



**Universidade Federal do Rio de Janeiro**  
**Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza**  
**Instituto de Geociências**  
**Departamento de Meteorologia**

**ALICE DA SILVA GONÇALVES DE JESUS**

**ANÁLISE DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO NA RESPOSTA TEMPORAL DO  
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) EM  
DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DO AMAZONAS**

Rio de Janeiro  
Setembro, 2012

ALICE DA SILVA GONÇALVES DE JESUS

ANÁLISE DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO NA RESPOSTA TEMPORAL DO  
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) EM  
DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO ESTADO DO AMAZONAS

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Meteorologia.

Aprovada por:

---

Prof.<sup>a</sup> D.Sc. Célia Maria Paiva – Orientadora  
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

---

Prof. D.Sc. Gutemberg Borges França  
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

---

Prof. D.Sc. Leonardo de Faria Peres  
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

Rio de Janeiro

Setembro, 2012

Ficha Catalográfica:

de Jesus, Alice da Silva Gonçalves.

Análise dos efeitos do déficit hídrico na resposta temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em diferentes condições climáticas do estado do Amazonas

Rio de Janeiro, 2012.

69 p. Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dissertação para obtenção do título de Bacharel em Meteorologia

Dedico está monografia a minha  
querida mãe que tanto me ensinou  
e apoiou.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por todas as conquistas e por todo o aprendizado com meus erros e acertos. Agradeço por toda a força e ajuda que me fizeram chegar até aqui.

Agradeço a minha querida mãe por todo o amor e dedicação. As lições que me passou ao longo dos anos e por ter me mostrado que as coisas se resolvem, independente do dia e hora.

Aos meus colegas e amigos, que sempre estiveram dispostos em me ajudar e ouvir nos bons e maus momentos e aguentar meus dias de mau humor (principalmente o André). A Beatriz (Bia), pela amizade, companheirismo em todos os momentos. A Mayara Villela por ter me feito dar boas risadas nos últimos anos. A minha amiga Suelen, que sempre me apoiou. A Ana e sua mamãe pelos sábios conselhos e carinho. As meninas que fizeram parte da turma de Meteorologia da UFRJ 2006, Fernanda, Gislaine, Jomila, Karina, Michelle, que mesmo de longe me deram força. A Nathália e Jéssica, pelo apoio e incentivo.

Agradeço ao meu querido professor, pai, mestre, Ivan Abreu, por todo o apoio e ajuda em todos esses anos, pelos ensinamentos e broncas que me fizeram crescer e me tornar uma pessoa melhor.

A minha querida orientadora Célia por toda a paciência, disponibilidade, conselhos e por todos os ensinamentos. Acredito ter escolhido a melhor pessoa para acompanhar o meu desenvolvimento acadêmico.

Aos professores do Departamento de Meteorologia da UFRJ que contribuíram para a minha formação.

A Fátima, Júlia e Maria Helena da Decania do CCMN, por sempre me receberem de braços abertos e por todo o auxílio e carinho.

A todos que passaram pelo meu caminho durante todo esse tempo e contribuíram para a minha formação:

Muito Obrigada!

## RESUMO

Índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto orbital podem auxiliar na identificação de ocorrência de secas em escala regional. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem sido amplamente usado no monitoramento da vegetação, com resultados promissores. Mediante tais constatações, este trabalho tem como objetivo identificar os diferentes padrões de resposta temporal do NDVI em relação à ocorrência de déficit/excedente hídrico para diferentes regiões do Bioma Amazônico, bem como compreender o ciclo sazonal e interanual desse índice. Para tanto, foram utilizados dados de cinco estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e um conjunto de dados orbitais da série temporal do EFAI-NDVI com resolução temporal de 10 dias e resolução espacial de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . O período estudado compreende os anos de 1982 a 1990. Os resultados indicam que a resposta do NDVI à ocorrência de déficit hídrico é de um mês em todas as estações. No caso do excedente hídrico, essa resposta apresenta maior variabilidade de um a quatro meses. Em relação à sazonalidade do NDVI, os maiores valores ocorrem após a estação chuvosa da região e os menores valores ocorrem após a estação seca. Quanto ao comportamento interanual, o NDVI decresce em anos de El Niño e se eleva em anos de La Niña.

## **ABSTRACT**

Vegetation indices derived by remote sensing can help identify occurrence of drought on a regional scale. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) has been widely used in vegetation monitoring, with promising results. This study aims to identify the different patterns of temporal response of NDVI in relation to occurrence of deficit/surplus water to different regions of the Amazon biome, as well as understand its seasonal and inter-annual cycles. Therefore, data from five weather stations of the National Institute of Meteorology (INMET) and a set of orbital data of EFAI-NDVI were used. The study period covers the years 1982 to 1990. The results indicate that the response of NDVI to the occurrence of drought is one month in all seasons. In the case of water surplus, that response varies from one to four months. Seasonally, the highest NDVI values occur after the rainy season in the region and the lowest values occurring after the dry season. On inter-annual behavior, the NDVI decreases in El Niño years and rises in La Niña years

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Localização dos biomas brasileiros .....	17
Figura 3.1 - Localização das estações meteorológicas do INMET no estado do Amazonas .. .....	35
Figura 4.1 - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Barcelos do INMET .....	40
Figura 4.2 - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Itacoatiara do INMET .....	43
Figura 4.3 - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Manaus do INMET .....	46
Figura 4.4 - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Parintins do INMET .....	49
Figura 4.5 - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Tefé do INMET .....	52
Figura 4.6 - Variação sazonal do NDVI para Barcelos no período de 1982 a 1990 .....	55
Figura 4.7 - Variação sazonal do NDVI para Itacoatiara no período de 1982 a 1990 .....	55
Figura 4.8 - Variação sazonal do NDVI para Manaus no período de 1982 a 1990 .....	56
Figura 4.9 - Variação sazonal do NDVI para Parintins no período de 1982 a 1990 .....	56
Figura 4.10 - Variação sazonal do NDVI para Tefé no período de 1982 a 1990 .....	57
Figura 4.11 - Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Barcelos, no período de 1982 a 1990 .....	58
Figura 4.12 - Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Itacoatiara, no período de 1982 a 1990 .....	59
Figura 4.13 - Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Manaus, no período de 1982 a 1990 .....	59
Figura 4.14 - Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Parintins, no período de 1982 a 1990 .....	60
Figura 4.15 - Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Tefé, no período de 1982 a 1990 .....	60



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Efeitos atmosféricos nos canais 1 e 2 do sensor AVHRR /NOAA e implicações no NDVI .....	26
Tabela 3.1 - Localização das estações meteorológicas do INMET no estado do Amazonas . .....	32
Tabela 4.1 - Valores de deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Barcelos do INMET .....	39
Tabela 4.2 - Valores de deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Itacoatiara do INMET .....	42
Tabela 4.3 - Valores de deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Manaus do INMET .....	45
Tabela 4.4 - Valores de deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Parintins do INMET .....	48
Tabela 4.5 - Valores de deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Tefé do INMET .....	51
Tabela 4.6 – Valores mínimos, medianos e máximos para: deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, meses em que estes ocorrem com maior frequência e defasagem em meses, para as cinco estações do INMET consideradas no estudo .....	53
Tabela 4.7 - Valores mínimos, medianos e máximos para: excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que estes ocorrem com maior frequência e defasagem em meses, para as cinco estações do INMET consideradas no estudo .....	53
Tabela 4.8 - Valores mensais de deficiência e excedente hídrico, para as cinco estações do INMET consideradas neste estudo .....	54
Tabela 4.9 – Valores anuais de deficiências hídricas para as cinco estações do INMET consideradas neste estudo e classe dos eventos de El Niño e La Niña .....	61

Tabela 4.10 - Valores anuais de NDVI para as cinco estações do INMET consideradas neste estudo e classe dos eventos de El Niño e La Niña .....	61
--	----

## LISTA DE SIGLAS

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EFAI-NDVI	European Fourier-Adjusted and Interpolated NDVI
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OMA	Oscilação Multidecadal do Atlântico
TSM	Temperatura da Superfície do Mar

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 Considerações iniciais	13
1.2 Identificação do problema	13
1.3 Objetivos	14
1.4 Escopo do trabalho	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
2.1 A Floresta Amazônica	16
2.1.1 O Bioma amazônico	16
2.1.2 Relevo da região amazônica	17
2.1.3 Solos da região amazônica	18
2.1.4 Bacias e rios da região amazônica	18
2.1.5 Clima da região amazônica	19
2.1.6 As secas na Amazônia	20
2.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	22
2.3 Ruídos do NDVI	24
2.3.1 Efeitos Atmosféricos	24
2.3.2 Efeitos do Sensor	26
2.3.3 Iluminação	27
2.3.4 Solos	27
2.3.5 Nuvens	28
2.4 Aplicações do NDVI	28
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
3.1 Dados meteorológicos	32
3.2 Dados de satélite	32
3.2.1 Dados EFAI-NDVI	32
3.3 Região de estudo	35
3.4 Métodos	35
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>37</b>
4.1 Comportamento anual do NDVI versus Balanço Hídrico Climatológico	37
4.1.1 Barcelos	37
4.1.2 Itacoatiara	41
4.1.3 Manaus	44
4.1.4 Parintins	47
4.1.5 Tefé	50
4.2 Análise sazonal do NDVI	54
4.3 Análise interanual do NDVI	57
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>62</b>

<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>
---	-----------

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações iniciais

As florestas ajudam a estabilizar o clima, protegem as espécies vegetais e animais, absorvem e emitem grandes quantidades de carbono devido à conversão constante da biomassa vegetal. Além disso, desempenham papéis importantes na proteção do meio ambiente, entre eles: o de produzir grande quantidade de vapor d'água e aerossóis, criando condições favoráveis para a formação de precipitação. O transporte de grandes massas de vapor d'água fornece água para muitas áreas com pouca vegetação. Os dosséis das florestas interceptam a chuva, facilitando a penetração de água no solo e no lençol freático, reduzindo o escoamento superficial e a erosão do solo (MORAN, 2010). As florestas desempenham um papel importante na manutenção do equilíbrio dinâmico entre o clima e vegetação, reciclando vapor d'água (SALATI e MARQUES, 1984 apud MARENGO e NOBRE, 2009).

A dinâmica da cobertura vegetal afeta diretamente o clima e o ambiente terrestre através das trocas de energia, *momentum* e matéria, gerando mecanismos de retroalimentação (LOS, 1998). Nesse sentido, informações quantitativas e qualitativas sobre essa cobertura são necessárias para pesquisas de mudanças globais (TOWNSHEND, TUCKER e GOWARD, 1993).

Essa necessidade direcionou os estudos para o uso de dados de sensoriamento remoto na obtenção de respostas da superfície correlacionadas com a atividade da vegetação, sendo o modo mais efetivo de obter campos globais em bases regulares, a baixo custo e com boa resolução temporal (ASRAR *et al.* 1984; MYNENI *et al.*, 1995; SELLERS *et al.*, 1996; HUETE *et al.*, 1997; LOS, 1998; GOWER, KUCHARIK e NORMAN, 1999).

### 1.2. Identificação do problema

Dentro desta temática, a Floresta Amazônica tem papel de destaque por ser a maior floresta tropical do mundo. O Bioma está passando por um processo de descaracterização e desmatamento causado pelo uso e ocupação da terra, o que pode ser considerado o principal problema da região (IBGE, 2004). As principais ameaças à Amazônia hoje são: A pecuária

bovina extensiva, o cultivo da soja, a produção de carvão vegetal, a exploração madeireira predatória, o modelo fundiário, o narcotráfico e a guerrilha, o tráfico de animais e plantas, a caça predatória, as obras de hidrelétricas, hidrovias e estradas, o garimpo e a pesca predatória. Com isto ocorre: a destruição da biodiversidade, grandes desmatamentos e queimadas, a poluição dos rios, e o sofrimento dos povos nativos (FILHO, 2006). A mudança no uso da terra pode provocar uma queda significativa na precipitação da região, uma vez que 50% da precipitação amazônica vêm da evapotranspiração das plantas (MORAN, 2010). As secas severas ocorridas em 2005 e 2010 podem estar relacionadas à grande questão das mudanças globais.

Índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto orbital podem auxiliar na identificação de ocorrência de secas em escala regional. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem sido usado no monitoramento desse fenômeno e de seus impactos na vegetação (GUTMAN, 1990; KOGAN, 1990; HUTCHINSON, 1991) com resultados promissores. Liu e Kogan (1996) reportam que o NDVI responde com uma defasagem temporal de um mês à ocorrência de precipitação e de déficit hídrico na região norte do estado de São Paulo. Adicionalmente, mencionam que dependendo do regime de precipitação, tipo de vegetação e tipo de solo, essa resposta temporal pode variar de região para região. Consequentemente, um mesmo valor de NDVI pode estar associado à situação de seca em uma determinada região e em outra não. Assim, é importante identificar o padrão de resposta do NDVI ao déficit hídrico em cada região. Hellden e Eklundh (1988) relataram uma correlação entre anomalias de NDVI e de ocorrência de seca severa e de escassez de chuva em diferentes regiões da Etiópia. Batista, Shimabukuro, e Lawrence (1997), utilizando dados de NDVI da Amazônia, identificaram variações interanuais associadas a mudanças nas condições ambientais. Barbosa (1998), utilizando médias mensais, constatou que as distribuições espacial e temporal da precipitação e do NDVI na região do Nordeste do Brasil, têm padrões semelhantes e uma relação considerável.

### **1.3. Objetivos**

Mediante tais constatações, este estudo tem como objetivo identificar padrões de resposta temporal do NDVI em relação ao déficit hídrico na Região Amazônica. Para tanto, as seguintes metas foram definidas:

- i) Identificar o padrão temporal de resposta do NDVI em relação à ocorrência de deficit/excedente hídrico em diferentes regiões do Bioma Amazônico, concentradas no estado do Amazonas;
- ii) Compreender o ciclo sazonal e interanual do NDVI para cada região de estudo.

#### **1.4. Escopo do trabalho**

O primeiro capítulo é constituído pela Introdução ao tema. Foram abordados os aspectos em relação à área de estudo, características e problemas e também algumas características sobre o NDVI. Foram também apresentados os objetivos. No segundo capítulo é feita a revisão bibliográfica sobre a Floresta e o Bioma Amazônico e também sobre o NDVI. O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada, com a descrição da região de estudo, os dados utilizados e a forma como os resultados foram obtidos. No quarto capítulo são apresentados os resultados. No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações deste estudo.



## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 A Floresta Amazônica**

Segundo Filho (2006), o Brasil possui 3,9 milhões de km<sup>2</sup> de florestas tropicais, deste total 95% é a Floresta Amazônica. A Floresta Amazônica ocupa nove países da América do Sul, que são: Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname, Venezuela. Constitui 50% da área continental da América do Sul, e tem cerca de 30 milhões de habitantes, sendo que 80% estão localizados no Brasil. A Amazônia brasileira abrange os seguintes estados: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, com área de 3,8 milhões de km<sup>2</sup>, 44% da área do Brasil. O conceito de Amazônia legal, criado pela Constituição Federal do Brasil em 1953 inclui ainda uma faixa do Mato Grosso ao norte do paralelo 16°S, todo o estado de Tocantins e no Maranhão a região a oeste do meridiano 44°O.

A população amazônica é de aproximadamente 21 milhões de habitantes, representando 9% da população brasileira. Cerca de 6,3 milhões vivem na zona rural e 14,7 milhões na zona urbana. Também possui cerca de 210 mil nativos (60% da população indígena brasileira), representando 0,2% da população do país, com mais de 150 povos distintos (FILHO, 2006).

#### **2.1.1 O Bioma amazônico**

O bioma amazônico brasileiro possui mais de setenta tipos de vegetação não alterados pelo homem, seis alterados pelo homem e mais seus subsistemas. Os grupos de vegetação mais importantes são: as Campinaranas (4,10% da Amazônia), as Florestas estacionais decíduas ou semidecíduas (4,67% da Amazônia), as Florestas Ombrófilas Abertas (25,48% da Amazônia), as Florestas Ombrófilas Densas (53,63% da Amazônia), as formações pioneiras com influência fluvial ou marinha (1,87% da Amazônia), os refúgios montanos ou vegetacionais (0,029% da Amazônia) e as Savanas Amazônicas (6,07% da Amazônia). Aproximadamente 83,78% da vegetação amazônica brasileira é composta por formações florestais e menos de 4% da região é inundada permanentemente ou temporariamente (FILHO, 2006; MORAN, 2010).

Em relação aos grupos predominantes, tem-se que a Floresta Ombrófila Aberta está presente no Acre, leste e sul da Amazonas, norte do Mato Grosso, sudoeste do Maranhão e Rondônia. Apresenta gradientes climáticos com mais de 60 dias secos e temperaturas médias entre 24°C. É caracterizada pela fisionomia florestal composta por árvores mais espaçadas e faixas arbustivas pouco densas, além disso, possui palmeiras, cipós, bambus, etc. Por sua vez, a Floresta Ombrófila Densa ocorre em toda a área central do bioma ao longo da calha dos rios Solimões, Amazonas e seus afluentes. Está ligada ao clima tropical quente e úmido, praticamente sem período biologicamente seco (de 0 a 60 dias secos), com temperaturas variando entre 22°C a 25°C e precipitação bem distribuída ao longo do ano. É caracterizada por árvores de grande e médio porte, além de lianas e epífitas em abundância (IBGE, 1992,2004).

A vegetação do bioma possui uma flora variada e rica. A vasta fauna, os fungos, bactérias e outros microrganismos contribuem para o balanço ecológico do bioma. É considerado como a maior reserva de diversidade biológica do mundo (IBGE, 1992, 2004).



**Figura 2.1** – Localização dos biomas brasileiros.  
**FONTE:** IBGE, 2012.

### 2.1.2 Relevo da região amazônica

A Amazônia possui 95% de terras baixas, ora semiplanas, semionduladas, o que forma um vasto conjunto de colinas. Metade da Amazônia está abaixo de cem metros de altitude, a

outra metade está entre cem e quinhentos metros, e cerca de 2% está acima de quinhentos metros. O ponto culminante brasileiro é o Pico da Neblina na fronteira entre o estado do Amazonas e a Venezuela com 2993,8 metros, seguindo pelo Pico 31 de Março localizado no Parque Nacional do Pico da Neblina com 2.972,66 metros (FILHO, 2006).

### **2.1.3 Solos da região amazônica**

Os solos da Amazônia possuem baixa fertilidade devido à idade geológica avançada. Os solos mais férteis são encontrados nos Andes. Os solos são considerados quimicamente pobres devido à exposição ao longo de muitos anos à água da chuva, que acaba por dissolver partes dos minerais. Devido à reciclagem de nutrientes pelos seres vivos estes solos conseguem suportar a Floresta Amazônica. As árvores também possuem uma extensa rede de raízes e junto com as folhas captam e armazenam nutrientes. Com o desmatamento o solo fica exposto à chuva, diminuindo a sua capacidade de absorver água, aumentando o escoamento superficial e a erosão. Como outra consequência a exposição ao sol leva ao aumento de temperatura, fazendo com que a camada de matéria orgânica seja destruída. Sem matéria orgânica a capacidade do solo reter água diminui (FILHO, 2006).

### **2.1.4 Bacias e rios da região amazônica**

A Amazônia pode ser entendida pelas áreas drenadas pelas bacias dos rios Amazonas, Araguaia - Tocantins, Orenoco, Essequibo, entre outros. O rio Amazonas constitui a maior bacia hidrográfica do planeta, com cerca de 6,925 milhões de km<sup>2</sup>, com mais de mil rios e tributários. A região concentra aproximadamente 15% das águas doces superficiais em forma líquida do planeta. Há três grandes bacias hidrográficas na Amazônia: a Amazônica com 6,925 milhões de km<sup>2</sup>, sendo 63% pertencente ao Brasil. Correspondendo a 45% da superfície do país, com mais de treze milhões de habitantes e inclui entre seus principais rios o Amazonas, sendo que na margem esquerda pode-se citar o rio Negro e na margem direita o Madeira, Tapajós e Xingu; a do Araguaia - Tocantins, com 813 mil km<sup>2</sup>, inteiramente no Brasil, com sete milhões de habitantes e 8,9% da superfície do país, e cujos principais rios são o Araguaia e Tocantins; e a do Orenoco na Venezuela, que deságua no Oceano Atlântico (FILHO, 2006).

Os rios da Amazônia são classificados de acordo com a cor das suas águas. Os rios de águas claras, principalmente os originados no Planalto Central são pobres em sedimentos, como por exemplo, o Xingu, Tapajós, Tocantins e Araguaia. Os rios de águas brancas nascem nos Andes, possuem cor barrenta e são ricos em nutrientes e sedimentos, o que permite ao longo do percurso destes rios a formação de várzeas, como por exemplo, as dos rios Juruá, Madeira, Purus e Solimões. Os rios de águas pretas nascem no Planalto das Guianas sobre rochas antigas e resistentes, são pobres em sedimentos, possui coloração escura, devido à matéria orgânica da vegetação dissolvida que está presente nas margens de suas nascentes, um exemplo é o rio Negro (IBGE, 2004).

Os rios seguem o regime das estações do ano, seca e enchente e os ciclos de inundação. Algumas regiões são permanentemente inundadas, outras são inundadas anualmente e as de terra firme são inundadas quando a cheia é excessiva. Os efeitos das mudanças climáticas e eventos climáticos, tal como, o El Niño tem afetado os ciclos dos rios amazônicos (FILHO, 2006).

### **2.1.5 Clima da região amazônica**

Segundo Marengo e Nobre (2009), o clima da região é caracterizado como equatorial chuvoso, e quase não se nota estação seca. A temperatura do ar mostra pouca variação ao longo do ano devido aos altos valores de energia solar que incidem na superfície.

As médias anuais de temperatura ficam em torno de 26°C e 28°C. A amplitude térmica diária pode variar até 10°C. Quanto à sazonalidade, a amplitude térmica varia de 1°C a 2°C, e os valores médios das temperaturas variam entre 24°C e 26°C (FILHO, 2006; MARENGO e NOBRE, 2009; MORAN, 2010).

A precipitação anual atinge em média 2300 milímetros (MARENGO e NOBRE, 2009). Do total das chuvas, 20% caem em forma de tempestades, podendo representar 200 milímetros em poucas horas (FILHO, 2006).

Em média 50% do total de precipitação é reciclada e volta à atmosfera por evapotranspiração. O balanço de umidade mostra o papel fundamental da evapotranspiração (3 a 3,5 mm/dia), sugerindo que a evapotranspiração média é responsável por aproximadamente 50% da precipitação (MARENGO e NOBRE, 2009). Um quarto da água da chuva é retido pelas folhas, o restante (três quartos) chega lentamente ao solo e parte desta

água evapora. Metade do que chove na Amazônia retorna à atmosfera em forma de vapor e a outra metade vem da evaporação do Oceano Atlântico (FILHO, 2006).

O dossel é a região localizada nas copas das árvores sendo capaz de reter aproximadamente 95% dos raios solares que chegam à superfície, fazendo com que o interior das florestas seja escuro e úmido, e as temperaturas não variem muito. A umidade relativa no nível da superfície oscila entre 80% e 100%, e no dossel fica próxima de 60% (FILHO, 2006).

A Amazônia é cortada pela linha Equador, o que faz com que alguns estados dessa região tenham estações do ano opostas. Nos estados de Roraima, Amapá e parte da Amazonas, ao norte da linha do Equador, tem-se estações do ano opostas aos estados localizados ao sul da linha do Equador (FILHO, 2006). A estação chuvosa no sul da Amazônia começa na primavera, e termina em abril. Os máximos de chuva ocorrem no verão. Na parte norte da Amazônia, a estação chuvosa termina em setembro (MARENGO e NOBRE, 2009).

### **2.1.6 As secas na Amazônia**

Brown *et al.* (2006) e Sales, Rebello e Fátima (2010), reportam que secas na Amazônia ocorreram em 1906, 1916, 1921, 1926, 1936, 1963, 1958, 1983, 1992, 1998 e 2005, algumas dessas secas foram relacionadas com eventos de El Niño. Entretanto, eventos tão acentuados como o último, não se viu nos últimos 40 anos. Inúmeros igarapés e a maioria dos lagos secaram. A seca de 2005 na Amazônia foi possivelmente uma das mais graves em pelo menos cem anos, sendo particularmente mais grave nas partes oeste e sul da bacia amazônica, onde muitos rios e lagos tiveram nível de água mais baixo em muitas décadas. Houve grande mortandade de peixes, principal alimento da região, falta de água potável, enquanto os barcos, que são os únicos meios de transporte da região ficaram sem condições de navegabilidade (MARENGO *et al.*, 2008; SUGUIO, 2008; ZENG, 2008).

Pesquisadores apontam que uma anomalia na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Atlântico Tropical relacionada com a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) foi o fator que causou a seca de 2005, uma vez que houve ausência do evento climático El Niño (BROWN, *et al.*, 2006; ARAGÃO, 2007; NOBRE, SAMPAIO e SALAZAR, 2007; MARENGO *et al.*, 2008; ZENG, 2008).

Este efeito implicou na diminuição da intensidade dos ventos alísios de nordeste e do transporte de umidade do Oceano Atlântico Tropical em direção à região amazônica. Outros dois possíveis fatores devem ser considerados: a redução da intensidade e do transporte de umidade pelos ventos alísios de nordeste em direção ao sul da Amazônia durante a estação de verão, e a diminuição do movimento vertical sobre a parte sul da Amazônia, resultando num desenvolvimento convectivo reduzido e pouca precipitação (NOBRE, SAMPAIO e SALAZAR, 2007).

Segundo Gesisky (2011), um novo estudo liderado pela Universidade de Leeds (Reino Unido) e pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) aponta a seca de 2010 na Amazônia como sendo ainda mais devastadora para a floresta do que a seca de 2005, até então considerada a mais grave da região nos últimos cem anos.

A seca de 2010 afetou a área que compreende o noroeste, centro e sudoeste da Amazônia, incluindo partes da Colômbia, do Peru e do norte da Bolívia. Teve início durante um evento do El Niño no início do verão e tornou-se mais intensa durante o evento de La Niña do ano seguinte. Durante esta seca, também houve um aumento na TSM no norte do Oceano Atlântico Tropical (o mesmo ocorrido nos eventos de seca nos anos sem El Niño, como em 1964 e 2005) sendo um indício para tal evento (MARENGO *et al.*, 2011).

As secas de 2005 e 2010 foram semelhantes, em termos meteorológicos, embora os impactos hidrológicos sobre os níveis das águas dos rios tenham sido mais graves durante o último evento (MARENGO *et al.*, 2011).

A ocorrência de dois eventos dessa magnitude em um intervalo tão curto é extremamente incomum, mas, infelizmente, coincide com os modelos climáticos que preveem um futuro sombrio para a Amazônia, com estiagens mais prolongadas, mais intensas e mais frequentes durante o século XXI, em decorrência das emissões de gases de efeito estufa. Os cientistas descreveram o evento de 2005 como uma seca que ocorre uma vez a cada cem anos, mas a região foi atingida por uma segunda seca extrema apenas cinco anos mais tarde. A ocorrência de duas grandes secas, separadas em um intervalo de cinco anos, pode compensar largamente o carbono absorvido pelas florestas intactas da Amazônia durante esse período. Se eventos como esses se tornarem mais frequentes, a Floresta Amazônica deixará de ser um valioso reservatório de carbono para se tornar uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa. Para os estudiosos, este novo evento de seca severa na Amazônia exige uma reavaliação do futuro da região. Secas e incêndios florestais estão mudando a vida de quem

mora na floresta a um ritmo além do que a comunidade achava possível poucos anos atrás. Populações indígenas sofrem com a poluição do ar durante esses eventos, devido à fumaça dos incêndios florestais, enquanto comunidades ribeirinhas ficam isoladas pelo baixo nível dos rios e produtores rurais não sabem quando plantar.

A dinâmica da cobertura vegetal afeta diretamente o clima e o ambiente terrestre através das trocas de energia, *momentum* e matéria, gerando mecanismos de retroalimentação (LOS, 1998). A floresta desempenha um papel importante na manutenção do equilíbrio dinâmico entre o clima e vegetação, reciclando vapor d'água (SALATI; MARQUES, 1984 apud MARENGO e NOBRE, 2009). A existência ou não da cobertura vegetal interfere grandemente nas quantidades de escoamento, infiltração e evaporação das águas pluviais precipitadas. Com o avanço do desflorestamento deve ocorrer redução nas quantidades de águas infiltradas e, ao mesmo tempo deve haver aumento das quantidades de águas de escoamento e de evaporação. Isto poderá causar uma completa mudança no ciclo hidrológico natural da Região Amazônica. Existe a possibilidade de que processos de erosão acelerada dos solos e fenômenos de mudanças climáticas, em continuidade, possam produzir o efeito de desertificação (SUGUIO, 2008). Nesse sentido, informações quantitativas e qualitativas sobre essa cobertura são necessárias para pesquisas de mudanças globais (TOWNSHEND, TUCKER e GOWARD, 1993).

## **2.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

Os índices de vegetação provenientes do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) tem sido uma ferramenta útil para descrever as mudanças fenológicas da vegetação em grande escala sobre diversas regiões do mundo, devido a sua grande variabilidade espacial e temporal (GUTMAN, 1991).

A série de satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) com sensor AVHRR, foi concebida a princípio para estudos meteorológicos, mas após o lançamento do NOAA 7 no início da década de 80, o sensor tornou-se importante para estudos da dinâmica da vegetação devido as suas múltiplas bandas espectrais, que se adequam ao monitoramento da vegetação. Sua principal vantagem é a alta frequência de imageamento, alta resolução temporal, que possibilita o acompanhamento da variação fenológica da vegetação por um longo período de tempo (ALMEIDA, 1997; GURGEL, 2000).

Alguns sensores remotos orbitais são sensores ópticos, que operam na faixa de 0,38  $\mu\text{m}$  - 15  $\mu\text{m}$  do espectro eletromagnético que é subdividida em quatro regiões: visível (azul, verde e vermelho), infravermelho próximo, médio e termal. Cada objeto da superfície terrestre, devido à sua composição física e química, apresenta um comportamento espectral particular em relação aos comprimentos de ondas em cada uma destas regiões (GURGEL, 2000).

O AVHRR é um radiômetro imageador de cinco canais, sensível às porções do espectro eletromagnético nas bandas do visível, infravermelho próximo e termal (BARBOSA, 1998).

Devido à alta quantidade de pigmentos de clorofila e carotenos existentes nas folhas, ocorre grande absorção da radiação solar incidente na região do vermelho (0,55 – 0,70  $\mu\text{m}$ ) e baixa reflectância. Na região do infravermelho próximo (0,70 – 1,30  $\mu\text{m}$ ) a vegetação verde possui alta reflectância (GUYOT *et al.* 1989 apud GURGEL, 2000; OLIVEIRA, 2008).

As combinações das reflectâncias da região do vermelho (canal 1 do sensor AVHRR) e do infravermelho próximo (canal 2 do sensor do AVHRR) têm sido utilizadas para o cálculo dos índices de vegetação, pela qual se procura obter o máximo contraste entre estes canais a fim de caracterizar o vigor da vegetação (BARBOSA, 1998; GURGEL; 2000).

O NDVI é calculado a partir das reflectâncias dos canais visível e infravermelho próximo, canais 1 e 2 respectivamente do AVHRR, de acordo com a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (2.1)$$

Onde  $\rho_1$  é a reflectância do canal visível (canal 1) e  $\rho_2$  é a reflectância do canal infravermelho próximo (canal 2) (STÖCKLI e VIDALE, 2004).

O NDVI tem sido amplamente utilizado por proporcionar um forte sinal da vegetação, e oferecer um bom contraste com outros objetos da superfície terrestre (TUCKER E SELLERS, 1986 apud GURGEL, 2000).

Os valores do NDVI variam numa escala entre -1 e 1, de acordo com a arquitetura, densidade e umidade da vegetação (GURGEL, 2000; OLIVEIRA, 2008). Os maiores valores de NDVI estão associados às coberturas vegetais densas (de 0,2 a 0,8), valores negativos de NDVI estão associados a lugares com presença constante de nuvens e água. Rochas e solos



expostos possuem valores próximos à zero, devido às reflectâncias similares nos canais utilizados para o cálculo do NDVI.

Segundo Jackson (apud ALMEIDA, 1997), um bom índice de vegetação deve ser sensível à vegetação e insensível aos ruídos, como as mudanças na reflectância do solo e também não receber grande influência da atmosfera. Os efeitos atmosféricos podem ocasionalmente, interferir, impedir ou induzir a captação da resposta da vegetação (OLIVEIRA, 2008).

Os dados do sensor AVHRR coletados pelos satélites NOAA envolvem muitas fontes de ruídos que vão desde a degradação do sensor, mudanças de satélites, contaminações de nuvens, atenuações atmosféricas devido às presenças de aerossóis e vapor d' água, limitando o uso do NDVI (LIU e KOGAN, 1996). Tais ruídos serão apresentados a seguir.

### **2.3 Ruídos do NDVI**

Os efeitos atmosféricos, configurações dos sensores, mudanças de satélites, iluminação, entre outros, afetam os valores do índice de vegetação sendo então chamados de ruídos (OLIVEIRA, 2008). A utilização de composição de imagens é uma técnica poderosa para minimizar estes efeitos (TANRÉ, HOLBEN E KAUFMAN, 1992).

#### **2.3.1 Efeitos Atmosféricos**

Os efeitos atmosféricos (nuvens, vapor d' água, aerossóis) reduzem o contraste entre as reflectâncias dos canais visível e infravermelho próximo, resultando na diminuição dos valores dos índices de vegetação. Uma das maneiras para reduzir estes efeitos é selecionar o valor máximo do índice de vegetação ao longo de um período de tempo (GUTMAN, 1991).

A radiação solar interage com a atmosfera ao atravessá-la, resultando nos processos físicos de espalhamento (devido à presença de moléculas de gases atmosféricos e aerossóis) e absorção (devido à presença de gases atmosféricos) (GURGEL, 2000). A radiação no visível e no infravermelho próximo que atinge o satélite é absorvida diferencialmente pelos gases atmosféricos (principalmente ozônio e vapor d'água), afetando as relações entre as reflectâncias medidas nas duas bandas espectrais (TANRÉ, HOLBEN E KAUFMAN, 1992).

O vapor d'água tem maior efeito no canal do infravermelho próximo (canal 2) reduzindo a reflectância de 10% a 30%, resultando na diminuição do valor do NDVI. Uma possível solução para este problema é usar uma combinação dos canais térmicos do sensor AVHRR, por serem sensíveis à quantidade de vapor d'água na atmosfera. A absorção de ozônio reduz a reflectância no canal visível (canal 1) de 5% a 15%, resultando no aumento do valor do NDVI (GUTMAN, 1991; TANRÉ, HOLBEN E KAUFMAN, 1992).

O espalhamento molecular tem maior efeito no canal visível (canal 1) aumentando a reflectância, dependendo do sentido de iluminação e de observação. Os aerossóis são partículas sólidas ou líquidas (com raio de 0,01 a 20  $\mu\text{m}$ ), quando interagem com a radiação solar provocam o espalhamento, isto resulta no aumento da reflectância em ambos os canais, levando a um decréscimo no valor do NDVI (TANRÉ, HOLBEN E KAUFMAN, 1992; GURGEL, 2000).

A Tabela 2.1 apresenta os principais efeitos atmosféricos e seus impactos nos valores do NDVI.

**Tabela 2.1** - Efeitos atmosféricos nos canais 1 e 2 do sensor AVHRR /NOAA e implicações no NDVI.

	<b>Canal 1</b>	<b>Canal 2</b>
<b>Ozônio</b>	Diminuição da reflectância de 5 a 15%	Nenhum efeito
	Aumento no NDVI de 0,00 a 0,03 para áreas esparsamente vegetadas	
<b>Espalhamento Molecular</b>	Aumento da reflectância de 0,02 a 0,07	Aumento da reflectância por 0,005 a 0,025
	Decréscimo no NDVI de 0,00 a 0,10 para áreas densamente vegetadas	
<b>Aerossóis</b>	Aumento da reflectância de 0,02 a 0,08 para névoa moderada e de 0,10 a 0,15 para alta turbidez	Mesmo efeito do canal 1
	Decréscimo no NDVI de 0,00 a 0,20 para áreas densamente vegetadas	
<b>Vapor d'água</b>	Decréscimo da reflectância de 0 a 5%	Decréscimo da reflectância de 10 a 30%
	Decréscimo no NDVI por 0,01 a 0,10 para áreas esparsamente vegetadas	

FONTE: TANRÉ, HOLBEN e KAUFMAN (1992).

Os aerossóis vulcânicos aumentam a reflectância do canal visível do sensor AVHRR (canal 1), levando a diminuição do valor do NDVI, devido ao aumento do espalhamento atmosférico (LOS, 1998; OLIVEIRA, 2008).

### 2.3.2 Efeitos do Sensor

A degradação do sensor AVHRR e substituições do sensor e/ou satélite resultam em variações no valor do NDVI.

Devido ao arrasto atmosférico (atrito do satélite com a atmosfera terrestre), ocorre uma deriva orbital inicial do satélite, com isso o satélite passa a cruzar o Equador cada vez mais

tarde em relação à hora solar local, podendo chegar a uma diferença de até três horas durante a vida útil do satélite. Isso equivale a um aumento gradual de ano para ano no ângulo de observação solar zenital para cada alvo específico, causando uma diminuição no valor do NDVI (GUTMAN, 1991).

A degradação da calibração de pré-lançamento, afeta os canais do sensor AVHRR. A calibração do sensor não seria um obstáculo para os cálculos de NDVI se os dois canais do sensor AVHRR se degradassem proporcionalmente. No entanto, a taxa de mudança pode ser diferente para cada canal. Mudanças na calibração levam a um aumento no valor do NDVI (GUTMAN, 1991).

Os problemas acima também surgem quando há uma mudança nos satélites. Tais mudanças geram a descontinuidade dos dados, devido à diferença na calibração e ângulo solar zenital, resultando em alterações no valor do NDVI (GUTMAN, 1991).

### **2.3.3 Iluminação**

Alterações no ângulo solar zenital levam a mudanças nas condições de iluminação, afetando os valores do NDVI. A variabilidade na elevação solar é importante para a intercomparação da cobertura vegetal em diferentes latitudes e épocas. Segundo Deering e Eck (apud GUTMAN, 1991), durante dias claros os valores do NDVI aumentam com o aumento do ângulo solar zenital, como um resultado de mudanças no efeito de sombreamento.

### **2.3.4 Solos**

A variabilidade espacial dos solos também introduz um ruído nos dados do NDVI. As características reflexivas dos solos podem ser suficientes para tornar os valores do NDVI em diferentes regiões incompatíveis. Uma forma de reduzir a influência da variabilidade do solo, e seu efeito no NDVI, é através da introdução de um "ajuste de solo" para os índices de vegetação (HUETE, 1987 apud GUTMAN, 1991).

### 2.3.5 Nuvens

As nuvens aparecem como objetos brilhantes nos canais 1 e 2 do sensor AVHRR, por possuírem alta reflectância (com valores maiores do que 0,35 em ambos os canais), apresentando valores negativos de NDVI (-0,05 a -0,20). A grande maioria dos dados com nuvens podem ser identificados devido a sua baixa temperatura, e assim eliminados. A técnica de mascaramento pode ser utilizada para o pixel que apresente no canal cinco do sensor AVHRR, temperatura menor que 273 K, reduzindo a contaminação por nuvens (ALMEIDA, 1997; LOS, 1998; GURGEL, 2000).

Os pixels misturados, que são formados por partes de nuvens, sombras de nuvens, e superfície são difíceis de serem identificados automaticamente e são por muitas vezes incorporados ao conjunto de dados. O efeito do sub-pixels de nuvens é um sério problema para áreas altamente vegetadas, sendo maior na reflectância do canal visível. Os sub-pixels de nuvens (para nuvens menores que 1,1 km), ocorrem em áreas densamente vegetadas, como por exemplo, a Amazônia, tornando a contaminação por nuvens um sério problema (ALMEIDA, 1997).

## 2.4 Aplicações do NDVI

Assad, Setzer e Moreira (1988), estabeleceram relações entre os dados do NDVI derivado do sensor AVHRR/NOAA de um período de sete dias e dados de precipitação de oitenta e nove estações para o estado de Minas Gerais, no período de setembro a março de 1982 a 1983 e de setembro a março de 1983 a 1984. Verificou-se o aumento no valor do NDVI uma semana após o registro de chuvas e uma queda, uma a três semanas após a ausência ou redução acentuada da precipitação.

Batista, Shimabukuro e Lawrence (1993), verificaram a variação fenológica da vegetação em função das estações do ano e de eventos climáticos marcantes (El Niño), com dados do NDVI derivados do sensor AVHRR/NOAA, para o período de agosto de 1981 a junho de 1991, na área da Amazônia Legal Brasileira. Observou-se que durante períodos chuvosos os valores de NDVI foram mais altos do que para períodos secos. Verificou-se também que os efeitos causados pelo El Niño são aparentes em diversas classes de coberturas vegetais que ocorrem na Amazônia Legal.

Santos e Shimabukuro (1993) utilizaram dados do sensor AVHRR/NOAA para acompanhamento da vegetação da região do cerrado brasileiro, no período de janeiro a dezembro de 1990. Constataram a partir de valores mensais de NDVI, que a vegetação apresenta um comportamento senoidal ao longo do ano, com valores em torno de 0,3986 a 0,3213. Os valores máximos do NDVI ocorreram na época chuvosa (maio) e os valores mínimos na época seca (setembro).

Assad, Castro e Almeida (1996) verificaram a correlação dos dados do NDVI derivado do sensor AVHRR/NOAA com dados de precipitação do DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), para o período de agosto de 1981 a junho 1991, na área compreendida pelo bioma cerrado. Foi evidenciada a existência de oito grupos homogêneos relacionados com chuva e índice de vegetação nos cerrados. Na maioria dos grupos o tempo de resposta do NDVI à ocorrência de precipitação foi de três meses.

Liu e Kogan (1996) utilizaram dados de precipitação total mensal de oito localidades do Brasil, no período de 1981 a 1987, a fim de avaliar a resposta temporal do NDVI em relação à variação sazonal da precipitação. Foi observado que o NDVI respondeu muito bem a precipitação e déficit de água com uma defasagem de um mês para a região norte do estado de São Paulo.

Almeida (1997) avaliou a relação do NDVI derivado do sensor AVHRR/NOAA com dados de precipitação do DNAEE, para a região Amazônica no período compreendido entre janeiro de 1982 e dezembro de 1990. Os melhores coeficientes de correlação foram obtidos quando o tempo de resposta do NDVI à ocorrência de precipitação foi de dois meses.

Almeida e Batista (1998) avaliaram a relação entre o NDVI derivado do sensor AVHRR/NOAA e a precipitação na região Amazônica, utilizando estações do DNAEE, para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 1990. Verificou-se a existência de baixa correlação entre NDVI e precipitação em áreas de floresta (estações terrestres). Observou-se que o tempo de resposta de dois meses entre a ocorrência de precipitação e a resposta do NDVI à precipitação, apresentou os melhores resultados de correlação.

Barbosa (1998) analisou a resposta do NDVI derivado do sensor AVHRR/NOAA em função da pluviometria para a região Nordeste do Brasil, no período de 1982 a 1985. A melhor correlação foi encontrada entre totais de precipitação de dois meses consecutivos com o NDVI do último desses dois meses. Foi constatado que o NDVI pode ser usado como

indicador do regime pluviométrico para períodos extremos de seca e chuva na região Nordeste do Brasil.

Gurgel (2000) avaliou as conexões entre o NDVI e as variabilidades climáticas anuais e interanuais sobre o Brasil e também o tempo de resposta à precipitação das grandes manchas de vegetação que ocorrem no Brasil, para o período de janeiro de 1982 a dezembro 1993. Observou-se que no caso do cerrado e da caatinga, o NDVI apresenta um ciclo anual bem caracterizado, respondendo de forma rápida a ocorrência de precipitação. Para a floresta Amazônica o NDVI apresenta maior variabilidade climática quando ocorrem anomalias climáticas. O máximo do NDVI ocorre geralmente em junho, após o período de chuvas (fevereiro a abril), o mínimo de NDVI ocorre em dois períodos, entre fevereiro e março e outro entre setembro e novembro, sendo o primeiro mais relacionado à contaminação por nuvens.

Paiva *et al.* (2007), identificaram os diferentes padrões de resposta temporal do NDVI (derivado do conjunto de dados EFAI-NDVI) em relação ao déficit hídrico no estado do Maranhão. O período do estudo compreendeu os anos de 1982 a 1999. Os resultados indicaram que existe uma relação entre o comportamento temporal do NDVI e a ocorrência de déficit e excedente hídrico, ocorrendo com certa defasagem temporal de um a dois meses.

Oliveira (2008) avaliou o conjunto de dados do EFAI-NDVI em relação ao Pathfinder do NDVI do sensor AVHRR/NOAA, e estudou o comportamento da cobertura vegetal brasileira através desta série de dados, observando as variações dos tipos de vegetação, influências e relacionamento com o clima. O período dos dados utilizados foi 1982 a 1999. O conjunto de dados do EFAI-NDVI mostrou-se melhor em relação ao dado original, acompanhando as variações anuais da vegetação sem mudanças abruptas no vigor, nos diferentes tipos de vegetação. As maiores médias do EFAI-NDVI ocorreram nas regiões mais densamente vegetadas, Floresta Ombrófila Densa (0,63), Floresta Ombrófila Aberta (0,63), Campinarana (0,61) e Floresta Ombrófila Mista (0,61). Na Floresta Ombrófila Densa (copa sempre verde) foram encontrados valores altos de EFAI-NDVI, com média geral de 0,63 e variação sazonal média pequena, apresentando máximo de 0,67 em junho e mínimo de 0,60 em setembro.

Campos *et al.* (2009), avaliaram os padrões de resposta temporal do NDVI (conjunto de dados da série EFAI-NDVI) em relação ao déficit hídrico no estado do Rio de Janeiro. O período do estudo compreendeu os anos de 1982 a 1995. Foram utilizados dados de nove

estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A resposta da vegetação ao excedente e déficit hídrico não foi imediata, ocorrendo com certa defasagem. Foi observado que os menores valores do NDVI ocorreram após um e dois meses da maior deficiência hídrica.



## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Dados meteorológicos

Foram utilizados dados de temperatura média mensal e precipitação total média mensal, de cinco estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas no Estado do Amazonas. As estações escolhidas para o estudo estão listadas na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Localização das estações meteorológicas do INMET no estado do Amazonas.

<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Barcelos	0.97°S	62.92°O
Itacoatiara	3.13°S	58.43°O
Manaus	3.10°S	60.02°O
Parintins	2.63°S	56.73°O
Tefé	3.83°S	64.70°O

O período de dados está compreendido entre os anos de 1982 a 1990. Estes dados foram utilizados para o cálculo do balanço hídrico citado no item 3.4.

#### 3.2 Dados de satélite

Também foram utilizados os dados da série temporal do EFAI-NDVI (European Fourier-Adjusted and Interpolated NDVI), desenvolvido por Stöckli e Vidale (2004) a partir do conjunto de dados do Pathfinder do NDVI NOAA/NASA, no período compreendido entre os anos de 1982 a 1990.

O NDVI é calculado a partir das reflectâncias do canal visível e infravermelho próximo, de acordo com a equação 2.1.

##### 3.2.1 Dados EFAI-NDVI

O conjunto de dados do Pathfinder do NDVI da NOAA/NASA foi obtido pelo sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA (7 - 9 -11- 14). Este conjunto de dados foi corrigido para o espalhamento Rayleigh, absorção de ozônio, e degradação instrumental (STÖCKLI e VIDALE, 2004; OLIVEIRA, 2008).

As imagens do Pathfinder do NDVI oriundas do sensor AVHRR foram obtidas pelo método que considera o maior valor do pixel. Para imagens resultantes de um determinado período, cada pixel corresponde ao maior valor do pixel das imagens nesse determinado período (OLIVEIRA, 2008).

No entanto este conjunto de dados do Pathfinder do NDVI, não é corrigido para aerossóis (tal como os provenientes de erupções vulcânicas ou fumaça de incêndios florestais), absorção de vapor d'água, efeitos de iluminação e geometria de visada (STÖCKLI e VIDALE, 2004).

Para corrigir os problemas no conjunto de dados da série do Pathfinder do NDVI do AVHRR, Stöckli e Vidale (2004) desenvolveram a série de dados do EFAI-NDVI, onde a metodologia envolve a utilização de um algoritmo de correção refinado para a extração da fenologia da vegetação (LOS *et al.*, 2000). Foi aplicada uma interpolação espacial para extrair as curvas anuais de fenologia da série temporal do NDVI. Os valores de NDVI acima de 0,8 foram considerados como ruídos, uma vez que a vegetação não atinge valores de NDVI acima destes. Também foi utilizado o ajuste dos dados através do termo de segunda ordem da série de Fourier,  $f$ , para cada ponto de grade da série temporal. Valores de NDVI fora do limite  $(0,8f - 0,2) < NDVI < (1,2f + 0,2)$ , foram considerados como dados em falta. Os dados em falta foram interpolados espacialmente para cada intervalo de dez dias, utilizando a técnica de interpolação pelo inverso da distância ponderada de acordo com as equações 3.1 e 3.2.

$$W_i = \frac{1}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2}} \quad (3.1)$$

$$NDVI = \frac{\sum W_i N_i}{\sum W_i} \quad (3.2)$$

Onde:  $W_i$  é o peso de um vizinho válido  $N_i$ ,  $x_i$  é a distância horizontal do vizinho válido  $N_i$  para o valor em falta,  $y_i$  é a distância vertical do vizinho válido  $N_i$  para o valor em falta,  $N_i$  vizinho válido de NDVI na mesma classe de cobertura.

O algoritmo de ajuste de Fourier foi utilizado para avaliar a série temporal dos dados de NDVI. Notou-se que foi bem sucedido o uso do intervalo de dez dias no ajuste de Fourier, para reproduzir a curva fenológica simulada, mesmo quando o intervalo dos dados em falta era muito grande. No entanto o uso do algoritmo nos dados do Pathfinder do NDVI para 0,1° e intervalo de dez dias, apresentou falhas, especialmente para alguns tipos de vegetação com

crescimento rápido. A série de Fourier de segunda ordem é capaz de explicar as características na vegetação em longo prazo, mas não ao contrário.

Os métodos utilizados foram revisados e as séries temporais de NDVI foram processadas com algumas modificações. As séries temporais anuais foram testadas para o período de crescimento e a derivada temporal da série de Fourier de segunda ordem foi examinada para cada ano em cada pixel (STÖCKLI e VIDALE, 2004). Para a vegetação com uma transição contínua entre o período de crescimento e não crescimento foi proposto aplicar o ajuste de Fourier com uma função de ponderação modificada, impedindo pesos excessivos para grandes anomalias na série de tempo (LOS, 1998). Para a vegetação com período de dormência o ajuste de Fourier é aplicado somente para a estação de crescimento. O esquema de ponderação é descrito nas equações 3.3 e 3.4:

$$\text{Estação de crescimento: } W = \begin{cases} \left(\frac{d-t}{-t}\right)^4, & t < d < 0 \\ 4\sqrt{d} + 1, & d \gg 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\text{Período de dormência: } W = 1 \quad (3.4)$$

Onde:

$t = -0,1$ ;

$d = NDVI - f$ ;

$NDVI$  = valores corrigidos espacialmente;

$f$  = série de Fourier discreta de segunda-ordem;

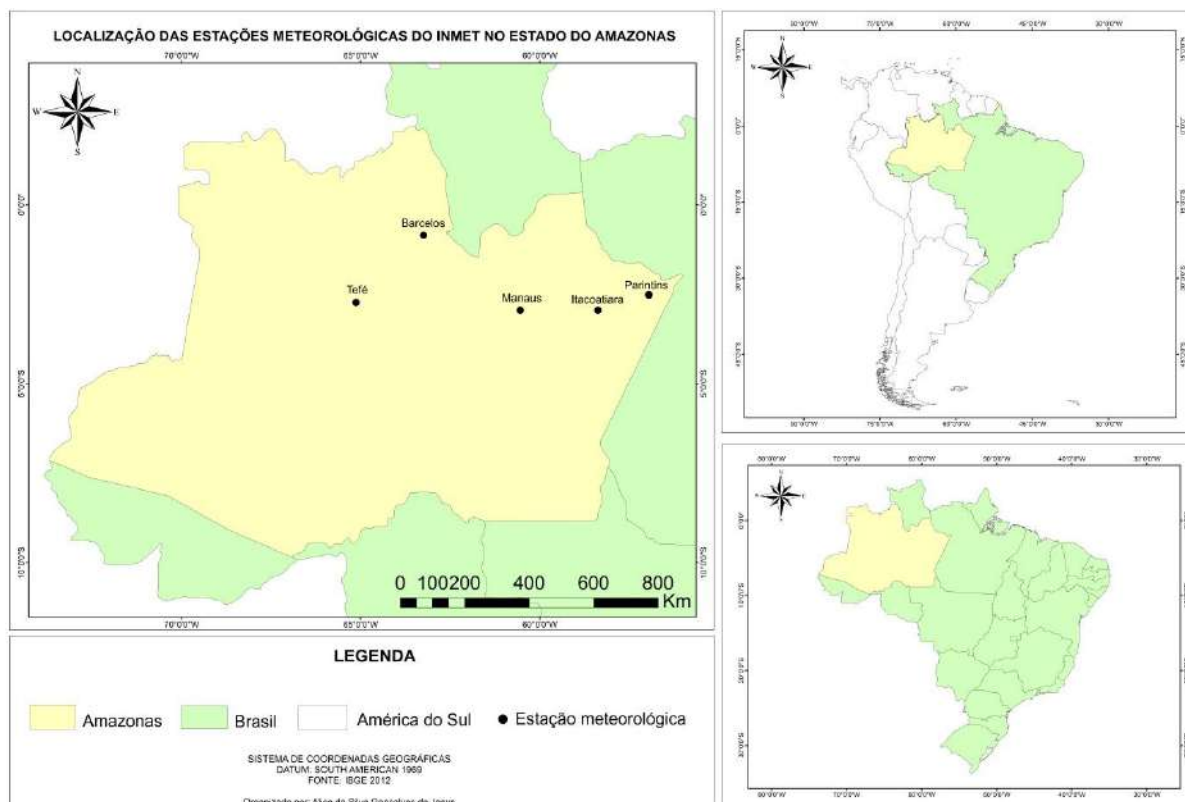
$W$  = pesos.

A série de Fourier  $f$ , não ponderada foi utilizada no período de dormência e a série ponderada utilizada na estação de crescimento.

O conjunto de dados da série EFAI – NDVI foram filtrados e corrigidos para o período que compreende os anos de 1982 a 2001, com resolução temporal de 10 dias e espacial de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  (correspondendo a  $11 \times 11$  km no terreno). Os dados da série tem uma melhor correção dos ruídos, representando melhor a resposta do NDVI (OLIVEIRA, 2008).

### 3.3 Região de estudo

Como região de estudo foram escolhidas áreas de vegetação nativa dentro de um raio de 50 km em relação à localização de cada uma das cinco estações meteorológicas localizadas no estado do Amazonas, conforme apresentado na Tabela 3.1. A figura 3.1 mostra a localização das estações meteorológicas do INMET no estado do Amazonas.



**Figura 3.1** - Localização das estações meteorológicas do INMET no estado do Amazonas.

### 3.4 Métodos

A análise da resposta do NDVI em relação ao déficit e excedente hídrico foi feita da seguinte maneira:

- 1) Para cada uma das cinco áreas de estudo e para cada ano do período considerado (Tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5):
  - a. Foram extraídos os valores mensais de NDVI mínimo, médio e máximo dentro de uma janela de 3 por 3 pixels da imagem correspondente.

- b. Foi calculado o balanço hídrico mensal, utilizando o método desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), com os dados de temperatura média mensal e precipitação total média mensal. Deste cálculo foram extraídos os valores médios mensais de déficit ou excedente hídrico.
  - c. Foi determinada a defasagem de tempo entre a ocorrência do maior déficit hídrico e o menor valor de NDVI e entre o maior excedente hídrico e o maior valor de NDVI dentro de um determinado ano.
  - d. A partir desses valores, foram determinadas estatísticas que correlacionam às ocorrências citadas para a definição de um padrão de comportamento, caso exista, entre as componentes do balanço hídrico (excedente e déficit) e o NDVI.
- 2) Para cada uma das cinco áreas de estudo e para todo o período considerado (1982-1990):
- a. Foram extraídos mensalmente os valores de NDVI médio. Para tanto, foram geradas imagens médias mensais.
  - b. Foi calculado o balanço hídrico climatológico.
  - c. Foram traçados os gráficos de balanço hídrico climatológico versus NDVI médio.

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS**

Neste capítulo, inicialmente serão apresentados os resultados relativos ao comportamento anual e à resposta temporal do NDVI em relação às componentes do balanço hídrico (déficit e excedente hídrico) para cada uma das cinco estações do INMET. Em seguida são apresentados os resultados relativos ao comportamento sazonal e interanual do NDVI.

#### **4.1 Comportamento anual do NDVI versus Balanço Hídrico Climatológico**

##### **4.1.1 Barcelos**

A Tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos a partir dos valores de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e excedente hídrico máximo e NDVI máximo, apresentando também os meses em que estes ocorreram e a defasagem em meses entre tais ocorrências para a estação de Barcelos do INMET.

Observa-se que os valores de deficiências hídricas máximas variam entre -0,19 e -80,75 mm apresentando o valor mediano de -40,63 mm, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de outubro (44,44% dos casos), tendo ocorrido com menor frequência nos meses de fevereiro, agosto, setembro, novembro e dezembro (cada um representando 11,11% dos casos). Os valores de NDVI mínimo variaram entre 0,5696 e 0,6649, apresentando o valor mediano de 0,6247, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de novembro (37,50% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de fevereiro (12,50% dos casos), março e outubro (cada um representando 25,00% dos casos). Entre a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo existe uma defasagem de um a três meses (62,50% para um mês; 12,50% para dois meses e 25,00% para três meses).

Observa-se também que os valores de excedentes hídricos máximos variaram entre 126,34 mm e 418,39 mm, apresentando o valor mediano de 237,13 mm, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência entre os meses de abril e maio (cada um representando 33,33% dos casos), e menor frequência nos meses de março e junho (11,11% e 22,22% dos casos respectivamente). Os valores de NDVI máximo variaram entre 0,6308 e 0,7043, apresentando valor mediano de 0,6885, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de julho (55,56% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de maio e junho (11,11%

e 33,33% dos casos respectivamente). Entre a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo existe uma defasagem de um mês em sua maior frequência (44,44%), apresentando também defasagem de dois e três meses em menor frequência (33,33% para dois meses e 22,22% para três meses).

No ano de 1990 não foi possível extrair o valor de NDVI mínimo, pois a resposta à deficiência hídrica máxima ocorreu no ano de 1991, que não foi considerado neste estudo, pois apresenta problemas nas imagens.

**Tabela 4.1** - Valores de deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Barcelos do INMET.

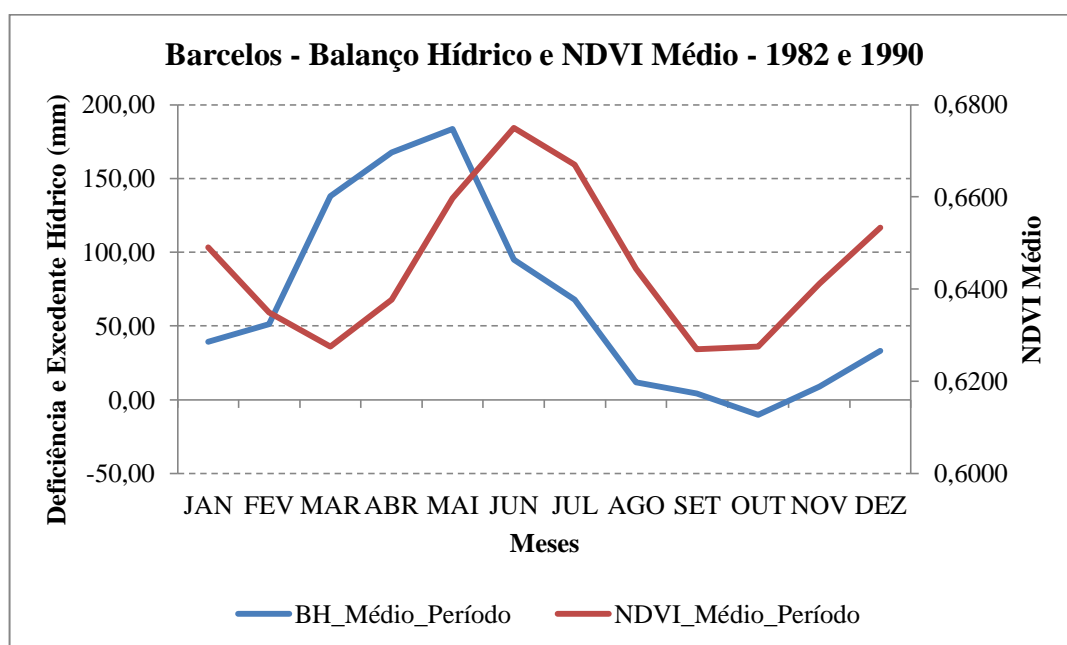
Ano	Def_Máx (mm)	Mês/Ano	NDVI_Mín	Mês/Ano	Defasagem	Exc_Máx (mm)	Mês/Ano	NDVI_Máx	Mês/Ano	Defasagem
<b>1982</b>	-80,75	11/82	0,5696	02/83	03	213,38	05/82	0,6308	06/82	01
<b>1983</b>	-80,38	02/83	0,5897	03/83	01	291,03	04/83	0,6859	06/83	02
<b>1984</b>	-0,19	10/84	0,6649	11/84	01	130,09	06/84	0,7025	07/84	01
<b>1985</b>	-26,79	09/85	0,6220	10/85	01	126,34	06/85	0,6903	07/85	01
<b>1986</b>	-29,24	08/86	0,6229	10/86	02	210,85	05/86	0,6535	07/86	02
<b>1987</b>	-49,32	10/87	0,6264	11/87	01	237,13	04/87	0,6929	07/87	03
<b>1988</b>	-20,52	10/88	0,6457	11/88	01	243,27	04/88	0,6789	05/88	01
<b>1989</b>	-40,63	12/89	0,6413	03/90	03	418,39	05/89	0,6885	07/89	02
<b>1990</b>	-60,08	10/90	-	-	-	407,33	03/90	0,7043	06/90	03
<b>Mínimo</b>	-0,19	-	0,5696	-	01	126,34	-	0,6308	-	01
<b>Mediana ou Frequência</b>	-40,63	10 (4) <sup>1</sup> 02 (1) 08 (1) 09 (1) 11 (1) 12 (1)	0,6247	11 (3) 03 (2) 10 (2) 02 (1)	01 (5) 03 (2) 02 (1)	237,13	04 (3) 05 (3) 06 (2) 03 (1)	0,6885	07 (5) 06 (3) 05 (1)	01 (4) 02 (3) 03 (2)
<b>Máximo</b>	-80,75	-	0,6649	-	03	418,39	-	0,7043	-	03

<sup>1</sup> 10 (4) Significa mês 10 com frequência de 4 ocorrências. Idem para os demais casos.



A Figura 4.1 apresenta o gráfico para a estação de Barcelos, com os valores médios mensais de NDVI e do balanço hídrico para o período de 1982 a 1990. As curvas do balanço hídrico e do NDVI apresentam um padrão de comportamento muito semelhante, porém defasado no tempo, indicando que o NDVI responde às variações de deficiência e excedente hídrico não imediatamente, mas algum tempo depois. A curva do balanço hídrico apresenta um mínimo em outubro e um máximo em maio e a do NDVI apresenta três mínimos, em março, setembro e outubro, e dois máximos, em junho e dezembro. Sendo que o máximo de julho é mais acentuado. Pode-se observar que quando ocorre o excedente hídrico, a resposta do NDVI máximo ocorre com uma defasagem média de um mês, mas para a deficiência hídrica essa resposta, na média, não é bem caracterizada.

Em Barcelos tem-se deficiência hídrica entre os meses de setembro e outubro. No período entre novembro e agosto observa-se a fase de excedente hídrico, que tem início logo após o começo da estação chuvosa, verão na região, que vai de outubro a março.



**Figura 4.1** - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Barcelos do INMET.

#### 4.1.2 Itacoatiara

A Tabela 4.2 apresenta os resultados encontrados a partir dos valores de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e excedente hídrico máximo e NDVI máximo, apresentando também os meses em que estes ocorreram e a defasagem em meses entre tais ocorrências para a estação de Itacoatiara do INMET.

Observa-se que os valores de deficiências hídricas máximas variam entre -39,55 mm e -166,55 mm apresentando o valor mediano de -74,26 mm, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de outubro (33,33% dos casos), tendo ocorrido com menor frequência nos meses de janeiro, agosto, setembro e novembro (11,11% dos casos para janeiro e agosto, 22,22% dos casos para setembro e novembro). Os valores de NDVI mínimos variaram entre 0,4864 e 0,6194, apresentando o valor mediano de 0,5223, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência nos meses de março e novembro (ambos com 33,33% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de fevereiro e dezembro (22,22% e 11,11% dos casos, respectivamente). Entre a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo existe uma defasagem de um, três, quatro, cinco e seis meses, tendo uma maior frequência de um mês (44,44% para um mês, 11,11% para três, quatro e seis meses e 22,22% para cinco meses).

Observa-se também que os valores de excedentes hídricos máximos variaram entre 164,23 mm e 513,75 mm, apresentando o valor mediano de 247,52 mm tendo ocorrido ao longo dos anos em maior frequência no mês de março (33,33% dos casos) e menor frequência nos meses de janeiro, fevereiro, maio, julho e dezembro (11,11% dos casos para janeiro, maio, julho e dezembro e 22,22% dos casos para fevereiro). Os valores de NDVI máximos variaram entre 0,6115 e 0,6929, apresentando valor mediano de 0,6500, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de julho (55,56% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de fevereiro, agosto e setembro (22,22% dos casos para fevereiro e 11,11% dos casos para agosto e setembro). Entre a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo existe uma defasagem de quatro meses em sua maior frequência (33,33%), apresentando também defasagem de um, dois, cinco e sete meses em menor frequência (22,22% para um e dois meses e 11,11% para cinco e sete meses).

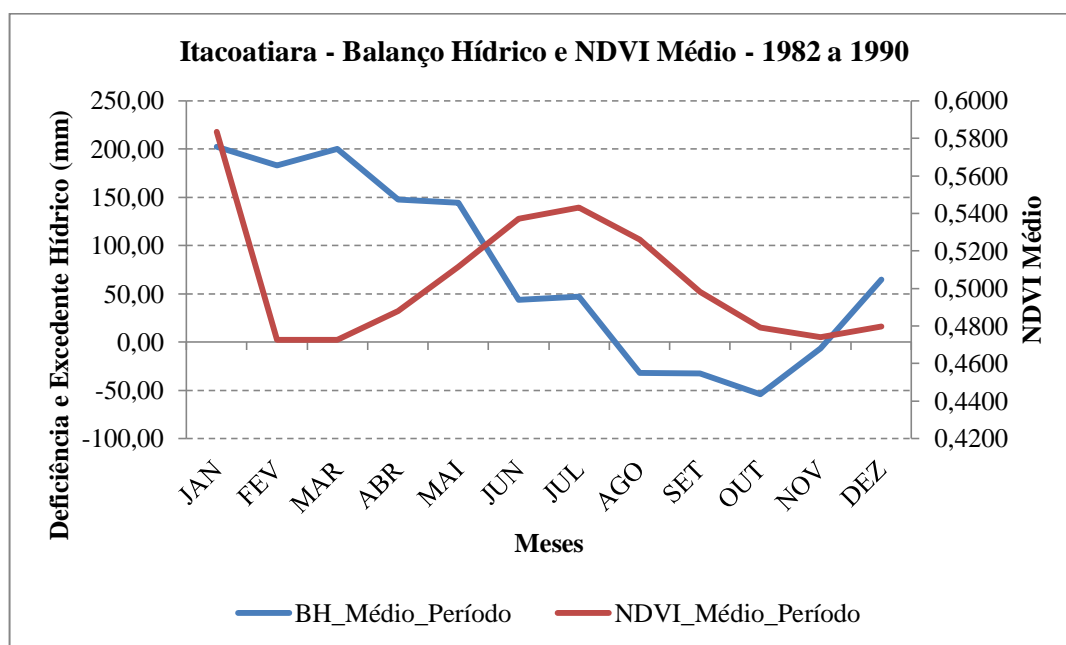
**Tabela 4.2** - Valores de deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Itacoatiara do INMET.

Ano	Def_Máx (mm)	Mês/Ano	NDVI_Mín	Mês/Ano	Defasagem	Exc_Máx (mm)	Mês/Ano	NDVI_Máx	Mês	Defasagem
<b>1982</b>	-134,30	11/82	0,4864	12/82	01	285,23	03/82	0,6159	07/82	04
<b>1983</b>	-87,71	01/83	0,5214	02/83	01	164,23	12/83	0,6404	02/84	02
<b>1984</b>	-39,55	11/84	0,5897	03/85	04	273,59	02/84	0,6929	07/84	05
<b>1985</b>	-49,77	10/85	0,5144	03/86	05	513,75	01/85	0,6115	02/85	01
<b>1986</b>	-74,26	08/86	0,6045	11/86	03	247,52	03/86	0,6439	07/86	04
<b>1987</b>	-120,42	10/87	0,5223	11/87	01	233,92	03/87	0,6754	07/87	04
<b>1988</b>	-68,86	09/88	0,5136	02/89	05	275,93	02/88	0,6623	09/88	07
<b>1989</b>	-54,61	09/89	0,5661	03/90	06	228,30	05/89	0,6824	07/89	02
<b>1990</b>	-166,05	10/90	0,6194	11/90	01	196,35	07/90	0,6500	08/90	01
<b>Mínimo</b>	-39,55	-	0,4864	-	01	164,23	-	0,6115	-	01
<b>Mediana ou Frequências</b>	-74,26	10 (3) <sup>1</sup> 09 (2) 11 (2) 01 (1) 08 (1)	0,5223	03 (3) 11 (3) 02 (2) 12 (1)	01 (4) 05 (2) 04 (1) 03 (1) 06 (1)	247,52	03 (3) 02 (2) 01 (1) 05 (1) 07 (1) 12 (1)	0,6500	07 (5) 02 (2) 08 (1) 09 (1)	04 (3) 01 (2) 02 (2) 05 (1) 07 (1)
<b>Máximo</b>	-166,05	-	0,6194	-	06	513,75	-	0,6929	-	07

<sup>1</sup> 10 (3) Significa mês 10 com frequência de 3 ocorrências. Idem para os demais casos.

A Figura 4.2 apresenta o gráfico para a estação de Itacoatiara, com os valores médios mensais de NDVI e do balanço hídrico para o período de 1982 a 1990. As curvas do balanço hídrico e do NDVI apresentam um padrão de comportamento semelhante, mas defasado no tempo. Pode-se observar que os valores mínimos e máximos do balanço hídrico ocorreram em outubro e março, respectivamente. Por sua vez, o NDVI apresentou dois mínimos e dois máximos, em fevereiro e novembro e em julho e janeiro, respectivamente. Vale ressaltar que o máximo mais acentuado ocorreu em janeiro. Entre o excedente hídrico e o NDVI máximo, ocorreu uma defasagem média de quatro meses. Entre a deficiência hídrica máxima, em outubro, e o NDVI mínimo, em novembro, ocorreu uma defasagem média de um mês.

Em Itacoatiara tem-se deficiência hídrica entre os meses de agosto e novembro. No período entre dezembro e julho observa-se a fase de excedente hídrico, que tem início após o começo da estação chuvosa, verão na região, que vai de outubro a março.



**Figura 4.2** - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Itacoatiara do INMET.

### 4.1.3 Manaus

A Tabela 4.3 apresenta os resultados encontrados a partir dos valores de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e excedente hídrico máximo e NDVI máximo, apresentando também os meses em que estes ocorreram e a defasagem em meses entre tais ocorrências para a estação de Manaus do INMET.

Observa-se que os valores de deficiências hídricas máximas variam entre -55,87 e -139,99 mm apresentando o valor mediano de -85,48 mm, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência nos meses de agosto e outubro (ambos com 44,44% dos casos), tendo ocorrido com menor frequência no mês de janeiro (11,11% dos casos). Os valores de NDVI mínimos variaram entre 0,5179 e 0,6387, apresentando o valor mediano de 0,5582, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês novembro (33,33% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de fevereiro, março, outubro e dezembro (11,11% dos casos para fevereiro e dezembro e 22,22% dos casos para março e outubro). Entre a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo existe uma defasagem de um, dois e sete meses, tendo uma maior frequência de um mês (44,44% para um mês, 33,33% para dois meses e 22,22% para sete meses).

Observa-se também que os valores de excedentes hídricos máximos variaram entre 171,50 mm e 418,90 mm, apresentando o valor mediano de 215,99 mm, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência nos meses de fevereiro e março (ambos com 33,33% dos casos), e menor frequência nos meses de maio e dezembro (22,22% dos casos para maio e 11,11% dos casos para dezembro). Os valores de NDVI máximos variaram entre 0,6115 e 0,6920, apresentando valor mediano de 0,6640, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de julho (33,33% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de fevereiro, maio, junho e agosto (11,11% dos casos para fevereiro e maio e 22,22% dos casos para junho e agosto). Entre a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo existe uma defasagem de dois meses em sua maior frequência (33,33%), apresentando também defasagem de um, quatro, cinco e seis meses em menor frequência (11,11% para um e seis meses e 22,22% para quatro e cinco meses).

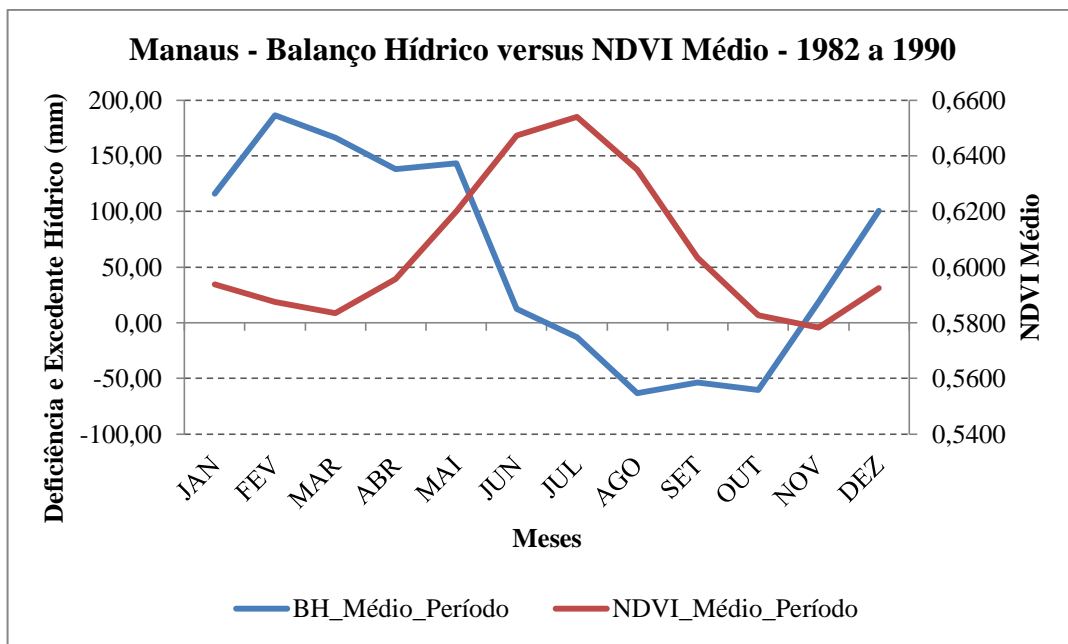
**Tabela 4.3** - Valores de deficiência hídrica máxima , NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Manaus do INMET.

<b>Ano</b>	<b>Def_Máx (mm)</b>	<b>Mês/Ano</b>	<b>NDVI_Mín</b>	<b>Mês/Ano</b>	<b>Defasagem</b>	<b>Exc_Máx (mm)</b>	<b>Mês/Ano</b>	<b>NDVI_Máx</b>	<b>Mês</b>	<b>Defasagem</b>
<b>1982</b>	-123,07	10/82	0,5179	12/82	02	301,73	03/82	0,6115	05/82	02
<b>1983</b>	-71,57	01/83	0,5398	02/83	01	200,23	12/83	0,6387	02/84	02
<b>1984</b>	-55,87	08/84	0,6124	10/84	02	241,49	02/84	0,6833	06/84	04
<b>1985</b>	-81,42	10/85	0,5582	11/85	01	215,99	05/85	0,6640	06/85	01
<b>1986</b>	-85,48	08/86	0,5626	03/87	07	194,06	03/86	0,6387	08/86	05
<b>1987</b>	-139,99	10/87	0,5197	11/87	01	172,24	02/87	0,6667	07/87	05
<b>1988</b>	-85,77	08/88	0,5494	03/89	07	409,06	02/88	0,6527	08/88	06
<b>1989</b>	-61,27	08/89	0,6387	10/89	02	418,90	05/89	0,6920	07/89	02
<b>1990</b>	-139,15	10/90	0,6133	11/90	01	171,50	03/90	0,6649	07/90	04
<b>Mínimo</b>	-55,87	-	0,5179	-	1	171,50	-	0,6115	-	1
<b>Mediana ou Frequências</b>	-85,48	08 (4) <sup>1</sup> 10 (4) 01 (1)	0,5582	11 (3) 03 (2) 10 (2) 02 (1) 12 (1)	01 (4) 02 (3) 07 (2)	215,99	02 (3) 03 (3) 05 (2) 12 (1)	0,6640	07 (3) 06 (2) 08 (2) 02 (1) 05 (1)	02 (3) 04 (2) 05 (2) 01 (1) 06 (1)
<b>Máximo</b>	-139,99	-	0,6387	-	07	418,90	-	0,6920	-	06

<sup>1</sup>08 (4) Significa mês 8 com frequência de 4 ocorrências. Idem para os demais casos.

A Figura 4.3 apresenta o gráfico para a estação de Manaus, com os valores médios mensais para o NDVI e o balanço hídrico para o período de 1982 a 1990. As curvas do balanço hídrico e do NDVI apresentam um padrão de comportamento semelhante, porém defasado no tempo. A curva do balanço hídrico apresenta um mínimo mais acentuado em agosto e um máximo em fevereiro. A do NDVI apresenta dois mínimos, em março e novembro e máximo em julho. Pode-se observar que o maior valor de NDVI ocorre com uma defasagem de cinco meses em relação ao excedente hídrico. Para a deficiência hídrica a resposta do NDVI ocorre com uma defasagem de um mês.

Em Manaus tem-se deficiência hídrica entre os meses de julho e outubro. No período entre novembro e junho observa-se a fase de excedente hídrico, que tem início logo após o começo da estação chuvosa, verão na região, que vai de outubro a março.



**Figura 4.3** - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Manaus do INMET.

#### 4.1.4 Parintins

A Tabela 4.4 apresenta os resultados encontrados a partir dos valores de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e excedente hídrico máximo e NDVI máximo, apresentando também os meses em que estes ocorreram e a defasagem em meses entre tais ocorrências para a estação de Parintins do INMET.

Observa-se que os valores de deficiências hídricas máximas variam entre -108,64 e -159,06 mm apresentando o valor mediano de -137,01 mm, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de novembro (77,78% dos casos), tendo ocorrido com menor frequência nos meses outubro e dezembro (ambos com 11,11% dos casos). Os valores de NDVI mínimo variaram entre 0,5214 e 0,6448, apresentando o valor mediano de 0,5836, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de dezembro (44,44% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de janeiro, março e novembro (11,11% dos casos para janeiro e novembro e 33,33% dos casos para março). Entre a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo existe uma defasagem de um e quatro meses, tendo uma maior frequência de um mês (66,67% para um mês e 33,33% para quatro meses).

Observa-se também que os valores de excedentes hídricos máximos variaram entre 43,41 mm e 578,60 mm, apresentando o valor mediano de 379,80 mm, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência nos meses de abril (55,56% dos casos), e menor ocorrência nos meses de fevereiro e março (ambos com 22,22% dos casos). Os valores de NDVI máximo variaram entre 0,6177 e 0,7052, apresentando valor mediano de 0,6850, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de julho (55,56% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de março, junho e agosto (11,11% dos casos para março e agosto e 22,22% dos casos para junho). Entre a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo existe uma defasagem de quatro meses em sua maior frequência (44,44%), apresentando também defasagem de um, dois e três meses em menor frequência (11,11% para um e dois meses e 33,33% para três meses).



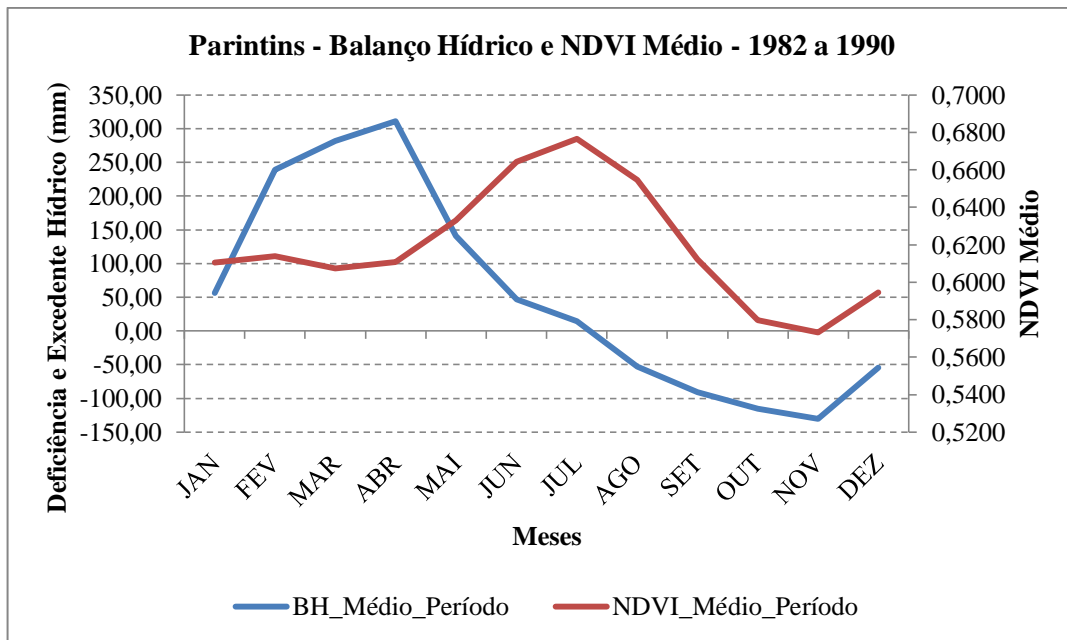
**Tabela 4.4** - Valores de deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Parintins do INMET.

Ano	Def_Máx (mm)	Mês/Ano	NDVI_Mín	Mês/Ano	Defasagem	Exc_Máx (mm)	Mês/Ano	NDVI_Máx	Mês	Defasagem
<b>1982</b>	-138,08	12/82	0,5214	01/83	01	353,97	02/82	0,6177	03/82	01
<b>1983</b>	-149,40	11/83	0,5311	12/83	01	43,41	04/83	0,6807	06/83	02
<b>1984</b>	-108,64	11/84	0,5836	03/85	04	429,51	04/84	0,6947	08/84	04
<b>1985</b>	-123,79	11/85	0,5923	12/85	01	578,60	04/85	0,6509	07/85	03
<b>1986</b>	-119,87	11/86	0,5713	03/87	04	543,66	04/86	0,6553	07/86	03
<b>1987</b>	-159,06	11/87	0,5363	12/87	01	416,82	03/87	0,7052	07/87	04
<b>1988</b>	-137,01	11/88	0,5888	03/89	04	326,90	03/88	0,6912	07/88	04
<b>1989</b>	-126,53	11/89	0,6334	12/89	01	379,80	04/89	0,7043	07/89	03
<b>1990</b>	-138,93	10/90	0,6448	11/90	01	210,31	02/90	0,6850	06/90	04
<b>Mínimo</b>	-108,64	-	0,5214	-	1	43,41	-	0,6177	-	1
<b>Mediana ou Frequências</b>	-137,01	11 (7) <sup>1</sup> 10 (1) 12 (1)	0,5836	12 (4) 03 (3) 01 (1) 11 (1)	01 (6) 04 (3)	379,80	04 (5) 02 (2) 03 (2)	0,6850	07 (5) 06 (2) 03 (1) 08 (1)	04 (4) 03 (3) 01 (1) 02 (1)
<b>Máximo</b>	-159,06	-	0,6448	-	4	578,60	-	0,7052	-	4

<sup>1</sup> 11 (7) Significa mês 11 com frequência de 7 ocorrências. Idem para os demais casos.

A Figura 4.4 apresenta o gráfico para a estação de Parintins, com os valores médios mensais para o NDVI médio e balanço hídrico para o período de 1982 a 1990. As curvas do balanço hídrico e do NDVI apresentam um padrão de comportamento muito semelhante, porém defasado no tempo. Pode-se observar que quando ocorre o excedente hídrico, a resposta do NDVI ocorre com uma defasagem de três meses, para a deficiência hídrica a resposta do NDVI, em média, não é bem caracterizada. A curva do balanço hídrico apresenta um mínimo em novembro e um máximo em abril. A do NDVI apresenta dois mínimos, em março e novembro, e um máximo em julho.

Em Parintins tem-se deficiência hídrica entre os meses de agosto e dezembro. No período entre janeiro e julho observa-se a fase de excedente hídrico, que tem início após o começo da estação chuvosa, verão na região, que vai de outubro a março.



**Figura 4.4** - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Parintins do INMET.

#### 4.1.5 Tefé

A Tabela 4.5 apresenta os resultados encontrados a partir dos valores de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e excedente hídrico máximo e NDVI máximo, apresentando também os meses em que estes ocorreram e a defasagem em meses entre tais ocorrências para a estação de Tefé do INMET.

Observa-se que os valores de deficiências hídricas máximas variam entre -17,01 e -41,77 mm apresentando o valor mediano de -26,54 mm, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de agosto (37,50% dos casos), tendo ocorrido com menor frequência nos meses julho, outubro e dezembro (25,00% dos casos para julho e outubro e 12,50% dos casos para dezembro). Os valores de NDVI mínimo variaram entre 0,5214 e 0,6614, apresentando o valor mediano de 0,5844, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de setembro (37,50% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de fevereiro, abril, novembro e dezembro (12,50% dos casos nos meses de fevereiro, abril e dezembro e 25,00% dos casos no mês de novembro). Entre a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo existe uma defasagem de um, dois, quatro e seis meses, tendo uma maior frequência de um mês (37,50% para um mês, 25,00% para dois e quatro meses e 12,50% para seis meses). O ano de 1985 não foi considerado nesta avaliação, pois não apresentou deficiência hídrica.

Observa-se também que os valores de excedentes hídricos máximos variaram entre 153,25 mm e 439,20 mm, apresentando o valor mediano de 259,00 mm, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de maio (33,33% dos casos) e menor frequência nos meses de fevereiro, março, abril e novembro (11,11% dos casos para os meses de fevereiro e novembro, e 22,22% dos casos para os meses de março e abril). Os valores de NDVI máximo variaram entre 0,6325 e 0,6850, apresentando valor mediano de 0,6675, ocorrendo ao longo dos anos em maior frequência no mês de junho (66,67% dos casos), tendo ocorrido em menor frequência nos meses de janeiro, abril e julho (todos com 11,11% dos casos). Entre a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo existe uma defasagem de dois meses em sua maior frequência (44,44%), apresentando também defasagem de um, três e quatro meses em menor frequência (33,33% para um mês e 11,11% para três e quatro meses).

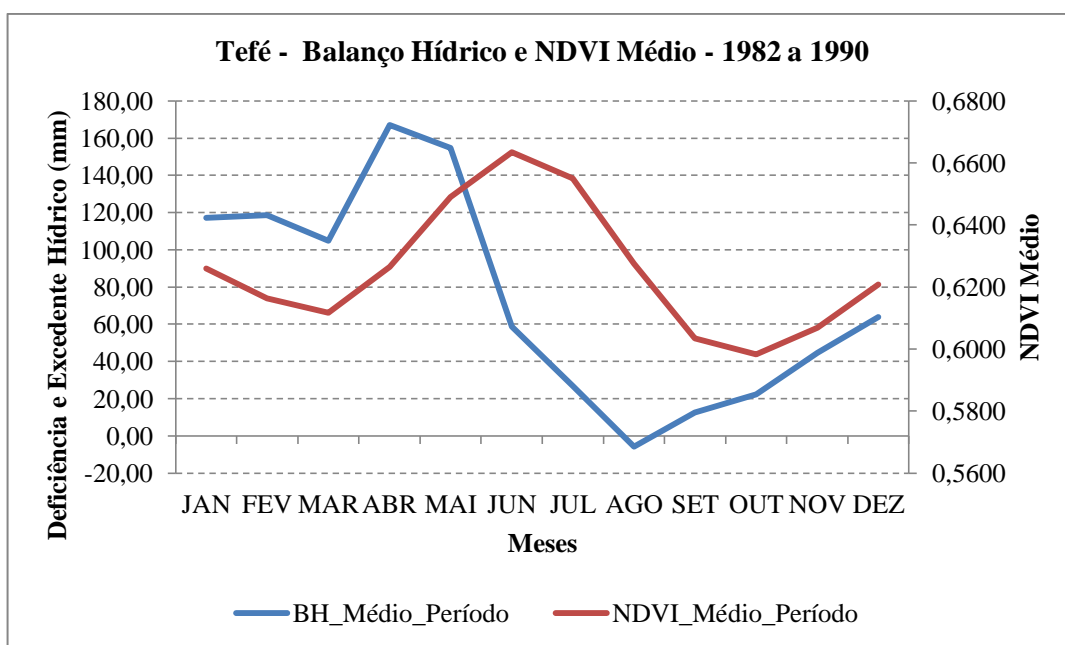
**Tabela 4.5** - Valores de deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que os mesmos ocorrem, defasagem em meses entre: a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo e a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo nos respectivos anos em que ocorreram para a estação de Tefé do INMET.

Ano	DEF_Máx (mm)	Mês/Ano	NDVI_Mín	Mês/Ano	Defasagem	EXC_Máx (mm)	Mês/Ano	NDVI_Máx	Mês	Defasagem
<b>1982</b>	-28,11	10/82	0,5372	11/82	01	259,00	05/82	0,6325	06/82	01
<b>1983</b>	-41,77	07/83	0,5214	09/83	02	189,89	04/83	0,6798	06/83	02
<b>1984</b>	-21,40	08/84	0,6614	09/84	01	338,75	02/84	0,6850	06/84	04
<b>1985</b>	-	-	-	-	-	153,25	11/85	0,6352	01/86	02
<b>1986</b>	-19,95	08/86	0,5914	02/87	06	207,70	05/86	0,6413	07/86	02
<b>1987</b>	-28,88	07/87	0,5774	11/87	04	356,55	04/87	0,6745	06/87	02
<b>1988</b>	-17,01	08/88	0,5661	09/88	01	439,20	05/88	0,6728	06/88	01
<b>1989</b>	-28,39	12/89	0,6212	04/90	04	339,78	03/89	0,6325	04/89	01
<b>1990</b>	-24,98	10/90	0,6387	12/90	02	205,27	03/90	0,6675	06/90	03
<b>Mínimo</b>	-17,01	-	0,5214	-	01	153,25	-	0,6325	-	01
<b>Mediana ou Frequências</b>	-26,54	08 (3) <sup>1</sup>	0,5844	09 (3)	01 (3)	259,00	05 (3)	0,6675	06 (6)	02 (4)
		07 (2)		11 (2)	02 (2)		03 (2)		01 (1)	01 (3)
		10 (2)		02 (1)	04 (2)		04 (2)		04 (1)	03 (1)
		12 (1)		04 (1)	06 (1)		02 (1)		07 (1)	04 (1)
				12 (1)			11 (1)			
<b>Máximo</b>	-41,77	-	0,6614	-	06	439,20	-	0,6850	-	04

<sup>1</sup>08 (3) Significa mês 8 com frequência de 3 ocorrências. Idem para os demais casos.

A Figura 4.5 apresenta o gráfico para a estação de Tefé, com os valores médios mensais para o NDVI médio e balanço hídrico para o período de 1982 a 1990. As curvas do balanço hídrico e do NDVI apresentam um padrão de comportamento muito semelhante, porém defasado no tempo. A curva do balanço hídrico apresentou um mínimo em agosto e um máximo em abril. A do NDVI apresentou dois mínimos, março e outubro, um máximo em junho. Pode-se observar que quando ocorre o excedente hídrico, a resposta do NDVI ocorre com uma defasagem de dois meses, para a deficiência hídrica a resposta do NDVI ocorre o mesmo, ou seja, dois meses.

Em Tefé tem-se deficiência hídrica no mês de agosto. No período entre setembro e julho observa-se a fase de excedente hídrico, que coincide aproximadamente com o começo da estação chuvosa, verão na região, que vai de outubro a março.



**Figura 4.5** - Gráfico do NDVI Médio versus Balanço Hídrico no período de 1982 a 1990 para a estação de Tefé do INMET.

As Tabelas 4.6 e 4.7 apresentam um resumo dos resultados obtidos para o NDVI e balanço hídrico para as cinco estações consideradas nesse estudo para o período considerado.

A deficiência hídrica máxima ocorreu com maior frequência no mês de outubro e em menor frequência nos meses de agosto e novembro. Seus valores variaram entre -0,19 mm em Barcelos e -166,05 mm em Itacoatiara. Já o NDVI mínimo ocorreu com maior frequência no mês de novembro e em menor frequência nos meses de março, setembro e dezembro. Seus valores variaram entre 0,4864 em Itacoatiara e 0,6649 em Barcelos. Entre a ocorrência da

deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo, há uma defasagem predominante de um mês para todas as estações (Tabela 4.6).

Para o excedente hídrico máximo, nota-se que estes ocorrem em maior frequência entre os meses de fevereiro e maio, com valores entre 43,41 mm e 578,60 mm, ambos em Parintins. O NDVI máximo ocorreu em maior frequência entre os meses de junho e julho, variando entre 0,6115 em Itacoatiara e Manaus e 0,7052 em Parintins. Em relação à defasagem entre o excedente hídrico máximo e NDVI máximo existe uma variabilidade de um a quatro meses (Tabela 4.7).

Barcelos e Tefé apresentaram a menor duração do período de deficiência hídrica durante o ano, com apenas dois meses (Tabela 4.8). Itacoatiara, Manaus e Parintins apresentaram quatro meses. Os totais anuais da deficiência hídrica foram iguais a: -15,01 mm em Barcelos; -134,85 mm em Itacoatiara; -218,38 em Manaus; -452,18mm em Parintins; e -16,97 mm em Tefé. Portanto, Barcelos e Tefé apresentaram os menores valores totais anuais, enquanto Parintins apresentou o maior.

**Tabela 4.6** – Valores mínimos, medianos e máximos para: deficiência hídrica máxima, NDVI mínimo, meses em que estes ocorrem com maior frequência e defasagem em meses, para as cinco estações do INMET consideradas no estudo.

Estação	DEF_Máx (mm)				NDVI_Mín				Defasagem
	Mínimo	Mediano	Máximo	Mês	Mínimo	Mediano	Máximo	Mês	
<b>Barcelos</b>	-0,19	-40,63	-80,75	10	0,5696	0,6247	0,6649	11	1
<b>Itacoatiara</b>	-39,55	-74,26	-166,05	10	0,4864	0,5223	0,6194	3,11	1
<b>Manaus</b>	-55,87	-85,48	-139,99	08,10	0,5179	0,5582	0,6387	11	1
<b>Parintins</b>	-108,64	-137,01	-159,06	11	0,5214	0,5836	0,6448	12	1
<b>Tefé</b>	-17,01	-26,54	-41,77	8	0,5214	0,5844	0,6614	9	1

**Tabela 4.7** - Valores mínimos, medianos e máximos para: excedente hídrico máximo, NDVI máximo, meses em que estes ocorrem com maior frequência e defasagem em meses, para as cinco estações do INMET consideradas no estudo.

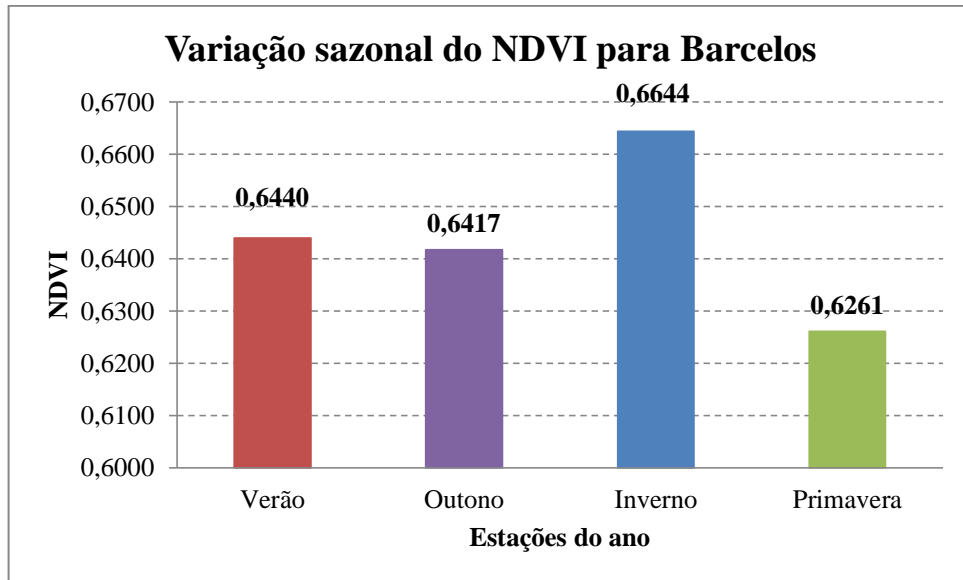
Estação	EXC_Máx (mm)				NDVI_Máx				Defasagem
	Mínimo	Mediano	Máximo	Mês	Mínimo	Mediano	Máximo	Mês	
<b>Barcelos</b>	126,34	237,13	418,39	4,5	0,6308	0,6885	0,7043	7	1
<b>Itacoatiara</b>	164,23	247,52	513,75	3	0,6115	0,6500	0,6929	7	4
<b>Manaus</b>	171,50	215,99	418,90	2,3	0,6115	0,6640	0,692	7	2
<b>Parintins</b>	43,41	379,80	578,60	4	0,6177	0,6850	0,7052	7	4
<b>Tefé</b>	153,25	259,00	439,20	5	0,6325	0,6675	0,6850	6	2

**Tabela 4.8** - Valores mensais de deficiência e excedente hídrico, para as cinco estações do INMET consideradas neste estudo.

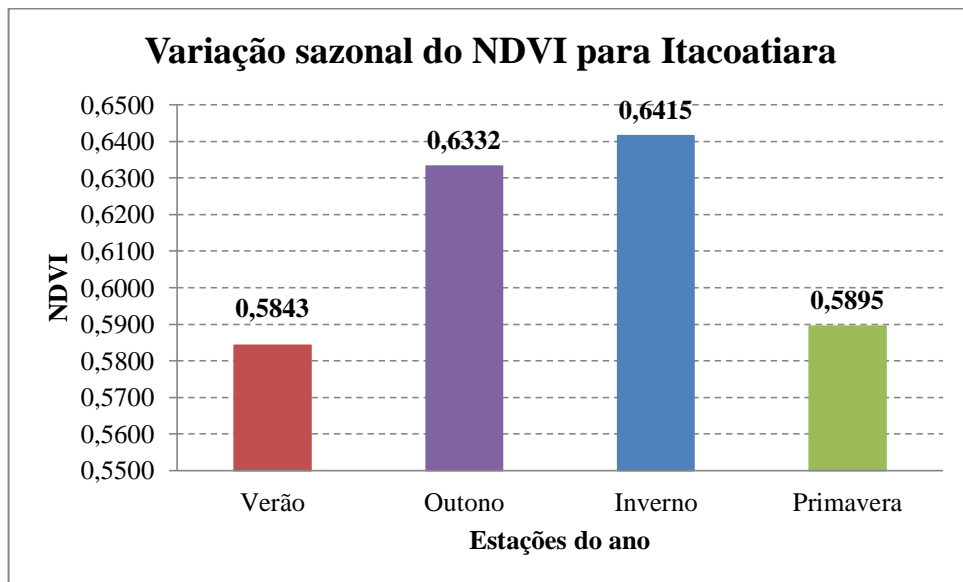
Meses	Deficiência e Excedente Hídrico (mm)				
	Barcelos	Itacoatiara	Manaus	Parintins	Tefé
<b>JAN</b>	41,76	188,32	138,13	40,21	115,12
<b>FEV</b>	51,24	166,30	197,19	221,66	119,11
<b>MAR</b>	141,20	207,61	162,42	271,68	113,97
<b>ABR</b>	166,81	157,13	167,49	305,55	164,46
<b>MAI</b>	182,08	128,50	125,09	142,78	142,87
<b>JUN</b>	107,84	34,67	5,62	44,88	57,16
<b>JUL</b>	61,70	34,38	-22,24	11,16	25,95
<b>AGO</b>	3,44	-40,53	-71,61	-56,26	-15,29
<b>SET</b>	-2,07	-40,49	-64,90	-92,09	-1,68
<b>OUT</b>	-12,94	-51,21	-59,63	-120,88	10,93
<b>NOV</b>	7,21	-2,62	25,27	-126,22	42,20
<b>DEZ</b>	38,64	58,65	94,84	-56,73	70,81
<b>Total Deficiência Hídrica (mm)</b>	-15,01	-134,85	-218,38	-452,18	-16,97

#### 4.2 Análise sazonal do NDVI

As Figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 correspondem respectivamente aos gráficos para o Verão (compreendendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro), Outono (compreendendo os meses de março, abril e maio), Inverno (compreendendo os meses de junho, julho e agosto) e Primavera (compreendendo os meses de setembro, outubro e novembro) para o período de 1982 a 1990. Os valores de NDVI variaram da seguinte forma: entre 0,6261 - 0,6644 em Barcelos; entre 0,5843 - 0,6415 em Itacoatiara; entre 0,5923 - 0,6504 em Manaus; entre 0,5953 - 0,6678 em Parintins; e entre 0,6027 - 0,6470 em Tefé. Observa-se que em Barcelos, Parintins, Manaus e Tefé, os mínimos e máximos de NDVI ocorrem na primavera e no inverno, respectivamente. Em Itacoatiara ocorrem no verão e no inverno. Mais uma vez, constata-se que os valores mínimos e máximos do NDVI ocorrem após a estação seca e chuvosa, respectivamente. O período chuvoso da região ocorre nos meses de verão e no começo do outono.

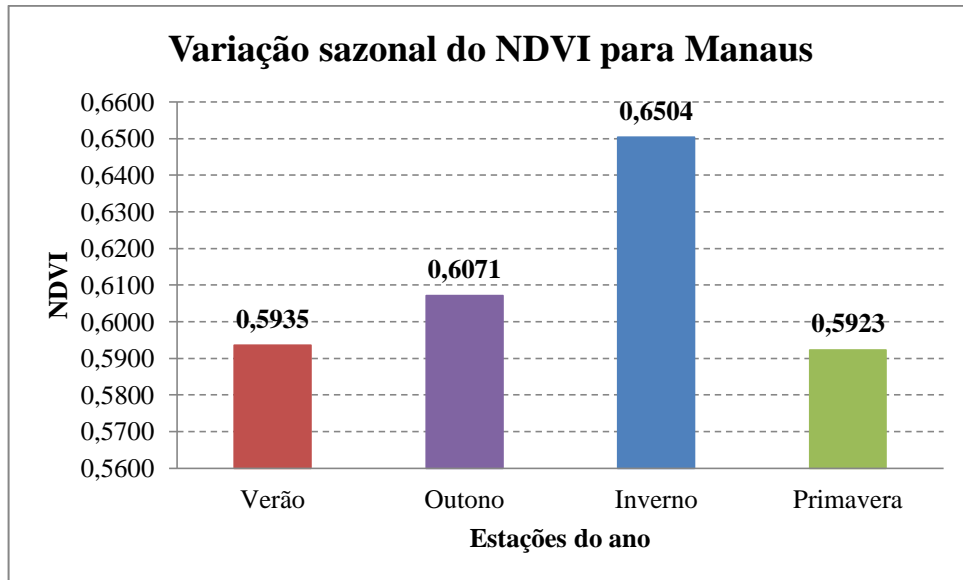


**Figura 4.6** - Variação sazonal do NDVI para Barcelos no período de 1982 a 1990.

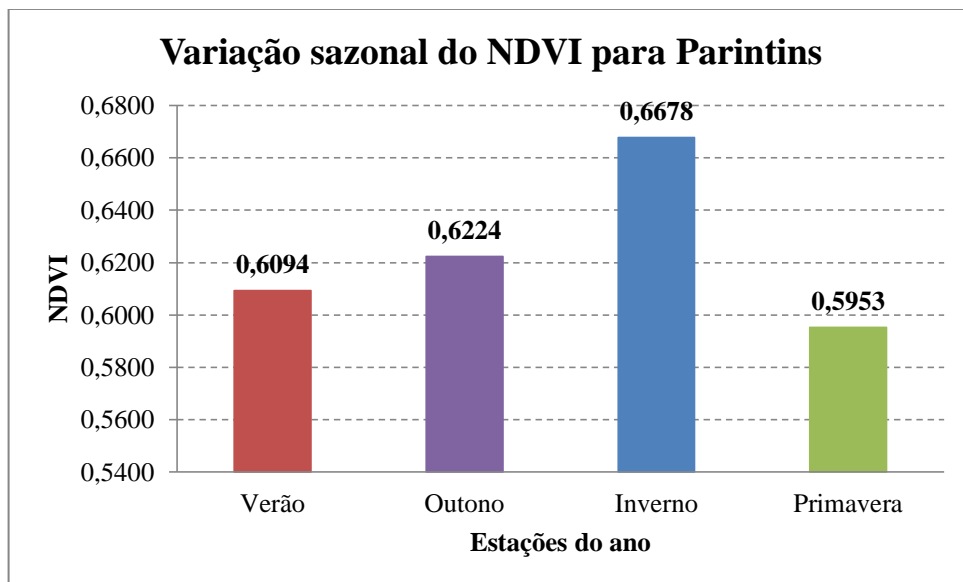


**Figura 4.7** - Variação sazonal do NDVI para Itacoatiara no período de 1982 a 1990.

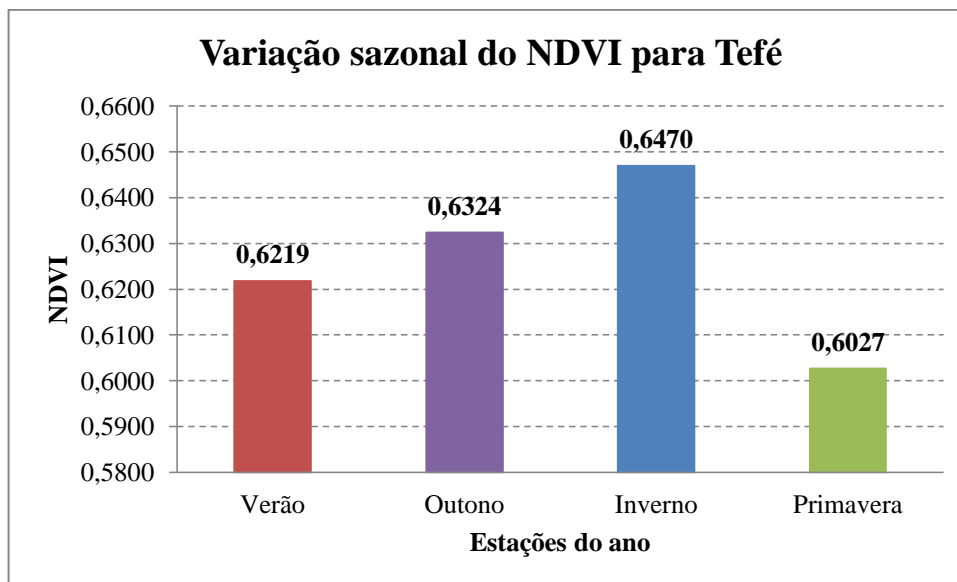




**Figura 4.8** - Variação sazonal do NDVI para Manaus no período de 1982 a 1990.



**Figura 4.9** - Variação sazonal do NDVI para Parintins no período de 1982 a 1990.



**Figura 4.10** - Variação sazonal do NDVI para Tefé no período de 1982 a 1990.

### 4.3 Análise interanual do NDVI

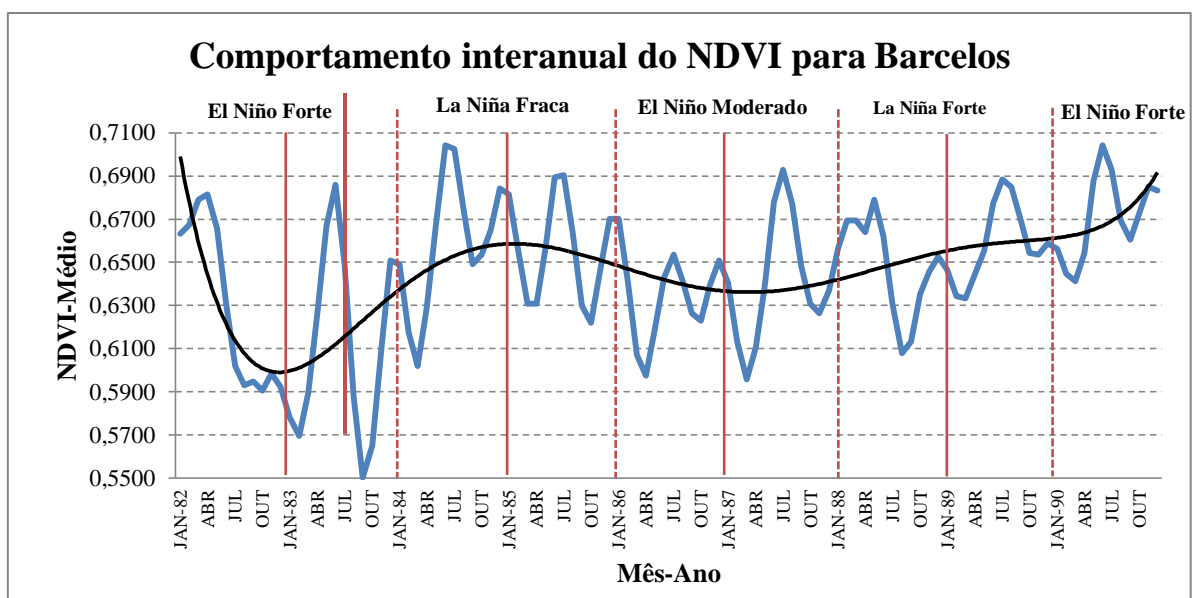
O comportamento interanual dos valores de NDVI, nas cinco estações consideradas (Figuras de 4.11 a 4.15), respondem aos eventos de El Niño e La Niña. Esse comportamento fica bem evidenciado pelo ajuste de um polinômio de ordem seis que apresenta valores mínimos e máximos acentuados em anos de El Niño e La Niña, respectivamente. Em outras palavras, o NDVI decresce em anos de El Niño e se eleva em anos de La Niña. Na região de estudo, os efeitos do El Niño e La Niña refletem-se em anos mais secos e mais chuvosos respectivamente. Os biênios de 1982/83 e 1988/89 destacam-se por serem marcadamente seco e chuvoso, devido à ocorrência de eventos fortes de El Niño e La Niña. Pode-se observar que no biênio 1982/83 houve um decréscimo acentuado dos valores de NDVI com as maiores amplitudes do período de estudo. Por sua vez, o biênio 1988/89 teve as maiores elevações de NDVI e menores amplitudes, ou seja, a maior taxa de crescimento do período. O biênio 1990/91 não pode ser observado devido à forte contaminação dos dados durante por aerossóis lançados na atmosfera pela erupção do vulcão Monte Pinatubo em 1991.

Quanto aos valores anuais de deficiência hídrica (Tabela 4.9), tem-se que as maiores e menores deficiências ocorreram da seguinte forma: Barcelos igual a -252,09 mm em 1983 (El Niño forte) e igual a -0,19 mm em 1984 (La Niña fraca), com uma amplitude de -251,90 mm (99%); Itacoatiara igual a -432,84 mm em 1982 (El Niño forte) e igual a -49,20 mm em 1984 (La Niña fraca), com uma amplitude de -383,64 mm (89%); Manaus igual a -484,00 mm em 1987 (El Niño moderado) e -79,14 mm em 1989 (La Niña forte), com uma amplitude de -

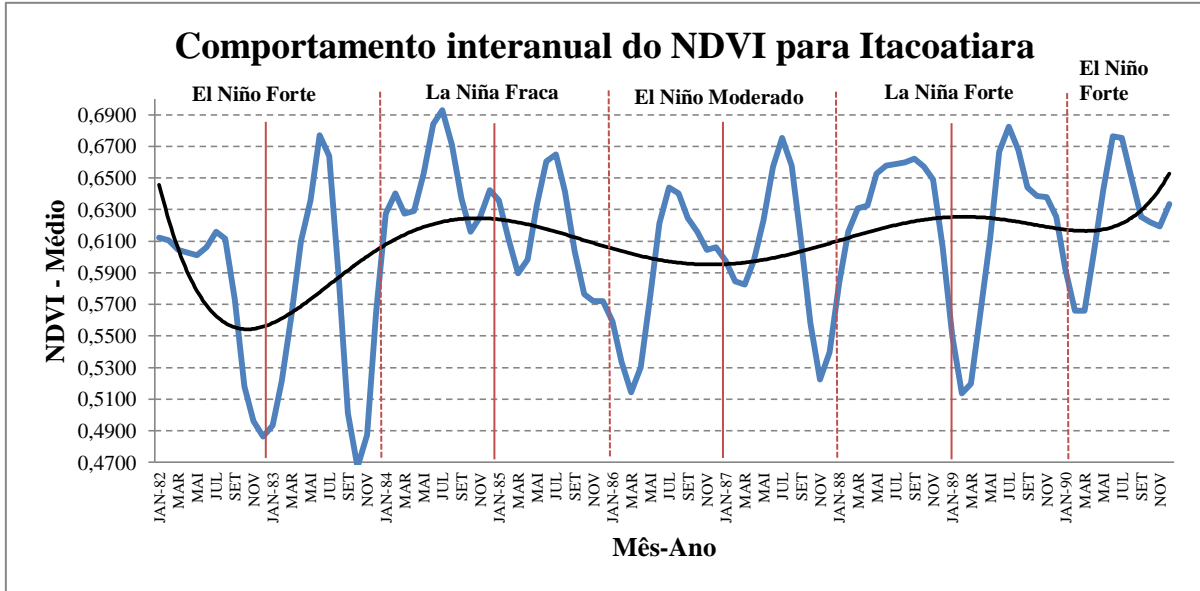
404,86 mm (84%); Parintins igual a -836,36 mm em 1983 (El Niño forte) e -308,86 mm em 1989 (La Niña forte), com uma amplitude de -527,50 mm (63%); e Tefé igual a -128,35 mm em 1983 (El Niño forte) e 0,00 mm em 1985 (La Niña fraca), com uma amplitude de -128,35 mm (83%). A maior amplitude ocorreu em Parintins e a menor em Tefé. Todos os maiores valores de deficiência hídrica anual ocorreram no ano de 1983 (El Niño forte), com exceção de Itacoatiara (1982) e de Manaus que foi em 1987 (El Niño moderado). Os menores valores ocorreram nos anos de 1984, 1985 e 1989, anos de La Niña (fraca ou forte).

Os valores anuais de NDVI (Tabela 4.10) variaram da seguinte forma: Barcelos entre 7,33 - 7,90, com uma amplitude de 0,57 (7%); Itacoatiara entre 6,77 - 7,75, com uma amplitude de 0,97 (13%); Manaus entre 6,74 - 7,68, com uma amplitude de 0,73 (10%); Parintins entre 6,66 - 7,83, com uma amplitude de 1,17 (15%); Tefé entre 7,12 - 7,84, com uma amplitude de 0,72 (9%). Os menores valores ocorreram todos em 1983, ano de El Niño forte. Por sua vez, os maiores valores ocorreram todos em 1984, ano de La Niña fraca. Para Manaus e Barcelos, os maiores valores se repetiram em 1988 e 1989, respectivamente, ambos os anos de La Niña forte. A maior amplitude ocorreu em Parintins e a menor em Barcelos.

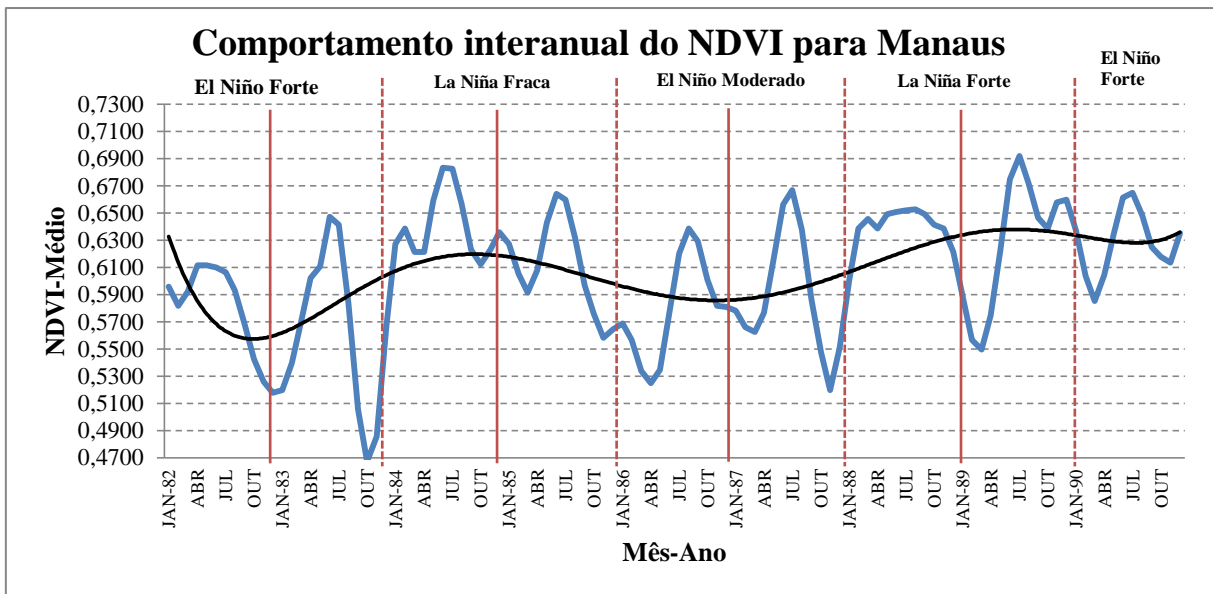
A variação da deficiência hídrica total do período oscilou entre -283,17 mm em Tefé e -4042,05 mm em Parintins, com uma amplitude de -3758,88 mm (93%). Para o NDVI a variação ficou entre 57,93 em Manaus e 61,65 em Barcelos, apresentando uma amplitude de 3,72 (6%). Isso indica que pequenas variações no NDVI podem representar grandes variações de deficiência hídrica e nas condições fenológicas da vegetação.



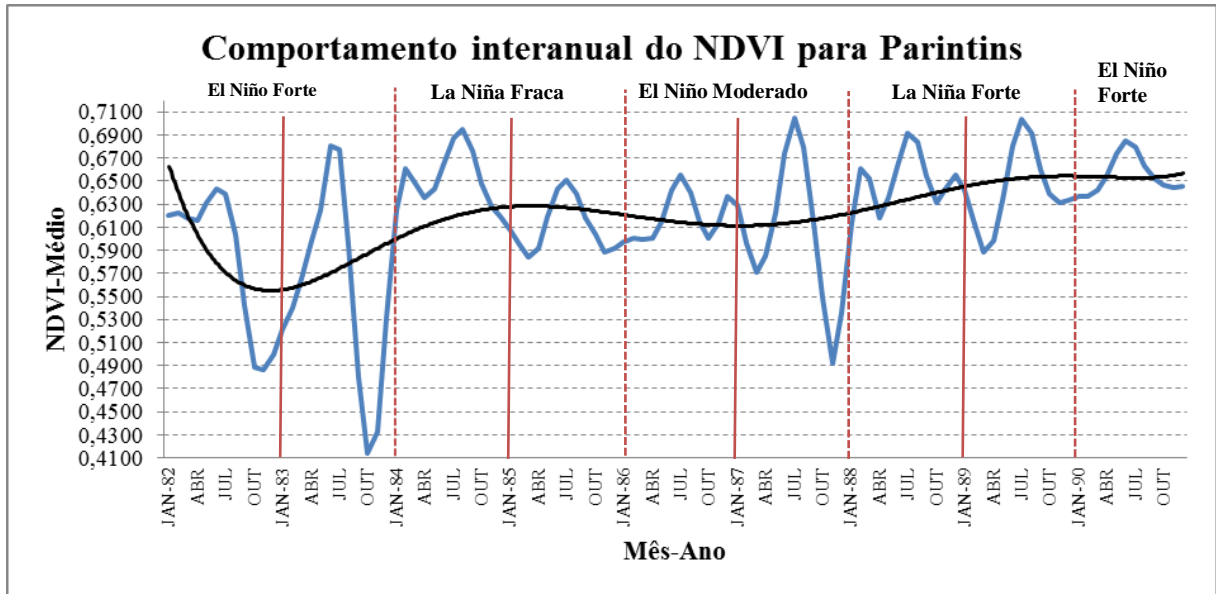
**Figura 4.11** – Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Barcelos, no período de 1982 a 1990.



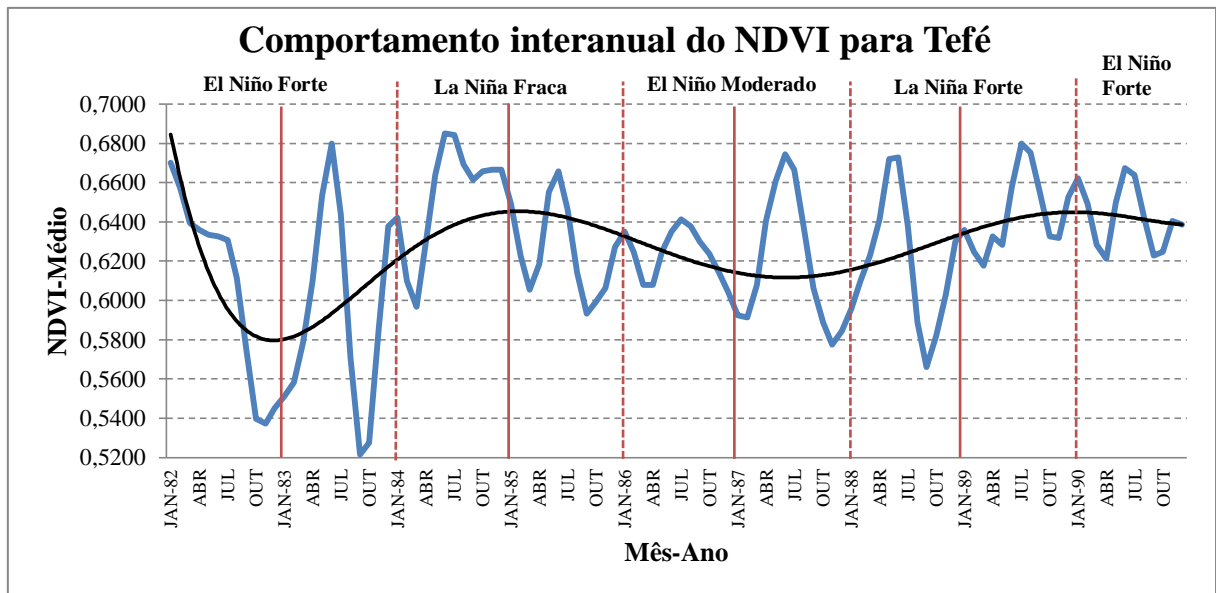
**Figura 4.12** - Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Itacoatiara, no período de 1982 a 1990.



**Figura 4.13** - Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Manaus, no período de 1982 a 1990.



**Figura 4.14** - Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Parintins, no período de 1982 a 1990.



**Figura 4.15** - Comportamento interanual do NDVI médio e eventos de El Niño e La Niña para Tefé, no período de 1982 a 1990.

**Tabela 4.9** – Valores anuais de deficiências hídricas para as cinco estações do INMET consideradas neste estudo e classe dos eventos de El Niño e La Niña.

Ano	Deficiência Hídrica Anual (mm)					Classe do evento
	Barcelos	Itacoatiara	Manaus	Parintins	Tefé	
<b>1982</b>	-136,52	-432,84	-431,52	-657,35	-30,17	El Niño forte
<b>1983</b>	-252,09	-98,72	-171,74	-836,36	-128,35	El Niño forte
<b>1984</b>	-0,19	-49,20	-145,38	-358,47	-22,44	La Niña fraca
<b>1985</b>	-47,59	-83,29	-181,93	-364,59	0,00	La Niña fraca
<b>1986</b>	-43,22	-76,68	-141,03	-439,24	-19,95	El Niño moderado
<b>1987</b>	-76,41	-214,72	-484,00	-689,45	-16,92	El Niño moderado
<b>1988</b>	-40,98	-153,34	-187,80	-387,73	-30,93	La Niña forte
<b>1989</b>	-42,58	-83,83	-79,14	-308,86	-34,41	La Niña forte
<b>Total (mm)</b>	-639,58	-1192,62	-1822,54	-4042,05	-283,17	

**Tabela 4.10** - Valores anuais de NDVI para as cinco estações do INMET consideradas neste estudo e classe dos eventos de El Niño e La Niña.

Ano	NDVI Anual					Classe do evento
	Barcelos	Itacoatiara	Manaus	Parintins	Tefé	
<b>1982</b>	7,56	6,94	6,96	7,01	7,31	El Niño forte
<b>1983</b>	7,33	6,77	6,74	6,66	7,12	El Niño forte
<b>1984</b>	7,90	7,75	7,68	7,83	7,84	La Niña fraca
<b>1985</b>	7,87	7,36	7,33	7,33	7,50	La Niña fraca
<b>1986</b>	7,61	7,07	6,95	7,42	7,49	El Niño moderado
<b>1987</b>	7,69	7,20	7,07	7,25	7,43	El Niño moderado
<b>1988</b>	7,79	7,67	7,68	7,81	7,42	La Niña forte
<b>1989</b>	7,90	7,32	7,53	7,71	7,72	La Niña forte
<b>Total</b>	61,65	58,08	57,93	59,02	59,83	

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÕES**

Em relação às análises das frequências, conclui-se que:

- Os valores de deficiência hídrica máxima ocorrem em maior frequência ao longo dos anos, a saber: em outubro (44,44% dos casos) em Barcelos; em outubro (33,33% dos casos) em Itacoatiara; em agosto e outubro (88,88% dos casos) em Manaus; em novembro (77,78% dos casos) em Parintins; e em agosto (37,50% dos casos) em Tefé. Portanto, as maiores deficiências hídricas ocorreram entre os meses de agosto e novembro na região;
- Os valores de NDVI mínimo ocorrem em maior frequência ao longo dos anos: no mês de novembro (37,50% dos casos) em Barcelos; nos meses de março e novembro (66,66% dos casos) em Itacoatiara; no mês de novembro (33,33% dos casos) em Manaus; no mês de dezembro (44,44% dos casos) em Parintins; e no mês de setembro (37,50% dos casos) em Tefé. O NDVI mínimo ocorreu em geral entre os meses de setembro e novembro na região;
- Entre a ocorrência de deficiência hídrica máxima e NDVI mínimo existe uma defasagem de um mês em todas as estações, representando: 62,50% dos casos em Barcelos; 44,44% dos casos em Itacoatiara; 44,44% dos casos em Manaus; 66,67% dos casos em Parintins; e 37,50% dos casos em Tefé;
- Os valores de excedente hídrico máximo ocorrem em maior frequência ao longo dos anos: entre os meses de abril e maio (66,66% dos casos) em Barcelos; no mês de março (33,33% dos casos) em Itacoatiara; nos meses de fevereiro e março (66,66% dos casos) em Manaus; no mês de abril (55,56% dos casos) em Parintins; e no mês de maio (33,33% dos casos) em Tefé. Portanto, na região o excedente hídrico máximo ocorreu entre os meses de fevereiro e maio;
- Os valores de NDVI máximo ocorreram em maior frequência ao longo dos anos: no mês de Julho (55,56% dos casos) em Barcelos; no mês de Julho (55,56% dos casos) em Itacoatiara; no mês de Julho (33,33% dos casos) em Manaus; no mês de Julho (55,56% dos casos) em Parintins; e no mês de Junho (66,67% dos casos) em Tefé. Portanto, as ocorrências foram entre os meses de junho e julho na região, ocorrendo logo após o período chuvoso da região;
- Entre a ocorrência de excedente hídrico máximo e NDVI máximo existe uma defasagem de um mês (44,44% dos casos) em Barcelos; quatro meses (33,33% dos casos) em Itacoatiara;

dois meses (33,33% dos casos) em Manaus; quatro meses (44,44% dos casos) em Parintins; e dois meses (44,44% dos casos) em Tefé. Portanto, a defasagem foi de um a quatro meses na região.

Em relação à análise média do período 1982 a 1990, conclui-se que:

- Em todas as estações, as curvas do balanço hídrico médio e NDVI médio para o período de 1982 a 1990, apresentaram comportamento semelhante, evidenciando que a resposta do NDVI ao déficit/excedente hídrico ocorre com certa defasagem no tempo. Para a deficiência hídrica e o NDVI mínimo a defasagem foi de um a dois meses em média. Entretanto, para Barcelos e Parintins, essa defasagem, na média, não ficou bem caracterizada. Para o excedente hídrico e o NDVI máximo a defasagem variou entre um e cinco meses em média na região. Esses resultados são coerentes com as análises das frequências;
- Na região em média ocorrem: um mínimo na curva de balanço hídrico ao longo do ano entre os meses de agosto e novembro e um máximo entre os meses de fevereiro e maio; dois mínimos na curva de NDVI entre os meses de fevereiro e março e de setembro a novembro e um máximo entre junho e julho;
- Na região, o período de deficiência hídrica iniciou em média em julho-setembro, terminando entre agosto-dezembro, com duração entre um e cinco meses. Tefé apresentou a menor duração e Parintins a maior.

Em relação à análise da sazonalidade do NDVI:

- Ficou evidenciado que em Barcelos, Parintins, Manaus e Tefé, os mínimos e máximos de NDVI ocorrem respectivamente na primavera e no inverno. Em Itacoatiara ocorrem no verão e no inverno. Constatou-se mais uma vez que os valores mínimos do NDVI ocorrem após a estação seca e os valores máximos do NDVI ocorrem após a estação chuvosa.

Em relação à análise interanual do NDVI:

- Pode-se observar que no biênio 1982/83, anos de El Niño forte, houve um decréscimo acentuado dos valores de NDVI com as maiores amplitudes do período para todas as estações. Por sua vez, o biênio 1988/89 (anos de La Niña forte) teve as maiores elevações de NDVI e menores amplitudes;



- Os maiores valores de deficiências hídricas anuais foram encontrados em anos com evento de El Niño forte, principalmente no ano de 1983 (Barcelos, Parintins e Tefé) e no de 1982 (Itacoatiara) e El Niño moderado em 1987 (Manaus). Os menores valores de deficiências hídricas anuais foram encontrados em anos com evento de La Niña fraca: 1984 (Barcelos e Itacoatiara) e 1985 (Tefé); e La Niña forte: 1989 (Manaus e Parintins);
- Os menores valores anuais de NDVI ocorreram no ano de 1983 (ano de El Niño forte) para todas as estações. Os maiores valores anuais de NDVI ocorreram no ano de 1984 (ano de La Niña fraca);
- As deficiências hídricas anuais totais variaram de -283,17mm (Tefé) a -4042,05mm (Parintins), com uma amplitude de -3758,88 mm (93%). Para o NDVI a variação ficou entre 57,93 (Manaus) e 61,65 (Barcelos), apresentando amplitude de 3,72 (6%). Isso indica que pequenas variações no NDVI podem representar grandes variações de deficiência hídrica e nas condições fenológicas da vegetação;
- Em síntese, o comportamento interanual dos valores de NDVI, nas cinco estações consideradas respondeu aos eventos de El Niño e La Niña. O NDVI decresce em anos de El Niño e se eleva em anos de La Niña.

O NDVI mostrou ser uma ferramenta útil para indicar os regimes de precipitação da região. Respondendo de forma satisfatória as épocas de déficit e excedente hídrico para as regiões do estudo, sendo também um bom indicador dos períodos secos e chuvosos. O NDVI também se mostrou útil em descrever os efeitos dos eventos climáticos El Niño e La Niña na vegetação. Em períodos de El Niño houve um decréscimo no índice, revelando a influência do evento, por se tratar de um período seco na região, que resulta na diminuição do vigor da vegetação. Em períodos de La Niña houve um aumento no índice, revelando a influência do evento, por se tratar de um período chuvoso na região, que resulta no aumento do vigor da vegetação.

Recomenda-se para estudos futuros:

- O uso de uma série de dados de NDVI com uma melhor resolução espacial;
- Uma série de dados que contemplem mais anos e que seja mais atual afim de que possam ser mais bem quantificadas as influências dos eventos climáticos, tais como El Niño e La Niña;

- Entretanto, é de suma importância trabalhar com séries de dados cujos ruídos devido à influência da atmosfera e do sensor tenham sido filtrados. Nesse sentido, recomenda-se o produto MOD13Q1 do sensor MODIS embarcado no satélite TERRA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E.S. **Relação entre índice de vegetação derivado do NOAA-AVHRR e precipitação na região amazônica.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 1997.109p.
- ALMEIDA, E.S.; BATISTA, G.T. **Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia.** *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9.,1998, Santos. Anais...* São José dos Campos: INPE, 1998, p.1397 -1407. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br>. Acesso em: 28 fev. 2012.
- ARAGÃO, L.E.O.C. *et al.* **Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts.** *Geophysical Research Letters*, v.34, abr. 2007. Disponível em: <http://www.geog.ox.ac.uk>. Acesso em: 26 set. 2012.
- ASRAR, G. *et al.* **Estimating Absorbed Photosynthetic Radiation and Leaf Area Index from Spectral Reflectance in Wheat.** *Agronomy Journal*, v.76, n.2, p.300-306, mar.1984.
- ASSAD, E.D.; SETZER, A; MOREIRA, L.. **Estimativa da precipitação através dos índices de vegetação do satélite NOAA.** *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5.,1988, Natal. Anais...* São José dos Campos: INPE, 1988, p. 425 - 429. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br>. Acesso em: 28 fev. 2012.
- ASSAD, E.D.; CASTRO, L.H.R.; ALMEIDA, S.A.O. **Análise exploratória da variação espaço temporal do índice de vegetação NOAA/AVHRR e pluviometria: Caso dos cerrados brasileiros.** *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8.,1996, Salvador. Anais...* São José dos Campos: INPE, 1996, p. 491 - 493. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br>. Acesso em: 28 fev. 2012.
- BARBOSA, H.A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e a precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 1998.169p.
- BATISTA, G.T.; SHIMABUKURO, Y.E; LAWRENCE, W.T. **Monitoramento da cobertura florestal através de índices de vegetação do NOAA-AVHRR.** *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7.,1993, Curitiba. Anais...* São José dos Campos: INPE, 1993, p. 030 – 037. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br>. Acesso em: 21 jan. 2012.
- BATISTA, G.T.; SHIMABUKURO, Y.E; LAWRENCE, W.T. **The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data.** *International Journal of Remote Sensing*, v.18, n.15, p. 3195-3210, 1997.
- BROWN, I. F. *et al.* **Monitoring Fires in Southwestern Amazonia Rain Forests.** *EOS*, v. 87, n.26, p.253 - 264, jun. 2006. Disponível em: <http://www.whrc.org>. Acesso: 26 set. 2012.
- CAMPOS, I.B.P. *et al.* **Análise dos efeitos do déficit hídrico na resposta temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em diferentes condições climáticas do estado do Rio de Janeiro.** *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14.,2009,Natal. Anais...* São José dos Campos: INPE, 2009, p. 4671- 4677.

FILHO, J.M. **O Livro de ouro da Amazônia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 2006. 442 p.

GESISKY, J. Secas severas na Amazônia deixam cientistas em alerta. IPAM, 2011. Disponível em: <http://www.ipam.org.br/noticias/Secas-severas-na-Amazonia-deixam-cientistas-em-alerta/1099>. Acesso em: 09 ago. 2012.

GOWER, S. T.; KUCHARIK, C. J.; NORMAN, J. M. **Direct and Indirect Estimation of Leaf Area Index,  $f_{APAR}$ , and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems**. Remote Sensing of Environment, New York, v.70, p.29-51, abr.1999. Disponível em: <http://content.imamu.edu.sa>. Acesso em: 16 ago. 2012.

GURGEL, H.C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 2000.118p.

GUTMAN, G.G. **Towards Monitoring Droughts from Space**. Journal of Climate, v.3, p.282 -295, fev. 1990. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org>. Acesso em: 16 ago. 2012.

GUTMAN, G.G. **Vegetation Indices from AVHRR: An Update and Future Prospects**. Remote Sensing of Environment, v.35, p.121-136, 1991.

HELLDÉN, U.; EKLUNDH, L. **National Drought Impact Monitoring- A NOAA NDVI and precipitation data study of Ethiopia**. *Lund Studies in Geography, Ser. C. General, Mathematical and Regional Geography*, v.15, p. 1-55. 1988.

HUETE, A.R. *et al.* **A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS**. Remote Sensing of Environment, New York, v.59, n.3, p. 440-451, 1997. Disponível em: <http://research.eeescience.utoledo.edu>. Acesso: 16 ago. 2012.

HUTCHINSON, C.F. **Uses of satellite data for famine early warning in sub-Saharan Africa**. International Journal of Remote Sensing, v.12, n.6, p. 1405-1421, 1991.

IBGE, 1992, **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**, Rio de Janeiro, IBGE, Série Manuais Técnicos em Geociências, número 1, 92 p.

IBGE, 2004. **Mapa de Biomas do Brasil**. Disponível em: <ftp://geofpt.ibge.gov.br/>. Acesso em: 25 set. 2011.

KOGAN, F.N. **Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous áreas**. International Journal of Remote Sensing, v.11,n.8,p. 1405-1419, 1990.

LIU, W.T.; KOGAN, F.N. **Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index**. International Journal of Remote Sensing, v.17, n.14, p. 2761 – 2782, 1996.

LOS, S.O. **Linkages between global vegetation and climate: An analysis based on NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer data**. Thesis (Doctor in Natural Sciences). NASA, USA, 1998. 179p. Disponível em: <http://naca.larc.nasa.gov>. Acesso: 16/08/2012.

LOS,S.O. *et al.* **A Global 9-yr Biophysical Land Surface Dataset from NOAA AVHRR Data.** Journal of Hydrometeorology, v.1,n.2, p. 183-199, abr. 2000. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org>. Acesso: 29/08/2012.

MARENGO, J. A. *et al.* **The Drought of Amazonia in 2005.** Journal of Climate, v.21, p. 495-516, fev. 2008. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org> . Acesso em: 26 set. 2009.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.A. Clima da Região Amazônica. *In: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (Org.). Tempo e clima no Brasil.* São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.197-212.

MARENGO, J. A. *et al.* Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Met Office Hadley Centre (MOHC), mai. 2011. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/relatorioport.pdf>. Acesso em: 30 set. 2012.

MORAN, E.F. **Meio Ambiente & Florestas.** Tradução Carlos Szlak. São Paulo: Senac, 2010. (Série Meio Ambiente, 11). 224 p.

MYNENI, R. B. *et al.* **The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes.** IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, v.33, n.2, p. 481- 486, mar. 1995. Disponível em: <http://www2.geog.ucl.ac.uk>. Acesso: 16 ago. 2012.

NOBRE, C.A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. **Mudanças Climáticas e Amazônia.** Ciência e Cultura, v.59, n.3, set. 2007. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br>. Acesso em: 26 set. 2012.

OLIVEIRA, L.M.T. **Estudo das regiões fitoecológicas brasileiras pela FAPAR/NDVI e relações com séries temporais de dados pluviométricos.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós – Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2008. 208p.

PAIVA, C.M. *et al.* **Análise dos efeitos do déficit hídrico na resposta temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em diferentes condições climáticas do território brasileiro.** *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36., 2007, Bonito. Anais...Bonito: Centro de Convenções de Bonito,2007.*

SALES, N; REBELLO, E.; FÁTIMA, R. de. **As maiores “cheias” e “secas” no Amazonas e as influências dos fenômenos “El Niño”, “La Niña”, “ODP” e “OMA”.** *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XVI, Belém, 2010. Trabalho completo, Belém, SBMET, CD-ROOM.*

SANTOS, J.R.; SHIMABUKURO, Y.E. **O sensoriamento remoto como indicador das fenofases dos cerrados brasileiros: Estudo de caso com dados AVHRR/NOAA.** *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7.,1993, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 1993, p. 249 – 257.* Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br>. Acesso em: 01 mar. 2012.

SELLERS, P.J. *et al.* **A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs: The Generation of Global Fields of Terrestrial Biophysical Parameters from**

**Satellite Data.** Journal of Climate, v.9, p.706-737, ago. 1995. Disponível em: <http://www.knmi.nl>. Acesso em: 16 ago. 2012.

STÖCKLI, R.; VIDALE, P.L. **European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset.** International Journal of Remote Sensing, v. 25, n.17, p. 3303 – 3330. 10 set. 2004. Disponível em: <http://courses.washington.edu>. Acesso em: 18 jan. 2012.

SUGUIO, K. **Mudanças Ambientais da Terra.** São Paulo: Instituto Geológico, p. 186, 2008.

TANRÉ, D.; HOLBEN, B.N.; KAUFMAN, Y.J. **Atmospheric Correction Algorithm for NOM-AVHRR Products: Theory and Application.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.30, n.2, p. 231 – 248, mar.1992. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org>. Acesso em: 01 mar.2012.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. **The water balance.** Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology – Laboratory of Climatology, p. 104, 1955.

TOWNSHEND, J.R.G.; TUCKER, C.J.; GOWARD, S.N. **Global vegetation mapping.** In: GURNEY, R. J. ; FOSTER, J.L.; PARKINSON, C.L. (Org.). Atlas of Satellite Observations Related to Global Change. London: Cambridge University Press, 1993. p. 301 - 311.

ZENG, N. *et al.* **Causes and Impact of the 2005 Amazon Drought.** Environmental Research Letters, v.3, n.1, jan,2008. Disponível em: [stacks.iop.org/ERL/3/014002](http://stacks.iop.org/ERL/3/014002). Acesso em: 28 set. 2012.