



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Impacto sobre a modelagem hidrológica na bacia do rio Piancó-PB com a utilização de dados de índice de área foliar e albedo provenientes do sensor orbital MODIS

Cássio Lemos Dutra Marçal

João Pessoa – PB
Junho – 2017

Impacto sobre a modelagem hidrológica na bacia do rio Piancó-PB com a utilização de dados de índice de área foliar e albedo provenientes do sensor orbital MODIS

Cássio Lemos Dutra Marçal

Trabalho de conclusão de curso submetido à coordenação do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba – Campus I, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Adriano Rolim da Paz, Dr.

Orientador

João Pessoa, Paraíba, Brasil.

Cássio Lemos Dutra Marçal, Maio – 2017

M313a Cássio Lemos Dutra Marçal

Impacto sobre a modelagem hidrológica na bacia do rio Piancó-PB com a utilização de dados de índice de área foliar e albedo provenientes do sensor orbital MODIS

. / Cássio Lemos Dutra Marçal - João Pessoa: UFPB, 2017.

47fl. il.:

Orientador: Prof. Dr Adriano Rolim da Paz

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Cássio Lemos Dutra Marçal

**Impacto sobre a modelagem hidrológica na bacia do rio Piancó - PB com a
utilização de dados índice de área foliar e albedo provenientes do sensor orbital
MODIS**

Prof. Adriano Rolim da Paz, Dr.

Professor do departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB

Gustavo Barbosa Lima Silva, Dr.

Professor do departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga, Dr.

Professora do departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB

Prof. Adriano Rolim da Paz, Dr.

Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Agradecimentos

Quero agradecer a todos que me ajudaram nessa árdua jornada. Por eu ter tido acesso a um curso superior e educação de qualidade em um país com tanta desigualdade social. Agradecer por poder enxergar o mundo de uma maneira que jamais teria visto sem a experiência acadêmica proporcionada pela UFPB. E a todos os profissionais que tive oportunidade de conhecer.

Em especial aos meus colegas de graduação que durante todo o curso se mostraram pessoas tão nobres e gentis. Não quero citar nomes com medo de esquecer alguém que seja igualmente importante. Quero dizer que foi uma honra ter conhecido todos vocês e que quero manter a amizade cultivada nesses longos nove períodos para a vida toda.

Agradecer ao professor Adriano Rolim da Paz por ter me ajudado em tantos momentos da graduação, ter tido paciência e ter me ensinado com a dedicação que só um profissional apaixonado pelo o que faz teria feito.

Agradecer aos meus colegas de apartamento que são: Hemerson (José), Pedro Émile (Pedão), Pedro Everson (Pedim) e Heitor que me aturam desde 2011 e hoje eu considero parte da minha família.

A minha namorada, Ângela Renata, que me mostrou que a vida tem mais graça quando você a compartilha com outra pessoa.

E aos meus pais e irmãs que sempre me apoiaram e nunca me impediram de seguir os meus sonhos.

Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais que sempre me apoiaram e nunca me impediram de seguir os meus sonhos. Em especial ao meu amado “paizinho” que não está mais entre nós, mas sei que sempre quis o melhor para mim.

Resumo

O bom gerenciamento dos recursos hídricos é vital para o desenvolvimento econômico, social e ambiental de qualquer sociedade. Trazendo esse contexto para o semiárido nordestino isso se torna mais evidente, considerando os baixos índices de chuva e o descaso secular do governo brasileiro para essa região somados à susceptibilidade dessa região a grandes períodos de seca. A modelagem hidrológica aparece como uma ferramenta útil para auxiliar na gestão das águas, mas por falta de infraestrutura em muitas bacias hidrográficas brasileiras, incluindo a do rio Piancó-PB, variáveis meteorológicas e de campo não podem ser medidas, forçando os pesquisadores a irem atrás de dados de literatura e/ou regiões semelhantes para darem prosseguimento aos seus trabalhos. Dados tabelados não representam a variabilidade interanual e diminui a caracterização física distribuída, principal característica dos modelos hidrológicos distribuídos. Com esse cenário descrito acima o objetivo desse trabalho foi utilizar dados de albedo e índice de área foliar (IAF) derivados do sensor MODIS substituindo os valores fixos tabelados a fim de aumentar a variabilidade espaço-temporal do modelo e verificar os impactos nos processos hidrológicos intermediários (Evapotranspiração e umidade do solo), impactos nas vazões de pico, vazões acumuladas ano a ano e variação das médias mensais para células específicas da bacia. Os resultados mostraram pouca redução nos valores de ET total real e aumento sutil nos valores de umidade do solo. Não houve impactos significativos nos processos hidrológicos analisados na bacia. Os processos intermediários dentro das células os valores de ET total e umidade do solo variaram entre $\pm 5\%$ para as duas variáveis. Em relação aos valores de vazão total houve uma redução das vazões de pico em 6 dos 11 anos analisados, porém essas reduções não foram significativas ficando em torno de 1% e quando superestimou os valores variaram de 3% a 8% quando comparado com a rodada padrão. Foi observada uma subestimação dos valores de albedo para unidades de resposta hidrológicas 4, 5 e 6. As médias mensais quando comparadas não mostraram valores significativos ficando também entre $\pm 5\%$ tanto para ET total real quanto para umidade. Uma defasagem de 6 meses foi observada em toda a série de dados albedo em relação aos dados tabelados indicando uma dinâmica diferente dessa variável ou erro na aquisição da imagem pelo sensor.

Palavras Chaves: MGB-IPH; Modelagem Hidrológica; MODIS; Albedo; IAF; Semiárido.

Abstract

The good water resources management is key point for the economic, social and environmental development of any society. Bringing this context to the Brazilian northeastern semi-arid region it becomes more evident, considering the low rainfall rates and the secular disregard of the Brazilian government for this region, added to the susceptibility of this region to great periods of drought. Hydrological modeling appears as a useful tool to assist in water resources management, but due to lack of infrastructure in many Brazilian watersheds, including the Piancó river basin located at Paraíba state river, meteorological and field variables cannot be measured, forcing researchers to go back Of literature data and / or similar regions to continue their work. Tabulated data do not represent the interannual variability and decrease the distributed physical characterization, the main point of distributed hydrological models. With this scenario described above the objective of this work was to use albedo and leaf area index (LAI) data derived from the MODIS sensor, replacing the fixed values tabled in order to increase the space-time variability of the model and to verify the impacts on the intermediate hydrological processes (Evapotranspiration and soil moisture), impacts on peak flows, cumulative flows from year to year and variation of monthly averages for basin specific cells. The results showed little reduction in real total ET values and subtle increase in soil moisture values. There were no significant impacts on the hydrological processes analyzed in the basin. Intermediate processes within the cells total ET and soil moisture values varied between $\pm 5\%$ for the two variables. In relation to the total flow values, there was a reduction of the peak flows in 6 of the 11 analyzed years, however these reductions were not significant being around 1% and when overestimated the values ranged from 3% to 8% when compared to the round pattern. An underestimation of the albedo values for hydrological response units 4, 5 and 6 was observed. As averages, where they did not show significant values, they were also between $\pm 5\%$ for both total real ET and soil moisture. A 6 month lag was observed throughout the albedo data series in relation to the tabulated data indicating a different dynamics of this variable or error in the image acquisition by sensor.

Key words: MGB-IPH; Hydrological modelling; MODIS; Albedo; LAI; Semi-Arid.

Lista de Siglas

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional das Águas
Arg.	Argissolo
Atividade Agrícola	A.Agr.
BSA	Blue Sky Albedo
BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
BSA	Black Sky Albedo
Caa.	Caatinga
Cam	Cambissolo
EOS	Earth Observing System
ET	Evapotranspiração
ET total real	Evapotranspiração Total real
ETreal	Evapotranspiração Real
FD	Fator de Difusão
fgeo (λ)	Coefficiente derivado do modelo óptico-geométrico Li-SparseR
fiso (λ)	Componente do espalhamento isotrópico
FPAR	Fração radiativa fotossinteticamente ativa
fvol (λ)	Coefficiente derivado do modelo de transferência radiativa Ross-Thick
GSFC	Goddard Space Flight Center
GTI	Grupo de Trabalho Ministerial
HDF	Formato de dados hierárquicos
IAF/LAI	Índice de área Foliar
JRC-TIP	Joint Research Centre Two-stream Inversion Package
KINT	Drenagem sub-superficial
Kvol	Espalhamento simples
LANDSAT	Landsat's Enhanced Thematic Mapper
LANDSAT+	Landsat's Enhanced Thematic Mapper plus+

LARSIM	Large Area Runoff Simulation Model
Lit	Litossolo
MM5	Mesoscale Meteorological Model
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MNT	Modelo Numérico de Terreno
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Agency Space American
NOAA	Administração Nacional do Ar e dos Oceanos
SMA	Soil Moisture Accounting
TIFF	Tagged Image File Format
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UNEP	Nações Unidas Pelo Meio Ambiente
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UPH	Unidade de Planejamento Hidrológico
URH	Unidade de Resposta Hidrológica
Wm	Capacidade de armazenamento do solo
WMO	Organização Mundial de Meteorologia
WSA	White Sky Albedo
Wzj	Armazenamento residual
ZCIT	Zona de convergência Intertropical sobre o oceano atlântico
θ_i	Ângulo solar zenital
θ_r	Ângulo zenital do sensor observando cada pixel
λ	Comprimento de onda.
Φ_i	Ângulo azimuth relativo ao sol

Lista de Figuras

Figura 1 – Nova delimitação de semiárido brasileiro definido em 2005. Fonte Ministério da integração. Adaptado.	3
Figura 2 - Esquema de geração e propagação da água em uma célula a partir das Unidades de Resposta Hidrológica. Fonte: (Ribeiro Neto, 2006).....	9
Figura 3 - Fluxograma de uma aplicação do modelo hidrológico, com relação aos dados de entrada e ao geoprocessamento (Collischonn, 2001).	11
Figura 4 - A dinâmica de obtenção de imagens do produto MCD43A3 MODIS. Ela é feita a cada 8 dias, mas com 16 dias de aquisição. A primeira imagem é composta pelos melhores pixels dos primeiros 16 dias de aquisição e a partir da segunda imagem são utilizados 8 dias de dados da imagem anterior e 8 dias de novas aquisições (8 -24) totalizando 16 dias de coleta de dados.....	18
Figura 5 - Dinâmica de obtenção de imagens IAF MODIS resolução 1km. A cada 8 dias é gerada uma imagem com os melhores pixels.	20
Figura 6- Localização da área de estudo e das estações pluviométricas, fluviométrica e meteorológica, com indicação do Modelo Numérico do Terreno (elevação em metros) Fonte (Felix & Paz, 2016). ..	23
Figura 7 - Distribuição das unidades de resposta hidrológicas na bacia do rio Piancó-PB.	24
Figura 8 - Classificação da cobertura vegetal e uso/ocupação do solo pelo sensor MODIS.	25
Figura 9 - Distribuição dos valores das imagens de albedo e IAF no modelo MGB-IPH. Os valores nos primeiros 8 dias pertencem a primeira imagem e depois assumem os valores da segunda imagem pelo os 8 dias seguintes e assim sucessivamente.	27
Figura 10 – Fluxograma das atividades de tratamento das imagens de albedo e IAF do sensor MODIS. A conversão do albedo para .tif foi feita através da ferramenta MODIS Reprojection Tools (MRT) desenvolvida pelo time MODIS terra para auxiliar usuários com os arquivos no formato .HDF. As imagens de IAF foram disponibilizadas já em formato .tif diminuindo um passo no geoprocessamento.	28
Figura 11 - Gráfico dos dados orbitais de albedo. Percebe-se uma clara defasagem em relação ao albedo obtido por Felix & Paz (2016) na literatura e em relação à chuva em cada URH.....	31
Figura 12 - Análise da consistência dos dados do IAF MODIS frente aos estímulos de chuva e IAF proveniente da literatura. Nas URH 1, 5 e 6 há uma pequena janela de tempo para a resposta dos valores de IAF MODIS frente aos estímulos de chuva, talvez pela característica da área ser essencialmente agrícola. Nas URH 2 e 3 há uma boa resposta da vegetação caatinga depois de períodos chuvosos. E na URH 4 acredita-se que o tipo de solo contribua para a demora na resposta da vegetação à chuva pelas características de impermeabilidade e ausência de horizontes.	33

Figura 13 - Valores anuais valores da rodada com dados do sensor orbital MODIS e a rodada padrão (dados fixos).....	34
Figura 14 – Valores mensais valores da rodada com dados do sensor orbital MODIS e a rodada padrão (dados fixos).....	35
Figura 15 – (A) diminuição na ET total real e um aumento nos valores da umidade na rodada MODIS para todos os períodos de chuva entre 2000 e 2011. (B) período hidrológico entre junho de 2003 até dezembro de 2004 em que pega um período de estiagem-chuva-estiagem, e pode-se observar a subestimação da ET total real e aumento da umidade nos períodos de chuva na rodada MODIS. Adaptado de Felix & Paz (2016).....	37
Figura 16 - Valores de ET total, ET interceptada, ET camada do solo e umidade observados na célula 81 e comparados mês a mês para o período de simulação com dados MODIS (2000 a 2011).....	38
Figura 17 - O gráfico A mostra uma diminuição na ET total real e um aumento nos valores da umidade na rodada MODIS para todos os períodos de chuva entre 2000 e 2011. A figura B mostra um período hidrológico entre junho de 2003 até dezembro de 2004 em que pega um período de estiagem-chuva-estiagem, e pode-se observar a subestimação da ET total real e aumento da umidade nos períodos de chuva na rodada MODIS. Adaptado de Felix & Paz (2016).	39
Figura 18 - Valores de ET total, ET interceptada, ET camada do solo e umidade observados na célula 90 e comparados mês a mês para o período de simulação com dados MODIS (2000 a 2011).....	40
Figura 19 - Variação diária de ET total real e umidade calculada pela rodada padrão e a rodada MODIS para a célula 147 URH2-Lit/Caa. O gráfico A contém a análise para todo o período da rodagem enquanto o B ressalta o processo estiagem-chuva-estiagem entre junho de 2003 e dezembro de 2004. Adaptado de Felix & Paz (2016).....	41
Figura 20 - Variação diária de ET total real e umidade calculada pela rodada padrão e a rodada MODIS para a célula 147 URH6-Lit/A.Agr. O gráfico A contém a análise para todo o período da rodagem enquanto o B ressalta o processo estiagem-chuva-estiagem entre junho de 2003 e dezembro de 2004. Adaptado de Felix & Paz (2016).....	42
Figura 21 - Análises dos processos intermediários ET total, ET interceptada, ET camada solo e umidade para as URH2 e 6 predominantes na célula 147.....	43
Figura 22 – Vazões geradas pela rodada padrão e rodada MODIS. Adaptado de Felix & Paz (2016).	45

Lista de Tabelas

Tabela 1- Distribuição da população residente no semiárido (IBGE, 2015). Elaboração: Autor.	4
Tabela 2 - Valores de Albedo para a regiões semi-áridas medidos através de dados de sensoriamento remoto.	6
Tabela 3 - Comprimento de onda e finalidade de cada banda utilizada no sensor MODIS. Adaptado (https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php).....	14
Tabela 4 - Produtos MODIS disponíveis para download (MODIS's web page, 2012).....	15
Tabela 5 - Especificações técnicas sobre o sensor MODIS (MODIS's web page, 2012).	16
Tabela 6- Bandas espectrais do sensor MODIS.....	17
Tabela 7 - Estudos de validação do produto albedo MODIS.....	19
Tabela 8- Unidades de Resposta Hidrológica Bacia do rio Piancó-PB.	24
Tabela 9 - Descrição das células analisadas.	30
Tabela 10- Variação das vazões de pico ano a ano.....	45

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos Gerais.....	2
1.2	Objetivos específicos	2
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1	Semiárido Brasileiro	2
2.1.1	Abrangência e Características Gerais.....	2
2.1.2	Características Hidro-Climatológicas	5
2.2	Albedo.....	5
2.3	Índice de Área Foliar – IAF	6
2.4	Modelagem hidrológica	7
2.4.1	Modelos hidrológicos distribuídos.....	8
2.4.2	Modelo para Grandes Bacias MGB-IPH.....	8
2.4.3	Modelagem hidrológica do semiárido.....	11
2.5	Sensoriamento Remoto	12
2.5.1	Conceitos.....	12
2.5.2	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)	13
2.6	Integração entre Modelagem Hidrológica e Sensoriamento Remoto.....	21
3	Metodologia	22
3.1.1	Localização e Caracterização Geral.....	22
3.1.2	Ocupação e Uso do Solo	23
3.2	Dados MODIS	25
3.2.1	Classificação do Uso do Solo MODIS.....	25
3.2.2	Obtenção e tratamento dos dados – Albedo MCD43A3.....	25
3.2.3	Obtenção e tratamento dos dados – IAF MOD15A2	27
3.3	Modelagem Hidrológica	28
3.3.1	Aplicação do MGB-IPH na forma padrão	28
3.3.2	Adaptação do MGB-IPH para incorporar dados de albedo e IAF do MODIS.....	29
3.3.3	Simulação do MGB-IPH com dados MODIS	30
3.3.4	Formas de análise dos resultados da modelagem.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Sazonalidades do albedo e IAF	31
4.2	Processos intermediários.....	34
4.3	Análises em células da bacia.....	36
4.4	Vazões.....	44
5.	CONCLUSÃO	46

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
-----------------------------------	----

1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é um ambiente que enfrenta problemas relacionados à disponibilidade de água. Mesmo esse problema secular ser muito mais culpa do descaso do governo com a problemática da seca (Sarmiento, 2005) não se pode negar que há litígios em relação à água e que isso gera problemas econômicos, sociais e socioambientais (Tucci, 2008).

A crise da água atualmente é vista como causa de diferentes problemas. A crise vem desde a própria escassez (Somlyódy & Varis, 2006), podendo também ser resultado de problemas ambientais agravados por conta de questões sociais e econômicas (Gleick, 2000) ou simplesmente consequência do mau gerenciamento dos recursos hídricos, que culminariam nas outras duas razões da crise da água (Roger, 2006).

Uma gestão racional e efetiva dos recursos hídricos é fundamental para contornar grande parte do problema relacionado a escassez e precisa abranger questões sociais, econômicas e ambientais. Para essa integração a bacia hidrográfica foi escolhida como unidade representativa para a gestão de recursos hídricos (Porto & Porto, 2008). Yassuda (1993) diz “*a bacia hidrográfica é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e meio social, e econômico e cultural*”. No entanto, para um bom gerenciamento dos recursos hídricos é preciso planejamento e parte desse trabalho é feito com auxílio de programas computacionais entre eles os modelos hidrológicos distribuídos (Collischonn, 2001).

A aplicação de modelos hidrológicos distribuídos tem a vantagem de levar em consideração as características físicas da bacia considerando as variações no espaço e tempo e assim representá-la de forma mais real (Beven, 2001). Porém, a aplicação desses modelos levam em conta muitas variáveis importantes e algumas delas para serem medidas com precisão necessitam de um mínimo de infraestrutura. É o caso de torres de medição de variáveis climáticas para albedo e projetos de medição em campo como o índice de área foliar (IAF), respectivamente.

Pela fraca infraestrutura das bacias hidrográficas no Brasil muitas pesquisas são feitas com dados provenientes de literatura. Esse foi o caso da modelagem hidrológica aplicada à bacia do rio Piancó-PB por Felix e Paz (2016) que para complementar dados utilizaram valores tabelados de albedo e IAF para as aplicações do modelo hidrológico distribuído

MGB-IPH. Porém, com o desenvolvimento tecnológico a análise da superfície da terra por sensores tem se tornado mais abrangente e tem fornecido dados úteis para muitas pesquisas (Lillesand, Kiefer Chipman, 2014).

Um grande número de pesquisadores tem usado dados provenientes de plataformas orbitais (Wagner et al., 2004; Andreadis & Lettenmaier, 2006) para darem prosseguimento a suas pesquisas ou até mesmo para melhorar resultados, uma vez que os dados orbitais tem quando confiáveis representam melhor as características físicas de locais com pouca infraestrutura.

Com o cenário de desenvolvimento tecnológico e disponibilidade de informação essa pesquisa objetivou analisar o impacto sobre a modelagem hidrológica na bacia do rio Piancó-PB com a incorporação de dados de albedo e IAF do sensor MODIS e analisar as diferenças com a pesquisa feita por Felix e Paz (20016).

1.1 Objetivos Gerais

Avaliar o impacto da incorporação de dados de albedo e índice de área foliar derivados do sensor MODIS na modelagem hidrológica na bacia do rio Piancó-PB.

1.2 Objetivos específicos

Analisar as mudanças nos processos hidrológicos intermediários que são: Evapotranspiração Total (ET_{total}) e Umidade do solo gerado pela incorporação de dados orbitais frente a simulação obtida por Felix e Paz (2016);

Analisar a diferença dos processos hidrológicos intermediários para tipos diferentes de uso do solo na bacia;

Comparar as vazões totais anuais entre simulação com dados MODIS e a simulação obtida por Felix e Paz (2016).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Semiárido Brasileiro

2.1.1 Abrangência e Características Gerais

Em 2005 o ministério da integração nacional resolveu alterar a área do seminário brasileiro. A razão da alteração foram os critérios adotados para a definição do semiárido em 1989, que levava em conta somente a precipitação média anual de cada município. A nova delimitação da região semiárida ficou a cargo do Grupo de Trabalho Ministerial (GTI),

formado em 2004, e que levou em conta a distribuição das chuvas e evapotranspiração (ET) da região gerando a nova área citada anteriormente (MI, 2005).

A nova região semiárida do Brasil abrange uma área de 962.857,3 km² dos quais 841.260,9 km² estão inseridos nos estados do nordeste do Brasil (Araújo, 2011). A parte semiárida brasileira abrange a maioria dos estados nordestinos com 89,5% da área, com exceção do estado do Maranhão, e ficando os outros 10,5% para o norte do estado de Minas Gerais, situado na região sudeste (IBGE, acessado em 28/02/2017). A figura 1 mostra a nova delimitação do semiárido brasileiro.



Figura 1 – Nova delimitação de semiárido brasileiro definido em 2005. Fonte Ministério da integração. Adaptado.

Mesmo com a aparência latente nos períodos de estiagem, a vegetação na região semiárida do Brasil é bastante complexa e diversa. Ela se estende por uma área de 735.000,00 km² na região do Nordeste e cobre a maior parte dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e a parte nordeste de Minas Gerais, no vale do Jequitinhonha (Leal et al., 2005). A caatinga faz fronteiras com floresta Atlântica a leste, Amazônica a oeste e pelo Cerrado ao sul.

O termo “caatinga” significa “mata branca” e vem do tupi, e se refere à aparência esbranquiçada da vegetação na época de estiagem. Nessa época a vegetação que faz parte do grupo semidecídua ou decídua perdem suas folhas para preservarem água e os troncos esbranquiçados e brilhantes dominam a paisagem (MMA, 2005). Essas características da região interferem diretamente na dinâmica do albedo e IAF.

Há dois grandes grupos que predominam na região, as com fisionomias florestais e não florestais ou arbustivas que se dividem pela quantidade de folhas perdidas (perene, semidecíduas e decíduas). A vegetação com característica não florestal é representada pela vegetação lenhosa decídua (caatinga) e algumas variações como encraves de cerrado e vegetação do tipo carrasco onde elas são diferenciadas baseadas na densidade da vegetação. Enquanto as com fisionomias florestais, perenifólias (matas úmidas serranas), situam-se nas vertentes a barlavento (área úmida do relevo) das serras e chapadas próximas do litoral que são áreas de maior precipitação e umidade (MMA, 2005).

A população total residente na área do semiárido brasileiro segundo dados do IBGE, 2015, era aproximadamente 24.565.086 de pessoas sendo que desse total 23.277.153 são dos estados nordestinos e 1.287.933 residentes no norte de Minas Gerais. Em 2015 47% da população do nordeste viviam na região semiárida. A Tabela 1 mostra a distribuição da população residente no semiárido.

Tabela 1- Distribuição da população residente no semiárido (IBGE, 2015). Elaboração: Autor.

População Semiárido - 2015 - IBGE			
Estado	População Total	População no Semiárido	Percentual por estado
Piauí	3.204.028	1.067.506	33%
Ceará	8.904.459	4.902.902	55%
Rio Grande do Norte	3.442.175	1.885.087	55%
Paraíba	3.972.202	2.267.190	57%
Pernambuco	9.345.173	3.905.869	42%
Alagoas	3.340.932	1.538.257	46%
Sergipe	2.242.937	471.851	21%
Bahia	15.203.934	7.238.491	48%
Minas Gerais	20.869.101	1.287.933	6%
Total	70.524.941	24.565.086	-

Esses números mostram a quantidade de pessoas expostas aos fenômenos da seca e a importância de políticas públicas para combater os efeitos negativos dela. Sarmiento (2005) discute sobre a problemática das secas no nordeste e como o sertanejo sempre foi alvo de manobra política. Histórias que também são retratadas em “O quinze” de Raquel de Queiroz e “Vidas Secas” de Graciliano Ramos e mostram o sofrimento do sertanejo exposto a esse ambiente dinâmico e severo do semiárido, também retratam descaso político relacionado a obras de infraestruturas de combate as secas durante os séculos XIX e XX.

2.1.2 Características Hidro-Climatológicas

O semiárido brasileiro se caracteriza pelo déficit no balanço hídrico e com índices de aridez variando entre 0,21 e 0,5. A precipitação anual média da região fica abaixo dos 800 mm com insolação de 2800 horas/ano. A evapotranspiração potencial (ETP) é alta e chega aos níveis de 2.000 mm/ano e temperatura gira em torno dos 23 °C aos 27 °C (Embrapa, 2007). Esse cenário climático agressivo ainda é influenciado por diversos fatores meteorológicos que são responsáveis pela variabilidade interanual e sazonal das chuvas nessa área.

Outra característica importante no semiárido nordestino são as chuvas concentradas nos primeiros 5 meses do ano e o tipo de solo da região. Os maiores índices pluviométricos se concentram de janeiro a maio e o restante do ano só apresenta alguns eventos isolados de chuva. Os solos rasos muitas vezes apresentam afloramento da rocha matriz, o que influencia diretamente nos processos hidrológicos dificultando a modelagem nessa área.

Essa dinâmica na pluviometria está intimamente ligada com as variações de temperatura da superfície do mar nos oceanos tropicais em áreas de influência da Zona de convergência Intertropical sobre o Oceano Atlântico (ZCIT) (Nobre e Melo, 2001).

Nobre e Melo (2001) citam outros fenômenos climáticos atmosféricos que interferem na distribuição de chuva no semiárido brasileiro. São eles: sistemas transientes, vórtices ciclônicos de ar superior, distúrbios ondulatórios de leste, linhas de instabilidade gerada por brisa marítima e instabilidades locais provocadas pelo aquecimento diferencial de superfície.

Os baixos valores totais anuais pluviométricos sobre a região Nordeste do Brasil são uns dos principais fatores para a ocorrência dos eventos de secas, caracterizadas por acentuada redução do total pluviométrico sazonal durante o período chuvoso. Os fenômenos de seca tem um impacto negativo na economia do semiárido por deixar rendida toda uma cadeia produtiva (agricultura, pastoreio e indústrias) e mesmo assim foram negligenciados por séculos nessa região.

2.2 Albedo

Albedo de superfície é a porção de radiação solar refletida pela superfície terrestre dividida pela radiação incidente sobre a mesma superfície. É considerado um parâmetro importante para o balanço global de energia solar e para a quantidade de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre. A energia absorvida pela superfície é essencial para os

processos fisiológicos da vegetação tal como a Evapotranspiração (ET) derretimento de geleiras, circulação do clima.

Albedo varia no espaço, tempo, ângulo de reflexão (anisotropia) e pelas condições atmosféricas. Em relação às características físicas da superfície ele pode variar em função do crescimento da vegetação, deposição de neve, inundações, uso e ocupação do solo (urbanização, atividade agrícola e pastoril), entre outras e cada superfície vai haver um ângulo diferente de reflexão afetando a anisotropia. No tempo ele varia tanto diariamente, com a variação da posição angular do sol, como mensalmente através da variação da incidência solar interanual (Schaaf, 2009). Segundo Global Climate Observing System, que é um programa criado para a produção de dados de qualidade para o estudo e monitoramento do clima e mudanças climáticas, filiado a órgãos internacionais tal como a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura UNESCO, Organização Mundial de Meteorologia (WMO), e das Nações Unidas Pelo Meio Ambiente (UNEP), o Albedo também é um parâmetro indicador de vulnerabilidade ambiental.

Devido à falta de infraestrutura na região da área de estudo não há medidas de campo de albedo, mas medidas de albedo na região semiárida obtida através de sensoriamento remoto são mostradas na tabela 2.

Tabela 2 - Valores de Albedo para a regiões semi-áridas medidos através de dados de sensoriamento remoto.

Média Min.	Média Max.	Albedo - semiárido		Sensor	Autor
		Local			
0,12	0,14	Bacia do Rio Brígida - PE		LandSat 5	Lopes et al, 2010
0,15	0,24	Bacia experimental Aiuaba-CE		LandSat 5	Pinheiro et al, 2010
0,14	0,21	Bacia do Rio Paraíba-PB		MODIS	Alves et al, 2014

Os valores referidos na tabela 2 mostram as médias mínimas e máximas para cada trabalho, colunas 1 e 2, respectivamente. Os trabalhos foram realizados em três estados do Nordeste Setentrional com valores mínimos semelhantes, porém variando bastante nos valores máximos encontrados.

2.3 Índice de Área Foliar – IAF

IAF é uma propriedade adimensional (m^2/m^2) e representa a área de folhas existentes por unidade de área. Geometricamente é definida como área unilateral de tecido fotossintético disponível para interação com o ecossistema. Pode ser definido por alguns métodos entre eles contagem direta através da coleta de folhas, inferência através da quantidade de luz que atravessa a copa da árvore, e sensoriamento remoto (Gobron, 2009).

O IAF representa a ligação entre os ecossistemas e a atmosfera através de processos como ET, fotossíntese, e interceptação da água da chuva, este último tem um papel muito importante na dinâmica de modelos hidrológicos distribuídos uma vez que retarda a geração de escoamento. Além disso, o IAF indica a robustez do crescimento da vegetação na área medida.

A vegetação da área de estudo apresenta um comportamento muito dinâmico em relação ao IAF. Nos meses de déficit hídrico ocorre a perda de folhas para preservar água que seria perdida pela transpiração, porém como a água é único fator limitante para o desenvolvimento a vegetação responde de rapidamente ao menor evento de chuva. Isso significa altas mudanças nos índices de área foliar em um pequeno espaço de tempo e até mesmo espacialmente quando o evento de chuva não é uniforme.

Os principais usos do índice de área foliar são em modelos do tipo solo-vegetação-atmosfera, modelagem dos ciclos biogeoquímicos, e modelos de avaliação de culturas (Gobron,2009).

2.4 Modelagem hidrológica

Modelagem hidrológica é a representação do processo hidrológico através de equações matemáticas. Os modelos podem ser divididos em conceituais ou empíricos, onde o conceitual ainda se divide em distribuído e concentrado. Os modelos hidrológicos reproduzem o processo de chuva vazão que ocorrem nas bacias hidrográficas (Collischonn & Paz, 2007). Essa tentativa de representar a natureza por programas computacionais é relevante pela sua aplicabilidade na sociedade, por exemplo, a modelagem hidrológica pode auxiliar na estimativa de disponibilidade de recursos hídricos, previsão de vazão a curto e médio prazo, análise da variabilidade hidrológica, e as consequências da mudança e uso do solo da bacia hidrográfica no ciclo hidrológico, e outras aplicabilidades (Collischonn, 2001). Todos esses serviços são de suma importância para auxiliar tomadas de decisão para os gestores dos recursos hídricos e assim contribuir para a manutenção da qualidade, disponibilidade de água e de seus usos diversos (Porto & Porto, 2008).

Os modelos empíricos são baseados em fórmulas matemáticas de causa e efeito e não levam em consideração os conceitos físicos do ciclo hidrológicos. Já os modelos físicos são baseados em equações que representam cada processo hidrológico separadamente, tornando o modelo mais robusto e capaz de prever variáveis hidrológicas a partir de variações físicas na bacia hidrográfica. Os modelos físicos concentrados são modelos do tipo chuva-vazão e os

resultados são os mesmo para toda porção da bacia, não há variação desses valores para uma mesma data em pontos distintos da bacia, e não representam espacialmente todas as variáveis de uma região. Esses tipos de modelos são aconselhados para pequenas bacias que apresentam pouca variabilidade dentro da sua área (Lopes et al., 1981; Santos 2009). Por sua vez os modelos físicos distribuídos são capazes de subdividir grandes áreas em áreas menores e dar valores intermediários no mesmo instante de tempo para diferentes pontos da bacia. Sendo assim, para grandes bacias este tipo de modelo é o mais aconselhado.

2.4.1 Modelos hidrológicos distribuídos

Modelos hidrológicos distribuídos são modelos que consideram a distribuição espacial das variáveis de uma bacia hidrográfica (Collischonn, 2001). Segundo Beven (1985) eles são capazes de fazer previsões para algumas indagações importantes que recaem no gerenciamento de bacias hidrográficas. São elas: as consequências de alterações do uso do solo; previsão da heterogeneidade espacial de variáveis de entrada e saída; previsão do movimento de poluentes e sedimentos; previsão hidrológica em bacias sem dados para a calibração de modelos conceituais.

Os modelos hidrológicos distribuídos mesmo apresentando grandes vantagens sobre os demais ainda necessitam melhorar em alguns aspectos. Entre eles as não linearidades dos processos hidrológicos, a interferência do fator de escala, representação das singularidades e o tratamento das incertezas dos resultados gerados, onde este último é consequência de todas as considerações e simplificações adotadas desde a concepção do modelo até os erros associados aos dados de entrada (Beven, 2001).

2.4.2 Modelo para Grandes Bacias MGB-IPH

Nesta pesquisa foi utilizado o modelo hidrológico distribuído MGB-IPH desenvolvido por Walter Collischonn no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Collischonn, 2001). O modelo hidrológico citado é do tipo distribuído e simula os processos hidrológicos que ocorrem para grandes bacias hidrográficas (>10.000 km²). O modelo estima a vazão em uma rede de drenagem a partir da precipitação, também pode ser aplicado para resolver problemas práticos de abastecimento de água e dimensionamento de reservatórios. O MGB-IPH estima os processos intermediários do ciclo hidrológico tal como ET, umidade no solo, interceptação o que aumenta a discretização física da bacia.

Concebido para grandes áreas o MGB-IPH discretiza espacialmente e leva em conta as características físicas da bacia e a divide em porções menores, sub-bacias, e ainda é feito uma malha regular (células) para cada porção menor da bacia. É importante destacar que a dimensão da célula pode ser adaptada dependendo da necessidade e disponibilidade de dados, como foi feito por Felix & Paz (2016), em uma aplicação do modelo na bacia do rio-Piancó-PB. Como a área da célula ainda possui um tamanho considerável o modelo discretiza cada célula considerando o tipo de vegetação, cobertura e uso do solo, declividade, e propagação de fluxo (Collischonn, 2007) e (Collischonn, 2001). Tudo isso para maximizar a representação dos parâmetros físicos da bacia a fim de tentar uma melhor amostragem da realidade. Tal representação física é de suma importância para uma melhorar os resultados dos processos hidrológicos intermediários.

A variação física no interior de cada célula ainda aborda o conceito de unidade de resposta hidrológica (URH), que é o cruzamento da vegetação, uso e ocupação do solo e tipo de solo na bacia. A percentagem de cada URH pode variar dependendo da diversidade desses parâmetros e com isso aumenta a discretização física da bacia, já que dependendo da quantidade de URH em cada célula haverá diferentes resultados transferidos para as células a jusante.

Como mencionando anteriormente, o MGB-IPH na versão original discretiza a bacia hidrográfica em células quadradas. Cada célula é dividida em blocos ou unidade de resposta hidrológica (URH), que são definidos de acordo com os tipos de cobertura vegetal e dos usos e tipos dos solos. O balanço de armazenamento no solo é realizado de maneira independente para cada URH, utilizando o esquema apresentado na figura 2.

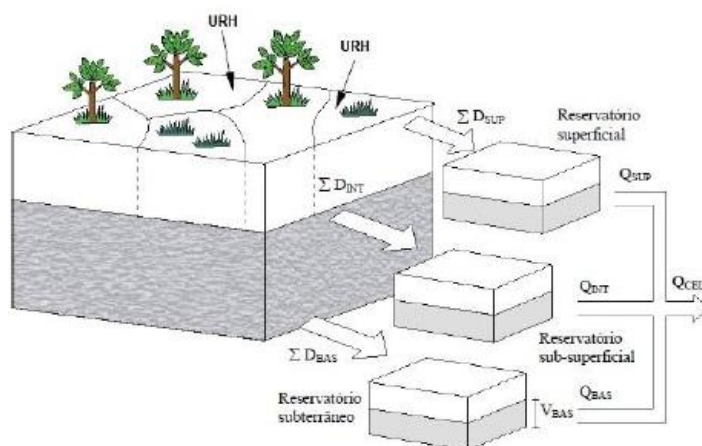


Figura 2 - Esquema de geração e propagação da água em uma célula a partir das Unidades de Resposta Hidrológica. Fonte: (Ribeiro Neto, 2006).

Os volumes drenados de cada da célula da URH são somados, segundo o seu tipo – subterrâneo (DBAS), subsuperficial (DINT) e superficial (DSUP) – em três reservatórios. Após passar por estes reservatórios o escoamento subterrâneo (QBAS), subsuperficial (QINT) e superficial (QSUP) são somados, resultando no escoamento gerado no interior da célula, que chega à rede de drenagem.

A precipitação e os dados climatológicos em uma célula são obtidos por interpolação dos dados dos postos de chuva e dos postos climatológicos mais próximos. O balanço hídrico no solo é realizado de maneira independente para cada bloco de uso, utilizando as características e os parâmetros do bloco.

O MGB-IPH foi desenvolvido baseado em outros modelos hidrológicos. O módulo da rede de drenagem foi baseado na metodologia de Muskingun-Cunge descrita por Tucci (1998).

Em síntese os módulos do MGB-IPH são: Balanço de água no solo; ET ; Escoamento: Superficial, Sub-superficial, e Subterrâneo na célula; Escoamento na rede de drenagem.

O MGB-IPH necessita de uma grande quantidade de dados. São fontes de dados para o modelo: mapas de solo e declividade, dados estações meteorológicas (precipitação, temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica). Quando uma bacia hidrográfica não possui estrutura para obtenção desses dados, podem-se usar alguns artifícios para preenchimento dessas informações, por exemplo, a interpolações de postos pluviométricos próximos ou dados de regiões semelhantes, sensoriamento remoto, consulta em tabelas de referência. A Figura 3 mostra o fluxograma da preparação de dados do MGB-IPH.

O modelo ainda possui a consideração de parâmetros fixos e calibráveis. Os parâmetros fixos são aqueles que possuem baixa sensibilidade nos resultados do modelo e a sua variação ocorre dentro do intervalo de valores esperados. Os calibráveis são aqueles que necessitam de ajustes para cada aplicação no modelo buscando um ajuste entre os dados de vazão calculados e observados.

São exemplos de parâmetros fixos do MGB-IPH: IAF; albedo; resistência superficial e altura média da vegetação. Os Parâmetros calibráveis são: a capacidade de armazenamento do solo (W_m); armazenamento residual (W_{zj} e W_{cj}); drenagem sub-superficial (KINT); entre outros.

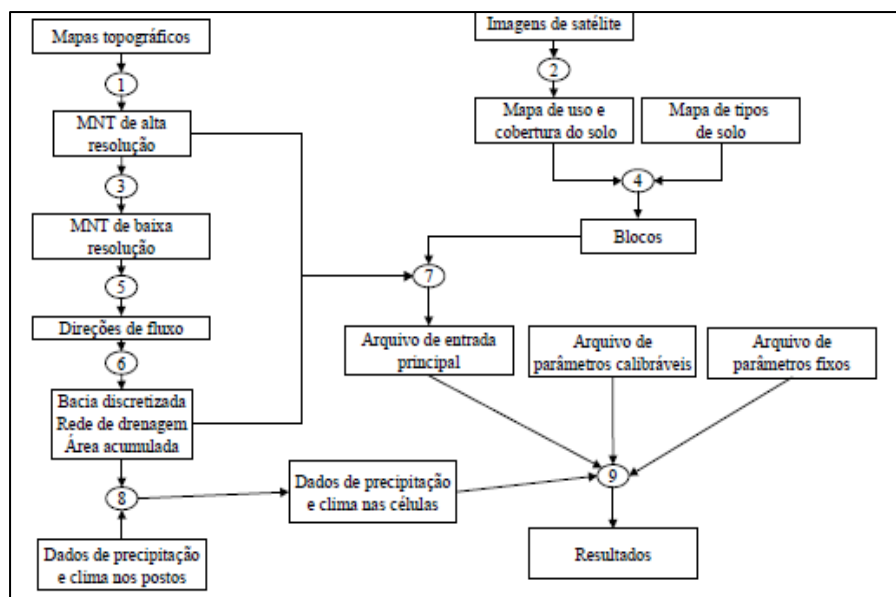


Figura 3 - Fluxograma de uma aplicação do modelo hidrológico, com relação aos dados de entrada e ao geoprocessamento (Collischonn, 2001).

O MGB-IPH vem sendo amplamente utilizado em bacias brasileiras e bacias da América do sul, podem ser citadas: Aplicação na Bacia do Rio Taquari, MS (Collischonn, 2001); Aplicação na Bacia do Rio Taquari-Antas, RS (Collischonn, 2001); Bacia do Uruguai (Collischonn, 2001); Bacia do rio São Francisco Silva (2005); Bacia do rio Madeira-RO Neto (2006); Bacia do rio-Piracicaba (Collischonn, Bravo & Meller, 2012).

2.4.3 Modelagem hidrológica do semiárido

No âmbito do semiárido Brasileiro Cabral et al (2015) aplicaram o modelo Soil Moisture Accounting (SMA). O SMA é um método de taxa de perda associada com uma sub-bacia. A precipitação é calculada separadamente e, em seguida, aplicada à sub-bacia, como uma entrada para o algoritmo SMA. O método de perda do SMA então simula o movimento de água ao longo do tempo através dos vários componentes de armazenamento que representam os aspectos físicos da bacia (Bennett e Peters, 2000). A área da bacia hidrográfica do estudo foi limitada a bacia do açude Orós, importante reservatório para a estratégia hídrica da região, caracterizando a parte alta da bacia do rio Jaguaribe-CE. A área de estudo é de 24.538 km² que representa 16% do território cearense. Os dados utilizados vão de 1979 a 2009 onde o período de calibração foi de 1979 a 1995 e o de validação entre 1996 a dezembro de 2009. Os principais resultados do modelo foram boas representações das vazões observadas e simuladas com coeficientes Nash-Sutcliffe 0,89 e 0,67 na fase de calibração e validação, respectivamente. Um comportamento observado pelos autores foi a dificuldade de representação das vazões de pico, especialmente nos anos de 2001, 2002 e 2003 e dificuldade

nas vazões menores em 2005 e 2008. Essa dificuldade ocorreu no primeiro semestre aonde a chuva é mais significativa e para o segundo semestre houve uma boa representação dos hidrogramas.

Silva et al (2007) aplicaram o MGB-IPH aliado com o modelo atmosférico regional (ETA), desenvolvido pela Administração Nacional do Ar e dos Oceanos dos Estados Unidos (NOAA) para a previsão de vazões para o reservatório de Sobradinho e Três Marias na bacia do rio São Francisco. Uma das dificuldades encontradas pelos autores foi representar os períodos de cheias e estiagem durante toda a série de dados. No período de 2000 a 2003 os períodos húmidos foram bem representados, no entanto os picos de cheia nos anos de 1996, 1997, 1999 são subestimados. Em relação aos períodos de estiagem, o modelo hidro climático apresenta tendência de superestimar até outubro de 2000. No ano de 2001 as vazões de estiagem são bem representadas, em 2002 existem semanas de sub e superestimativa, e em 2003 o modelo subestima todo o período seco.

Felix e Paz (2016) aplicaram o MGB-IPH para a bacia do rio Piancó-PB. Foram analisados além dos valores de vazão os valores de umidade do solo e ET da bacia. A aplicação do modelo teve como resultados uma boa representação das vazões observadas, uma boa representação da sazonalidade e uma diferenciação dos anos mais úmidos dos mais secos. Porém, como nos casos anteriores duas dificuldades foram encontradas: a representação dos picos das maiores cheias, seja superestimando ou subestimando e a representação da intermitência do rio.

Uma explicação para a dificuldade da modelagem hidrológica na região semiárida foi a caracterização morfológica e climática, além da falta de infraestrutura para obtenção de dados confiáveis nas maiorias das bacias da região. Os solos são rasos e apresentam afloramento de rochas cristalinas, caracterizando uma predominância do escoamento superficial. O regime de vazão do semiárido pode variar bastante, podendo alcançar altos picos de vazão (acima de 1.000 m³/s, por exemplo) no período chuvoso e chegar à vazão zero no período de estiagem. Esses e outros fatores corroboram para a difícil tarefa de modelagem hidrológica no semiárido e abrem espaço para pesquisas e aprofundamento do conhecimento nesses temas para essas regiões.

2.5 Sensoriamento Remoto

2.5.1 Conceitos

Sensoriamento remoto de superfície é o processo de se obter informação de um objeto, área ou fenômeno através de análises de dados obtidos por equipamentos que não

estão diretamente em contato com o objeto. O ato de ler pode ser considerado uma forma de sensoramento; ao enxergar informações obtidas através das diferenças de luz emitidas pelo papel é analisado pelo cérebro e transformado em informação sobre a folha (Lillesand, Kiefer Chipman, 2014). Nos dias atuais o sensoramento remoto é feito através de satélites que leem ondas eletromagnéticas refletidas pela superfície terrestre. Há dois processos básicos para obtenção de dados por sensoramento remoto, são eles: “aquisição” e “análise”. Em relação à aquisição o aspecto de energia e sua interação com o meio terrestre e atmosfera até ser recebida e filtrada pelos sensores acoplados nos satélites e armazenadas. A parte da análise fica na consolidação e qualidade dos dados, depois disso são disponibilizados para os usuários que a partir desse ponto os utilizam para seus propósitos científicos (Lillesand, Kiefer Chipman, 2014).

2.5.2 Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

Lançado em dezembro de 1998, o sensor MODIS a bordo da plataforma Terra é um produto do trabalho conjunto da NASA com a comunidade internacional no programa Earth Observing System (EOS) para a coleta de dados a nível global a fim de fornecer dados sobre características físicas da superfície terrestre, atmosfera e oceanos para cientistas e pesquisadores.

Existem dois sensores MODIS para completa varredura da superfície da terra a cada um ou dois dias. O primeiro supracitado foi lançado na plataforma TERRA e varre a superfície no sentido norte-sul no equador pela manhã. O segundo lançado em 4 de maio de 2002 a bordo da plataforma AQUA passa no sentido contrário sul-norte no equador pela tarde, completando as informações.

O MODIS oferece uma combinação única de características: detecção de ondas eletromagnéticas em 36 intervalos do comprimento de onda variando de 0,4 μm a 14,4 μm ; a obtenção de dados ocorre todos os dias durante todo o dia; sua abrangência auxilia no complemento de outros satélites como o programa Landsat's Enhanced Thematic Mapper Plus (LANDSAT) que obtêm características da superfície global em uma alta definição, porém com intervalos de 16 dias.

Há vários produtos MODIS que estão sendo utilizados para estudar mudanças climáticas. Estes produtos também são aplicados em uma variedade de disciplinas, incluindo oceanografia, biologia e ciência atmosférica. A Tabela 3 descreve os comprimentos de cada banda espectral

Tabela 3 - Comprimento de onda e finalidade de cada banda utilizada no sensor MODIS. Adaptado (<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>)

Uso Primário	Banda	Largura da Banda espectral *
Camadas da Terra/Nuvem/Aerosol	1	620 - 670
	2	841 - 876
Propriedades Terra/Nuvens/Aerosol	3	459 - 479
	4	545 - 565
	5	1230 - 1250
	6	1628 - 1652
	7	2105 - 2155
Cor do Oceano Fitoplâncton/ Biogeoquímica	8	405 - 420
	9	438 - 448
	10	483 - 493
	11	526 - 536
	12	546 - 556
	13	662 - 672
	14	673 - 683
	15	743 - 753
	16	862 - 877
Vapor de Água Atmosférico	17	890 - 920
	18	931 - 941
	19	915 - 965
Temperatura da superfície de nuvens	20	3.660 - 3.840
	21	3.929 - 3.989
	22	3.929 - 3.989
	23	4.020 - 4.080
Temperatura Atmosférica	24	4.433 - 4.498
	25	4.482 - 4.549
Vapor de Água nas Nuvens Cirrus	26	1.360 - 1.390
	27	6.535 - 6.895
	28	7.175 - 7.475
Propriedades de Nuvens	29	8.400 - 8.700
Ozônio	30	9.580 - 9.880
Temperatura e superfície/nuvens	31	10.780 - 11.280
	32	11.770 - 12.270
Altitude do topo das nuvens	33	13.185 - 13.485
	34	13.485 - 13.785
	35	13.785 - 14.085
	36	14.085 - 14.385
*Bandas de 1 até 19 estão em nm e de 20 a 36 em µm.		

Os produtos requisitados pelos usuários através do site MODIS estão entre produtos atmosféricos, sobre a superfície da terra, criosfera (áreas permanentemente congeladas), e

oceanos. A tabela 4 descreve todos os produtos MODIS disponíveis para download e a tabela 5 apresenta especificações técnicas sobre o sensor.

Tabela 4 - Produtos MODIS disponíveis para download (MODIS's web page, 2012).

Produto MODIS Aerosol
Água Total Precipitável
Nuvem
Perfis Atmosféricos
Atmosfera Conjunta
Atmosfera gradeada
Mascara de Nuvem
Produto MODIS Superfície Terrestre
Reflectância de Superfície
Temperatura e Emissividade da Superfície Terrestre (MOD11)
Temperatura e emissividade da superfície terrestre (MOD21)
Cobertura da Terra
Produtos de Índice de Vegetação MODIS (NDVI e EVI)
Anomalias Térmicas - Incêndios Ativos
<i>Fração de Radiação Fotossinteticamente Ativa (FPAR) / Índice de Área Foliar (IAF)</i>
Evapotranspiração
Produtividade Primária Bruta (GPP) / Produtividade Primária Líquida (NPP)
<i>Função de Distribuição Bidirecional de Reflectância (BRDF) / Albedo Parâmetro</i>
Vegetação Campos Contínuos
Máscara para corpos d'água
Área de Queimada
Produtos MODIS Criosfera
Cobertura de Neve
Temperatura do Superfície do Superfície e do Gelo do Mar
Produtos MODIS Oceano
MODIS Temperatura da superfície do mar
Reflexão de sensoriamento remoto
MODIS Clorofila-a Concentração
MODIS Atenuação Difusa a 490 nm
Carbono Orgânico Particulado
Carbono Inorgânico Particulado
Altura da Linha de Fluorescência Normalizada (FLH)
Radiação Instantânea Fotossinteticamente Disponível

Tabela 5 - Especificações técnicas sobre o sensor MODIS (MODIS's web page, 2012).

Tamanho	1,0 x 1,6 x 1,0 m
Peso	228,7 kg
Potência	162,5 W (média para uma órbita), 168,5 W (pico)
Resolução Temporal	Diária, para latitudes >30° e a cada dois dias para latitudes <30°
Transmissão de Dados	6,2 Mbps (média); 10,8 Mbps (dia); 2,5 Mbps (noite)
Resolução Radiométrica	12 bits
Resolução Espacial	250 m (bandas 1 - 2), 500 m (bandas 3 - 7), 1000 m (bandas 8 - 36)
Faixa de Varredura	2.330 Km± 55° (perpendicular à órbita)

Estimativa de albedo do MODIS

O albedo está relacionado com a refletância da superfície terrestre e é contabilizado pela integração das direções dessas reflexões, logo é dependente da distribuição da refletância. Para contabilizar essa distribuição o sensor MODIS possui uma função chamada Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) que descreve como a refletância depende do ângulo solar, da direção refletida, do comprimento de onda e é determinado pelas propriedades ópticas e estruturais da superfície (Strahler & Muller, 1999).

A partir do BRDF podem ser determinadas outras variáveis que também são função da variação das propriedades ópticas e estruturais da superfície, por exemplo, albedo de superfície, classificação da cobertura do solo, detecção de nuvens, correção atmosféricas e outros.

A função BRDF utilizada no sensor MODIS para produção das imagens de albedo é baseado no modelo de Ross Kernel (1981), conforme citado por Gamarra (2012). BRDF é determinado como função de parâmetros isotrópicos, volumétricos e geométricos e três funções de kernels que por sua vez dependem da direção de visada e iluminação, como mostrado na equação 1.

$$BRDF(\theta_i, \Phi_i, \theta_r, \lambda) = fiso(\lambda) + fvol(\lambda)Kvol(\theta_i, \theta_r, \Phi_i) + fgeo(\lambda)Kgeo(\theta_i, \theta_r, \Phi_i) \quad (1)$$

Em que: θ_i Ângulo solar zenital; Φ_i Ângulo azimuth relativo ao sol; θ_r Ângulo zenital do sensor observando cada pixel; λ Comprimento de onda.

O parâmetro *fiso* (λ) é a componente do espalhamento isotrópico com refletância bidirecional para um ângulo = 0 e ângulo zenital solar = 0. O parâmetro *fvol* (λ) é o coeficiente derivado do modelo de transferência radiativa *Ross-Thick* (ROSS, 1981, apud Gamarra, 2012), com *kernel* volumétrico (*Kvol*), associado ao espalhamento simples da radiação, produzidos no interior dos alvos (por exemplo, dentro da estrutura de algum tipo de vegetação). Por último, o parâmetro *fgeo* (λ) é o coeficiente derivado do modelo óptico-

geométrico *Li-SparseR* (LI e STRAHLER, 1992, apud Gamarra, 2012) com *kernel* geométrico (*Kgeo*), associado ao espalhamento simples da radiação a partir dos elementos tridimensionais das superfícies.

A partir da passagem diária do sensor sobre o globo terrestre, a bordo das plataformas Terra e Aqua, o sensor gera imagens de albedo de superfície para o produto MCD43 em formato de dados hierárquicos (HDF). Albedo é uma variável importante para várias áreas do conhecimento: mudanças climáticas (Bonan, 2008), balanço de massa em regiões frias (KLOK e Oerlemans, 2004), modelagem hidrológica (Wagner et al, 2004) e outras. Para servir aos vários tipos de propósitos a MODIS tem gerado vários tipos de produtos BRDF/Albedo variando resolução temporal, espacial e do comprimento de onda que a imagem está cobrindo. Ao total são 75 produtos MCD43 subdivididos em categorias MCDA (1 a 4), MCDC (1 a 4) e MCDD (1 a 68) na versão 6.

A Tabela 6 mostra as 10 bandas espectrais cobertas pelo sensor MODIS. A partir delas é possível determinar dois tipos de albedo: o Black Sky Albedo (BSA) e o White Sky Albedo (WSA). O BSA é definido a partir da integração da função BRDF definindo a direção da refletância hemisférica para uma única direção e são computados para o ângulo Zenith às 12 horas locais da imagem. O WSA é obtido integrando a BRDF para todas as direções e ângulos de visada do local que a imagem é gerada (Schaaf, 2002).

Tabela 6- Bandas espectrais do sensor MODIS.

Número das bandas	Bandas (μm)	Região do espectro
1	0,620 - 0,670	Vermelho
2	0,841 - 0,876	Infravermelho próximo
3	0,459 - 0,479	Azul
4	0,545 - 0,565	Verde
5	1,230 - 1,250	Infravermelho próximo
6	1,628 - 1,652	Infravermelho médio
7	2,105 - 2,155	Infravermelho médio
8	0,400 - 0,700	Visível
9	0,700 - 4,000	Infravermelho
10	0,250 - 4,000	Onda-curta

Para cada região do espectro são geradas imagens BSA e WSA. Mesmo com a passagem diária as imagens geradas são resultados de uma compilação de 16 dias de aquisição de imagens, ou seja, a cada 16 dias os melhores pixels são compilados e juntos refletem os valores de albedo para aquele intervalo de tempo. Como o BSA representa o albedo medido com o ângulo de visada ao meio dia e a WSA representa o albedo difuso,

Schaaf (2004) propõe a interpolação do BSA e WSA em função da fração de luz difusa denominada Blue Sky Albedo (BSLA). A equação 2 mostra a interpolação do BSA e WSA para obtenção do BSLA:

$$BSLA = (WSA * FD) + (BSA * (1 - FD)) \quad (2)$$

Onde: BSLA é o Blue Sky Albedo; WSA é o White Sky Albedo; BSA é o Black Sky Albedo; FD é o Fator de luz difusa.

A parcela FD representa a quantidade de interferência atmosférica variando de 0,2 a 1 em intervalos de 0,02. Quanto maior o valor do FD maior será o nível de interferência da atmosfera (Lucht et al., 2000).

Nesta pesquisa foi utilizado o produto MCD43A3 com a resolução de espacial de 500 m e geração de imagem a cada 8 dias com 16 dias de aquisição de dados com nível 3 de tratamento¹, projeção sinusoidal² e versão 5. A Figura 4 explica a dinâmica de aquisição de imagens para o produto MCD43A3 onde se pode ver que a primeira imagem leva 16 dias para ficar pronta, no entanto a segunda imagem irá necessitar apenas novos 8 dias de aquisição, sendo lançada no 24º dia. A fim de se preservar as casas decimais das imagens geradas os produtos MODIS possuem fatores de escala que devem ser aplicado ao final do processamento de cada imagem. O fator para a imagens de albedo é 0,001.

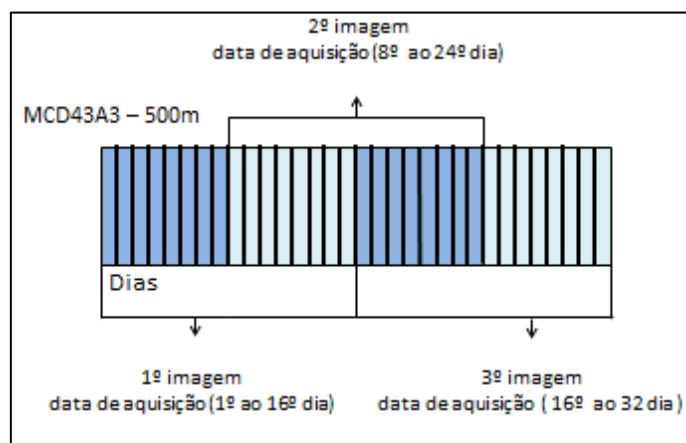


Figura 4 - A dinâmica de obtenção de imagens do produto MCD43A3 MODIS. Ela é feita a cada 8 dias, mas com 16 dias de aquisição. A primeira imagem é composta pelos melhores pixels dos primeiros 16 dias de aquisição e a partir da segunda imagem são utilizados 8 dias de dados da imagem anterior e 8 dias de novas aquisições (8 -24) totalizando 16 dias de coleta de dados.

¹ Indica o nível de processamento dos produtos do MODIS. No nível 3, se encontram os produtos georreferenciados em grade global.

² A projeção de área sinusoidal é uma classificação do sistema de projeções cartográficas construídas a partir da projeção cilíndrica equidistante através da mudança de escala dos paralelos de latitude.

Tabela 7 - Estudos de validação do produto albedo MODIS.

Resultados	Sensores	Descrição da área	Dificuldades	Fonte
Erro absoluto de 5%.	Albedômetros e ETM+.	Área com uso do solo diverso (10x10km ²).	Representar valores pontuais para resoluções MODIS.	Liang et al., 2002.
Erro relativo de 1% a 2%.	Albedômetros e ETM+.	Análise em 4 campos de validação com diferentes níveis de aerossóis e paisagens. Áreas de cultivo à tundra.	Representar valores pontuais para resoluções MODIS.	Román et al., 2009.
Raiz do erro quadrático médio de 0,047 para áreas homogêneas. Subestimação de valores para áreas de queimada.	Albedômetros.	Validação do Albedo MODIS (500m) para áreas de tundra com grande variação do ângulo solar e alta anisotropia.	Representar valores pontuais para resoluções MODIS	Wang et al., 2012
Correlação de 0,82. Subestimação para áreas de savana e boa representatividade para áreas de vegetação densa	Albedômetros.	Extensa análise para mais de 53 áreas de coletada de dados de albedo com as mais variadas coberturas de solo, uso e ocupação.	Representar valores pontuais para resoluções MODIS.	Cescatti et al., 2012

Os trabalhos anteriormente citados mostraram a dificuldade de se transformar dados medidos em pequenas escalas para escalas maiores. Em regiões com cobertura vegetal homogênea os valores do albedo MODIS tiveram melhores resultados quando comparado com valores medidos em campo. Segundo Cescatti A. et al., (2012) áreas com vegetação mais densa e contínua são melhor representadas pelo sensor enquanto áreas de vegetação esparsa apresentam subestimação nos valores de albedo, dentro dessas áreas de vegetação pouco densa pode-se incluir áreas com rápida mudança de IAF, a exemplo disso a caatinga no Nordeste Brasileiro. A equipe MODIS Terra mantém um site com todos os estudos de validação dos seus produtos e podem ser acessados através de < <https://goo.gl/F68UK3>>.

Estimativa de IAF do MODIS

Knyazikhin et al (1999) explicam os conceitos do produto IAF/FPAR do sensor MODIS. O produto utilizado foi MOD15A2 gera índice de área foliar (IAF) e fração radiativa fotossinteticamente ativa (FPAR) com resolução espacial de 1 km, resolução temporal de 8 dias e tem projeção sinusoidal. O algoritmo faz uso da resposta espectral das folhas, caule e tipo e classificação da cobertura do solo para os comprimentos de onda entre 0,4 a 0,7 nm para produção das imagens. A figura 5 mostra a dinâmica de obtenção de imagens IAF MODIS.

A fim de se preservar os valores das últimas casas decimais o produto MOD15A2 possui um fator de escala de 0,1, ou seja, para se obter os valores reais do produto ao final do processamento é necessário multiplicar toda a imagem por esse valor.

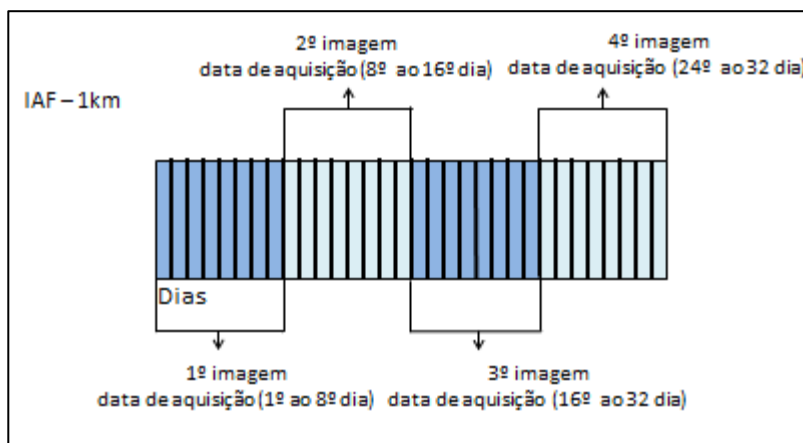


Figura 5 - Dinâmica de obtenção de imagens IAF MODIS resolução 1km. A cada 8 dias é gerada uma imagem com os melhores pixels.

Na tentativa de representar a variabilidade natural da vegetação o algoritmo considera três componentes da conservação de energia: transmissividade da copa da vegetação, capacidade de refletância e absorção. Esses três componentes são elementos de uma tabela de

consulta (look up table) e o algoritmo leva em consideração os parâmetros dessa tabela para cada bioma.

O produto MOD15A2 foi desenvolvido através da parceria entre NASA goddard space flight center (GSFC), Universidade de Bonston e Universidade de Montana.

Segundo Yan, K et al., (2016) que compararam o produto IAF MODIS com valores medidos em campo. Foi observada boa relação entre os valores do sensor e os medidos em campo. Ainda observando 13 anos de dados de IAF, temperatura e precipitação constatou-se que o IAF MODIS foi capaz de representar a sazonalidade e resposta da vegetação a variações dessas variáveis. Mais estudos de validação do produto MOD15A2 estão disponíveis no link a seguir < <https://goo.gl/slsggd>>.

2.6 Integração entre Modelagem Hidrológica e Sensoriamento Remoto

A modelagem hidrológica distribuída tem a capacidade de levar em conta a heterogeneidade espacial dos aspectos físicos da bacia e assim representar melhor a realidade a partir de mudanças desses parâmetros. Como foi dito, muitas bacias não possuem infraestrutura adequada para medição de variáveis físicas e climáticas e quando modeladas apresentam limitações de resultados por conta dessa falta de dados. O sensoriamento remoto aparece justamente nesse ponto servindo como fonte dados para áreas pobres em infraestrutura e para problemas em escalas globais. A capacidade de coletar informações em um curto espaço de tempo e para grandes áreas, barateando os custos e com informações de qualidade foi um grande salto para a área de modelagem em geral, neste caso também para a modelagem hidrológica.

O MGB-IPH tem boa parte da preparação dos dados de entrada em operações de processamento de imagens proveniente de sensores orbitais e arquivos georeferenciados. Alguns exemplos de dados de sensoriamento remoto necessário para a preparação dos dados de entrada do MGB-IPH são: MNT; imagem de uso e cobertura do solo.

Os outros dados de entrada do modelo como chuva, temperatura, velocidade do vento, albedo, IAF entre outros provém de estações meteorológicas e/ou tabelas fixas, mas como dito anteriormente esses dados muitas vezes podem ser de baixa qualidade ou nem existir forçando os técnicos a utilizarem dados de bacias em regiões semelhantes, trazendo incertezas para os resultados.

O sensoriamento remoto aparece como uma opção para esses casos, como explicado na tabela 5, o sensor MODIS possui um conjunto de produtos bem variado que podem ser utilizados para substituir dados de entrada ou serem utilizados para validação de modelos.

Ferreira, Felix e Paz (2016) fizeram uma análise comparativa da Evapotranspiração real (ET_{real}) gerada pelo modelo MGB-IPH aplicado na bacia do rio-Piencó com os produtos MOD16A2 do sensor MODIS. Os resultados apresentaram uma forte correlação entre os valores e ($r^2=0,66$), e observaram uma tendência de superestimação dos valores de ET_{real} nos períodos chuvosos e subestimação nos períodos secos por parte do sensor orbital.

Um exemplo de como os dados orbitais podem ser utilizados para preenchimento de dados em bacias com pobre infraestrutura de medições foi o trabalho de Wagner et al (2004) onde eles aplicaram um modelo Mesoscale Meteorological Model (MM5) na bacia White Volta no oeste da África, região semiárida. Por conta da pouca infraestrutura e falta de dados, postos de coleta de dados com atrasos de um ano ou mais, os pesquisadores aplicaram dados provenientes de sensores orbitais para complementarem os dados de entrada. Foi utilizado o Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), o produto MOD15A2 que representa o IAF com resolução de 1km e o produto MCD43B3 que apresenta o albedo também com resolução de 1km. Em geral as utilizações dos dados orbitais impactaram em uma maior ET e menor volume de vazão e mostrou-se bastante útil para viabilizar modelagem hidrológica para áreas com pouca infraestrutura.

3 Metodologia

3.1.1 Localização e Caracterização Geral

O trabalho foi feito na bacia hidrográfica do Rio Piencó, localizada no estado da Paraíba e foi limitado no posto fluviométrico Piencó com uma área simulada de 4.605 km². A bacia tem no total 9205 km² e desempenha importante papel como a maior sub-bacia do Rio Piranhas-Açu-PB. A bacia do Rio Piranhas-Açu nasce no alto sertão paraibano e se estende pelo Rio Grande do Norte, desaguando no Oceano Atlântico.

A bacia do Rio Piencó é uma Unidade de Planejamento Hidrológico UPH da bacia do Rio Piranhas e situa-se no extremo sudoeste do Estado da Paraíba, fazendo fronteiras com o Ceará e Pernambuco, ainda faz fronteira com a parte média da bacia do Rio Piranhas e Rio Espinhara. Os principais afluentes do Rio Piencó são os rios Jenipapo e Gravatá além dos riachos de Santana, Minador, Canoas, Vermelho, Maria e Verde.

O uso das águas produzidas na bacia do Rio Piancó-PB são de aproximadamente 85% para irrigação e aquicultura 10% para abastecimento 3% para pecuária e 2% para uso industrial banhando um total de 15 municípios (Plano de Recursos Hídricos Piranhas açu-2014). Esse dado mostra a importância econômica do bom gerenciamento das águas dessa bacia.

A vegetação nativa é do tipo xerófita pertencente ao bioma caatinga (Vagener & Paz, 2016). O solo é predominantemente Litólico Eutrófico (68%), com textura arenosa e pedregoso e pouco profundo com menos de 2 metros, os outros tipos são argissolo, cambissolo, luvisolo (Vagener & Paz, 2015; Escarião et al, 2012).

A chuva da bacia do rio Piancó-PB tem precipitações que variam entre 400 e 800 mm anuais. A chuva concentra-se entre os meses de fevereiro a maio e a bacia apresenta grande variabilidade interanual, ocorrendo alternâncias entre anos com chuvas regulares e anos com déficit de chuva, acentuando crises de secas hídricas para a região. Outro fator que influi para a escassez hídrica da região é alta ET que chega a 2000 mm/ano (Termo de Referência Piranhas Açú, 2010). A Figura 6 mostra a localização da bacia do rio Piancó-PB.

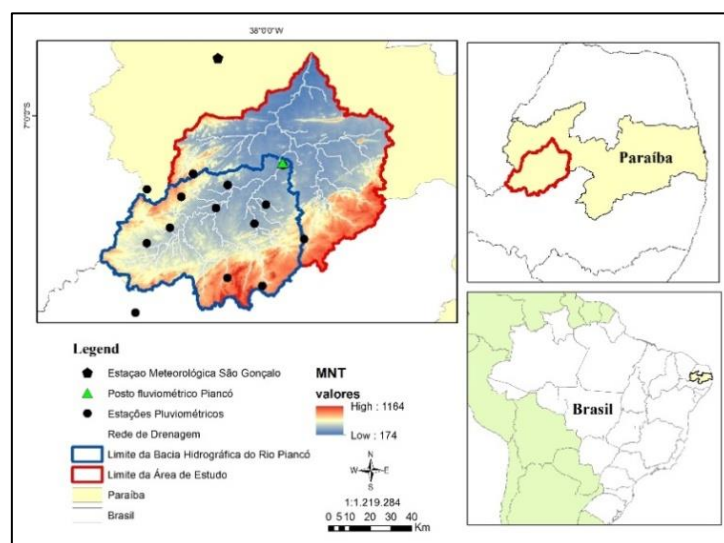


Figura 6- Localização da área de estudo e das estações pluviométricas, fluviométrica e meteorológica, com indicação do Modelo Numérico do Terreno (elevação em metros) Fonte (Felix & Paz, 2016).

3.1.2 Ocupação e Uso do Solo

Felix & Paz (2016) fizeram a classificação do uso e ocupação da bacia do rio-Piancó. Ela foi dividida em 7 URHs conforme o MGB-IPH solicita e são descritas na tabela 8. Na Figura 7 há a distribuição espacial dessas unidades de resposta hidrológica na bacia.

Tabela 8- Unidades de Resposta Hidrológica Bacia do rio Piancó-PB.

URH	Uso/Ocupação do solo	Área (km ²)	Código	Área (%)
1	Argissolos/Caatinga	910,12	Arg/A.Agr.	19,8
2	Litossolos/Caatinga	2352,22	Lit/Caa.	51,1
3	Cambissolos/Caatinga	229,41	Cam/Caa.	5,0
4	Argissolos/ Atividade Agrícola	392,94	Arg/A.Agr.	8,5
5	Luvissolos/Atividade Agrícola	135,50	Luv/A.Agr.	2,9
6	Litossolo/Atividade Agrícola	583,17	Lit/A.Agr.	12,7
7	Água	17,73	Água	0,4
-	Total	4604,39	-	100

As características físicas da bacia foram obtidas através do cruzamento de dados de cobertura vegetal e tipo de solo fornecido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) Felix & Paz (2016).

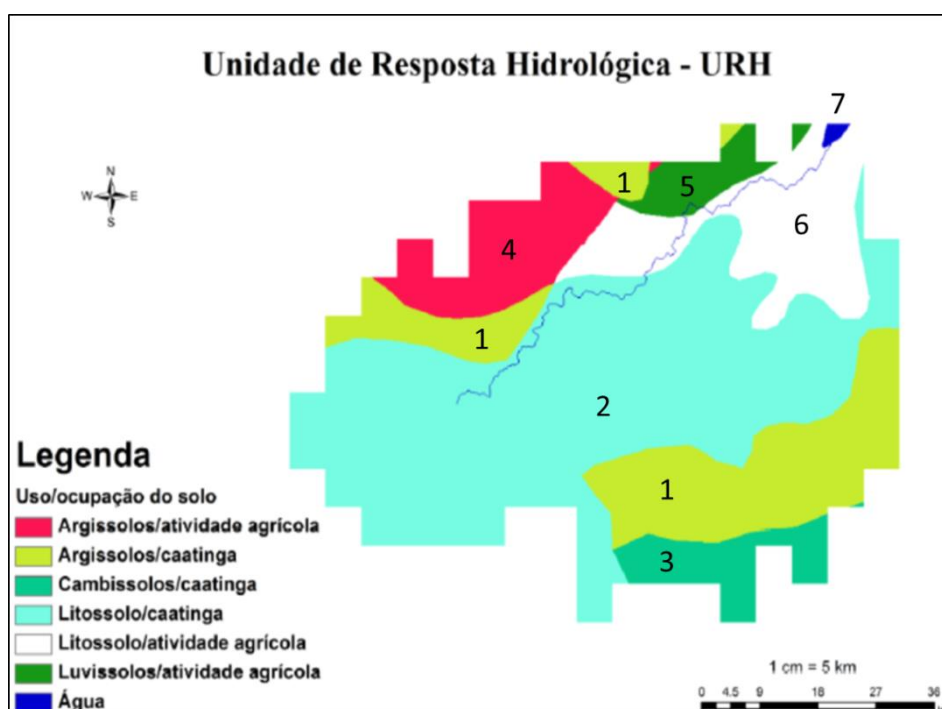


Figura 7 - Distribuição das unidades de resposta hidrológica na bacia do rio Piancó-PB.

Segundo essa classificação caatinga, atividade agrícola e área coberta por água correspondem a 80,16%, 19,37% e 0,48%, respectivamente. Sobre o tipo de solo Argilossolo, Cambissolo, Litossolo, Luvissolo correspondem a 28,3%, 5%, 63,8% e 2,9%, respectivamente.

3.2 Dados MODIS

Para gerar alguns produtos MODIS como albedo e IAF, por exemplo, o sensor precisa de uma descrição da cobertura e uso do solo da área analisada. Sendo assim, o sensor possui uma gera uma classificação automática do uso e cobertura do solo.

3.2.1 Classificação do Uso do Solo MODIS

O sensor MODIS possui uma classificação automática do uso e ocupação do solo da área que as imagens são geradas. Como essa classificação não tem validação de campo e pela baixa resolução ela possui erros quando comparado com a classificação feita por Felix e Paz (2016).

A Figura 8 trás a classificação e uso do solo dado pelo sensor MODIS. Ao compará-la com a figura 7 vemos que muitas áreas agrícolas foram transformadas em caatinga, trazida como savana, e não foi identificado nenhum corpo d'água na área de estudo.

Baseado nos valores de Felix e Paz (2016) os valores de IAF e albedo para corpos d'água é 0 e 0,1 respectivamente. Então, desconsiderando os valores atribuídos pelo sensor a URH7-água foi considerado que os valores de IAF e albedo para a URH7-água foi 0 e 0,1 para todo o período, respectivamente.

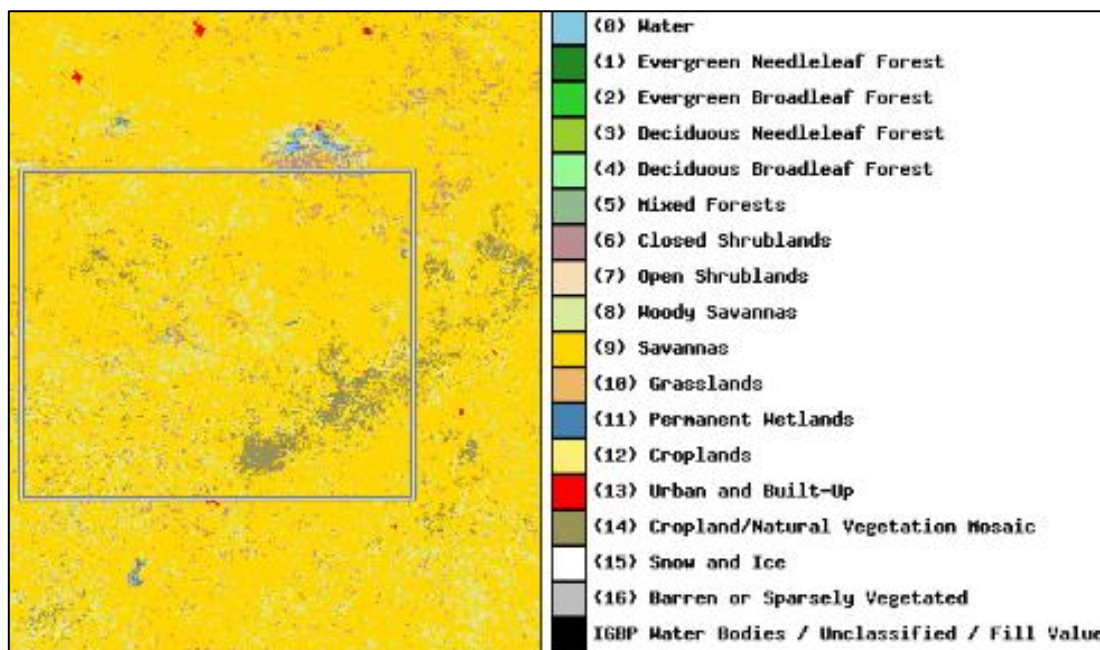


Figura 8 - Classificação da cobertura vegetal e uso/ocupação do solo pelo sensor MODIS.

3.2.2 Obtenção e tratamento dos dados – Albedo MCD43A3

Foram utilizados dados de albedo derivados do sensor MODIS para o intervalo de tempo de fevereiro de 2000 até dezembro de 2011 totalizando quase 12 anos de imagens.

O produto utilizado para validar os valores da variável albedo para esta pesquisa foi o MCD43A3 disponível em <https://go.nasa.gov/2oqp87H>, acessado 02/04/2017. Este produto está disponível desde fevereiro de 2000 e disponibiliza imagens Black e White SKY para todos os intervalos de onda descritos na tabela 6. São organizados no formato HDF e apresentam resolução espacial de 500m e resolução temporal a cada 8 dias com 16 dias de observação (Figura 4) e projeção sinusoidal. Após fazer o download das imagens foi utilizado o programa MODIS Reprojection Tools – MRT (<http://bit.ly/1u4oG9W>, acessado 02/04/2017), que faz parte do grupo de ferramentas desenvolvidas pela equipe MODIS Terra para auxiliar usuários no tratamento da imagem, transformação do formato HDF para TIF. A quantidade total de imagens foi cerca de 528 imagens albedo para o período analisado. As imagens no formato TIF foram levadas para um software de geoprocessamento, dentro de outras técnicas foi aplicada a equação 2. O fator de escala de 0,001 foi aplicado ao final do processamento para obtenção dos valores reais de albedo. A fim de suavizar as variações e diminuir a chance de pixels com informações inválidas foi aplicado um filtro de média aritmética para uma janela 5x5 pixels.

Um ponto importante foi o fator de difusão escolhido (FD) de 0,2 que representa a menor interferência atmosférica possível, com baixos níveis de nebulosidade, o que faz sentido para a área de estudo (Lucht et al., 2000). Após isso, foi constituída uma série temporal de albedo para cada URH da bacia a fim de aumentar a espacialização dos dados para toda a bacia. Essa série de valores de albedo foi feita a partir da média dos pixels para cada unidade de tempo para cada URH, sendo assim, a cada 8 dias havia um valor de albedo para cada URH.

Como os dados das imagens só estão disponíveis de 8 em 8 dias o modelo foi adaptado para uma versão diária e que os valores de albedo mudam a cada oito dias, ou seja, o valor da primeira imagem de albedo vai se repetir durante os primeiros 8 dias e mudará a partir do valor da segunda imagem no 9º dia. A Figura 9 mostra como os dados do albedo provenientes do sensor orbital foram aplicados no modelo, o valor da primeira imagem (azul) se repete pelo os 8 primeiros dias em seguida são substituídos pelo valor da segunda imagem (marrom) e assim sucessivamente.

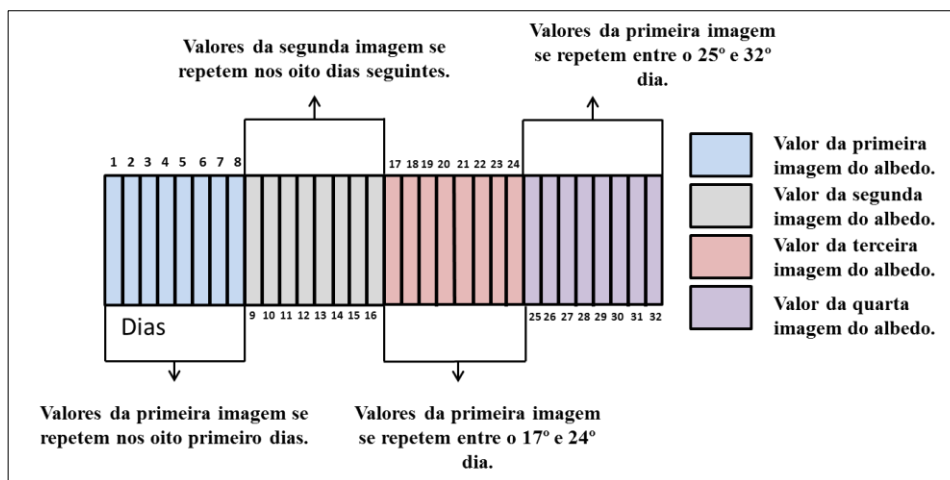


Figura 9 - Distribuição dos valores das imagens de albedo e IAF no modelo MGB-IPH. Os valores nos primeiros 8 dias pertencem a primeira imagem e depois assumem os valores da segunda imagem pelo os 8 dias seguintes e assim sucessivamente.

3.2.3 Obtenção e tratamento dos dados – IAF MOD15A2

Os dados de IAF que foram utilizados nessa pesquisa provem do produto MODIS MOD15A2. Esse produto possui imagens válidas desde fevereiro de 2000 até os dias atuais e foram utilizadas imagens de fevereiro de 2000 até dezembro de 2011.

Como foi dito anteriormente o produto IAF utilizado neste trabalho tem resolução espacial de 1 km e possui uma imagem para cara 8 dias de observações com projeção sinusoidal. Uma vantagem em relação ao produto albedo é a sua facilidade de manejo uma vez que as imagens do IAF já vem no formato TIF economizando uma etapa de transformar todas as imagens do formato HDF para TIF.

O processamento foi similar ao do albedo, ao possuir série temporal de IAF as imagens foram levadas para o software de geoprocessamento e daí foram gerados perfis temporais para cara URH da bacia. Após a geração dos perfis foi aplicado um filtro de média para a uma janela de 5x5 pixels a partir do centro de cada pixel para minimizar as variações pontuais.

A preparação para os dados de entrada do IAF também foi semelhante ao do albedo. Como a geração de valores do IAF só acontecia a cada 8 dias foi considerado o mesmo valor da primeira imagem para os primeiros 8 dias, do 9º ao 16º dia os valores de IAF foram iguais até chegar os valores da terceira imagem que foram alocados entre os dias 17º a 24º. A Figura 9 mostra como essa adaptação foi feita.. A Figura 10 mostra o fluxograma das atividades de tratamento das imagens albedo e IAF.

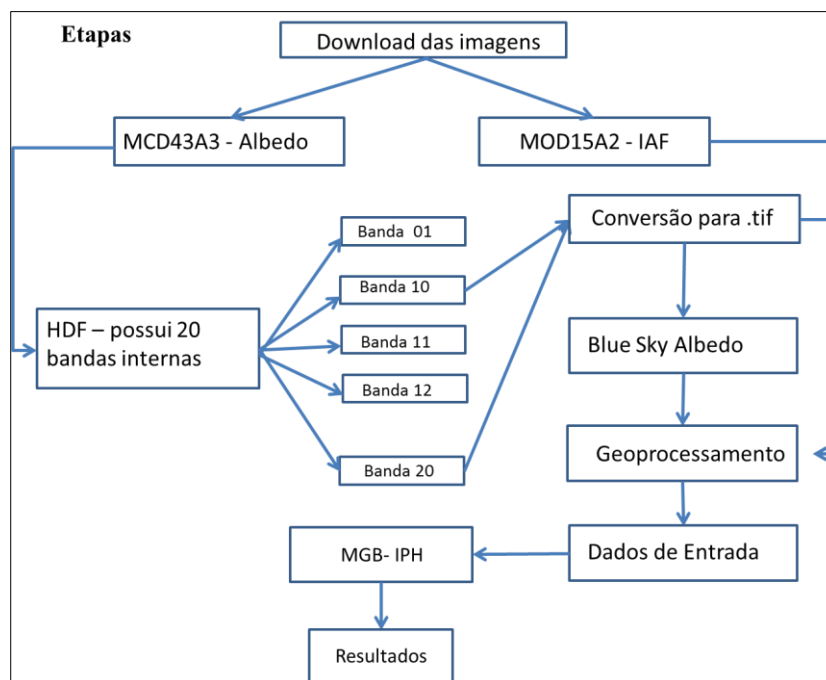


Figura 10 – Fluxograma das atividades de tratamento das imagens de albedo e IAF do sensor MODIS. A conversão do albedo para .tif foi feita através da ferramenta MODIS Reprojection Tools (MRT) desenvolvida pelo time MODIS terra para auxiliar usuários com os arquivos no formato .HDF. As imagens de IAF foram disponibilizadas já em formato .tif diminuindo um passo no geoprocessamento.

As bandas 10 e 20 correspondem ao BSA e WSA no domínio shortwave (0,250 a 4,00 μm) e a partir deles foi compilado o BLSA utilizado nesta pesquisa.

3.3 Modelagem Hidrológica

3.3.1 Aplicação do MGB-IPH na forma padrão

Esta pesquisa foi baseada no trabalho realizado por Felix & Paz (2016). A simulação realizada Felix e Paz (2016) será chamada de simulação/rodada padrão porque foi realizada com base nas técnicas já consolidadas da modelagem hidrológica distribuída e com dados de entrada para albedo e IAF retirados da literatura. A modelagem padrão foi aplicada para parte da bacia do rio Piancó-PB situada a montante do posto fluviométrico Piancó, figura 6, sem influência de reservatórios de montante e abrangeu uma área de 4.603,39 km².

O MGB-IPH utilizado na rodada padrão utilizou a versão que discretiza a bacia em uma malha regular ligando as células por rede de drenagem (Paz; COLLISCHONN, 2007). Cada célula da malha regular contém um percentual referente a cada URH que permite uma melhor distribuição das características físicas da bacia. As dimensões utilizadas na rodada padrão foram de 5x5 km com o período de séries de dados entre 1970 e 2011.

Ainda dentro da célula os processos de interceptação, ET, geração de escoamento e balanço de água no solo são calculados para cada URH de forma independente. A ET no reservatório de interceptação também é calculada de forma independente para cada tipo de cobertura.

Os dados de chuva e vazão foram obtidos no portal eletrônico HidroWEB da Agência Nacional das Águas (ANA) e complementados por dados cedidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). No total foram 14 estações pluviométricas e uma estação fluviométrica (Piancó – Código 37340000). O posto fluviométrico tem dados desde 1963. Dados meteorológicos foram obtidos com o Instituto Nacional de Meteorologia para a estação São Gonçalo, localizado a 60 km da área de estudo.

3.3.2 Adaptação do MGB-IPH para incorporar dados de albedo e IAF do MODIS

A versão usada na simulação padrão utiliza dados albedo e IAF provenientes de literatura. Essas tabelas possuem sazonalidade ao decorrer do ano, porém esses valores sempre se repetem para os mesmos meses em anos diferentes.

A formulação do modelo foi feita para ler mensalmente os valores de albedo e IAF, então não havia variação ao passo de tempo diário e o padrão anual era o mesmo todos os anos. Com a aquisição dos dados orbitais o passo de atualização dos valores dessas variáveis caiu para 8 dias dando uma média de 3 a 4 valores diferentes dentro de um mesmo mês. Logo, a incorporação desses dados exigiu a alteração no código do modelo que passou a ler os dados em nível diário.

A Figura 9 mostra a forma que o modelo passou a ler os dados orbitais. Como os dados de albedo e IAF são funções diretas da cobertura e uso do solo foi definida uma série de dados para cada uma das 7 URH. Como as imagens são formadas pelos melhores pixels dentro do período de aquisição alguns pixels continham erros ou valores nulos e para contornar esses erros foi feita uma média aritmética simples para cada pixel em relação aos pixels em uma janela de 5x5, depois dessa suavização foi retirada uma série histórica a partir das médias dos pixels para cada URH para cada intervalo de tempo. Para contornar alguns problemas de aquisição que persistiram após a suavização dos dados de albedo, os valores menores que 0,10 foram considerados falhas e eram substituídos pela média mensal naquele período.

3.3.3 Simulação do MGB-IPH com dados MODIS

Para esta pesquisa as rodadas do MGB-IPH foram feitas mantendo todas as características da rodada padrão, porém com os dados de entrada de albedo e IAF alterados para leitura dos dados orbitais. Foram gerados resultados no passo de tempo diário, mensal e anual. O tempo de rodada também foi diferente, variando de fevereiro de 2000 a dezembro de 2011. A escolha dessas datas se justifica pelo fato das imagens só estarem disponíveis a partir do ano 2000 e a modelagem padrão ter ido até dezembro de 2011.

3.3.4 Formas de análise dos resultados da modelagem

O principal objetivo do trabalho foi analisar a variação dos resultados do modelo comparando-o com a rodada padrão depois de utilizar dados provenientes de sensores orbitais. Foram feitas análises no passo de tempo diário, mensal e anual.

Alguns pontos analisados: comparação dos dados MODIS em relação à literatura, análise dos processos intermediários tais como interceptação e ET, impactos nos hidrogramas de vazões, variabilidade dia a dia, sensibilidade a eventos chuvosos, vazões de pico, estiagem e sazonalidade.

Foram escolhidas três células da bacia para analisar a variação dos processos intermediários ao longo do tempo. Foram escolhidas as células 81, 90 e 147. As análises foram feitas baseadas nas URH de maior importância dentro de cada célula. As URHs predominantes são a URH3 na célula 81 com 100% de cobertura, URHs 1 e 3 com 36% e 64% de cobertura na célula 90, respectivamente, e URHs 2 e 6 com 32,8% e 46,5% de cobertura na célula 147, respectivamente.

A Tabela 9 descreve quais células e as URHs mais predominantes.

Tabela 9 - Descrição das células analisadas.

Célula	Coordenadas (lat/long)	URH (código)	Proporção (%)
81	(-38.075, -7.775)	3- Cam/Caa	100.
90	(-37.975, -7.725)	1- Arg/A.Agr	36 e 64,
		3- Cam/Caa	respectivamente.
147	(-38.125, -7.325)	2 – Lit/Caa	32.8 e 46.5
		6 - Lit/A.Agr	respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sazonalidades do albedo e IAF

Os resultados de albedo e IAF foram confrontados com dados de literatura. Na Figura 11 podem-se ver valores de albedo MODIS e albedo fixo juntamente com a chuva para cada período. A chuva é representada pela média de chuva por URH na bacia ao longo do tempo.

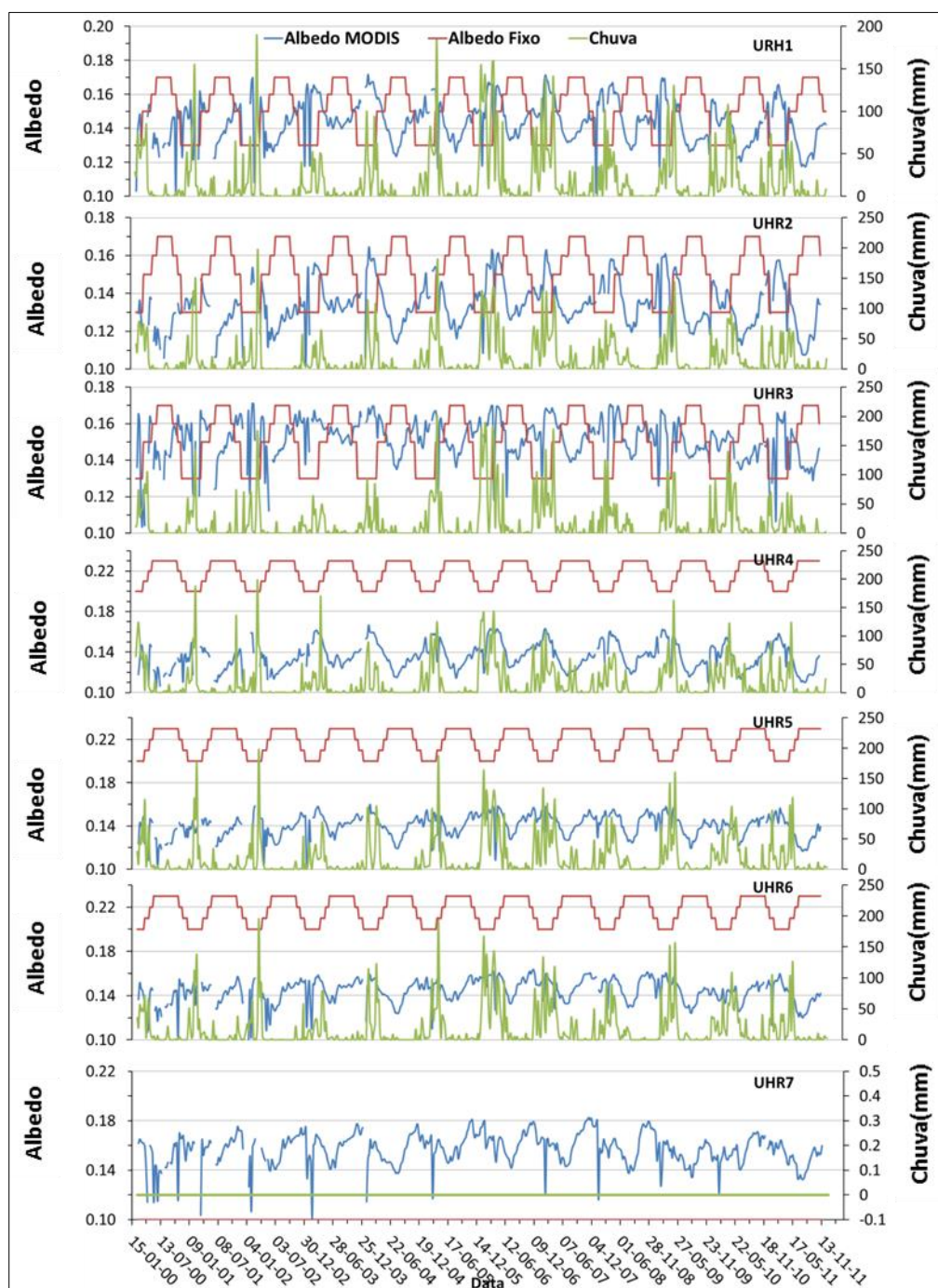


Figura 11 - Gráfico dos dados orbitais de albedo. Percebe-se uma clara defasagem em relação ao albedo obtido por Felix & Paz (2016) na literatura e em relação à chuva em cada URH.

Pode-se notar uma clara defasagem do albedo orbital para o albedo de literatura. Também foi notado que o albedo não responde diretamente às incidências de chuva na

região, para a escala espacial e temporal trabalhada. Segundo a bibliografia o albedo é razão entre energia incidida e refletida pela superfície terrestre, tem valores maiores para áreas desmatadas ou de solo nu. O esperado era que os valores de albedo tivessem valores elevados em épocas de estiagem e valores menores em épocas de chuva e aconteceu exatamente o contrário.

A defasagem pode ser intrínseca ao próprio sensor, que segundo Cescatti et al (2012) os dados albedo MODIS tendem a subestimar os valores para áreas de vegetação espaçada e tem deficiência para capturar a rápida mudança da cobertura vegetal em áreas de savana a qual seria a caatinga. Outra opção possa ser que a dinâmica de albedo na bacia do rio Piancó-PB seja realmente essa e tentando seguir o conceito geral o albedo tenha sido forçado a se apresentar alto em época de estiagem e baixo em épocas de chuva, na rodada padrão.

Analizando os valores de albedo para as URH 1, 2 e 3 percebe-se que eles são semelhantes aos de literatura, porém, para as URH 4, 5, e 6 há uma subestimação dos valores ficando em média 40% abaixo dos valores de albedo encontrados em literatura. Os valores de albedo para a URH 7 foi mantido igual ao da rodada padrão (0,1) porque o sensor MODIS classificou a área como caatinga gerando valores de albedo para uma área que na verdade é água.

Os dados de IAF foram mais consistentes com os dados de literatura. A Figura 12 mostra a variação dos valores de IAF vindo de tabelas de consulta e do IAF derivado do sensor orbital juntamente com a chuva. Os dados foram divididos por unidade de resposta hidrológica. Os valores representaram fortemente a sazonalidade na região e respostas aos eventos de chuvas. Nas URH 4, 5 e 6 pode-se perceber uma pequena demora da cobertura do solo em responder os estímulos de chuva, isso pode está relacionado as atividades agrícolas nessas URHs. Nas URH 1, 2, 3 essa resposta foi mais imediata e pode ser função da cobertura do solo que é caatinga e já possui uma estrutura de vegetação em que o fator limitante de desenvolvimento é somente água.

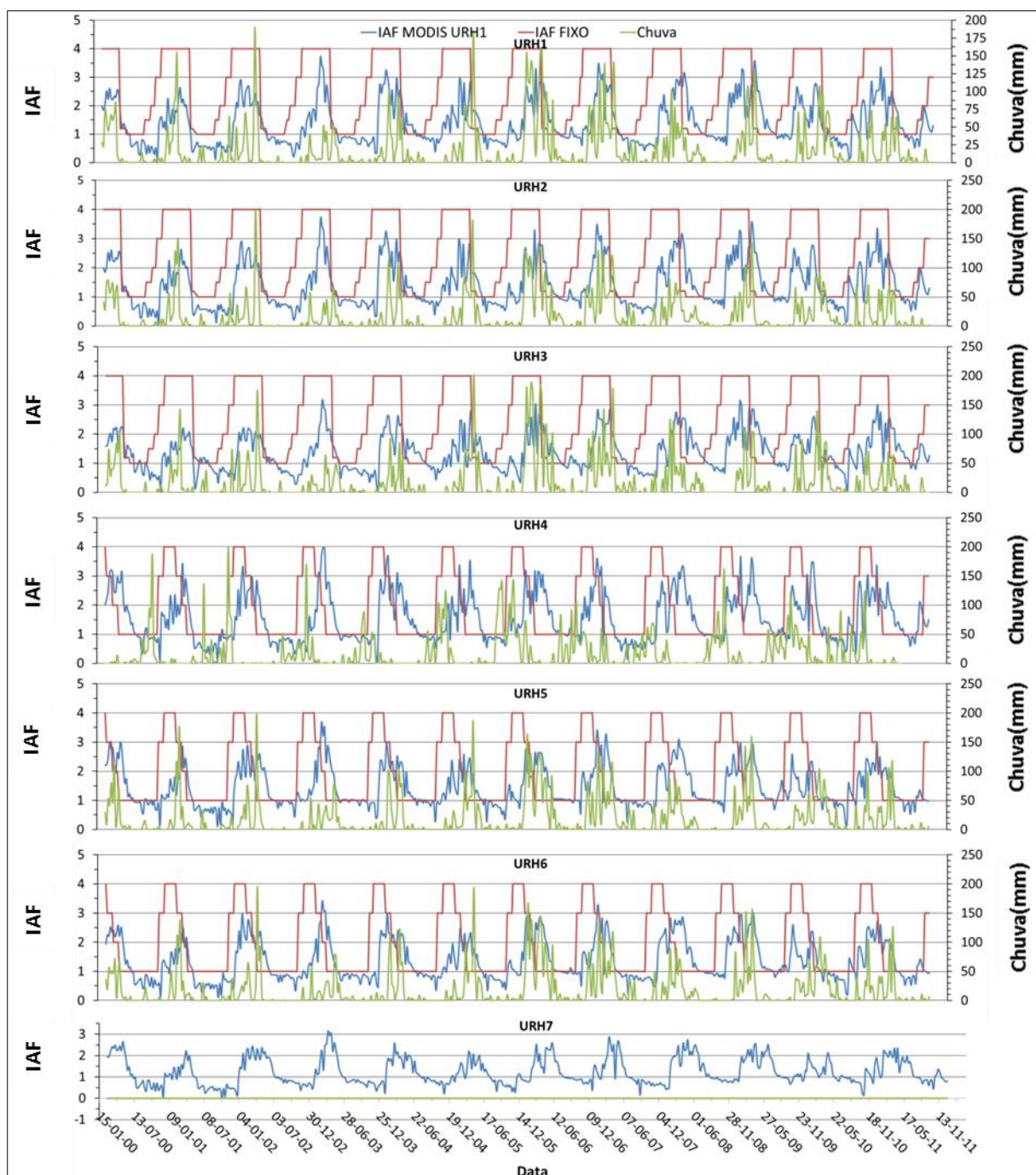


Figura 12 - Análise da consistência dos dados do IAF MODIS frente aos estímulos de chuva e IAF proveniente da literatura. Nas URH 1, 5 e 6 há uma pequena janela de tempo para a resposta dos valores de IAF MODIS frente aos estímulos de chuva, talvez pela característica da área ser essencialmente agrícola. Nas URH 2 e 3 há uma boa resposta da vegetação caatinga depois de períodos chuvosos. E na URH 4 acredita-se que o tipo de solo contribua para a demora na resposta da vegetação à chuva pelas características de impermeabilidade e ausência de horizontes.

No geral os valores de IAF derivados do sensor MODIS representaram melhor a sazonalidade, respeitando bem os eventos de chuva e a magnitude dos valores esperados de IAF para essa região.

4.2 Processos intermediários

Para a análise dos processos intermediários foram escolhidas duas URHs com maior representatividade. As URHs 2 e 6 possuem 51,1% e 12,7% da área da bacia com predominância de vegetação caatinga e agricultura, respectivamente. Foi analisado a ET total, na superfície do solo e umidade.

A Figura 13 representa a correlação entre os valores anuais dos processos intermediários mais relevantes comparados com os valores da rodada padrão.

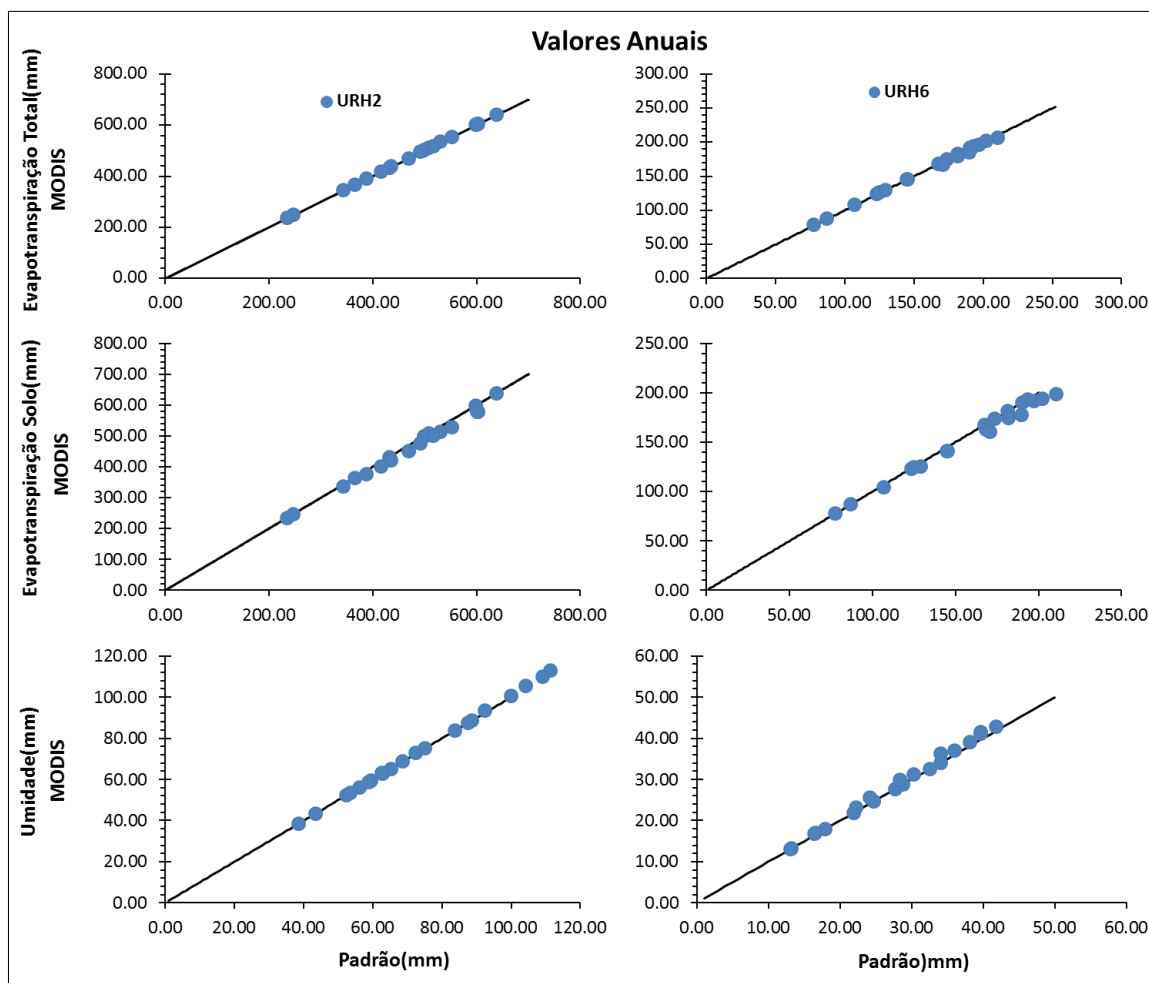


Figura 13 - Valores anuais valores da rodada com dados do sensor orbital MODIS e a rodada padrão (dados fixos).

Ao analisar os valores anuais de ET total observou-se que tanto para a área da bacia com predominância de caatinga como área de agricultura não houve variações significativas nos valores de ET total real com a incorporação dos dados de albedo e IAF, em relação à rodada padrão. Os valores de ET na camada superficial do solo foram menores para a rodada com os dados orbitais, e uma possível explicação é que pelo fato dos valores de albedo e IAF terem ficado, em média, abaixo daqueles utilizados na rodada padrão o modelo menos água foi perdida por evapotranspiração e interceptação. Por outro lado houve maiores valores de

ET na camada do solo para áreas de agricultura e isso tem maior influência da evapotranspiração potencial que é alta na região. Com maior disponibilidade de água no solo a havia mais água para evaporar. Os valores de umidade também se aproximaram bastante dos valores da rodada padrão. Um diferencial é um leve aumento quando comparado com os dados da rodada anterior. E uma explicação é que como houve uma diminuição na ET total real causada pela subestimação do albedo sobrando mais umidade na camada superficial do solo.

A Figura 14 apresenta as variáveis evapotranspiração na camada superficial do solo e umidade para as URH 2 e 6 em valores mensais.

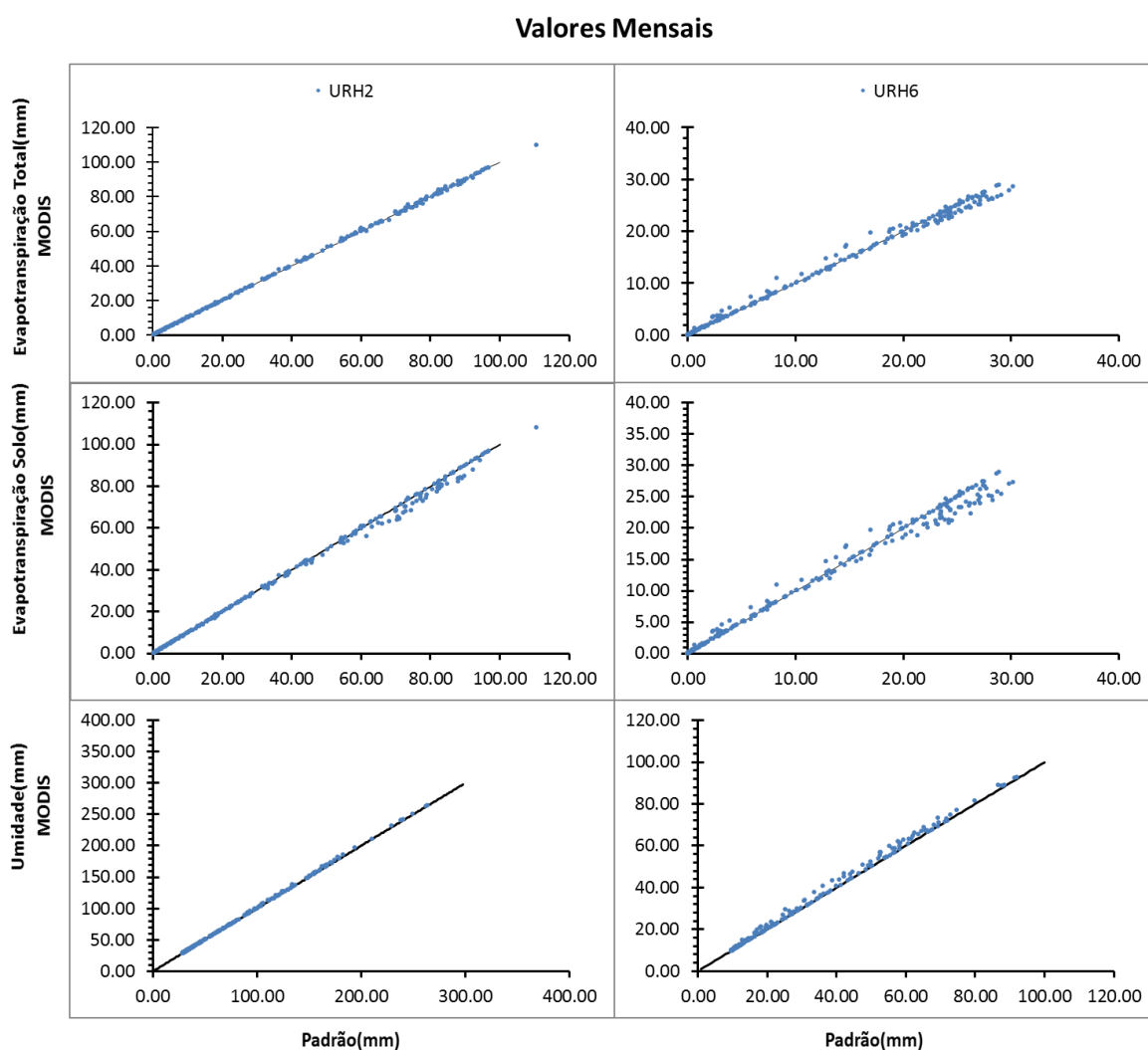


Figura 14 – Valores mensais valores da rodada com dados do sensor orbital MODIS e a rodada padrão (dados fixos).

Os valores mensais trazem a possibilidade de se analisar melhor os processos intermediários ao longo do tempo. A ET total para a URH2 mostrou pouca variação em

relação aos valores calculados na rodada padrão, já os valores da URH 6 tiveram valores bem semelhantes para pequenos (0 mm a 20 mm) valores e mostrou uma subestimação da ET total para valores maiores, 20mm ou mais, em relação à rodada padrão. Houve pouca variação na ET da camada superficial do solo na URH2 enquanto na URH6 os valores da rodada padrão foram maiores. Mais uma vez isso pode ser devido à subestimação dos valores de albedo pelo sensor MODIS. Semelhante à análise anual a umidade teve um leve aumento, observando a figura 14, por conta da menor ET.

4.3 Análises em células da bacia

Foi analisado o comportamento da ET total, ET interceptada, ET camada do solo e umidade para as células citadas na tabela 9. O comportamento da média mensal para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2011 entre a rodada padrão e a rodada MODIS também foi analisado.

A Figura 15 mostra a comparação entre ET total e umidade do solo tanto para a rodada padrão como para a rodada MODIS e foram observadas pequenas variações. Na célula 81 houve uma redução de aproximadamente 1% na ET total real após a incorporação dos dados MODIS e a umidade mostrou um aumento de pouco mais de 1,97% para essa célula. Um ponto importante é lembrar que esses valores foram feitos para a URH3- Cam/Caa que cobre 100% da célula. Na Figura 15B mostra-se um período hidrológico de estiagem-cheia-estiagem entre junho de 2003 a dezembro de 2004. A variação dos valores pode ser considerada pequena. No período de estiagem (junho-dezembro de 2003) a ET total real e umidade MODIS foram apenas 2,47% e 1,6%, respectivamente, maiores quando comparadas com a rodada padrão, por outro lado, no período chuvoso (janeiro a maio de 2004) a ET total real foi 4,08% menor e a umidade 2,04% maior. Mostrando assim pouca sensibilidade da URH3 – Cam/Caa na célula 81.

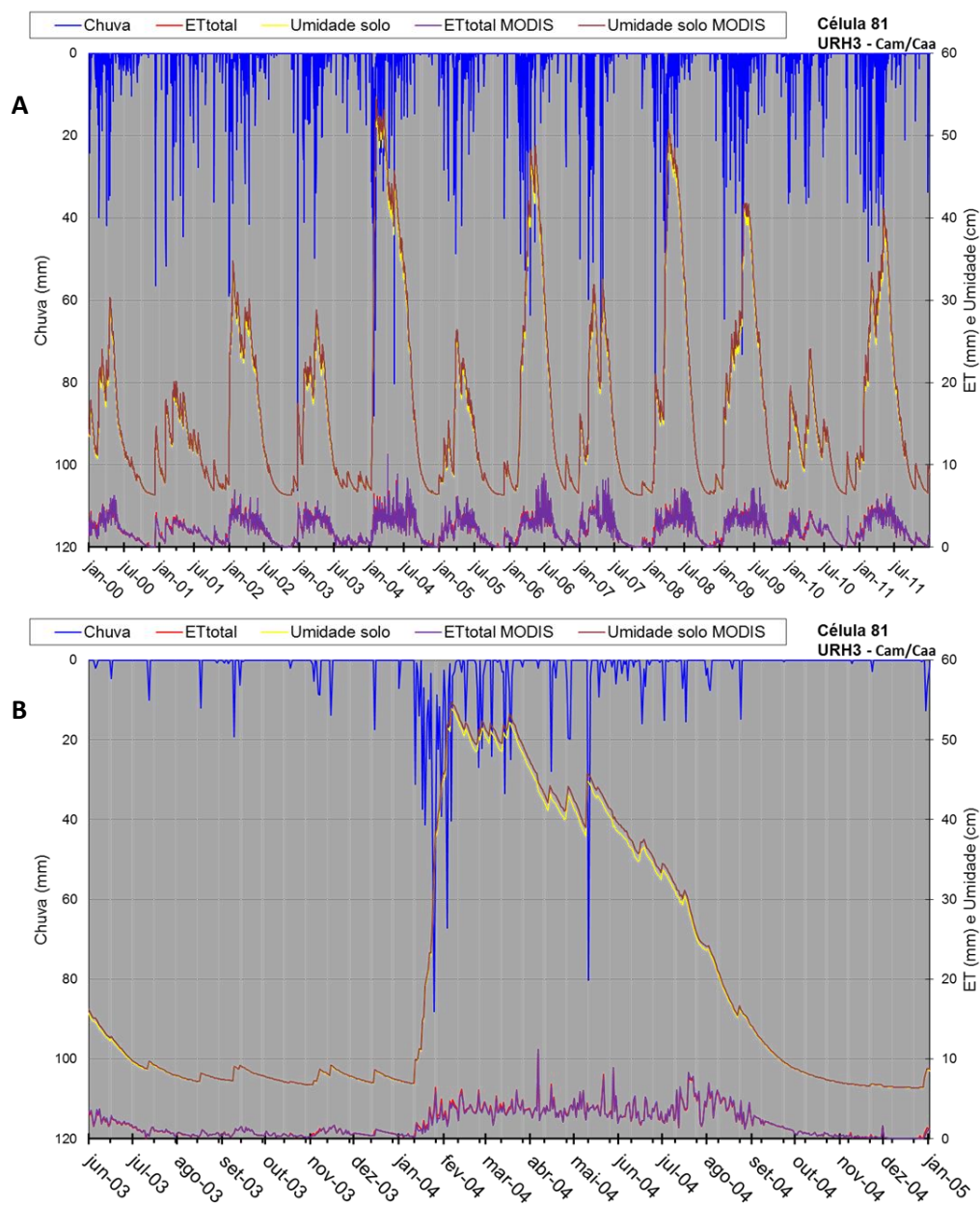


Figura 15 – (A) diminuição na ET total real e um aumento nos valores da umidade na rodada MODIS para todos os períodos de chuva entre 2000 e 2011. (B) período hidrológico entre junho de 2003 até dezembro de 2004 em que pega um período de estiagem-chuva-estiagem, e pode-se observar a subestimação da ET total real e aumento da umidade nos períodos de chuva na rodada MODIS. Adaptado de Felix & Paz (2016).

Ainda analisando os valores intermediários para célula 81, a Figura 16 mostra a variação da média mensal para o período dos dados MODIS. A ET total real teve valores menores nos meses de janeiro a abril em relação à rodada padrão se igualando em maio e começando a aumentar até agosto ficando iguais em setembro, outubro e novembro e diminui em dezembro.

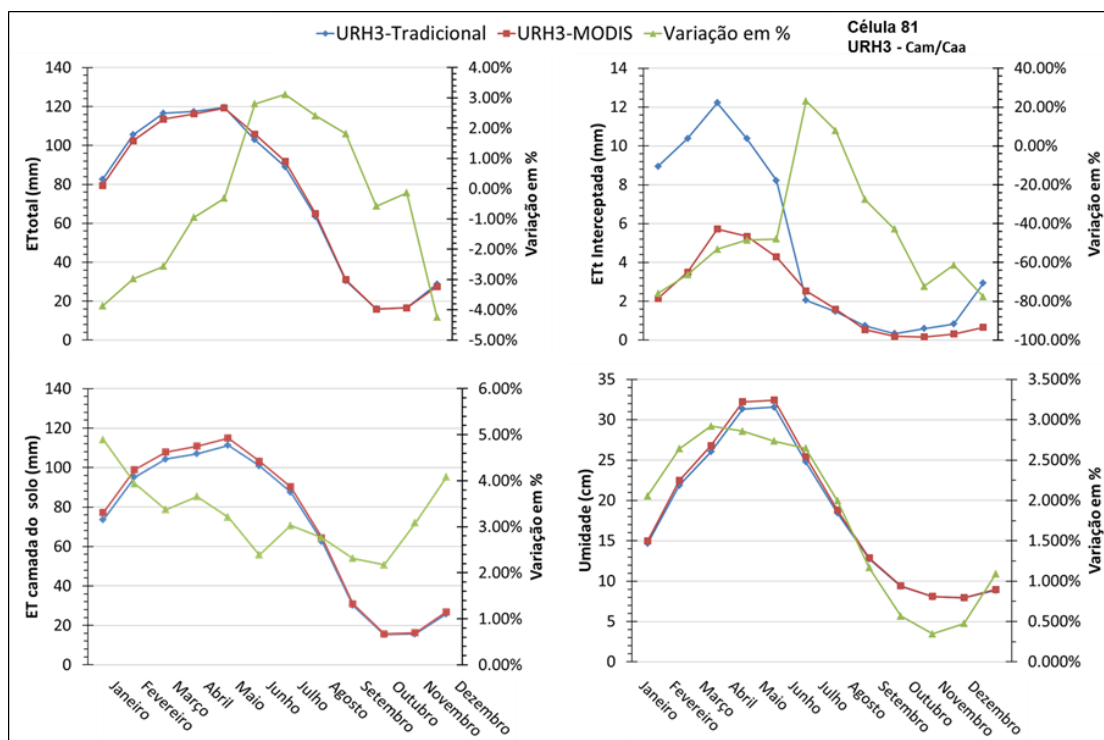


Figura 16 - Valores de ET total, ET interceptada, ET camada do solo e umidade observados na célula 81 e comparados mês a mês para o período de simulação com dados MODIS (2000 a 2011).

Quando a variação é positiva significa um aumento nos valores com a rodada MODIS. As diferenças na ET total real foram dadas principalmente pela ET na camada do solo. Isso aconteceu porque os dados de IAF derivados do sensor são em geral menores que os dados utilizados nas tabelas fixas (figuras 12) permitindo que mais água chegasse ao solo e assim mais água disponível para evaporar. Os valores de interceptação se mostraram bem variados e em geral menores que o da rodada padrão. A umidade do solo foi maior em todos os meses com destaque para os meses de janeiro a junho em que os valores foram em média 2% acima do observado na rodada padrão.

A Figura 17 (a) mostra os processos intermediários para a célula 90. As diferenças de ETreal e umidade entre as duas rodadas foram uma redução de 0,42% na ET total e um aumento de 1,69% na umidade para o período de 2000 a 2011 da rodada MODIS em relação à rodada padrão. Esse comportamento foi o mesmo observado na célula 81 que possui características físicas semelhantes (URH3-Cam/Caa). O gráfico B mostra as mesmas variáveis do gráfico A, porém, para um período curto, valorizando as variações intra-anuais. A ET total real e umidade para o período de estiagem foi 3.76% e 0.90% maiores em relação à rodada padrão. Os valores de IAF para a URH3-Cam/Caa foi menor em relação à rodada padrão em todo o período e isso pode ter implicado em menos folhas para interceptar e água e

assim mais água disponível para a umidade do solo, porém como no Nordeste a $ET_{potencial}$ é muito alta a água excedente no solo serviu para aumentar os valores de ET total real, justificando os valores maiores de ET e umidade do solo. Para o período úmido a ET total real e umidade foram 1,3% menor e 1,67% maior, respectivamente.

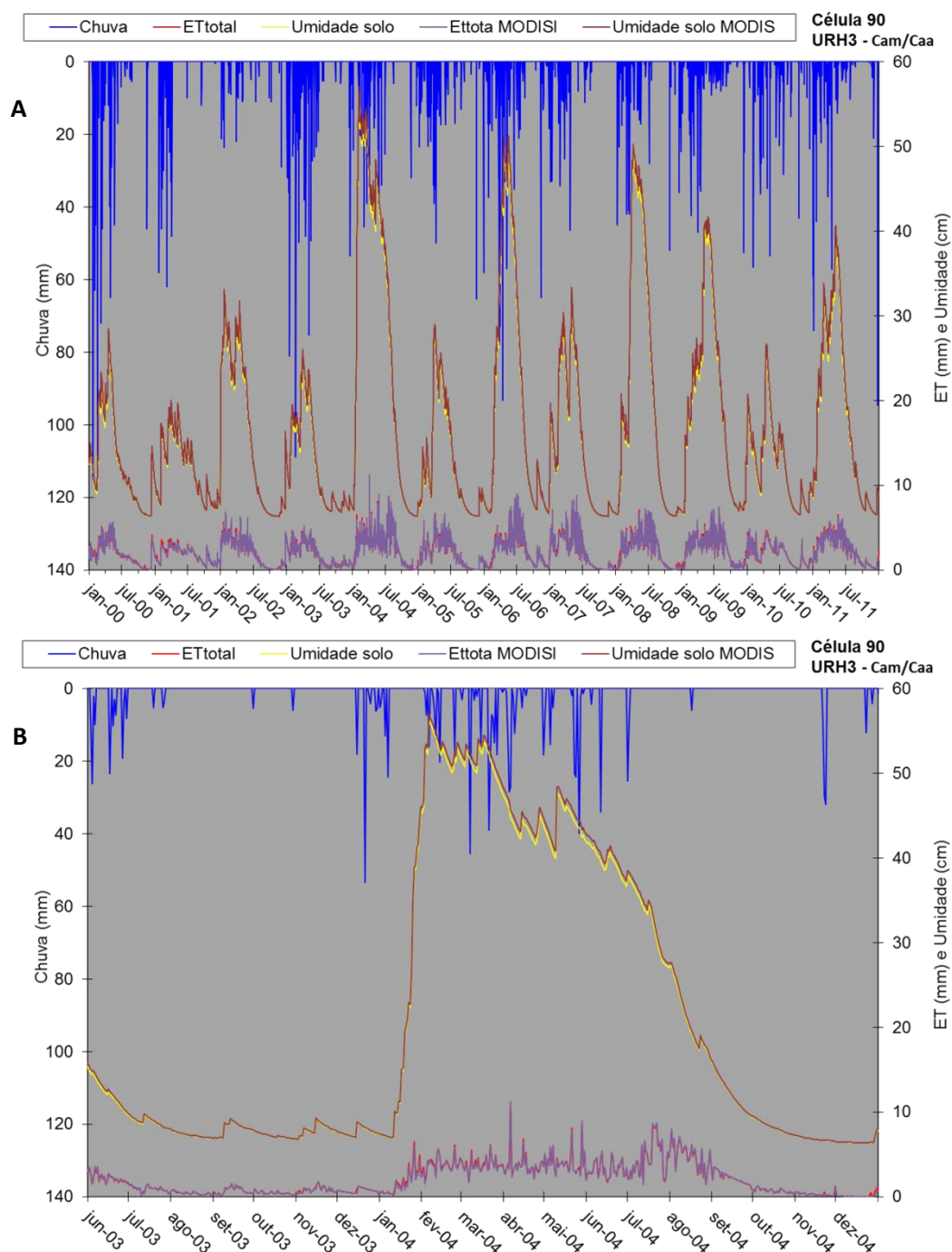


Figura 17 - O gráfico A mostra uma diminuição na ET total real e um aumento nos valores da umidade na rodada MODIS para todos os períodos de chuva entre 2000 e 2011. A figura B mostra um período hidrológico entre junho de 2003 até dezembro de 2004 em que pega um período de estiagem-chuva-estiagem, e pode-se observar a subestimação da ET total real e aumento da umidade nos períodos de chuva na rodada MODIS. Adaptado de Felix & Paz (2016).

A Figura 18 mostra a análise dos processos intermediários para a célula 90 comparando as médias mensais para as duas rodadas do MGB-IPH. A ET total também teve valores menores, em relação à rodada padrão, de janeiro a abril igualando-se em maio, nos meses de junho, julho e agosto e mostrando um aumento, em relação à rodada padrão nos valores em setembro, outubro e novembro e voltando a cair em dezembro. Os valores de ET total real ficaram abaixo quando comparadas com a rodada padrão. A principal razão para essa diminuição da ET total real provavelmente pelos valores de IAF mais baixos que os dados tabelados e assim permitindo que mais água precipitada caísse no solo e ficasse disponível para evapotranspiração na camada do solo. O albedo para toda URH3 teve valores próximos aos tabelados usados na rodada padrão.

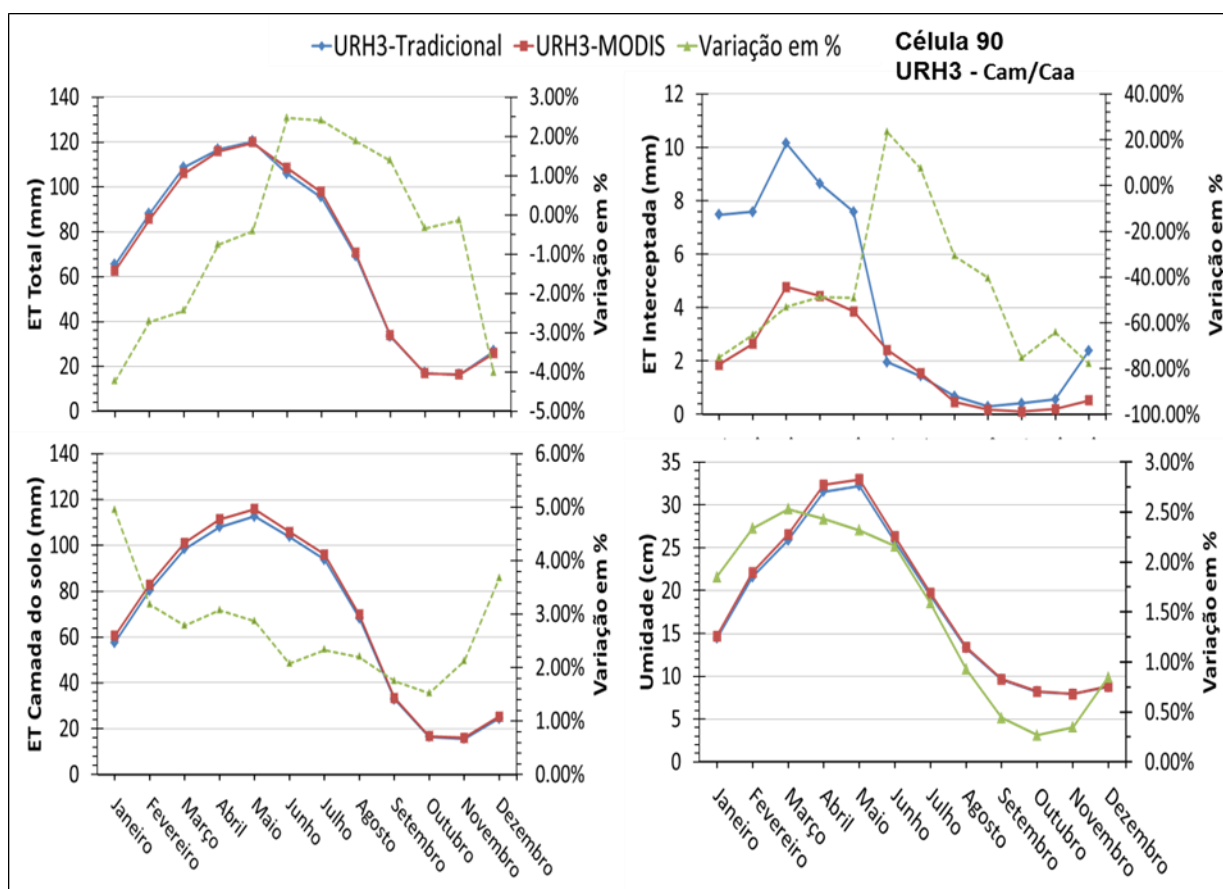


Figura 18 - Valores de ET total, ET interceptada, ET camada do solo e umidade observados na célula 90 e comparados mês a mês para o período de simulação com dados MODIS (2000 a 2011).

E como observado no Gráfico de ET camada do solo os valores na rodada MODIS foram maiores para todos os meses quando comparado com a rodada padrão.

Analisando os processos intermediários para a célula 147, a Figura 19 apresenta as variações da ET total real e umidade do solo para o período de simulação do modelo (Figura 18A) e uma análise intra-anual para o período de junho 2003 a dezembro de 2014 (Figura 19B). Houve um aumento nos valores de umidade para todo o período de pouco mais

de 1% e redução da ET total real em torno de 2%, sempre comparando com a rodada padrão. Para a análises dos processos intermediários no Figura 19B observou-se o mesmo comportamento para as outras células que são valores menores para a ET total real e valores maiores para umidade, mesmo sendo com o solo diferente. Outro aspecto que se quis analisar foi o impacto do tipo de vegetação sobre esses processos intermediários, e para isso se comparou os valores da URH2-Litossolo/Caatinga com a URH6-Litossolo/Atividade Agrícola.

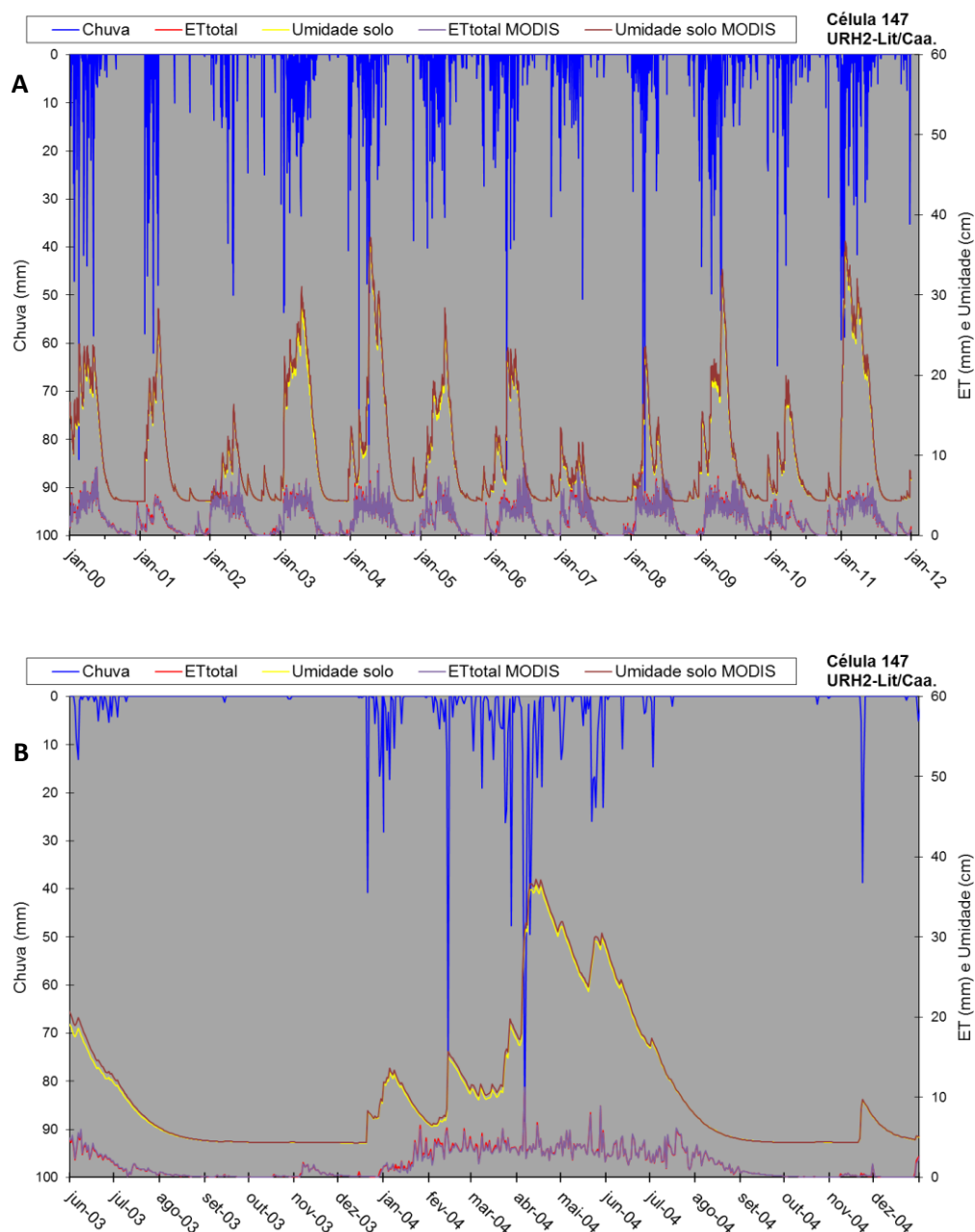


Figura 19 - Variação diária de ET total real e umidade calculada pela rodada padrão e a rodada MODIS para a célula 147 URH2-Lit/Caa. O gráfico A contém a análise para todo o período da rodagem enquanto o B

ressalta o processo estiagem-chuva-estiagem entre junho de 2003 e dezembro de 2004. Adaptado de Felix & Paz (2016).

O que se pode observar foi que a umidade e evapotranspiração na URH6-Lit./A.Agr teve comportamento contrário para a maior parte do período de análise com valores maiores de ET total real e menores valores de umidade. Como pode ser observado na Figura 20 há uma tendência clara de subestimação dos valores quando comparados com a rodada padrão, e pode visualizado no Figura 20B.

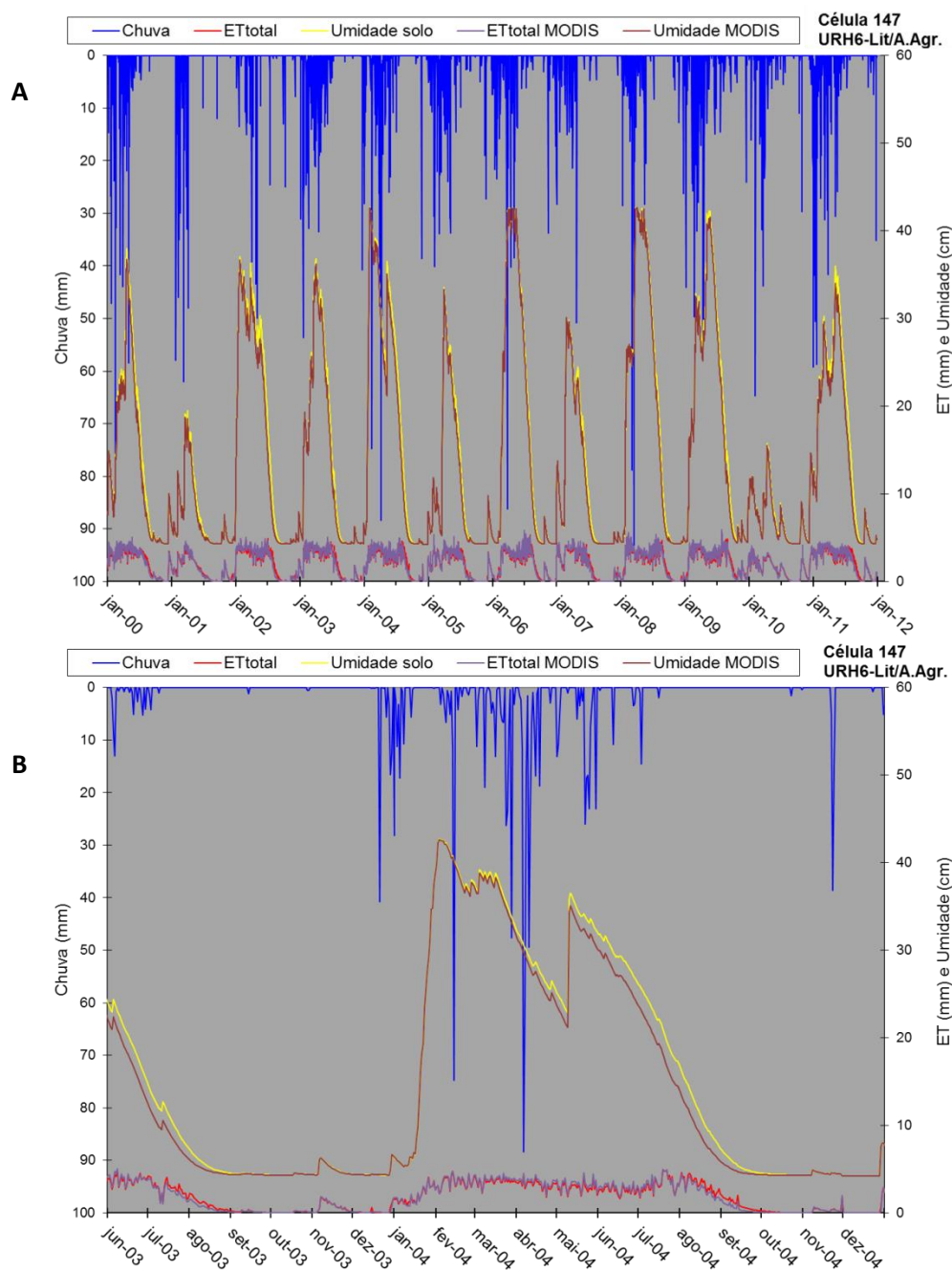


Figura 20 - Variação diária de ET total real e umidade calculada pela rodada padrão e a rodada MODIS para a célula 147 URH6-Lit./A.Agr. O gráfico A contém a análise para todo o período da rodagem enquanto o B

ressalta o processo estiagem-chuva-estiagem entre junho de 2003 e dezembro de 2004. Adaptado de Felix & Paz (2016).

A Figura 21 apresenta as variações mês a mês dos processos intermediários para as URHs 2 e 6 da célula 147.

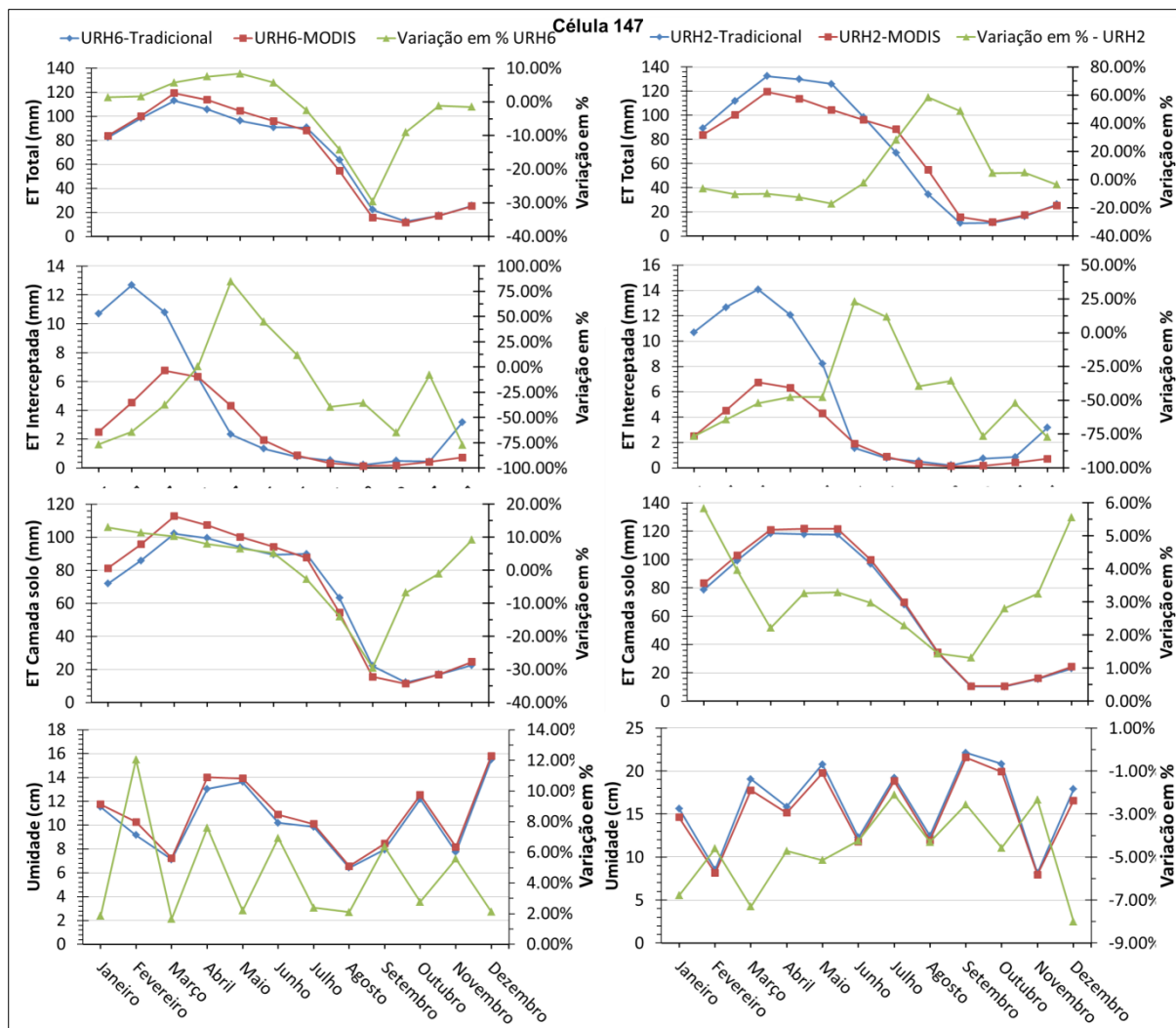


Figura 21 - Análises dos processos intermediários ET total, ET interceptada, ET camada solo e umidade para as URH2 e 6 predominantes na célula 147.

Como dito anteriormente a URH6-Lit/A.Agr obteve maiores valores da ET total na rodada MODIS. Isso ocorreu principalmente nos meses de janeiro a julho, em porcentagem os valores variaram de 1,39% a 8,43% em relação aos valores da rodada padrão, e por outro lado de julho a dezembro os valores de ET total foram menores e consideráveis com valores de até 30% de diferença nos meses de setembro. A parcela de evapotranspiração que mais influenciou na ET total real mais uma vez foi a ETcamada do solo e a razão seria a questão dos menores valores de IAF derivados do modelo MODIS permitindo mais água passasse para a camada do solo ficando assim disponível para evapotranspiração. A umidade da URH6- Lit/A.Agr apresentou inconsistência em que não representou sequer a sazonalidade

do período analisado. Enquanto isso na URH2- Lit/Caa o comportamento foi inverso, uma redução da ET total real até julho e aumentos nos meses seguintes até dezembro. Houve uma queda nos valores de ETinterceptada e aumento na ETcamada solo, como nos blocos anteriores. As diferenças de ET total real para os dois tipos de uso do solo dentro da mesma URH pode ser explicado pelos tipos de coberturas do solo. Como a URH6- Lit/A.Agr é predominantemente agricultura é natural que as culturas plantadas tenham seu processo fisiológico acelerado pela chegada da água das chuvas no começo do ano e diminuem após encerrarem seu ciclo fenológico.

4.4 Vazões

A Figura 22 mostra os valores de vazão para as duas simulações juntamente com os eventos de chuva entre janeiro de 2000 a dezembro de 2011.

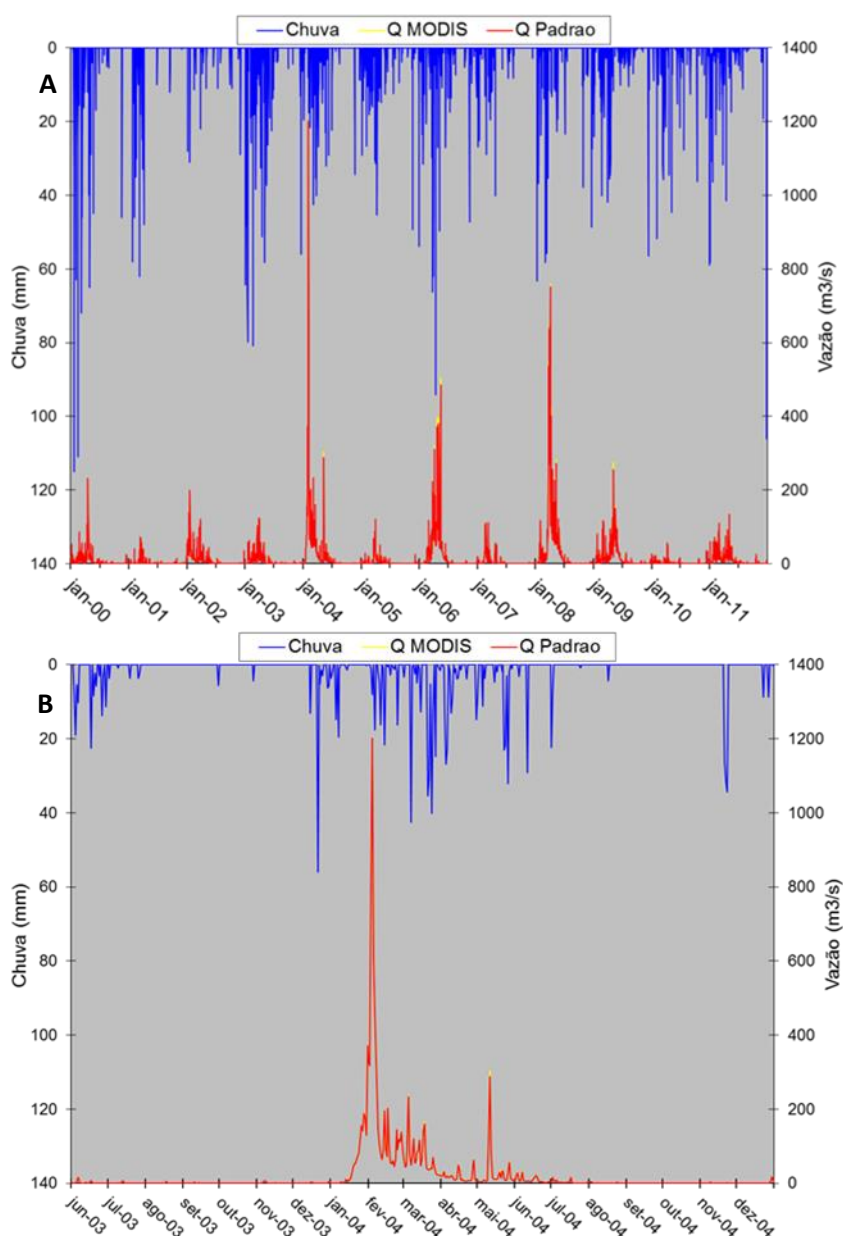


Figura 22 – Vazões geradas pela rodada padrão e rodada MODIS. Adaptado de Felix & Paz (2016).

Os valores acima são diários e buscou-se comparar os impactos no hidrograma após a incorporação dos dados MODIS. A vazão variou de -1% até 8%. A Figura 22B mostra a vazão total entre junho de 2003 a dezembro de 2004 e se vê uma forte relação entre os valores, diferenciando-se principalmente na vazão de pico, em que a simulação foi apenas 0,47% menor nesse ponto.

A Tabela 10 mostra a variação em porcentagem das vazões de pico para cada ano do período de análise.

Tabela 10- Variação das vazões de pico ano a ano.

Ano	Padrão (m³/s)	MODIS (m³/s)	Variação (%)
2000	231,915	236,082	1.797%
2001	71,859	70,905	-1.328%
2002	199,042	196,900	-1.076%
2003	123,833	125,072	1.001%
2004	1200,788	1195,139	-0.470%
2005	120,304	119,326	-0.813%
2006	485,337	504,032	3.852%
2007	112,507	112,272	-0.209%
2008	752,417	759,288	0.913%
2009	255,258	275,804	8.049%
2010	56,461	55,977	-0.857%
2011	133,987	138.420	3.309%

Em 11 anos analisados o modelo apresentou redução de vazões de pico em 6. Isso aconteceu para os anos de 2001, 2002, 2004, 2005, 2007 e 2010. No entanto também houve anos em que a vazão em que a vazão foi superestimada em relação à rodada padrão e não parece haver uma tendência nem de aumento e nem de redução das vazões de pico.

5. CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo analisar os impactos nos processos intermediários e nos hidrogramas de vazão pela simulação hidrológica da bacia do rio Piancó-PB após a incorporação de dados orbitais de albedo e IAF derivados do sensor MODIS no modelo hidrológico MGB-IPH.

Em geral não houve grandes impactos nos processos de ET total e umidade do solo que variaram em torno de -5% a +5%. A ET total em geral foi menor por conta da subestimação de parte dos valores albedo e IAF MODIS (Figura 11 e 12) permitindo que mais água ficasse disponível para a umidade do solo.

Quando comparado os processos intermediários para áreas com mesmo solo e cobertura vegetal diferente viu-se que áreas de caatinga tiveram maior ET total real no segundo semestre enquanto áreas agrícolas apresentaram maiores taxas de ET total real no primeiro semestre, período de chuvas. A umidade foi em todo o período maior para área de caatinga e menor para área de atividade agrícola (figura 21).

As reduções nas vazões de picos não foram significativas. Houve redução em 6 dos 11 anos analisados, mas todas em torno de 1% e quando houve aumento nas vazões geradas pela rodada MODIS chegaram em até 8%.

As simulações geradas aqui mostraram que a incorporação de dados de albedo e IAF derivados do sensor MODIS não tiveram um impacto significativo na modelagem hidrológica da bacia do rio Piancó-PB. Logo, estudos posteriores que venham a utilizar dados de albedo e IAF provenientes de tabelas fixas não teriam seus resultados comprometidos e nem alcançariam melhoras significativas caso incorporassem dados de albedo e IAF derivados do sensor MODIS.

Outro ponto importante a se destacar é sobre a sazonalidade do albedo na região semiárida estudada. O albedo derivado do sensor estava defasado em média 6 meses quando comparado com os dados utilizados na rodada padrão (Figura 11). Isso pode significar que o albedo nessa região tem uma dinâmica diferente ou os dados do sensor possam estar sendo computados erroneamente.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta muito viável para aquisição de dados globais tem contribuído para a melhora de muitas ferramentas úteis para a sociedade. A melhora é um processo contínuo e a incorporação de dados MODIS poderia ter avançado nesse quesito.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdulla, F. A.; Lettenmaier, D. P. 1997 Application of regional parameter estimation schemes to simulate the water balance of a large continental river. *Journal of Hydrology* Vol. 197 Nos.1-4, pp. 258-285.

Alves T.L. B.; Azevedo P.V.; Santos C. A. C. ; Santos F. A. C. Comportamento Sazonal Do Albedo E Dos Índices De Vegetação Na Bacia Hidrográfica Do Alto Curso Do Rio Paraíba, *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2014.

Araújo. S M. S. A Região Semiárida Do Nordeste Do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos. Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE, 2011.

Andreadis, K. Lettenmaier, D. Assimilating remotely sensed snow observations into a macroscale hydrology model. ELSEVIER, 2006.

BENNETT, T. H. e PETERS, J. C. Continuous Soil Moisture Accounting in the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). *Water Resources Management*, v.10, p 1-10, 2000.

Beven, K. J. 1985 Distributed models In: Anderson, M. G.; Burt, T. P. *Hydrological*

Beven, K. 2001 How far can we go in distributed hydrological modelling? *Hydrology and Earth System Sciences* Vol. 5 No. 1 pp. 1-12.

Bonan G. B.. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science*. Vol 320. pp. 1444-1449. 2008.

Bremicker, M. 1998 Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells. Dissertation Doktorgrad, Geowissenschaftlicher Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg. Juli.

BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.

Cabral, L. S., Campos J.N. B., Silveira C. S., Gomes H. B. MODELAGEM HIDROLÓGICA CONTINUA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: APLICAÇÃO DO MODELO SOIL MOISTURE ACCOUNTING (SMA) DO HEC-HMS. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015.

Cescatti A., Marcolla B., Vanna S. K. S., Pan J. Y., Roman M. O., Yang X., Ciais P., Cook R. B., Law B. E., Matteucci G., Migliavacca M., Moors E., Richardson A. D., Seuffer G. U., Schaaf C. B. Intercomparison of MODIS albedo retrievals and in situ measurements across the global FLUXNET network. 2012

COLLISCHONN. W. Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia. Ano: 2001.

Collischonn, W., Allasia, D et al. The MGB_IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. Hydrological Sciences journal-des Sciences hydrologiques, Outubro de 2007.

E. A. R.Pinheiro; M.Meireles; J.W. B. Lopes; C. A. G. Costa; SAZONALIDADE DO ALBEDO DE SUPERFÍCIE COM USO DO SENSORIAMENTO REMOTO EMMICROBACIA.HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, 2010.

ESCARIÃO. R. D.. MONTENEGRO. S. M. G. L.. AZEVEDO. J. R. G.. N. A. R.. Influência do modelo hidrológico na Avaliação da Sensibilidade dos recursos hídricos a cenários de mudanças climáticas em Região Semiárida. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 17 n.3 -. 81-91. Jul/Set 2012.

Gamarra, N. L. R. Análises de albedo da superfície a partir de sensoriamento remoto: contribuições para estudos sobre ilha de calor urbano. 2012

Gleick, P.H., The world is .2000-2001. Report on fresh water resources. Island Press, 2000.

Gobron N., Verstraete M. Assessment of the status of the development of the standards for the Terrestrial Essential Climate Variables “LAI Leaf Area Index”. 2009.

IBGE, acessado em 28/02/2017

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm?c=4>).

Klok, E. J., Oerlemans, J. Modelled Climate Sensitivity Of The Mass Balance Of Morteratschgletscher And Its Dependence On Albedo Parameterization, International Journal Of Climatology. 2004.

Knyazikhin Y., Glassy J., Privette J. L., Tian Y., Lotsch A., Zhang Y., Wang Y., Morisette J. T., Votava P., Myneni R.B., Nemani R. R., Running S. W. MODIS Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by Vegetation (FPAR) Product (MOD15) Algorithm Theoretical Basis Document. 1999.

Leal, R. I., Silva, C. M. J., Tabarelli, M. LACHER Jr, E. THOMAS. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. MEGADIVERSIDADE, 2005.

Liang, S., H. Fang, M. Chen, C. J. Shuey, C. Walthall, C. Daughtry, J. Morisette, C. Schaaf and A. Strahler. Validating MODIS Land Surface Reflectance and Albedo Products: Methods and Preliminary Results. 2002.

Lohmann, D.; Raschke, E; Nijssen, B.; Lettenmaier, D. P. 1998a Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model. Hydrological Sciences Journal, Vol. 43 No. 1; pp. 131-141.

LOPES, J.E.G.; BRAGA JR., B.P.F.; CONEJO, J.G.L. (1981) “Simulação hidrológica: Aplicações de um modelo simplificado”. In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v.2, 42-62, Fortaleza.

Lopes H. L., Candeias A. L. B., Accioly L. J. O., Sobral M. C. M.. Parâmetros biofísicos na Detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2010.

Liang, X.; Lettenmaier, D. P.; Wood, E. F.; Burges, S. J. 1994 A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. Journal of Geophysical Research, Vol. 99, No. D7, pp. 14415-14428.

Lucht, W., Schaaf, C. B., Alan, H. An Algorithm for the Retrieval of Albedo from Space Using Semiempirical BRDF Models, 2000.

MMA, ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DA BIODIVERSIDADE DO BIOMA CAATINGA, 2005.

Ministério da integração nacional, Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro, 2005.
Thornthwaite, 1941.

MODIS Website. Specifications. Disponível em:
<<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>>. 2012. Acessado em: 09 março 2017.

Nobre, P., Melo. A. B. C. VARIABILIDADE CLIMÁTICA INTRASAZONAL SOBRE O NORDESTE DO BRASIL EM 1998-2000, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. 2001.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. River reach length and slope estimates for large-scale hydrological models based on a relatively high-resolution digital elevation model. Journal of Hydrology, v. 343, n. 3-4, p. 127-139, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.06.006>.

Porto, M. F. A., Porto, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. Estudos Avançados 43-60. 2008.

Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2014.

Roger, P. P. Water governance, water security and water sustainability. London Fundación Marcelino Botín, Taylor & Francis, 2006.

Ross, J. K.. The radiation regime and architecture of plant stands.
Norwell, MA: Dr. W. Junk (392 pp.). 1981.

Román, M. O., C. B. Schaaf, P. Lewis, F. Gao, G. P. Anderson, J. L. Privette, A. H. Strahler, C. E. Woodcock, M. Barnsley. Assessing the coupling between surface albedo derived from MODIS and the fraction of diffuse skylight over spatially-characterized landscapes. 2009.

SANTOS. L. L.. Modelos hidráulico-hidrológicos: conceitos e aplicações. RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE. Vol.2. n.03. set-dez. 2009. 01-19.

Sarmento, F. J. Transposição do Rio São Francisco: Realidade e obra a construir: Do autor, 2005.

Schaaf, C. B. Assessment of the status of the development of the standards for the Terrestrial Essential Climate Variables, 2009.

Strahler A. H., Muller J. P. MODIS BRDF/Albedo Product: Algorithm Theoretical Basis Document Version 5.0. page 1 to 11. 1999

SOMLYODY, L; VARIS, O. Freshwater under pressure. International Review for Environmental Strategies, v.6, n.2, p.181-204, 2006.

Shuttleworth, W. J. Evaporation In: Maidment, D. R. Handbook of hydrology McGraw-Hill New York. 1993.

Termos De Referência Para A Elaboração Do Plano De Recursos Hídricos Da Bacia Do Rio Piranhas-Açu. 2010.

Tucci, C. E. M. 1998 Modelos hidrológicos. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669 p.

Wagner, S., Kunstmann, H., Bárdossy A., Conrad C., Colditz R.R. water balance estimation of a poorly gauged catchment in west africa using dynamically downscaled meteorological fields and remote sensing information. ELSEVIER. 2008.

Wang, Z., C. B. Schaaf, M. J. Chopping, A. H. Strahler, J. Wang, M. O.Román, A. V. Rocha, C. E. Woodcock,Y. Shuai. Evaluation of Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) snow albedo product (MCD43A) over tundra. 2012.

Wigmosta, M. S.; Vail, L. W.; Lettenmaier, D. P. 1994 A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. Water Resources Research Vol 30 No. 6 pp. 1665-1679.

Wood, E. F.; Lettenmaier, D. P.; Zartarian, V. G. 1992 A land surface hydrology parameterization with subgrid variability for general circulation models. Journal of Geophysical Research, Vol. 97, No. D3, pp. 2717-2728.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. Rev. Adm. Púb., v.27, n.2, p.5-18, 1993.