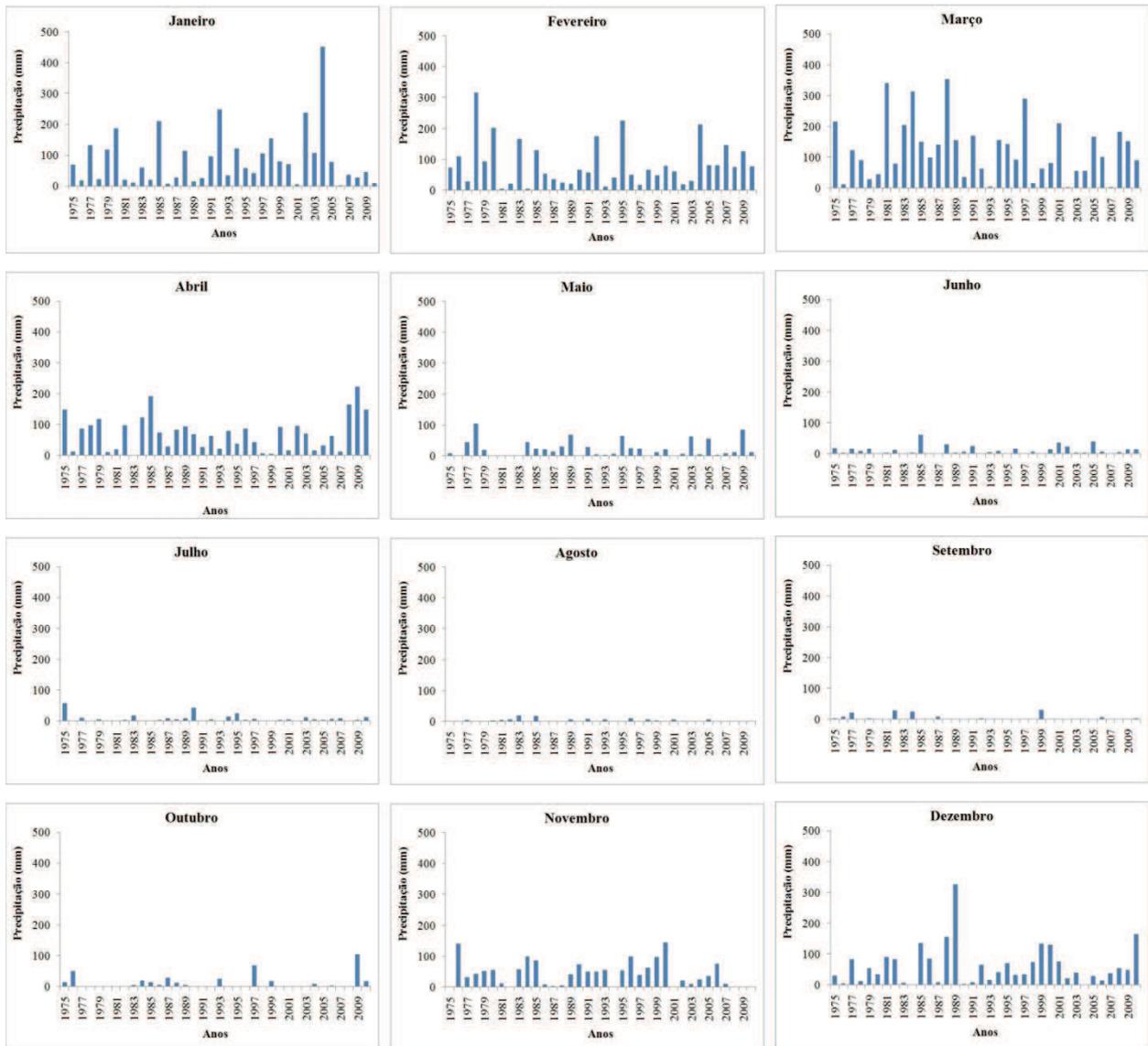
### **4.1 - Padrões de variabilidade temporal da precipitação**

A Figura 3 exibe os totais anuais de precipitação pluvial para estação agrometeorológica de Bebedouro, PE no período de 1975-2010. A média anual desse período é de 531 mm, com valores máximo de 1023,5 mm, em 1985, e mínimo de 187,8 mm, em 1993. Nota-se, entretanto que esta representação gráfica mostra de forma clara, a existência de uma elevada variabilidade temporal e, por isso, impede de afirmar se há tendências de aumento ou de diminuição da precipitação na área de estudo.



**Figura 3.** Totais anuais de precipitação pluvial para estação agrometeorológica de Bebedouro, PE, no período de 1975 a 2010.

A Figura 4 exibe os totais mensais de chuvas em Bebedouro, PE, mostrados mês a mês durante o período de 1975 a 2010, observa-se que em cerca de seis meses do ano (maio-outubro) chovem abaixo de 100 mm, sendo o quadrimestre de janeiro a abril o mais chuvoso e os seis meses seguintes, secos (sem chuva).



**Figura 4.** Totais mensais de precipitação pluvial para estação agrometeorológica de Bebedouro, PE, distribuídos ano a ano no período de 1975-2010.

A Análise de Componentes Principais (ACP) indicou que a variabilidade dos dados é explicada por cinco componentes, com características elementares básicas que representam algo em torno de 64% dos dados analisados. A Tabela 5 mostra as componentes ordenadas cronologicamente, com os respectivos autovalores e percentuais da variância total e acumulada das cinco componentes encontradas neste estudo.

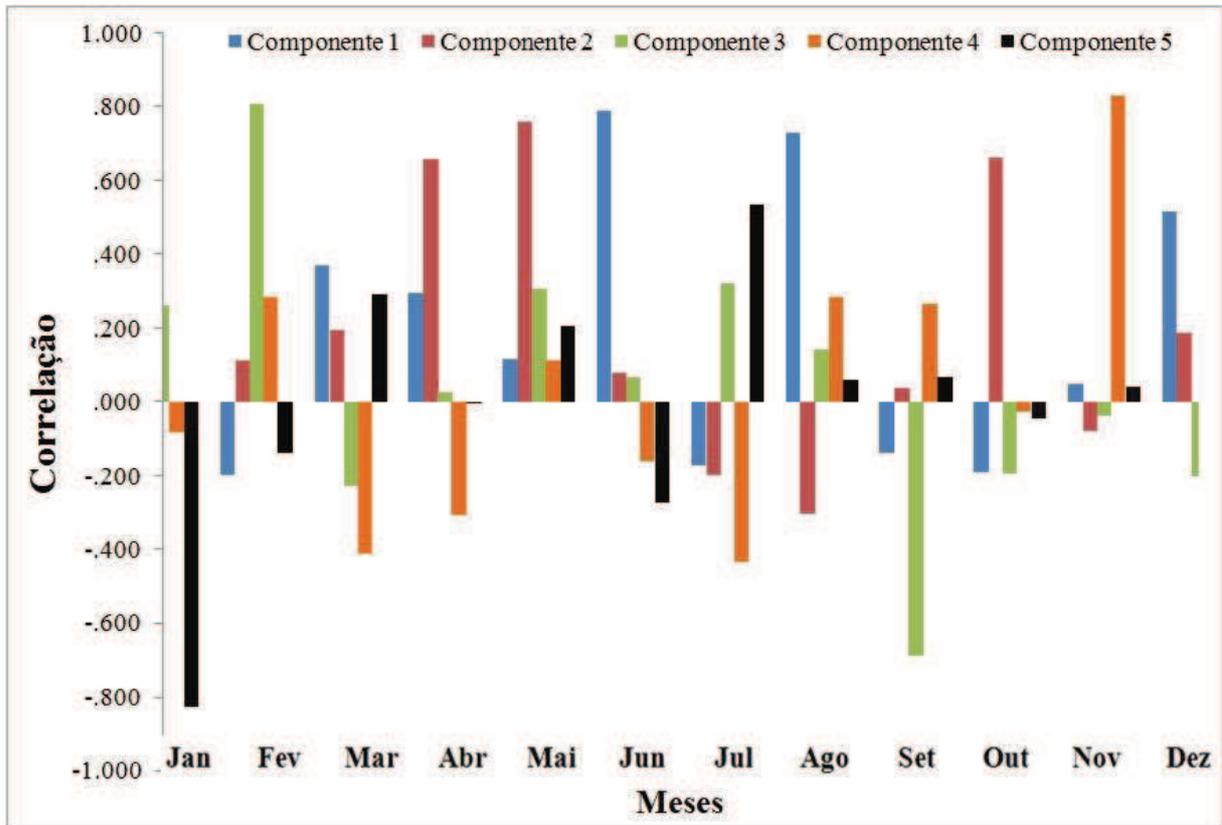
**Tabela 5.** Sequência dos cinco componentes da análise de componentes principais, autovalores e da contribuição percentual da variância total e acumulada para os totais anuais de precipitação pluvial na estação agrometeorológica de Bebedouro, PE, média do período: 1975 a 2010.

Componentes	Condições iniciais			Componentes Rotacionados (rotação VARIMAX)		
	Autovalores	Variância		Autovalores	Variância	
		Total (%)	Acumulada (%)		Total (%)	Acumulada (%)
1	2,1	17,6	17,6	1,7	14,9	14,9
2	1,6	13,7	31,3	1,7	14,2	29,1
3	1,6	13,3	44,7	1,5	12,9	42,0
4	1,3	10,8	55,6	1,4	11,8	53,8
5	1,0	8,4	64,0	1,2	10,1	64,0

Cada componente representa um conjunto de variáveis que caracteriza a variabilidade dos dados da precipitação de Bebedouro, PE, no período de 1975-2010. A ACP indica que a variabilidade dos dados pode ser explicada pelas cinco primeiras componentes, mais significativas, que possuem os autovalores maiores ou próximos de 1.

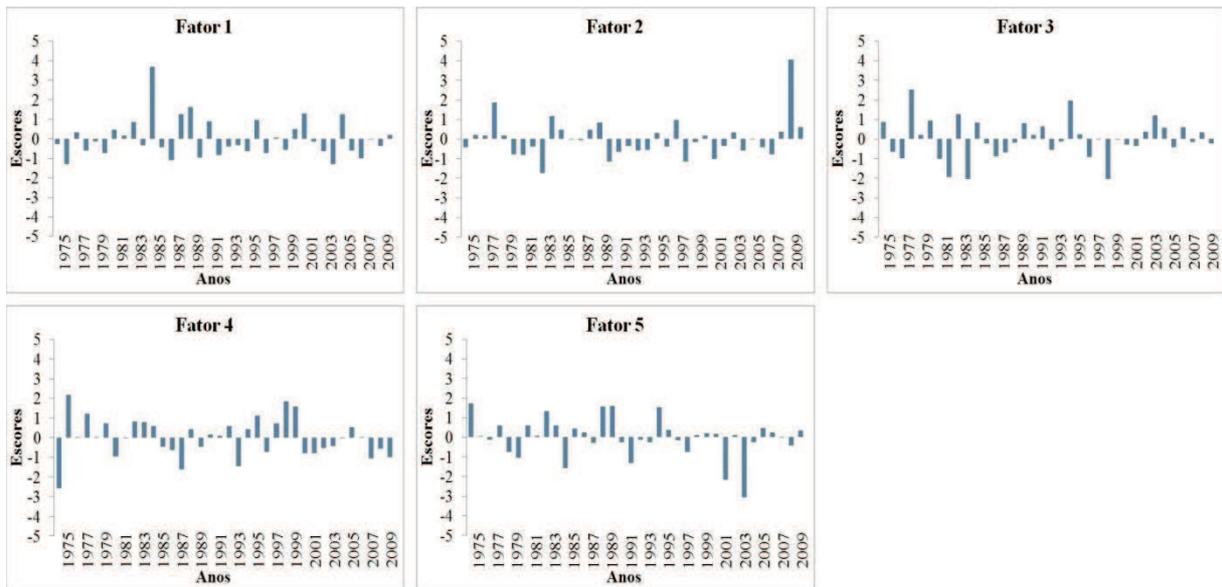
Os autovalores obtidos na ACP que foram submetidos à rotação VARIMAX com o objetivo de detectar quais variáveis representam melhor os fatores e com isso facilitar a interpretação dos resultados. As cinco primeiras componentes principais (CPs) explicam cerca de 64% da variância total dos dados mensais de precipitação, ou seja, 17,6; 13,7; 13,3; 10,8 e 8,4%, respectivamente.

As contribuições mensais das correlações das cinco componentes da ACP são apresentadas na Figura 5. Observa-se que a primeira componente com rotação explica 64,1% da variância e apresenta maiores valores no mês de janeiro e entre os meses de maio a dezembro. A segunda componente explica 34,0% da variância total dos dados e tem maiores valores nos meses de fevereiro a abril.



**Figura 5.** Correlações mensais das cinco componentes da Análise de Componentes Principais, para precipitação pluvial na estação agrometeorológica de Bebedouro, PE, no período de 1975 a 2010.

As configurações temporais dos cinco primeiros fatores são apresentadas nas (Figura 6), respectivamente. O primeiro fator é bem correlacionado com o mês de janeiro e entre os meses de maio a dezembro. Os anos com escores positivos (valores maiores que 0,5) configuram a relevância da contribuição dos anos.



**Figura 6.** Distribuição dos escores anuais da precipitação pluvial para estação agrometeorológica de Bebedouro, PE, em função dos fatores de 1 a 5.

## 4.2 - Padrões de variabilidade espaço-temporal dos parâmetros de superfície

### 4.2.1 - Albedo da superfície

A Tabela 6 consta os valores mínimo, máximo, média, mediana, moda e o desvio padrão da média do albedo da superfície referentes à área estudada. Observa-se na referida Tabela variações desse coeficiente de reflexão em função do tempo (datas), com um valor mínimo de 0,006 %, em 09.12.1996, e um máximo de 0,895, em 27.11.2006. Ao comparar os valores extremos do albedo, constata-se oscilações mínima entre 0,006 e 0,0056 e máxima de 0,654 a 0,859. Esses resultados são, respectivamente, coerentes com os encontrados por Oliveira et al., 2001 (Tabela 7) para superfície com água e com os de áreas com solo exposto ou áreas utilizadas para cultivos irrigados as margens do rio São Francisco.

Comparando-se os percentuais de albedo referentes às medidas de tendência central, verifica-se que as médias diferem da mediana e da moda, ou seja, a distribuição é assimétrica. Por outro lado, observa-se, que a dispersão da média supera 20 %, indicando que há heterogeneidade na cobertura vegetal poderá ser uma força que explica a amplitude do albedo da superfície da área estudada.

**Tabela 6.** Valores mínimo, máximo, média, mediana, moda e desvio padrão (D. P) do albedo da área estudada, obtidos digitalmente na carta de albedo da superfície.

<b>Datas</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>D. Pad.</b>
12/12/1991	0,056	0,654	0,177	0,163	0,156	0,039
09/12/1996	0,006	0,878	0,178	0,169	0,166	0,038
13/12/2003	0,029	0,648	0,236	0,218	0,201	0,056
27/11/2009	0,038	0,895	0,215	0,202	0,189	0,047

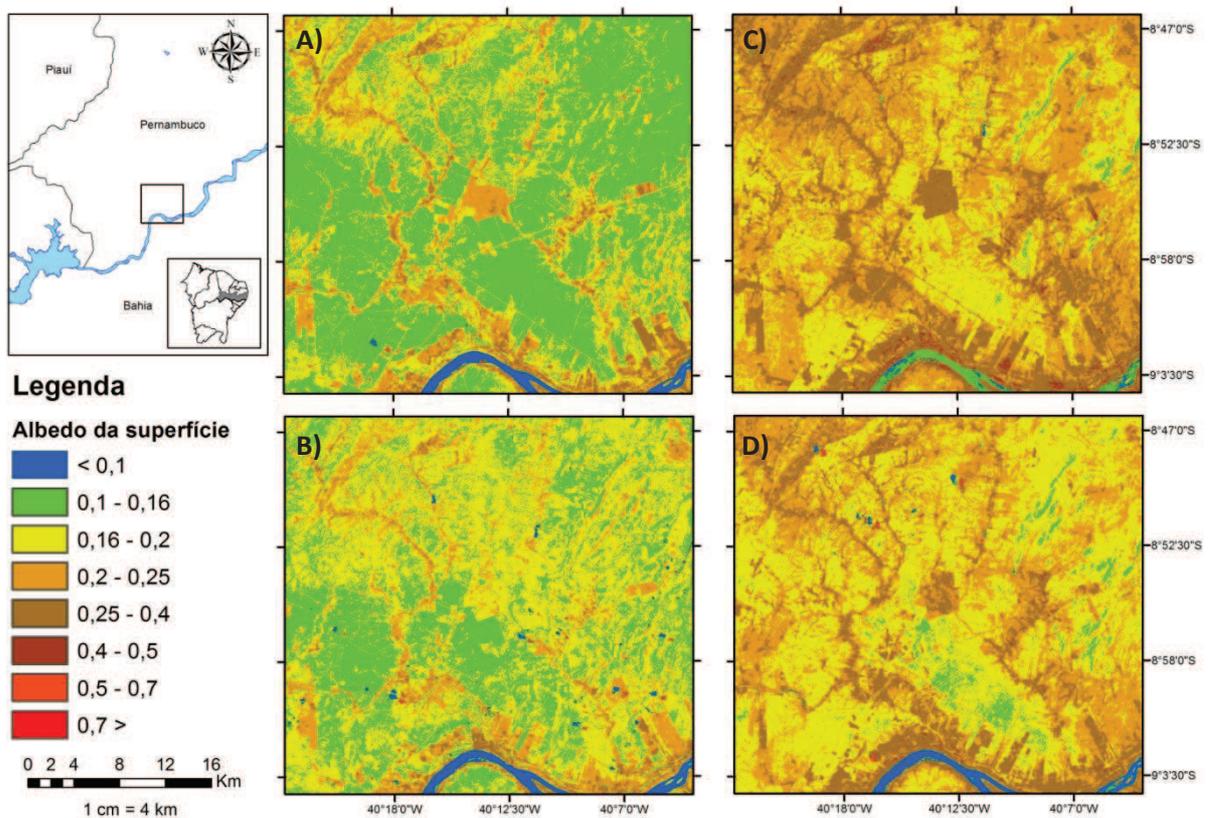
A Tabela 7 mostra, de forma resumida, valores de referência do albedo em função do tipo de superfície obtidos usando-se o sensor TM.

**Tabela 7.** Valores de referência do albedo (%) para diferentes tipos de superfícies.

<b>Superfícies</b>	<b>Albedo (%)</b>
Água	6 – 8
Solo descoberto	
Dunas de areia seca	35 – 45
Dunas de areia molhada	20 – 30
Solo escuro	5 – 15
Solo argiloso seco	20 – 35
Solo arenoso seco	25 – 45
Concreto seco	17 – 27
Estrada de asfalto	5 – 10
Superfícies naturais	
Deserto	25 – 30
Savana, estação seca	25 – 30
Savana, estação chuvosa	15 – 20
Pastagens verdes	10 – 20
Florestas	5 – 15

(Fonte: Oliveira et al., 2001)

Na Figura 7 é apresentada às cartas de albedo para as datas descritas na Tabela 6, que foram selecionadas neste trabalho. Os albedos de uma vegetação nativa são sempre menores (para todas as imagens) do que os obtidos em áreas antropizadas. Observa-se que há diferenças nos valores e na distribuição do albedo quando se compara uma imagem com outro. Os albedos dos dias 12/12/1991 (Figura 7A) e 13/12/2003 (Figura 7C) foram bem distintos. Enquanto que as as imagens de 13/12/2003 (Figura 7C) e 27/11/2009 (Figura 7D) percebe-se que há pouca diferença entre si. A variabilidade espaço-temporal do albedo pode está associado à própria dinâmica de ocupação do ambiente bem como, a sazonalidade da vegetação em resposta ao regime pluvial local.



**Figura 7.** Albedo da superfície obtido através de imagens do sensor TM para os seguintes dias de estudo: 12/12/1991 (A), 09/12/1996 (B), 13/12/2003 (C) e 27/11/2009 (D), para o semiárido pernambucano.

Em geral, os corpos d'água encontrados na cena das imagens apresentaram valores inferiores a 0,10. Vários autores obtiveram valores do albedo em superfícies d'água, a exemplo de Bastiaanssen et al. (1998) e Bastiaanssen (2000) que encontraram para água albedo entre 3 e 10 %. Para o Lago de Sobradinho e alguns corpos d'água como açudes, por exemplo, Silva et al.

(2005a) obtiveram o albedo com valores situados entre 8 e 9%. No leito do Rio Jaguaribe o albedo geral encontrado foi inferior a 10%, obtido por Silva et al. (2008). Os dados de albedo para corpos d'água destes autores corroboram com os obtidos no presente trabalho. As diferenças observadas no albedo da água em diferentes regiões resultam sobremaneira às diferenças na turbidez da água, interferências atmosféricas, da profundidade e do ângulo zenital (incidência dos raios solares).

Em regiões que sofreram ações antrópicas, principalmente as áreas de cultivos irrigados as margens do rio São Francisco e na região central das imagens os valores médios encontrados para o albedo ficaram entre 16 a 40%. Chandrapala & Wimalasuriya (2003) encontraram para o cinturão (dunas de areia) da costa do Sri Lanka, albedo entre 34 e 36%. Silva et al. (2005b), obtiveram para áreas irrigadas valores de albedo de 15 a 25%, enquanto Gomes (2009) encontrou para solo exposto valores entre 24 a 27%. Bezerra (2009) mostrou que em sua área de estudo o albedo para solo exposto uma variação entre 20 e 25%. Rodrigues et al. (2009) encontraram para áreas desprotegidas no semiárido valores entre 26 a 36%, enquanto Silva et al. (2011) encontraram uma variação entre 25 e 45%. Os resultados mostram de um modo geral que nestas áreas antropizadas há alterações nítidas no albedo em função da mudança da cobertura natural do solo.

#### **4.2.2 - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)**

A Tabela 8 mostra os valores numéricos dos índices de vegetação da diferença normalizada, para os dias analisados, oscilaram entre -1,00 e -0,329 (mínima), de 0,775 a 0,963 (máxima) e de 0,260 a 0,592 (média). A maior amplitude diária ocorreu no dia 09.12.1996, com 1,963, e a menor foi de 1,104 para o dia 12.12.1991. Constatamos, também, que a média em qualquer um das datas difere da mediana e, conseqüentemente, da moda e, por isso, a distribuição é assimétrica. Destaca-se, ainda, que a dispersão média diária (D. P) equivale a mais de 23 % do valor da média, com um máximo de 45,0 % para o IVDN do dia 13.12.2003.

**Tabela 8.** Valores mínimo, máximo, média, mediana, moda e desvio padrão (D. P.) dos índices de vegetação da diferença normalizada no semiárido pernambucano.

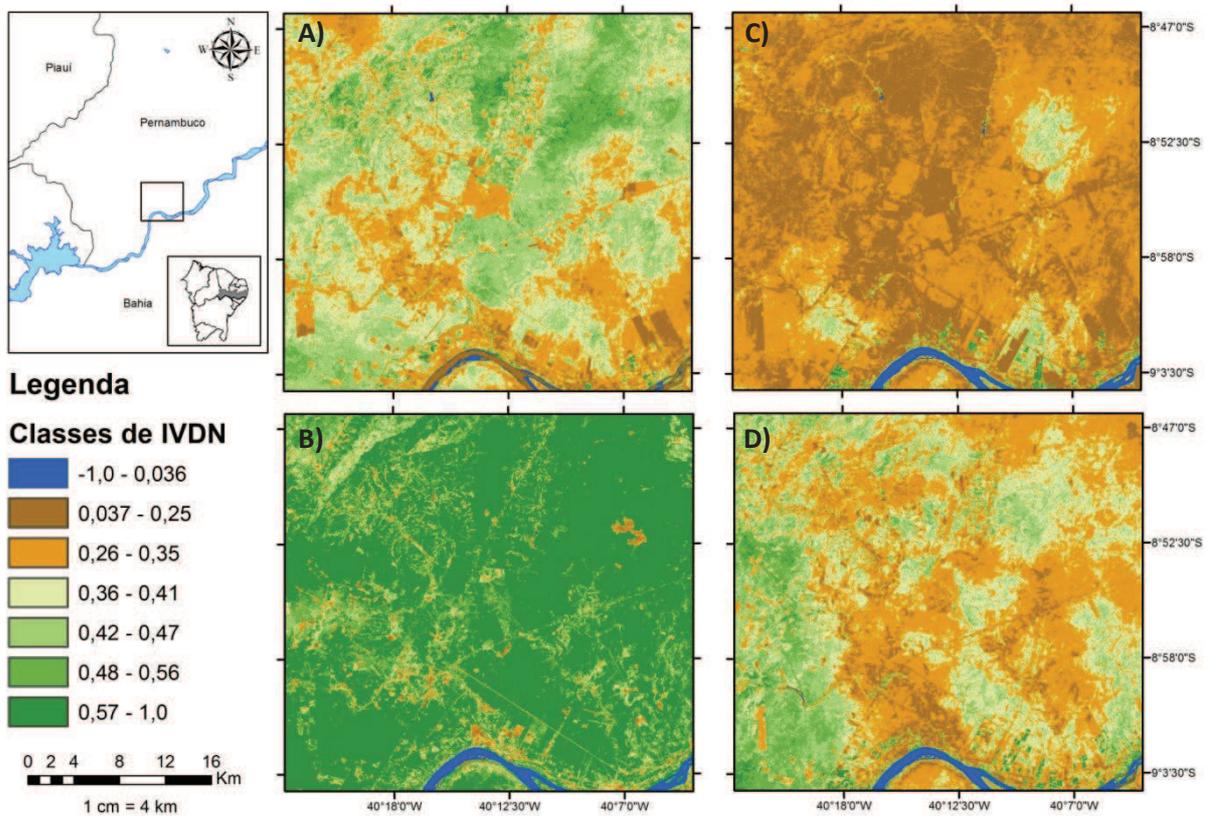
<b>Datas</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>D. Pad.</b>
12/12/1991	-0,329	0,775	0,388	0,395	0,408	0,090
09/12/1996	-1,0	0,963	0,592	0,626	0,707	0,168
13/12/2003	-1,0	0,836	0,260	0,252	0,260	0,117
27/11/2009	-0,690	0,828	0,364	0,359	0,359	0,100

Quando se compara o IVDN com o albedo da superfície em tese, espera-se que quanto maior for o IVDN menor seja o albedo e vice-versa. Embora, o máximo e/ou mínimo valor de albedo (Tabela 6) coincide com o de IVDN (Tabela 8). Isso indica, entretanto, que o índice de vegetação da diferença normalizada é bem mais relevante que outras variáveis biofísicas, em recortes menores de áreas relativamente homogêneas, por permitir identificar variações ambientais ao longo do tempo. O monitoramento de recortes vegetais ao longo do tempo constitui de informações relevantes a fim de detectar ações antrópicas e/ou naturais que possam ocorrer.

Os valores negativos do IVDN gerados a partir do presente estudo, como esperado, caracterizam valores para os corpos d'água. Nas áreas de vegetação nativa (Caatinga) foram encontrados valores acima de 0,35. Já para as áreas que sofrem ações antrópicas, foi observado que o IVDN oscilou entre 0,1 e 0,35. Esse resultados estão de faixa encontrada para o Semiárido nordestino, por Rodrigues et al. (2009) que encontraram valores de IVDN entre 0,20 a 0,39 e 0,03 a 0,20, nos anos de 2000 e 2001, respectivamente. Ainda de acordo com esses autores, estes valores são característicos de áreas com vegetação rala ou sem vegetação, típicas do Semiárido. Silva et al. (2005b), como também, para solo exposto no interior da Bahia e de Pernambuco, cujos valores de IVDN encontrados, para os mesmos dois anos, foram de 0,16 e 0,17, respectivamente. Acredita-se que a existência de solos expostos nestas áreas evidencia ações antrópicas, onde o IVDN pode variar de 0,05 a 0,30 como encontrado por Huete & Tucker (1991).

Na Figura 8 encontra-se as classes de IVDN para a área de estudo. Observa-se que o dia 09/12/1996 (Figura 8B) foi o que apresentou maior índice de vegetação da diferença normalizada (maior que 0,42). Acredita-se que os maiores valores do IVDN, na área estudada, seja uma consequência de um período chuvoso ocorrido no mês de novembro. Todavia de acordo com as cartas geradas, ficou notória a variabilidade espaço-temporal da vegetação mostrando então que

a forçante do regime pluvial atua sensivelmente na caracterização do espaço ao longo do período de estudo.



**Figura 8.** Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), obtido através de imagens do sensor TM para os dias : 12/12/1991 (A), 09/12/1996 (B), 13/12/2003 (C) e 27/11/2009 (D), para o semiárido pernambucano.

Percebe-se que nas amostras fotográficas dos dias analisados, que há grandes diferenças entre o IVDN das áreas desmatadas e das áreas com vegetação natural. Nas áreas com indícios de antropização que as classes do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada variaram de 0,037 a 0,35, caracterizando, portanto, solo sem ou com pouco cobertura vegetal. Destaca-se, entretanto, que a vegetação é um reflexo do clima local, haja vista que Paiva (2005) descreve que em solo nu ou com vegetação esparsa, a temperatura da superfície é mais elevada e o IVDN é mais baixo, contrario ao que poderá ocorrer em solos totalmente cobertos por vegetação.

Análise de Componentes Principais indica que a variabilidade do IVDN é 71,1% explicada pelas componentes 1 e 2. A Tabela 9 mostra a porcentagem do total da variância explicada pelas componentes 1, 2, 3 e 4 . Cada componente representa um conjunto de variáveis

que caracteriza a variabilidade dos dados do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada para área de estudo, no período de 1991-2009.

**Tabela 9.** Componentes, autovalores e percentuais de variância total e acumulada, nas condições iniciais e das componentes rotacionados do IVDN para o semiárido pernambucano.

Componentes	Condições iniciais			Componentes Rotacionados (rotação VARIMAX)		
	Autovalores	Variância		Autovalores	Variância	
		Total (%)	Acumulada (%)		Total (%)	Acumulada (%)
1	1,7	43,2	43,2	1,5	36,9	36,9
2	1,1	27,9	71,1	1,4	34,2	71,1
3	0,7	17,7	88,8			
4	0,4	11,2	100,0			

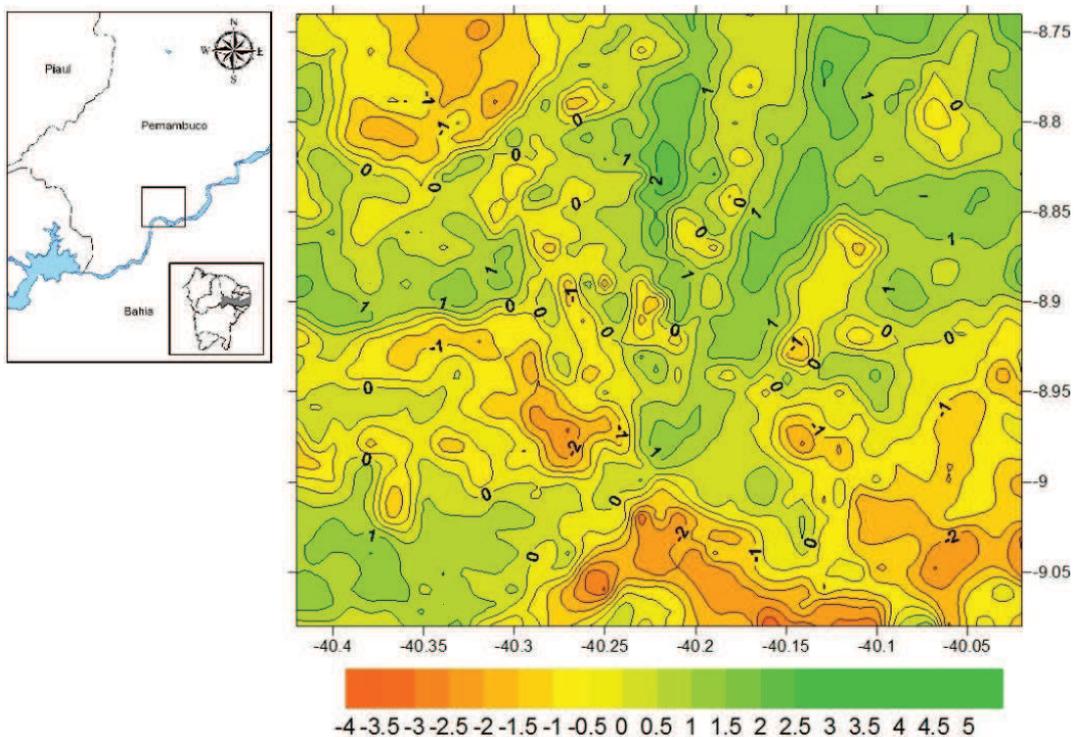
A análise da ACP (Tabela 9) indica que a variabilidade dos dados pode ser explicada pelas duas primeiras componentes, mais significativas, que possuem os autovalores maiores ou próximos de 1. Os autovalores obtidos na ACP que foram submetidos à rotação VARIMAX a fim de detectar quais variáveis representam melhor os fatores e, com isso, facilitar a interpretação dos resultados. As duas primeiras componentes principais (CPs) explicam cerca de 71,1% da variância total dos dados de IVDN, ou seja, 43,2 %, na componente 1, e 27,9%, na componente 2.

Destaca-se, ainda, que a primeira componente rotacionada explica 36,9% da variância, além de apresentar maiores valores associados ao IVDN nos dias 12/12/1991 e 09/12/1996. Já, a segunda componente explica 34,2% da variância total dos dados e tem maiores valores em 13/12/2003 e 27/11/2009 como mostra a Tabela 10.

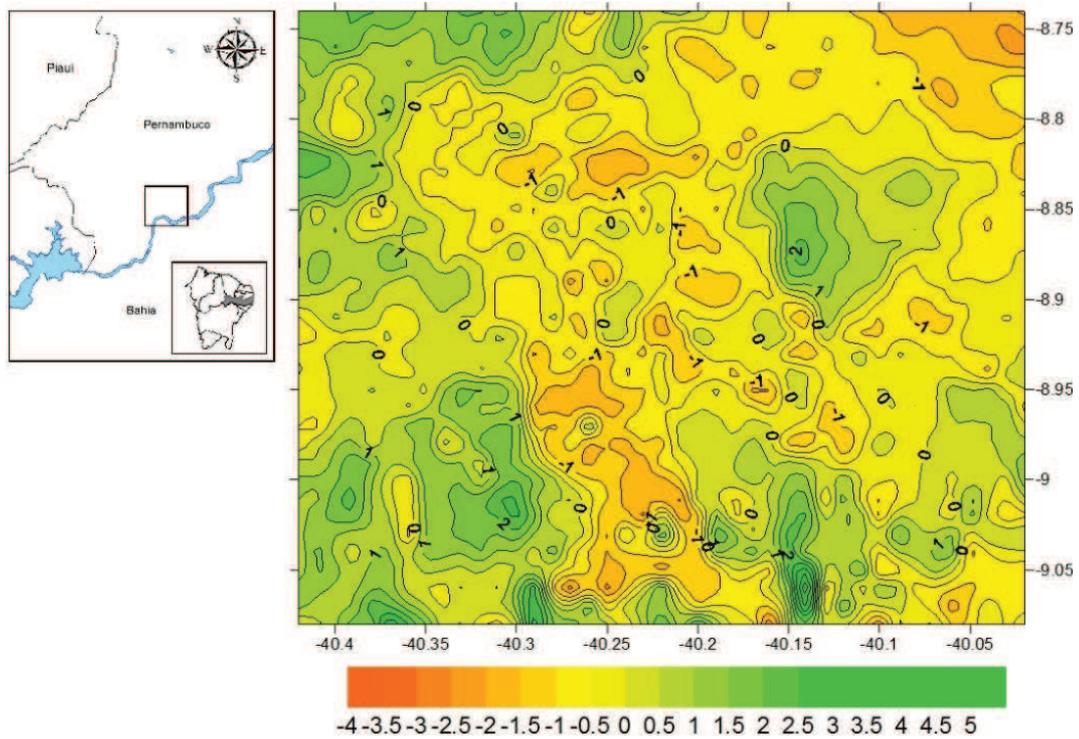
**Tabela 10.** Contribuição das duas componentes, variação temporal.

Datas	Correlações	
	Componente 1	Componente 2
12/12/1991	87,4%	-
09/12/1996	82,7%	-
13/12/2003	-	85,4%
27/11/2009	-	78,5%

A configuração espacial dos dois primeiros fatores é apresentada nas Figuras 9 e 10, respectivamente. O primeiro fator (Figura 9) é bem correlacionado com as imagens de 12/12/1991 e 09/12/1996. As áreas com escores positivos (valores maiores que 0,5) configuram a relevância da contribuição das regiões nordeste e sudoeste da área de estudo.

**Figura 9.** Distribuição espacial do primeiro fator (score).

A distribuição espacial do segundo fator (Figura 10) é bem correlacionada entre as datas de 13/12/2003 e 27/11/2009. As áreas com escores positivos (valores maiores que 1,0) configuram a relevância da contribuição das regiões sul e noroeste.



**Figura 10.** Distribuição espacial do segundo fator (escore).

#### 4.2.3 - Temperatura da superfície

Na Tabela 11 são apresentados os valores mínimo, máximo, médio, mediana, moda e desvio padrão da temperatura da superfície ( $T_s$ ). As oscilações das três temperaturas variam, respectivamente, de 19,9 a 25,8 °C; de 32,5 a 46,1 °C e de 24,0 e 31,9 °C.

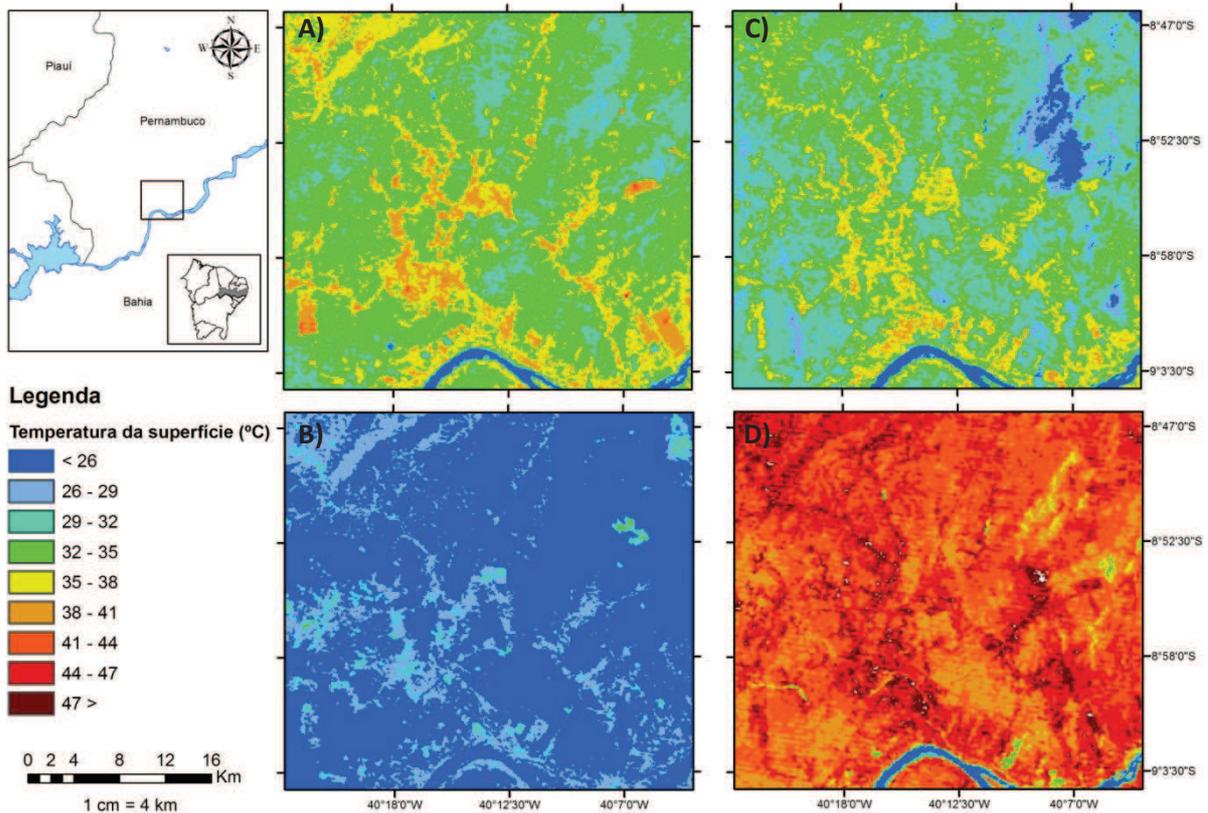
**Tabela 11.** Temperaturas do ar à superfície (°C): mínima, máxima, média, mediana, moda e desvio padrão (D. Pad.), obtidas na análise estatística do sensor TM, para o semiárido pernambucano.

<b>Data</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>D. Pad.</b>
12/12/1991	22,2	46,1	31,9	31,5	30,2	2,2
09/12/1996	19,9	32,5	24,0	23,9	23,0	1,5
13/12/2003	22,7	39,0	30,0	30,2	29,8	3,2
27/11/2009	25,8	45,4	31,9	31,9	31,9	4,3

Com relação aos resultados referentes a temperatura mínima, os valores encontrados foram bem próximos a 20,7 e 23,7 °C obtidos sobre superfície da água, no Lago de Sobradinho, por Silva et al. (2005b), enquanto Giongo (2008) encontrou na região dos Lagos de Santa Rita do Passa Quatro, valores médios entre 18,3 e 25,1 °C e Gomes et al. (2009), de 17,8 e 25,3 °C para a Lagoa do Cortado-SP. Silva et al. (2011) encontraram valores da Ts do Açude de São Gonçalo, PB entre 13,9 e 18,8 °C. Os valores máximos da temperatura da superfície variaram entre 32,5 e 46,1; encontrados em áreas com solo exposto ou áreas utilizadas para cultivos irrigados as margens do rio São Francisco. Todavia é importante relacionar os valores obtidos com o horário da passagem do satélite e com as condições de cobertura do solo no dia de registro da imagem. Os mapas com temperatura à superfície da área de estudo são mostrados na Figura 11.

Observa-se que a maior parte da área apresenta-se com TS superior a 32 °C, indicando antropização, exceto para o dia 09/12/1996 que possuiu valores inferiores a 26,0 °C. Esses resultados estão próximos aos encontrados por Silva et al. (2005b), para solo exposto no município de Petrolina, PE, onde a Ts oscilou entre 36,9 e 39,8 °C, ou por Di Pace et al. (2008), no município de Juazeiro, BA, cujos valores oscilaram entre 31,5 a 35,9 °C. Comparando-se as faixas de TS nas imagens com o albedo da superfície, observa-se que existe concordância entre si, ou seja, aonde a Ts foi maior o albedo também é menor (áreas antropizadas) e quando a Ts for menor o albedo foi maior (áreas de vegetação nativa). Embora, relatos de Gomes et al. (2009), afirmam que nem sempre pode-se explicar que o aumento da Ts resulte apenas da diminuição do albedo. No entanto, deve-se considerar, também, os padrões apresentados pelos fluxos de calor sensível e latente. Assim, observa-se que um aumento da Ts ao longo dos dias estudados, vem a corroborar com o albedo e o IVDN.

De um modo geral, pode-se observar que aonde há vegetação natural a Ts foi sempre menor em relação às áreas modificadas, que se apresentam sistematicamente com temperaturas maiores em todos os dias estudados. As cartas da Ts apresentadas na Figura 11 indicam uma evidência clara que as diferenças entre as áreas consideradas homogêneas, mostrando as delimitações entre ambas (áreas desmatadas e áreas de vegetação nativa).



**Figura 11.** Temperatura da superfície obtida através do sensor TM, no semiárido pernambucano, para os dias: 12/12/1991 (A), 09/12/1996 (B), 13/12/2003 (C) e 27/11/2009 (D), para o semiárido pernambucano.

#### 4.3 - Padrões de variabilidade espaço-temporal dos parâmetros de superfície e precipitação

A Figura 12 e 13 exibem os resultados da classificação das imagens do IVDN para os dias 09/12/1996 e 13/12/2003, respectivamente, associados aos dados de precipitação pluvial.

Para facilitar a interpretação dos resultados foi realizada uma classificação multiespectral supervisionada, a qual classificou a região em áreas com vegetação, com área urbana ou cultivo (Aur/Cult), com solo exposto (SE) e com corpos hídricos (Ag). As áreas com vegetação foram classificadas quanto à densidade da cobertura vegetal em quatro fitofisionomias (Vegetação rala (VR); Vegetação aberta (VA); Vegetação de transição (VT) e Vegetação densa (VD)), seguindo a metodologia de Lourenço & Landim (2004), onde os valores mais altos de IVDN foram associados com uma maior densidade de cobertura vegetal e as áreas de solo exposto e superfícies de água foram associadas à fatia de IVDN com valores mais baixos.

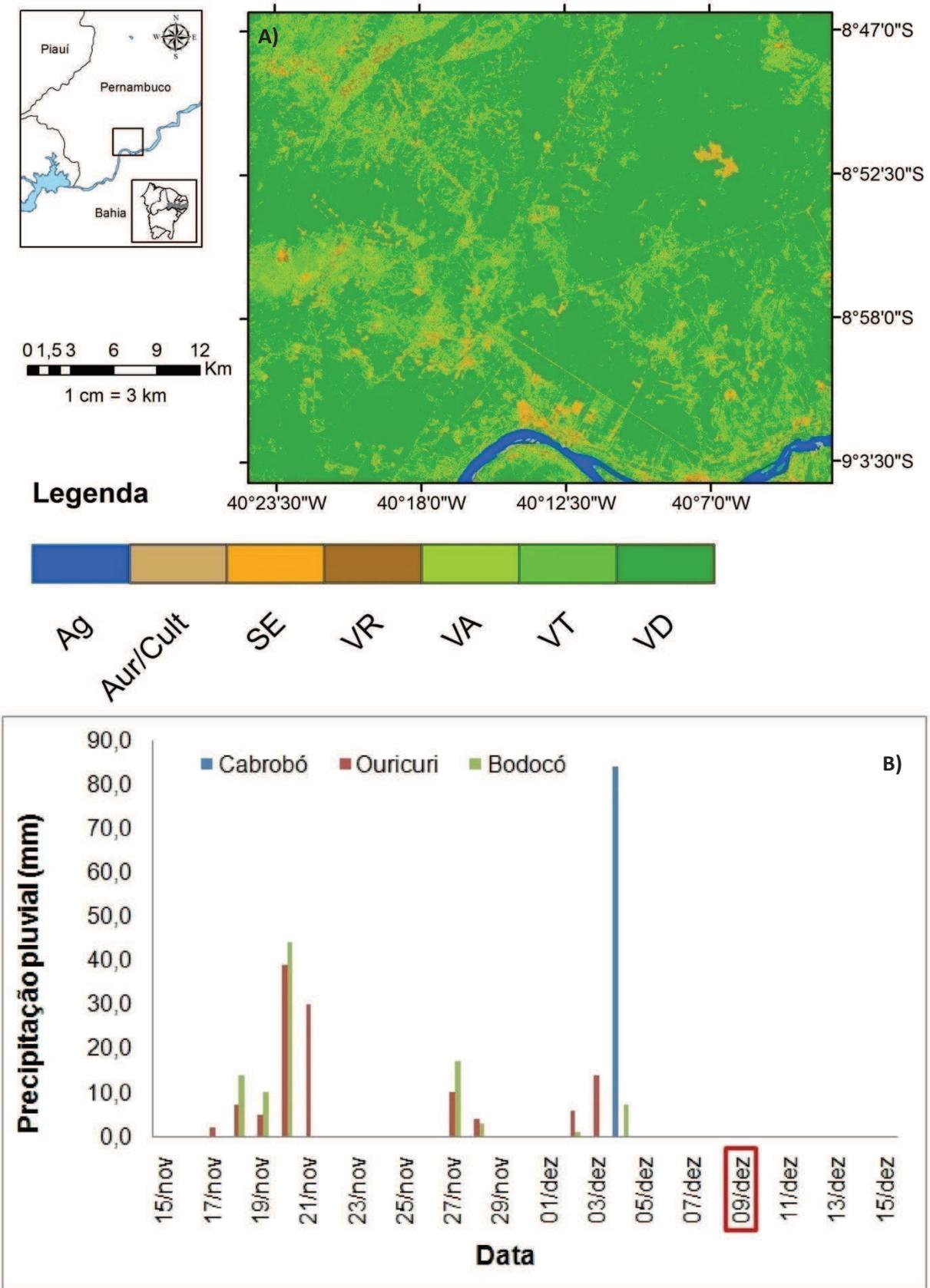
As áreas com solo exposto e vegetação rala cresceram consideravelmente, quando se compara a imagem do 09/12/1996 (Figura 12A) com a de 13/12/2003 (Figura 13A).

Inversamente, as áreas com vegetação aberta, transição e densa diminuíram no período de estudo; e a área com água superficial, representada na figura pelo rio São Francisco, praticamente não apresentou nenhuma alteração. As áreas que apresentaram maior variabilidade na sua cobertura foram aquelas localizadas às margens do rio São Francisco e ao sul da região, possivelmente em face da expansão de cultivos irrigados naquela área.

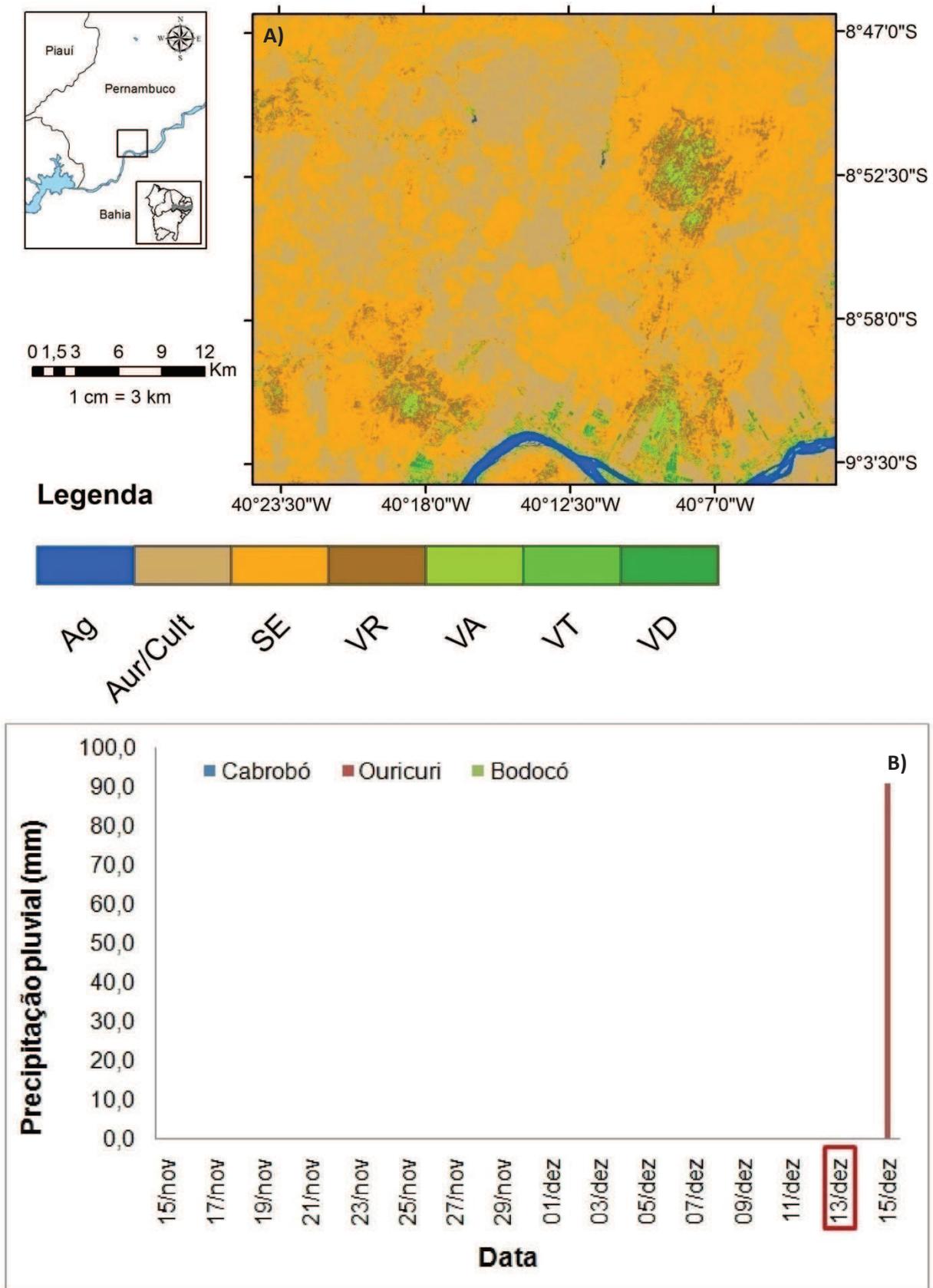
Destaca-se, entretanto, que a forçante referente a precipitação pluvial teve influencia direta no resultado da classificação do IVDN, em vista do aumento da cobertura do solo na região de estudo após um período chuvoso, característica essa observada quando compara-se a qualidade do início do período chuvoso na área de estudo (novembro-dezembro).

A Figura 12B apresenta a distribuição da precipitação pluvial na área de estudo no período de 01 de novembro a 15 de dezembro de 1996. Nas três localidades (Cabrobó, Ouricuri e Bodocó) houve registros mínimos de chuvas 15 dias antes (17/nov), data da passagem do satélite, sendo registrado mais de 80 mm no dia 03 de dezembro. Em estudo com a resposta do IVDN em função da precipitação Gonçalves (2008) relatou que há uma relação direta entre a precipitação e IVDN, ou seja, quando houve aumento na precipitação ocorreu, também, aumento no IVDN.

Segundo Campos et al. (2009), Lucas e Schuler (2007) e Wang et al. (2003), o comportamento do IVDN está fortemente influenciado pela precipitação, bem como o tempo da defasagem entre si. Com relação ao ano 2003, observa-se (Figura 13B), um período relativamente longo de estiagem antes da passagem do satélite.



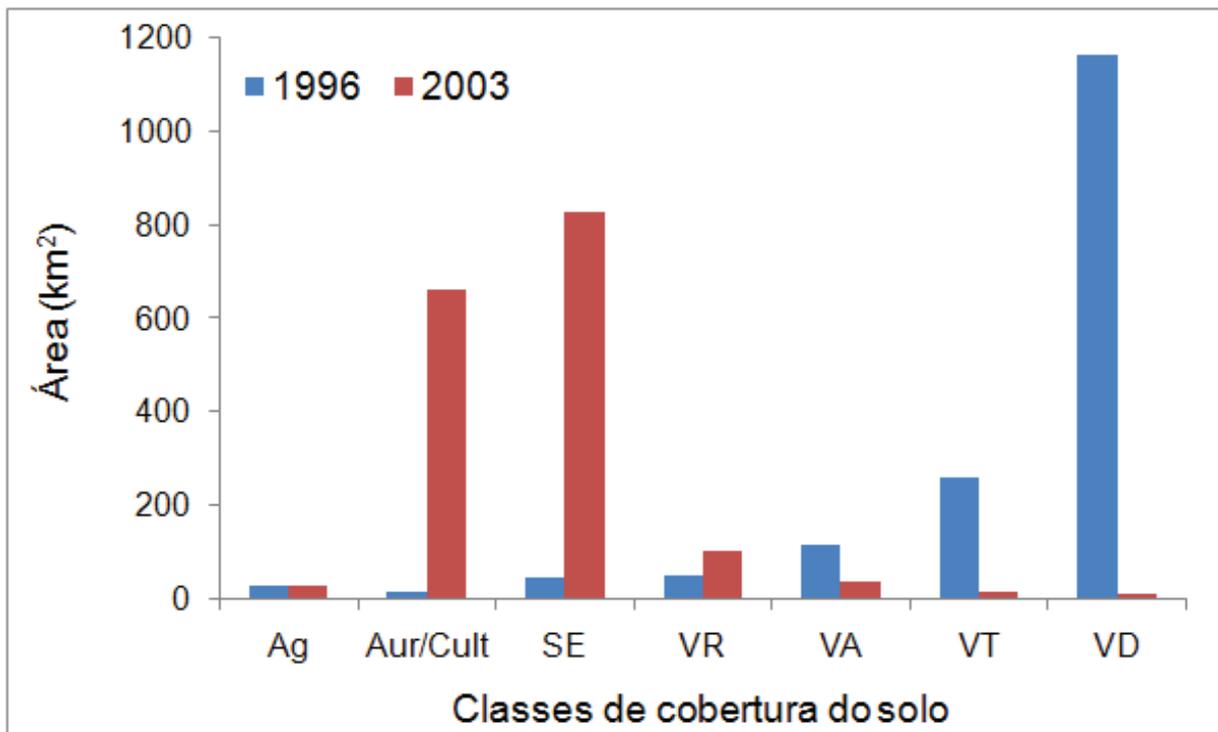
**Figura 12.** Mapa temático da cobertura do solo para área estudo, de acordo com o IVDN de cada pixel para o dia 09/12/1996 (A), associado com a distribuição da precipitação pluvial no período de 15 de novembro a 15 de dezembro de 1996 (B), para o semiárido pernambucano.



**Figura 13.** Mapa temático da cobertura do solo para área estudo, de acordo com o IVDN de cada pixel para o dia 13/12/2003 (A), associado com a distribuição da precipitação pluvial no período de 15 de novembro a 15 de dezembro de 2003 (B), para o semiárido pernambucano.

Gurgel et al. (2003), estudando variabilidade do IVDN em todo o Brasil, confirmaram alta correlação entre a variável precipitação pluvial e IVDN. Apesar da Caatinga ser considerada como um bioma de elevada fragilidade, tem um alto poder de resiliência em virtude da formação da biomassa ocorrer quase de forma imediata após eventos de chuva. O comportamento da vegetação do semiárido em resposta a chuvas foi também constatado por Barbosa et al. (2006), que mostraram a capacidade de recuperação da vegetação (lançamento) em períodos chuvosos.

De modo geral, constatou-se claramente a influência da variabilidade da precipitação sobre a cobertura espaço-temporal da vegetação no semiárido do estado de Pernambuco. No entanto, os padrões de coberturas são diferenciados nas quatro datas avaliadas, em especial para 09/12/1996 e 13/12/2003 conforme mostra a Figura 14.



**Figura 14.** Variação na área (km<sup>2</sup>) em função das classes de cobertura de solo obtidas de acordo com classificação do IVDN de cada pixel para o semiárido pernambucano, nos dias 09/12/1996 e 13/12/2003.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que:

- a) Há diferença nos parâmetros biofísicos da superfície: albedo, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) e temperatura da superfície, em resposta as oscilações na quantidade e na distribuição da precipitação pluvial;
- b) A cobertura vegetação mostrou-se alto poder resiliente em relação a ocorrência de chuvas, com maiores aportes na cobertura vegetal, no ano de 1996, e IVDN;
- c) A estação chuvosa coincide com maiores valores do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada e menores albedos;
- d) A temperatura da superfície foi expressivamente influenciada pelo regime pluvial em resposta a maior cobertura da vegetação e/ou teor de umidade do solo;
- e) A variabilidade temporal da precipitação foi representada por quatro componentes que explicaram cerca de 64% da variância dos dados;
- f) Os dados do IVDN apresentaram duas componentes principais responsáveis por explicar mais de 70% da variabilidade espaço-temporal;
- g) As técnicas de processamento de imagem de satélites associadas as técnicas de análise de componentes principais (ACP) se mostraram eficientes no estudo da variabilidade espaço-temporal de dados de superfície e meteorológicos, respectivamente.

## 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.; Trezza, R.; Tasumi M. Surface energy balance algorithms for land. Advance training and user's manual, version 1.0, p.98, 2002.

Amiri, W.; Weng, Q.; Alimohammadi A.; Alavipanah, S. Z. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, v.113, p.2606-2617, 2009.

Anderson, T. W. An introduction to multivariate statistical analysis, New York: John Wiley & Sons, 1984, 675p.

Andrade Lima, D. de. O domínio das caatingas. Recife: UFRPE: IPA, 1992. 48 p.

Assis, A. M. e Omasa, K. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data. *Journal of Photogrammetry e Remote Sensing*, v. 62, p.309-324, 2007.

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

Bakr, N.; Weindorf, D. C.; Bahnassy, M. H.; Marei, S. M.; El-Badawi. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. *Applied Geography*, v.30, p.592-605, 2010.

Bastiaanssen, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v.229, n.1, p.87-100, 2000.

Bastiaanssen, 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.

Bezerra, M. V. C. Uso de imagens de satélite na determinação do coeficiente de cultivo, da evapotranspiração real e da produtividade de água na cultura do algodoeiro irrigado. 114p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG. Campina Grande, 2009.

Braga, C. C.; Neves, D. G.; Brito, J. I. Estimativa da fração vegetação no leste da Bahia no período de 1982 a 1999. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.11, n.1, p.149-157, 2003.

Braga, C. C.; A, S. S.; Dantas, F. R. C.; Silva, B. B. Relação Preliminar entre IVDN obtidos do AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis, Anais...Florianópolis, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório de reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, 1973. 2 v. (SUDENE. Pedologia, 14; DNPEA. Boletim Técnico, 26).

Burgos, N.; Calvacanti, A. C. Levantamento detalhado de solos da área de sequeiro do CPATSA, Petrolina, PE. Rio de Janeiro: EMBRAPA. SNLCS; Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1990. 145 p.

Busetto, L.; Meroni, M.; Colombo, R. Combining medium and coarse spatial resolution satellite data to improve the estimation of sub-pixel NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.118-131, 2008.

Catelan, D.; Pereira, R. S. Análise temporal do uso da terra no Município de Santa Margarida do Sul - RS com imagens Landsat 7 ETM+. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica Aplicado à Engenharia Florestal, 3.; Curitiba. Anais... São Paulo: USP, 1994. p.16-29.

Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*; v.41, n.11, p.2674-2677, 2003.

Chandrapala, L. e Wimalasuiya, M. Satellite Measurements supplemented with meteorological data to operationally estimate evaporation in Sri Lanka. *Agricultural Water Management*, v.58, p.89-107, 2003.

Chen, X.; Vierling, L.; Rowell, E.; De Felice, T. Using lidar and effective LAI data to evaluate IKONOS and Landsat 7 ETM+ vegetation cover estimates in a ponderosa pine forest. *Remote Sensing of Environment*, v.91, p.14-26, 2004.

Corrar, L. J.; Paulo, E.; Filho, J. M. D. *Análise Multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia*. Ed. Atlas. São Paulo, 2007.

Cracknell, A. P. The exciting and totally unanticipated success of the AVHRR in applications for which it was never intended. *Advances in Spatial Research*, v.28, p.233-240, 2001.

Dantas, F. R. C. *Estudo comparativo de parâmetros da vegetação sobre diferentes alvos utilizando dados do AVHRR e TM*. Campina Grande: UFCG, 2008. 56p. Dissertação de Mestrado em Meteorologia.

Di Pace, F. T.; Silva, B. B.; Silva, V. P. R.; Silva, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.4, p.385-392, 2008.

Dirmeyer, P. A.; e Shukla, J. Albedo as a modulator of climate response to tropical deforestation. *Journal of Geophysical Research*, v.99, p.20863-20878, 1994.

Engesat. Landsat 5 TM - Ficha Técnica Resumida. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>>. Acesso em 20 de setembro de 2011.

Feitosa, J. R. P. *Uso de Técnica de Sensoriamento Remoto e Imagens Landsat - TM e NOAA-AVHRR na estimativa do balanço de radiação à superfície*. Campina Grande: UFCG, 2005. 164p. Tese de Doutorado em Recursos Naturais.

Fitz, P.R. 2008. *Geoprocessamento sem Complicação*, São Paulo, Ed. Oficina de Textos. 160p.

Florenzano, T. G. Geomorfologia, conceitos tecnologias atuais. Editora: Oficina de textos, São Paulo. 318p. 2008.

Florenzano, T. G. Imagens de Satélites para Estudos Ambientais, São Paulo: Oficina de Texto, 2002.

Fu, G.; Shen, Z.; Zhang, X.; Shi, P.; Zhang, Y.; Wu, J. Estimating air temperature of an alpine meadow on the Northern Tibetan Plateau using MODIS land surface temperature. *Acta Ecologica Sinica*, v.31, p.8-13, 2011.

Garayalde, E. J. G.; Silva, M. G. A. DA; Tavares, Sá A. de Classificação mesoclimática da região sul do Brasil pela análise de componentes principais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1.; CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Brasília, 1996.

Giongo, P. R. Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. 94p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2008.

Gomes, H. F.; Silva, B. B. da, Cavalcanti, E. P.; Rocha, H. R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat5. *Geociências*,v.28, n.2, p.153-164, 2009.

Gonçalves, R. R. V. Relação entre a resposta espectral da cana-de-açúcar, registrada nas imagens dos satélites AVHRR/NOAA, em São Paulo, e dados agroclimáticos, no período de 2001 a 2008. 2008. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

Greuell, W.; Reijmer, C. H.; Oerlemans, J. Narrowband-to-broad band albedo conversion for glacier ice and snow based on aircraft and near-surface measurements. *Remote Sensing of Environment*, v.82, p. 48-63, 2002.

Gurgel, H. C.; Ferreira, N. J.; Luiz, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil utilizando-se a análise de agrupamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.1, p.85-90, 2003.

Houborg, R.; Soegaard, H.; Boegh, E. Combining Vegetation Index and Model Inversion Methods for the Extraction of Key Vegetation Biophysical parameters using Terra and Aqua MODIS reflectance Data. *Remote Sensing of Environment*, v.106, p.39-58, 2007.

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.

IBGE. Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 01 de setembro de 2011.

Katsiabani, K.; Adaktilou, N.; Cartalis, C.A. Generalised methodology for estimating land surface temperature for non-urban areas of Greece through the combined use of NOAA–AVHRR data and ancillary information. *Advances in Space Research*, v.43, p.930-940, 2009.

Kim, K. Y.; Wu, Q. A Comparison Study of EOF Techniques: Analysis of Nonstationary Data with Periodic Statistics. *J. of Climate*, v.12, p.185-199, 1999.

Köppen, W.; Geiger, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928

Lang, S.; Blaschke, T. 2009. *Análise da Paisagem com SIG*. tradução Hermann Kux, São Paulo, Oficina de Textos. 424 p.

Liang, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. *Remote Sensing of Environment*, v.76, p.213- 238, 2000.

Lorenz, E. N. Empirical Orthogonal Functions and Statistical Weather Prediction. *Sci. Rep. 1. Statistical Forecasting Project*, Department of Meteorology, MIT (NTIS AD 110268), 49p, 1956.

Lourenço, R. W.; Landim, P. M. B. Estudo da variabilidade do “Índice de Vegetação por Diferença Normalizada/IVDN” utilizando krigagem indicativa. *Holos Environment*, v.4, p.38-55, 2004.

Luedeling, E. e Buerkert, A. Typology of oases in northern Oman based on Landsat and SRTM imagery and geological survey data. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.1181-1195, 2008.

Lyapustin, A.; Wang, Y.; Kahn, R.; Xiong, J.; Ignatov, A.; Wolfe, R.; Wu, A.; Holben, B.; Bruegge, C. Analysis of MODIS–MISR calibration differences using surface albedo around AERONET sites and cloud reflectance. *Remote Sensing of Environment*, v.107, p.12-21, 2007.

Markham, B. L.; Barker, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at satellite temperatures. *EOSAT Landsat Technical Notes 1:3-8*, Earth Observation Satellite Company, Lanham, Md, 1986.

Martins, F. R.; Pereira, E. B.; Abreu, S. L. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project. *Solar Energy*, v.81, p.517-528, 2007.

Mendonça, J. C. Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 145p, 2007.

Meng, Q.; Cieszewski, C. J.; Madden, M.; Borders, B. A linear mixed-effects model of biomass and volume of trees using Landsat ETM+ images. *Forest, Ecology and Management*, v.244, p.93-101, 2007.

Moody, E. G.; King, M. D.; Schaaf, C. B.; Hall, D. K. Northern Hemisphere five year average (2000–2004) spectral albedos of surfaces in the presence of snow: Statistics computed from Terra MODIS land products. *Remote Sensing of Environment*, v.111, p.337-345, 2007.

Moita Neto, J. M.; Moita, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, v. 21, p. 467-469, 1998.

Oliveira, L.L.; Vianello, R.L.; Ferreira, N.J. Meteorologia Fundamental, Erechim/RS: EdiFAPES, p.432, 2001.

Oliveira, L.S. Fluxos atmosféricos de superfície sobre uma área de ecótono na Ilha do Bananal. 114f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2006.

Oliveira, L. T. de; Carvalho, L. M. T. de; Acerbi Junior, F. W. Mapeamento e ecologia de paisagem dos fragmentos de floresta semidecidual do Município de Lavras - Minas Gerais. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica Aplicado à Engenharia Florestal, 5.; Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF, 2002. p. 237-239.

Owen, T.W.; Carlson, T.N.; Gillies, R.R. An assessment of satellite remotely sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. International Journal of Remote Sensing, v.19, p.1663–1681, 1998.

Paiva, C. M. Estimativa do balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR, Rio de Janeiro, 248f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

Parkinson, C. L. “Earth from above”. University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation. p.107-111,1997.

Pinheiro, A. C. T.; Mahoney, R.; Privette, J. L.; Tucker, C. J. Development of a daily long term record of NOAA-14 AVHRR land surface temperature over Africa. Remote Sensing of Environment, v.103, p.153-164, 2006.

Rodriguez, A. C. M.; Hernandez Filho, P.; Moreira, M. A. Mapeamento multi-temporal do uso e cobertura do solo do Município de São Sebastião - SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM – Landsat e HRV - Spot. In: GIS BRASIL 2000, SHOW DE GEOTECNOLOGIAS, 6.; A ERA DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 2000, Salvador. Anais... Curitiba: Fator GIS, 2000.

Rodrigues, J. O.; Andrade, E. M.; Teixeira, A. S; Silva, B. B. da. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. Revista de Engenharia Agrícola, v.29, n.3, p.452-465, 2009.

Ross, J.L.S. Ecogeografia do Brasil, subsídios para o planejamento ambiental. 2006. Editora: Oficina de textos, São Paulo. 208p, 2006.

Sansigolo, C.; Nery, J. T. Análise de fatores comuns e agrupamentos das precipitações nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. In: X CONGRESSO BRASILEIRO. DE METEOROLOGIA, Brasília, 1998.

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

Schunk Silva E.; Nery, J. T. Distribuição espacial e temporal da precipitação na região centro sul do Estado do Paraná. Congresso de Biometeorologia, em Maringá, PR. 2000.

Shuai, Y.; Masek, J. G.; Gao, F.; Schaff, C. B. An algorithm for the retrieval of 30-m snow-free albedo from Landsat surface reflectance and MODIS BRDF. Remote Sensing of Environment, v.115, p.2204-2216, 2011.

Silva, A. de B. 2003. Sistemas de Informações Georeferenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas, SP: Editora UNICAMP.

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

Silva, B. B. da; Lopes, G. M.; Azevedo, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 - TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, v.13, n.2, p.201-211,2005a.

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, 2005b.

Silva, M. T.; Silva, V. P. R.; Costa, S. C. F. E. Impactos da urbanização na temperatura e no balanço de radiação à superfície no município de Fortaleza-CE com base em imagens espectrais do TM/Landsat 5. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba - PR, Brasil. Anais... São José dos Campos – SP: INPE. p.917- 24. 2011

Silva, P. C. G. da; Correia, R. C. Caracterização social e econômica da videira. In: LEÃO, P. C. de S.; SOARES, J. M. (Ed.). *A viticultura no semi-árido brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. cap. 2. p. 19-32.

Storch, H. V.; Zwiers, F. W. *Statistical analysis in climate research*. New York – NY: Cambridge University Press, 2000. 484p.

Strang, D. M. G. Análise climatológica pluviométrica do Nordeste brasileiro. Relatório IAE-M-02/72, Centro Técnico Aeroespacial. São José dos Campos, 29p. 1972.

Stroeve, J.; Box, J. E.; Gao, F.; Liang, S.; Nolin, A.; Schaaf, C. B. Accuracy assessment of the MODIS 16-day albedo product for snow: comparisons with Greenland in situ measurements. *Remote Sensing of Environment*, v.94, p.46-60, 2005.

Tang, R.; Li, Z. L.; Tang, B. An application of the Ts–VI triangle method with enhanced edges determination for evapotranspiration estimation from MODIS data in arid and semi-arid regions: Implementation and validation. *Remote Sensing of Environment*, v.114, p.540-551, 2010.

Tarnavsky, E.; Garrigues, S.; Brown, M. E. Multiscale geostatistical analysis of AVHRR, SPOT-VGT, and MODIS global NDVI products. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.535-549, 2008.

Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations in monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v.8, p.127-150, 1979.

Tucker, C. J. Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote Sensing of Environment*, v.10, p.23-32, 1980.

Tucker, C. J.; Slayback, D. A.; Pinzon, J. E.; Los, S. O.; Myeni, R. B.; Taylor, M. G. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. *International Journal of Biometeorology*, v.45, n.4, p.184-190, 2001.

Valeriano, M. de M. Dados Topográficos In: Florenzano, T.G. (org.) *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos. p. 72-104, 2008.

Vancutsem, C.; Ceccato, P.; Dinku, T.; Connor, S. J. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa. *Remote Sensing of Environment*, v.114, p.449-465, 2010.

Vignola, F.; Harlan, P.; Perez, R.; Kmiecik, M. Analysis of satellite derived beam and global solar radiation data. *Solar Energy*, v.81, p.768-772. 2007

Walthall, C.; Dulaney, W.; Anderson, M.; Norman, J.; Fang, H.; Liang, S. A comparison of empirical and neural network approaches for estimating corn and soybean leaf area index from Landsat ETM+ imagery. *Remote Sensing of Environment*, v.92, p.465-474, 2004.

Wan, Z. New refinements and validation of the MODIS Land surface Temperature/Emissivity products. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.59-74, 2008.

Wang, W. e Liang, S. Estimation of high-spatial resolution clear-sky longwave downward and net radiation over land surfaces from MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, v.113, p.745-754, 2009.

Weare, B. C.; Nasstrom, J. S Examples of Extended Empirical Orthogonal Function Analyses. *Monthly Weather Review*, v.110, p.481-485, 1982.

Weng, Q.; Lu, D. A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.10, p.68-83, 2008.

Wilks, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an introduction*. San Diego: Academic Press, 1995. 467p.

Wilks, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2<sup>a</sup> Edition. California: Elsevier Science & Technology Books. Academic Press, 2006.

Yuliang, Q.; Shangmin, Z.; Zhen, L.; Bei, J. Application of China–Brazil Earth resources satellite in China. *Advances in Space Research*, v.43, p.917-922, 2009.

Zhang, Y.; Odeh, I.O.A.; Han, C. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.11, p.256-264, 2009.

Yuan, F. & Bauer, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, v.106, p.375-386, 2007.