



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

ÉDER RAMON FEITOZA LÊDO

**SENSORIAMENTO REMOTO E MONITORAMENTO DE EVENTOS
HIDROLÓGICOS EXTREMOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS**

**FORTALEZA
2014**

ÉDER RAMON FEITOZA LÊDO

SENSORIAMENTO REMOTO E MONITORAMENTO DE EVENTOS
HIDROLÓGICOS EXTREMOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

Dissertação de mestrado submetido à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Araújo

Fortaleza – CE
2014

ÉDER RAMON FEITOZA LÊDO

SENSORIAMENTO REMOTO E MONITORAMENTO DE EVENTOS
HIDROLÓGICOS EXTREMOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

Dissertação de mestrado submetido à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovado em: 24 de Outubro de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Carlos de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. George Leite Mamede
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Julio Iván Gonzalez Piedra
Universidade de Havana, Cuba

Aos meus pais, Raimundo Ledo e Celi Feitoza
À minha irmã Rayane

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A minha família, meus pais Raimundo Ledo e Celi Feitoza e minha irmã Rayane, pelo amor, carinho e apoio incondicional, aos quais palavras não descrevem o quanto são importantes.

Ao Prof. Dr. José Carlos de Araújo, pela orientação, pela amizade, paciência, por grandes ensinamentos passados, pelo exemplo de curiosidade e de entusiasmo de obter novos conhecimentos, e contribuição para o meu crescimento profissional. Palavras não podem definir o sentimento de agradecimento que tenho por tudo que ele fez por mim ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Sou muito grato a Universidade Federal do Ceará e ao departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do Mestrado em Engenharia Agrícola e a todos os professores, funcionários e colegas.

Aos colegas do Grupo de pesquisas Hidrossedimentológicas do Semiárido (HIDROSED) em especial: Christine Farias, Mário Wiegand, Cicero Lima e Neyson Souza pelo convívio, companheirismo e amizade.

A todos os colegas de Pós-Graduação em especial: Anthony Rafael, Socorro, Renata Nayara pelo companheirismo e pela boa convivência que tivemos durante o curso.

Aos professores do Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia do Ceará -Campus de Iguatu, em especial: Prof. Dr. Djalma Honório Nogueira, Prof. Dra. Helba Araújo de Queiroz Palácio pelo incentivo em ingressar no mestrado.

Aos meus grandes amigos Prof. Dr. Francisco Dirceu Duarte Arraes e Mairton Gomes, que sempre me apoiaram e incentivaram, estando muito presentes na minha vida acadêmica.

Aos meus amigos Eliakim Araújo, Efraim Araújo, Iderlan Medeiros e Deyvison Silva pela amizade, suporte, apoio e companheirismo.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. George Leite Mamede, Prof. Dr. Julio Iván Gonzalez Piedra e Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros pela disponibilidade e por todas as contribuições.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Por fim, agradeço a todas outras pessoas não mencionadas aqui, mas que foram importantes na minha formação e no desenvolvimento deste trabalho.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”
Albert Einstein

RESUMO

LEDO, Éder Ramon Feitoza, Universidade Federal do Ceará. Agosto de 2014. **Sensoriamento remoto e monitoramento de eventos hidrológicos extremos em regiões semiáridas**. Orientador: José Carlos de Araújo. Conselheiros: George Leite Mamede, Pedro Henrique Augusto Medeiros, Julio Iván Gonzalez Piedra.

Tratando a água como um recurso que se torna cada vez mais escasso, em razão do uso intensivo, desperdícios e má gestão, é essencial a busca por estratégias de monitoramento dos recursos hídricos que venham a somar ou facilitar a rede de monitoramento existente. Assim sendo, esse trabalho objetiva apresentar e avaliar uma metodologia que utiliza o sensoriamento remoto no monitoramento de eventos hidrológicos extremos, cheias e secas, direcionando o estudo à Bacia do Alto Jaguaribe no sueste do estado do Ceará. Utilizou-se de imagens orbitais dos satélites LANDSAT 5 e CBERS 2. A metodologia que propõe monitorar cheias foi aplicada na estação fluviométrica Sítio Patos no rio Jaguaribe, para tanto se analisou as relações da geometria hidráulica da seção transversal da seção e suas variações entre os anos de 2000 e 2013, as medidas de largura do rio foram obtidas via sensoriamento remoto e inseridas nas equações das relações geométricas da seção fluviométrica que relacionavam largura e altura, obtendo a altura do nível da água, a altura do nível da água, por sua vez, foi inserida em curva-chave cota-vazão, obtendo vazão líquida. O método de monitoramento de secas foi aplicado no Açude Orós e combina dados medidos diretamente com dados de sensoriamento remoto buscando avaliar a ocorrência e a severidade de seca hidrológica. A análise das propriedades da geometria hidráulica da seção fluviométrica Sítio Patos demonstraram que as variações interanuais foram suaves e cíclicas. Os valores de vazão estimados via sensoriamento remoto mostraram uma boa aproximação quando comparados com valores de vazão estimados via balanço hídrico no Açude Orós (Diferença média de aproximadamente 13%), essa diferença diminuiu à medida que as vazões são maiores. Avaliando a seca através da variável hidrológica demonstrada nesse trabalho, se observou ocorrência de seca em 6 de 10 datas estudadas. Sendo agosto de 1994 o mês em se observou a seca de maior severidade com 16,6 hm³. Podendo concluir que a metodologia de estimativa de vazão via sensoriamento remoto se mostrou rápida, barata e confiável. A metodologia aplicada no monitoramento de secas mescla dados medidos in situ e dados obtidos remotamente, expressando boa aplicabilidade.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, cheias, secas hidrológicas.

ABSTRACT

LEDO, Éder Ramon Feitoza, Universidade Federal do Ceará. August 2014. **Remote sensing and monitoring of extreme hydrological events in semiarid regions.** Adviser: José Carlos de Araújo. Committee members: George Leite Mamede, Pedro Henrique Augusto Medeiros, Julio Iván Gonzalez Piedra.

Key words:

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético.....	27
Figura 2 – Localização da área de estudo (Sistema de referência: SAD 69 – zona 24 S. Projeção em UTM).	31
Figura 3 - Perfil longitudinal da estação fluviométrica Iguatu no ano de 2013.	32
Figura 4 – Localização da Barragem Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira e fotografia aérea do seu barramento (Sistema de referência: SAD 69 – zona 24 S. Projeção em UTM).	32
Figura 5 – Localização da estação fluviométrica Sítio Patos e o perfil longitudinal para o ano de 2013.....	34
Figura 6 - Seção fluviométrica Sítio Patos, réguas linimétricas.....	34
Figura 7 – Perfil longitudinal do Rio Jaguaribe dentro da Bacia do Alto Jaguaribe.	35
Figura 8 - Representação gráfica das variáveis geométricas analisados para a seção para a seção transversal da estação fluviométrica Sítio Patos	36
Figura 9 - Representação gráfica da subdivisão da seção transversal	37
Figura 10 – Área de controle da estação fluviométrica Sítio Patos dentro da Bacia do Alto Jaguaribe (Sistema de referência: SAD 69 – zona 24 S. Projeção em UTM).	40
Figura 11 - Seção fluviométrica Iguatu, réguas linimétricas.....	42
Figura 12 – Diagrama de Cota-Área-Volume do Açude Orós.	45
Figura 13 - Evolução do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos entre 2000 e 2013	46
Figura 14 - Evolução da área do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos entre 2000 e 2013.	47
Figura 15 - Evolução do perímetro molhado do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos entre 2000 e 2013.....	48
Figura 16 - Evolução do raio hidráulico do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos entre 2000 e 2013	49
Figura 17. Relação entre largura e altura da lâmina d’água para a estação fluviométrica Sítio Patos, A: Janeiro de 2000, B: Agosto de 2000, C: 2001, D: 2002, E: 2003, F: 2004, G: 2005	56
Figura 18 – Relação entre largura e altura da lâmina d’água para a estação fluviométrica Sítio Patos, A: 2007, B: 2008, C: 2009, D: 2010, E: 2011, F: 2012, G: 2013	57
Figura 19 - Recorte das cenas das imagens CBERS-2 e LANDSAT-5 para uma área próxima a estação fluviométrica Sítio Patos, A: 13/07/2000, B: 28/03/2004, C: 19/04/2004, D: 12/06/2006, E: 27/03/2007, F: 16/05/2008, G: 19/05/2009 e I: 07/04/2011.....	59
Figura 20 – Comparativo entre as alturas da lâmina d’água, no Posto Sítio Patos, estimadas através de sensoriamento remoto e através de réguas linimétricas, como medida pela CPRM.....	60

Figura 21 – Curva chave cota vazão para a estação fluviométrica Sítio Patos (Obtida com os dados disponibilizados pela CPRM)	61
Figura 22 – Análise comparativa entre as vazões estimadas pelo balaço hidrico do Açude Orós com as vazões estimadas via sensoriameto remoto no Posto Sítio Patos (pontos pretos); e as vazões estimadas pela CPRM também para o Posto Sítio Patos. .	63
Figura 23 – Diferença entre as vazões estimadas através do balaço hidrico do Açude Orós e as vazões estimadas via sensoriameto remoto no Sítio Patos; e as vazões estimadas pela CPRM.	63
Figura 24 – Hidrograma para o período entre 2000 e 2013 disponibilizadas pela CPRM na estação fluviométrica Sítio Patos e vazões estimadas via sensoriamento remoto.	65
Figura 25 – Comparativo entre volume do Açude Orós obitdo via sensoriamento remoto e como disponibilizado pelo DNOCS.....	66
Figura 26 – Variação da variável hidrológica de seca.....	67
Figura 27 – Variável hidrológica de seca “X” utilizando volume estimado via sensoriamento remoto e utilizando réguas linimétricas associadas à curva cota-volume segundo o DNOCS.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da água na Terra	20
Tabela 2 - Situação dos satélites que compõem a família LANDSAT.	28
Tabela 3 - Situação dos satélites que compõem a família CBERS.	29
Tabela 4 - Variáveis geométricas analisados para a seção transversal da estação fluviométrica Sítio Patos	36
Tabela 5 – Características de Cota, Altura, Volume e Área do Açude Orós.....	44
Tabela 6 - Evolução do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos ao longo dos anos.	50
Tabela 7 - Evolução de áreas do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos ao longo dos anos.	51
Tabela 8 - Evolução do perímetro molhado do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos ao longo dos anos.....	52
Tabela 9 - Evolução do raio hidráulico do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos ao longo dos anos.	52
Tabela 10 - Teste "T" de Student para o perfil longitudinal, sendo a amostra nas colunas e as referências nas linhas.	53
Tabela 11 - Teste "T" de Student para a área do perfil longitudinal, sendo a amostra nas colunas e as referências nas linhas.	53
Tabela 12 - Teste "T" de Student para o perímetro molhado do perfil longitudinal, sendo a amostra nas colunas e as referências nas linhas.	54
Tabela 13 - Teste "T" de Student para o do raio hidráulico, sendo a amostra nas colunas e as referências nas linhas.	55
Tabela 14 – Equações das relações entre largura (y) e altura da lâmina d'água (x) para a estação fluviométrica Sítio Patos.....	58
Tabela 15 – Largura da superfície d'água, estimada por sensoriamento remoto, na estação fluviométrica Sítio Patos, versus altura da lâmina d'água estimada pelas relações topográficas (ver Figuras 19) e medida pela CPRM	59
Tabela 16 – Vazões estimadas no Posto Sítio Patos, obtidas pelos métodos de balanço hídrico do Açude Orós; de sensoriamento remoto; e de régua linimétrica associada à curva chave (Cprm). As duas últimas colunas (SR-f e CPRM-f) apresentam os métodos de sensoriamento remoto e da CPRM multiplicados pelo fator de área (1,791). A última linha corresponde à análise pelo Teste "T" de Student.	62
Tabela 17 – Valores de área e volume obtidos via sensoriamento remoto e dados de área e volume provindos do DNOCS para o Açude Orós.....	65
Tabela 18– Principais parâmetros de avaliação da seca hidrológica no Açude Orós.....	67
Tabela 19 – Variável hidrológica de seca "X" utilizando volume estimado via sensoriamento remoto e utilizando dados de volume do DNOCS.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CAD	Computer Aided Design
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CCD	Câmera Imageadora de Alta Resolução
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos hídricos do Ceará
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DGI	Divisão de Geração de Imagens
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
ETM	Enhanced Thematic Mapper
ETM ⁺	Enhanced Thematic Mapper Plus
GFMS	Global Flood Monitoring System
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
MSS	Multispectral Scanner
NASA	Agência Espacial dos Estados Unidos
OLI	Operacional Terra Imager
OMM	Organização Meteorológica Mundial
RBV	Return Beam Vidicon
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
USGS	U.S. Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	Área
DM	Magnitude da seca
DS	Severidade da seca
E	Evaporação
f	Fator de seca sazonal
H	Precipitação mensal.
HW	Precipitação média histórica
HW	Precipitação na estação chuvosa anterior
I	Infiltração
N	Número de meses que sofrem déficit hídricos por ano
P	Precipitação direta sobre o reservatório
P _M	Perímetro molhado
Q ₉₀	Vazão liberada do reservatório com 90% de confiabilidade anual
Q _a	Vazão afluente
Q _B	Contribuição subterrânea
Q _D	Vazão de demanda
Q _O	Vazão de oferta
Q _R	Vazão do rio para o reservatório
\overline{Q}_R	Vazão média histórica
Q _S	Vazão de sangria
Q _U	Vazão retirada do reservatório para uso
R _H	Raio hidráulico
t	Tempo
U	Uso consuntivo mensal
V	Volume do reservatório
V ₀	Volume armazenado no primeiro dia do mês
V _{SC}	Capacidade de armazenagem do reservatório
W	Largura do canal
X	Variável hidrológica de Seca
δ	Termo on-off
η	Eficiência do reservatório
λ	Fator de demanda mensal

τ Tempo de residência do reservatório
 ∇U Gradiente de uso consultivo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.2 Considerações Gerais.....	17
1.2 Objetivos.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Hidrologia.....	20
2.2 Hidrologia de regiões semiáridas.....	22
2.3 Enchentes.....	23
2.4 Secas.....	24
2.5 Sensoriamento Remoto.....	26
2.6 LANDSAT 5.....	28
2.7 CBERS 2.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 Descrição da área de estudo.....	31
3.2 Avaliação de enchentes.....	35
3.2.1 Propriedades geométricas da estação fluviométrica.....	35
3.2.2 Enchentes.....	37
3.3 Avaliação de secas.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 Avaliação de enchentes.....	46
4.1.1 Propriedades geométricas da estação fluviométrica.....	46
4.2 Enchentes.....	56
4.3 Avaliação de secas.....	65
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	70
6 REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

1.2 Considerações Gerais

Ao longo dos últimos anos, a água vem sendo reconhecida como bem precioso e um recurso escasso em escala mundial em função de suas limitações qualitativas, decorrentes da poluição, e de suas limitações quantitativas derivadas, por sua vez, das adversidades climáticas, das demandas crescentes e de seu uso ineficiente. No que concerne ao semiárido brasileiro, a preocupação com esse bem se torna preponderante, dado os fatores climáticos regionais (PINHEIRO *et al.*, 2011).

Quando se planeja um uso sustentável desse recurso natural indispensável, faz-se necessária a gestão dos recursos hídricos, uma árdua tarefa e de difícil implantação, porém, altamente necessária especialmente em regiões como o semiárido brasileiro, onde sua disponibilidade é escassa e rodeada de incertezas (GLEICK, 2010).

Ainda que os problemas relacionados a inundações, cheias e secas estejam presentes no cenário do semiárido, não existe muita clareza sobre os processos atuantes nessas áreas. Em uma área tão densamente ocupada, conhecer, monitorar e entender a dinâmica fluvial e dos reservatórios de acúmulo de água é tarefa importante, senão imprescindível, para um planejamento correto do uso dos recursos hídricos. A coleta, organização ou ainda a geração de variáveis capazes de embasar decisões mais seguras na gestão dos recursos hídricos são de suma importância, porque podem antecipar-se a situações de escassez e conflitos pelo uso da água (CAVALCANTE & CUNHA, 2012).

Os níveis de rios e reservatórios na grande maioria dos casos são monitorados por meio de linímetros (ou régua linimétrica) e permanecem como uma boa alternativa por apresentar um custo reduzido. Em contrapartida, a grande desvantagem é a facilidade com que o observador pode cometer enganos de leitura. As leituras estão sujeitas a uma série de erros, resultantes da imperícia ou negligência do observador, além dos erros sistemáticos, como instalações defeituosas das régua e diferenças entre o nível correto e registrado na régua (SANTOS *et al.*, 2001).

Porém, a coleta dessa medida é muitas vezes dificultada, seja pelo acesso ao local das régua (área remota ou de grande extensão), seja pela periculosidade associada principalmente a cheias, tornando essas observações diretas trabalhos caros e dispendiosos. O sensoriamento remoto pode oferecer uma metodologia para superar

esses problemas, com uma grande cobertura espacial e frequente repetição temporal (LAKSHMI, 2004).

Estratégias de monitoramento das mais diversas formas, como o uso do sensoriamento remoto, devem contribuir então para uma ampliação do conhecimento relativo ao ambiente, ampliando a base de dados disponível para estabelecimentos de sistemas de alerta e mitigação dos efeitos de eventos extremos, de seca e de enchentes (GHEYI *et al.*, 2012).

O sensoriamento remoto se apresenta como uma tecnologia que pode suprir a necessidade de medidas na dinâmica dos eventos hidrológicos (BRAKENRIDGE *et al.*, 2005). De fato, muitos estudos têm sido voltados para a análise de eventos hidrológicos extremos com o uso do sensoriamento remoto (THOLEY *et al.*, 1997; SHENG *et al.*, 2001; QULIn *et al.*, 2004; YILMAZ *et al.*, 2010; LINGJIA *et al.*, 2011; MATGEN *et al.*, 2011; TEMIMI *et al.*, 2011).

1.2 Objetivos

Diante do exposto, buscando técnicas que se mostrem mais vantajosas do que a medição *in situ*, o objetivo desse estudo foi propor e avaliar um método de monitoramento de eventos hidrológicos extremos, cheias e secas, através do uso do sensoriamento remoto, aplicando tais métodos à Bacia do Alto Jaguaribe, Ceará.

São objetivos específicos (i) avaliar vazões líquidas em um grande rio da região semiárida através de técnicas de sensoriamento remoto, comparando seus resultados com medidas *in situ*; e (ii) avaliar a severidade de secas em um grande reservatório semiárido usando o método proposto por Araújo & Bronstert (Submetido) e técnicas de sensoriamento remoto.

O método que propõe monitorar cheias foi aplicado na estação fluviométrica Sítio Patos localizada no rio Jaguaribe. Como parte necessária do método de monitoramento de cheias, analisaram-se as relações da geometria hidráulica da seção transversal da estação fluviométrica Sítio Patos, bem como as suas variações interanuais no intervalo entre 2000 e 2013.

O método de monitoramento de secas foi aplicado na Barragem Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira (Açude Orós), que é o maior reservatório da Bacia do Alto Jaguaribe.

Busca-se com o uso dessas técnicas de monitoramento melhorar o suporte e conhecimento na dinâmica de cheias (vazões) e secas, além da geração de dados para o planejamento e gestão de recursos hídricos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Hidrologia

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência do homem e demais seres vivos no Planeta. É uma substância fundamental para os ecossistemas da natureza. É importante para as formações hídricas atmosféricas, influenciando o clima das regiões. Segundo o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia dos Estados Unidos, citado por Villela & Mattos (1975), a Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, estudando a sua ocorrência, circulação e distribuição, as suas propriedades físicas e químicas e as suas reações com o ambiente, incluindo suas relações com a vida.

Considera-se que a quantidade total de água na Terra, ou seja, de 1386 milhões de Km³, tenha permanecido de modo aproximadamente constante durante os últimos 500 milhões de anos (SHIKLOMANOV, 1998). A distribuição dos volumes estocados nos reservatórios está disposta na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição da água na Terra

Reservatório	Volume (10³ km³)	Volume total (%)	Volume de água doce (%)
Oceanos	1.338.000,0	96,5379	-
Subsolo:	23.400,0	1,6883	-
Água doce	10.530,0	0,7597	30,0607
Água salgada	12.870,0	0,9286	-
Umidade do solo	16,5	0,0012	0,0471
Áreas congeladas:	24.064,1	1,7362	68,6971
Antártida	21.600,0	1,5585	61,6629
Groenlândia	2.340,0	0,1688	6,6802
Ártico	83,5	0,0060	0,2384
Montanhas	40,6	0,0029	0,1159
Solos congelados	300,0	0,0216	0,8564
Lagos:	176,4	0,0128	-
Água doce	91,0	0,0066	0,2598
Água salgada	85,4	0,0062	-
Pântanos	11,5	0,0008	0,0328
Rios	2,1	0,0002	0,0061
Biomassa	1,1	0,0001	0,0032
Vapor d'água na atmosfera	12,9	0,0009	0,0368
Armazenamento total de água salgada	1.350.955,4	97,4726	-
Armazenamento total de água doce	35.029,2	2,5274	100,0
Armazenamento total de água	1.385.984,6	100,0	-

Fonte: Shiklomanov (1998).

Em análise da distribuição dos volumes de água armazenados nos principais reservatórios do planeta, verifica-se que 97,5% do volume total de água da Terra são de água salgada, formando os oceanos e somente 2,5% são de água doce, sendo que 68,7% desta estão armazenados nas calotas polares e geleira. A forma mais acessível ao uso humano e de ecossistemas é a água doce contida em lagos e rios, o que corresponde a apenas 0,27% do volume de água doce da Terra e 0,007% do volume total de água (LIMA, 2001). No entanto, vale ressaltar que nem toda água disponível é passível de utilização. A má distribuição temporal das chuvas e vazões, aliada à concentração da demanda por água em determinadas regiões, configuram um dos principais fatores que levam a ocorrência de problemas relacionados a recursos hídricos (VARGAS, 2011).

“O movimento ou circulação da água no planeta recebe o nome de ciclo hidrológico. Esse conjunto de diversos caminhos percorridos pela água entre a superfície e a atmosfera é impulsionado fundamentalmente pela energia solar, gravidade e rotação terrestre” (TUCCI, 2012).

O ciclo hidrológico, se considerado de maneira global, pode ser visto como um sistema fechado, já que a quantidade de água disponível na terra é finita. Para Tucci (2012), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o seu exutório.

Embora o movimento cíclico da água não tenha princípio nem fim, costuma-se iniciar seu estudo descritivo pela evaporação da água dos oceanos, seguida de sua precipitação sobre a superfície que, coletada pelos cursos d'água, retorna ao local de partida (VILLELA & MATTOS, 1975).

Buscando atender à demanda de água, a humanidade vem modificando o ciclo hidrológico desde os primórdios da história, mediante construção de poços, de barragens, de açudes, de aquedutos, de sistemas de abastecimento, de sistemas de drenagem, de projetos de irrigação e de outras estruturas. Tanto governos quanto entidades públicas vêm investindo consideráveis recursos na implantação e manutenção dessas instalações. Mesmo assim, apesar dessas iniciativas, em 1995, aproximadamente 20% dos 5,7 bilhões de habitantes da Terra ainda sofriam com a falta de um sistema de abastecimento confiável de água (OMM, 1997).

2.2 Hidrologia de regiões semiáridas

As regiões semiáridas encontram-se num grupo de regiões que enfrenta profundos problemas relativos à água, caracteriza-se pela aridez do clima, com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas, e pela presença de solos pobres em matéria orgânica. O prolongado período seco anual eleva a temperatura local, caracterizando a aridez sazonal. De acordo com essa definição, a aridez de uma região depende da quantidade de água precipitada e da temperatura que influencia a perda de água por evapotranspiração potencial (COSTA *et al.*, 2009).

As zonas áridas, semiáridas e desérticas do mundo abarcam uma superfície equivalente a 36,3% da área do globo. Desse total, 21 milhões de km² são semiáridos, 21,5 milhões são extremamente áridos e 5,85 milhões são desérticos. Nessas regiões vivem cerca de 630 milhões de pessoas. Essas terras estão distribuídas em cerca de 2/3 dos países existentes no mundo (BRASIL, 2005).

O semiárido brasileiro estende-se por uma área que abrange mais de 11% do território nacional, em oito estados da região Nordeste, representando aproximadamente 86% da região, e de 14% da região Sudeste. Esta área abriga uma população de mais de 18,5 milhões de pessoas, dos quais 8,6 milhões residem na zona rural, sendo a maior área de domínio de clima semiárido, em termos de extensão e de densidade demográfica (AB'SÁBER, 2003; CIRILO *et al.*, 2007).

O semiárido brasileiro é o mais chuvoso do planeta, com pluviosidade em média de 750 mm.ano⁻¹, variando dentro da mesma região, de 250 a 800 mm.ano⁻¹. Todavia, existe déficit hídrico, porém não significa falta de chuva ou de água. A grande questão está na relação chuva-evaporação, pois a chuva que cai é menor que a evaporação potencial (de 2.000 a 3.000 mm.ano⁻¹ três a quatro vezes maior que a precipitação: (MALVEZZI, 2007).

Outros fatores importantes a se ressaltar em áreas semiáridas no Brasil são a insuficiência e a irregularidade na distribuição das chuvas, tanto espacial quanto temporalmente, temperatura elevada e elevada taxa de evapotranspiração, causando déficit hídrico (SILVA, 2007). Geralmente as precipitações dessa região são de grande intensidade e concentradas em um curto período de tempo, e conseqüentemente tem um alto poder erosivo (MEDEIROS & ARAÚJO, 2014).

No Ceará, quanto às características geológicas do substrato rochoso, pode-se observar que 75% do território são de natureza cristalina. Os solos retêm baixas

quantidades de águas de chuvas, as quais logo se escoam e se evaporam. Por isso, há escoamento nos rios e riachos somente nos períodos chuvosos. Fora da estação das chuvas, os leitos dos rios permanecem secos, onde, às vezes, se encontram em seus cursos pequenos poços ou lagoas decorrentes de soleiras ou depressões naturais, os quais, por sua pouca profundidade, evaporam-se rapidamente (CEARÁ, 2003; CARDOSO *et al.*, 2006)

As características climáticas e geológicas do semiárido nordestino condicionam aos cursos d'água da região o caráter intermitente, apresentando altas vazões durante o período chuvoso que dura, em média, de três a quatro meses, e vazões nulas durante o período de estiagem. O combate a essa vulnerabilidade passa necessariamente pela construção de grandes reservatórios de acumulação com capacidade de regularização plurianual. Segundo Campos (2010), um reservatório superficial ou açude consiste em uma intervenção do homem na natureza com o objetivo de adaptar os padrões de vazões naturais dos rios aos padrões demandados pela sociedade, atuando como um veículo que transporta a água ao longo do tempo, sendo os excedentes dos períodos úmidos estocados para uso nos períodos de estiagem. No Ceará, os açudes suprem mais de 90% da demanda hídrica do estado (ARAÚJO *et al.*, 2006).

2.3 Enchentes

Cheia ou enchente é um fenômeno natural e consiste na elevação dos níveis de um curso de água, seja este de pequena ou grande dimensão, que pode causar inundação, o transbordamento de água do canal principal. Não existe rio sem ocorrência de enchente (PINHEIRO, 2007).

As zonas semiáridas destacam-se como regiões submetidas a cenários de escassez de água, geralmente com má distribuição das chuvas, no tempo e no espaço, produzindo períodos de estiagem aguda, e ao mesmo tempo, concorrendo para eventos de enchentes (MONTENEGRO & MONTEGRO, 2012). Ciclos de fortes estiagens, secas, como também de enchentes, costumam atingir a região do semiárido brasileiros, em intervalos que vão de poucos anos até décadas (MARENGO *et al.*, 2011).

O conhecimento da dinâmica das vazões dos rios de uma bacia é uma ferramenta indispensável na manutenção do equilíbrio entre oferta e demanda dos recursos hídricos, sendo imprescindíveis para o desenvolvimento econômico, social e na

mediação de conflitos entre segmentos de usuários, bem como na preservação do ambiente (CEZAR FILHO, 2013).

Para um eficiente planejamento e elaboração de projetos estruturais de obras hidráulicas, como também na gestão de recursos hídricos faz-se necessário do conhecimento do comportamento do regime de vazões.

2.4 Secas

A seca é um fenômeno natural caracterizado por uma redução significativa na disponibilidade de água que se prolongue por algum período de tempo expressivo. Devido à complexidade do ciclo hidrológico global é muito difícil prever a ocorrência de secas (NALBANTIS & TSAKIRI, 2009).

A seca é um fenômeno complexo, porém de característica normal e periódica do clima, que pode afetar drasticamente uma região além de provocar danos econômicos e sociais (QUIRING, 2008). A vulnerabilidade do homem a esse risco climático tornou-se evidente na década de 1970, demonstrando a necessidade de um melhor entendimento, bem como de uma melhor previsão de sua ocorrência (WILHITE & GLANTZ, 1987).

“Na realidade, as secas são fenômenos socioambientais, produzidos pela combinação de forças climáticas, hidrológicas, ambientais, sócio econômicas e culturais” (KALLIS, 2008).

Apesar de ser um tema discutido e recorrente, ainda não existe um conceito universal para definição de seca, o que permite que suas definições sejam dependentes da temática de abordagem. (WILHITE & GLANTZ, 1987) afirmam que diferentes camadas da sociedade têm percepções diferentes do fenômeno seca, e que mesmo dentro de cada grupo, há diferenças significativas no entendimento desse fenômeno. Um meteorologista ou um sociólogo, por exemplo, veem a seca como problemas distintos. O primeiro está preocupado com a previsão ou explicação das causas desta anomalia ou ainda em descrever a magnitude do déficit de precipitação ocorrido, ao passo que o segundo está mais interessado nos efeitos dessa deficiência nas pessoas ou nas instituições.

Yevjevich (1967) define seca como a deficiência na precipitação, precipitação efetiva, escoamento superficial ou água acumulada. Diz ainda que uma seca hidrológica é déficit no suprimento de água no tempo, no espaço ou em ambos.

Uma seca hidrológica envolve fatores como duração, extensão de área, intensidade, probabilidade de recorrência e iniciação (ou fim).

Palmer (1965) considera seca como o intervalo de tempo no qual a precipitação diminui consideravelmente em relação ao valor climatologicamente esperado, este intervalo de tempo geralmente é na ordem de meses ou anos.

Em regiões semiáridas a seca torna-se um problema mais grave devido as características daquelas áreas, com recursos hídricos limitados e específicas condições climáticas. Além disso da variabilidade temporal e espacial das chuvas, escoamento intermitente dos rios, cobertura vegetal esparsa, tendem a intensificar os períodos de estiagem (D'AGOSTINO *et al.*, 2010).

Sendo a seca de difícil previsão, é essencial um conjunto de ferramentas que possibilitem um diagnóstico de tal fenômeno, dando suporte a gestão de recursos hídricos, visando gerir de forma mais eficiente a tomada de decisões, notadamente nos períodos de secas.

Uma técnica amplamente utilizada na caracterização das secas é baseada nos índices de seca, que consistem em equações com variáveis climáticas e procedimentos estatísticos para determinar a intensidade, a duração e a frequência com que essa anomalia ocorre. Vários índices têm sido desenvolvidos objetivando quantificar os aspectos climatológicos das secas. Um dos índices mais utilizados e mundialmente reconhecido para a quantificação de seca é o índice de severidade de seca de Palmer (PALMER, 1965), dentre os muitos como o índice de Bhalme & Mooley (BHALME & MOOLEY, 1980); índice de anomalia de chuva (ROOY, 1965), classificação anômala da precipitação (JANOWIAK *et al.*, 1986), e outros.

Alguns estudos no semiárido brasileiro utilizam o índice de severidade de seca de Palmer para avaliar a severidade da seca (BARRA *et al.*, 2002; LIMEIRA *et al.*, 2007; MELO *et al.*, 2010; GUEDES *et al.*, 2012). Porém, o índice de Palmer apresenta várias limitações, particularmente por ser baseado no balanço hídrico do solo, em algumas regiões semiáridas a água no solo encontra indisponível (abaixo do ponto de murcha permanente) durante a maior parte do ano (COSTA, 2012). Araújo & Bronstert (Submetido) propõem um método de avaliação de secas hidrológicas no semiárido, o método não considera precipitação ou balanço hídrico no solo como variáveis hidrológicas principais, mas sim o balanço hídricos nos reservatórios.

2.5 Sensoriamento Remoto

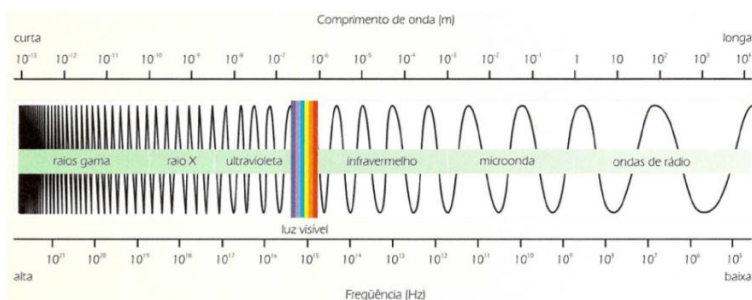
Dentre as várias definições existentes, Florenzano (2011) define sensoriamento remoto como a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação ou registro da energia refletida ou emitida pelos alvos.

“Podemos definir Sensoriamento Remoto como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações” (NOVO, 2010).

Os sensores capturam informações resultantes da interação da energia eletromagnética com os objetos e fenômenos da superfície terrestre (CAMPBELL, 1987). Cada objeto reflete a radiação incidente de forma diferente, possuindo assim um comportamento peculiar, este relacionado às suas características físicas (dimensões, forma, temperatura e cor), químicas (composição dos alvos em estudo) e biológicas. Tal comportamento denomina-se assinatura espectral, variação da quantidade de energia refletida pelo alvo para cada comprimento de onda do espectro eletromagnético (NICÁCIO, 2008).

A energia utilizada em sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética, que se propaga na forma de ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz. Ela é medida em frequência e em comprimento de onda (FLORENZANO, 2011). O espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência (Figura 1). O espectro eletromagnético abrange desde curtos comprimentos de onda, como os raios cósmicos e os raios gama (γ), de alta frequência, até longos comprimentos de onda como as ondas de rádio.

Figura 1 - Espectro eletromagnético.



Fonte: Florenzano (2011)

O surgimento do sensoriamento remoto é cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e da pesquisa espacial, as fotografias aéreas foram o primeiro método de sensoriamento remoto. O desenvolvimento do sensoriamento remoto está estreitamente vinculado ao uso militar dessa tecnologia (NOVO, 2010). Durante a guerra civil americana, o reconhecimento da área ocupada pelas tropas confederadas era feito por meio de fotografias aéreas tiradas de balões. Na primeira guerra mundial intensificou-se o uso de fotografias tomadas de aviões. Durante a segunda guerra mundial houve uma evolução considerável do sensoriamento remoto, no qual foi introduzido o filme infravermelho, com o objetivo principal de identificar camuflagem (diferenciar vegetação de alvos pintados de verde). Em seguida, com a Guerra Fria, vários sensores de alta resolução foram desenvolvidos, bem como o lançamento de satélites para obtenção de fotografias orbitais, para fins de espionagem. (FLORENZANO, 2011).

Em seguida, todo esse desenvolvimento tecnológico foi disponibilizado para o uso civil, impulsionando as aplicações do sensoriamento remoto na coleta de diversas informações da superfície terrestre. Assim, o sensoriamento remoto desperta o interesse nos mais diversos ramos da pesquisa ambiental, onde, relacionadas ao planejamento ambiental está desenvolvendo ferramentas para o manejo e a conservação dos recursos naturais (MEIRELES, 2007). O uso de sensoriamento remoto constitui então uma tecnologia adequada para este tipo de pesquisa, contribuindo, principalmente, na tomada de decisões para a elaboração de propostas de manejo ou gestão ambiental (TONIAL *et al.*, 2000).

Além do abrangente campo de atuação, quando esta ferramenta é comparada com pesquisas de levantamento de campo por equipes multidisciplinares, por exemplo,

apresenta um resultado muito superior na relação custo-benefício (BARRETT & CURTIS, 1982).

2.6 LANDSAT 5

Um grande número de satélites de observação está em órbita do nosso planeta com o objetivo de fornecer imagens frequentes da superfície. O LANDSAT é um dos programas espaciais de maior sucesso, dentre os operantes. No ano de 1972, a NASA (National Aeronautics and Space Administration) lançou nos Estados Unidos o primeiro satélite destinado ao sensoriamento remoto não tripulado, originalmente denominado de ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellite). Desenvolvido inicialmente com caráter experimental, com o objetivo de aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre de maneira global e repetitiva. Após o seu lançamento, o programa foi rebatizado por LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite), para melhor sugerir o enfoque do seu esforço sobre sensoriamento remoto de recursos naturais terrestres (LAUER *et al.*, 1997). Desde 1972 foi lançada uma série de seis satélites (Tabela 2).

Tabela 2 - Situação dos satélites que compõem a família LANDSAT.

Satélite	Lançamento	Sensor a Bordo	Situação Atual
LANDSAT 1	23/07/1972	MSS e RBV	Desativado em 1978
LANDSAT 2	22/01/1975	MSS e RBV	Desativado em 1982
LANDSAT 3	05/03/1978	MSS e RBV	Desativado em 1983
LANDSAT 4	16/07/1982	TM e MSS	Desativado em 1984
LANDSAT 5	01/03/1984	TM e MSS	Ativo até o momento
LANDSAT 6	05/10/1993	ETM	Perdido após lançamento
LANDSAT 7	15/04/1999	ETM ⁺	Desativado em 2003
LANDSAT 8	11/02/2013	OLI e TIRS	Ativo até o momento

Fonte: Lauer *et al.* (1997) USGS (2014)

Os satélites LANDSAT 1, 2 e 3 tinham dois instrumentos: a Câmera RBV (Return Beam Vidicon) e o MSS (Multispectral Scanner), sendo o RBV muito pouco utilizado devido a problemas técnicos. O LANDSAT 4 já possuía o instrumento TM (Thematic Mapper) além do MSS, que continuou no LANDSAT 5, 6 e 7 (LIU, 2006). O LANDSAT 8 é equipado com dois instrumentos imageadores: OLI (Operational Terra Imager) e o TIRS (Thermal Infrared Sensor) (USGS, 2014).

O LANDSAT 5 foi lançado em março de 1984, ativo a cerca de 30 anos, apresentando agora indícios de degradação do sinal, porém as imagens do sensor TM do

LANDSAT 5 possuem um acervo considerável de dados históricos da superfície terrestre (VRIELING, 2006).

O sensor TM do LANDSAT 5 fornece uma resolução espacial de 30 metros, com exceção da banda 6 (banda termal) com 120 metros. Opera a uma altitude de 705 km, possui um angulo de visada de 14,9°, cobrindo por cena uma superfície de 185 por 185 km, coletando informações em sete bandas (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio, infravermelho termal, infravermelho distante). Sua órbita é síncrona ao sol e sua periodicidade (resolução temporal) é de 16 dias (DGI, 2014).

As principais aplicações das imagens LANDSAT são, de acordo com (LIU, 2006), acompanhamento do uso agrícola das terras; apoio ao monitoramento de áreas de preservação; atividades energético-mineradoras; cartografia e atualização de mapas; desmatamentos; detecção de invasões em áreas indígenas; dinâmica de urbanização; estimativas de fitomassa; monitoramento da cobertura vegetal; queimadas; determinação da evapotranspiração; secas e inundações; sedimentos em suspensão nos rios e estuários.

2.7 CBERS 2

O Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, nasceu de uma parceria entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial, que combinava recursos financeiros e tecnológicos dos dois países.

Tabela 3 - Situação dos satélites que compõem a família CBERS.

Satélite	Lançamento	Sensor a Bordo	Situação Atual
CBERS 1	14/10/1999	CCD, IRMSS, WF1	01/07/2003
CBERS 2	21/10/2003	CCD, IRMSS, WF1	Operação limitada
CBERS 2B	01/10/2007	CCD, IRMSS, WF1	15/01/2010
CBERS 3	09/12/2013	MUX, IRS, WFI	Ativo até o momento
CBERS 4	Em teste	-	-

Fonte: INPE (2014)

Os três primeiros satélites do programa se assemelham muito, o CBERS 1 e 2 são idênticos. Eles têm órbita circular, quase polar, sol-síncrona e operam a uma altitude de 778 km, cruzando a Linha do Equador às 10h30min, com órbita de recorrência (resolução temporal) de 26 dias (EPIPHANIO, 2009).

As imagens utilizadas nesse estudo foram do sensor CCD, que fornece imagens com uma largura de 113 km, com resolução espacial de 20 metros. O sensor CCD trabalha em cinco faixas espectrais (pancromática, azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) (INPE, 2014).

As principais aplicações do sensor CCD do CBERS, segundo o (INPE, 2014) são:

- Vegetação: identificação de áreas de florestas, alterações florestais em parques, reservas, florestas nativas ou implantadas, quantificações de áreas, sinais de queimadas recentes.
- Agricultura: identificação de campos agrícolas, quantificação de áreas, monitoramento do desenvolvimento e da expansão agrícola, quantificação de pivôs centrais, auxílio em previsão de safras, fiscalizações diversas.
- Meio ambiente: identificação de anomalias antrópicas ao longo de cursos d'água, reservatórios, florestas, cercanias urbanas, estradas; análise de eventos episódicos naturais compatíveis com a resolução da Câmera, mapeamento de uso do solo, expansões urbanas.
- Água: identificação de limites continente-água, estudos e gerenciamento costeiros, monitoramento de reservatórios.
- Cartografia: dada a sua característica de permitir visadas laterais de até 32° a leste e a oeste, em pequenos passos, possibilita a obtenção de pares estereoscópicos e a consequente análise cartográfica. Essa característica também permite a obtenção de imagens de uma área em intervalos mais curtos, o que é útil para efeitos de monitoramento de fenômenos dinâmicos.
- Geologia e solos: apoio a levantamentos de solos e geológicos.
- Educação: geração de material de apoio a atividades educacionais em geografia, meio ambiente, e outras disciplinas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi direcionado a bacia do Alto Jaguaribe, Ceará. As análises associadas a secas foram desenvolvidas em dados do Barragem Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira (Açude Orós) (Figura 2). Objetivava-se utilizar os dados da primeira seção fluviométrica no Rio Jaguaribe a montante do Açude Orós, a estação fluviométrica Iguatu, porém, o estudo da mesma com sensoriamento remoto é difícil pela interferência de uma ponte sobre sua seção transversal, gerando duplicidades sempre que a altura d'água estivesse acima de 6m (Figura 3). Assim sendo, optou-se por usar dados da segunda estação fluviométrica a montante do Açude Orós, a estação Sitio Patos.

Figura 2 – Localização da área de estudo (Sistema de referência: SAD 69 – zona 24 S. Projeção em UTM).

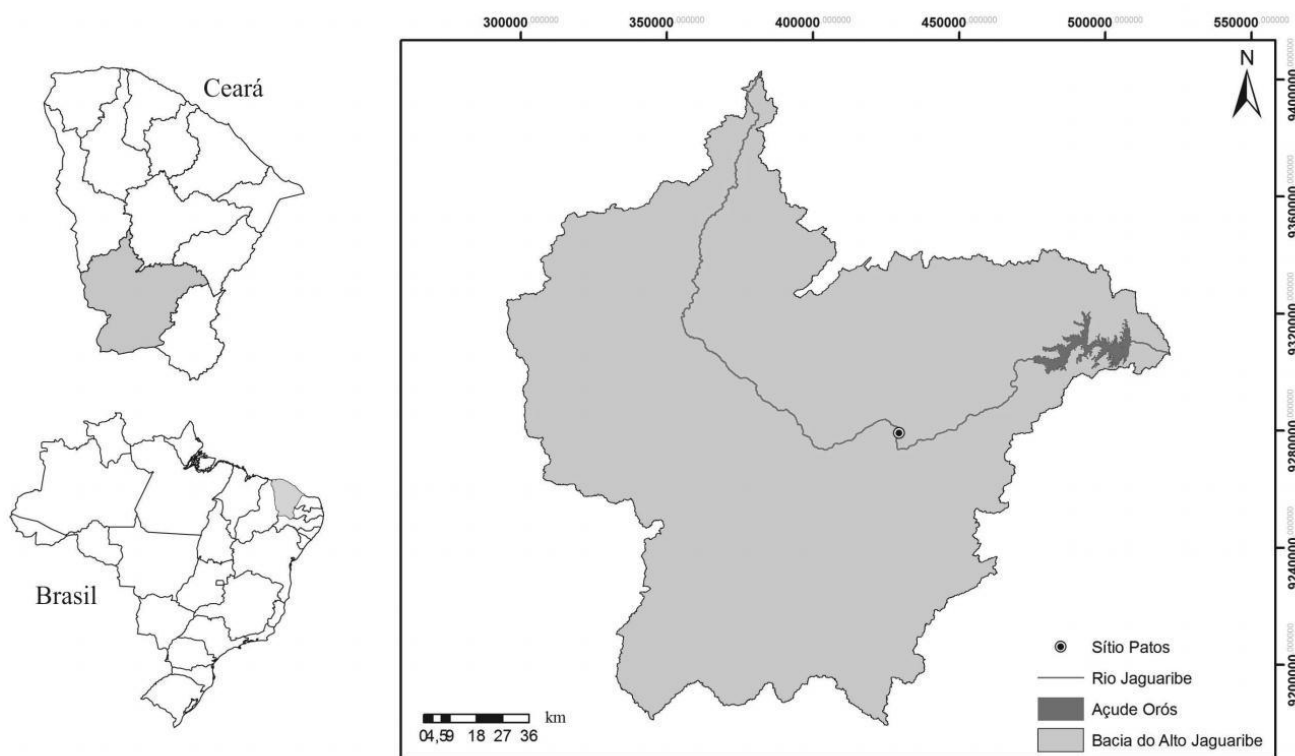
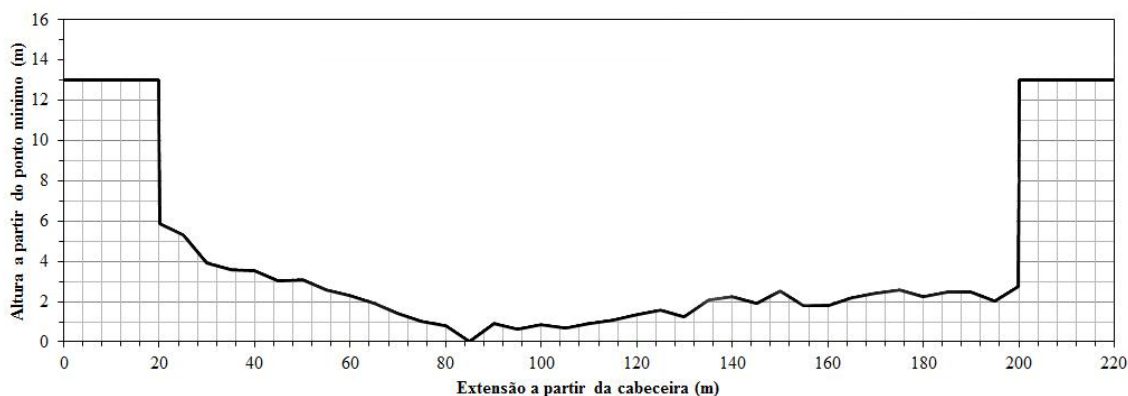
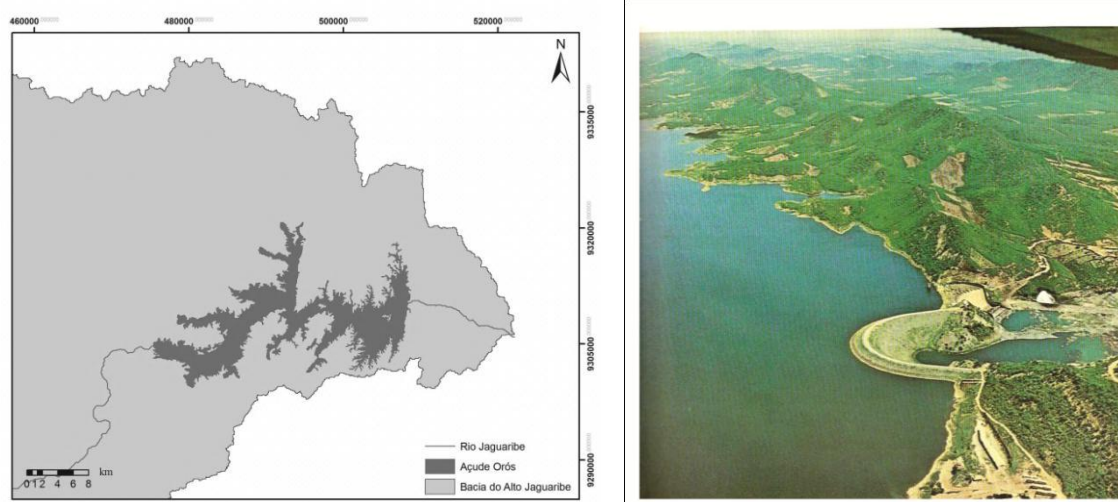


Figura 3 - Perfil longitudinal da estação fluviométrica Iguatu no ano de 2013.



A Barragem Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira (Açude Orós), principal reservatório da bacia do Alto Jaguaribe e o segundo maior do estado do Ceará, tem uma capacidade nominal de 2.100.000.000 m³. A barragem está localizada no município de Orós, distante da capital cearense, Fortaleza, cerca de 450 km (Figura 2). A construção do reservatório foi concluída em 1961, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), apresentando como principais finalidades a perenização do rio Jaguaribe, a irrigação dos Médio e Baixo Jaguaribe, a piscicultura, as culturas agrícolas de áreas de montante, o turismo e o aproveitamento hidrelétrico (MACÊDO, 1981).

Figura 4 – Localização da Barragem Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira e fotografia aérea do seu barramento (Sistema de referência: SAD 69 – zona 24 S. Projeção em UTM).



Fonte: Adaptado de Araújo (1990)

A bacia do Alto Jaguaribe localiza-se na porção sudoeste do Estado do Ceará, possui uma área de 24.538 km², é a maior bacia hidrográfica do estado, cobrindo 16% do território. A bacia engloba 24 municípios, possui 18 reservatórios estratégicos, sendo o Açude Orós o maior da bacia. É a bacia em que o Rio Jaguaribe nasce e percorre uma extensão de aproximadamente 325 km até o Açude Orós. As altitudes nesta região variam entre 250 e 400m. O clima é o semiárido quente, com precipitações médias anuais variando entre 500 e 700 mm, concentradas de janeiro a maio, e com irregularidade no tempo e no espaço. A temperatura média anual é aproximadamente 28°C (SANTANA, 2009).

Geologicamente a bacia do Alto Jaguaribe é constituída de rochas do embasamento cristalino pré-cambriano (81,28%) e depósitos sedimentares (18,72%). Tais características limitam a quantidade de água armazenada no subsolo e contribuem para um maior escoamento e uma maior evaporação da água precipitada sobre o solo, assim sendo os rios e riachos são caracterizados como de regime intermitente sazonal ou esporádico. Quando fora da estação chuvosa não existe escoamento no leito dos cursos d'água, exceto nas áreas perenizadas artificialmente (CEARÁ, 2005; SANTANA, 2009)

A estação fluviométrica Sitio Patos (Figura 5 e 6) está localizada em trecho do Rio Jaguaribe (Latitude 6° 31' 14'' S e Longitude 39° 38' 19'' W) a 245 km da nascente do rio e a 140 km a montante (via rio) do final da bacia do Alto Jaguaribe (Figura 7). A estação encontra-se no município de Jucás, é operada pela CPRM (Código 36070000) e de responsabilidade da ANA, controla uma área de 13.700 km² da bacia do Alto Jaguaribe (CPRM, 2014).

Figura 5 – Localização da estação fluviométrica Sítio Patos e o perfil longitudinal para o ano de 2013.

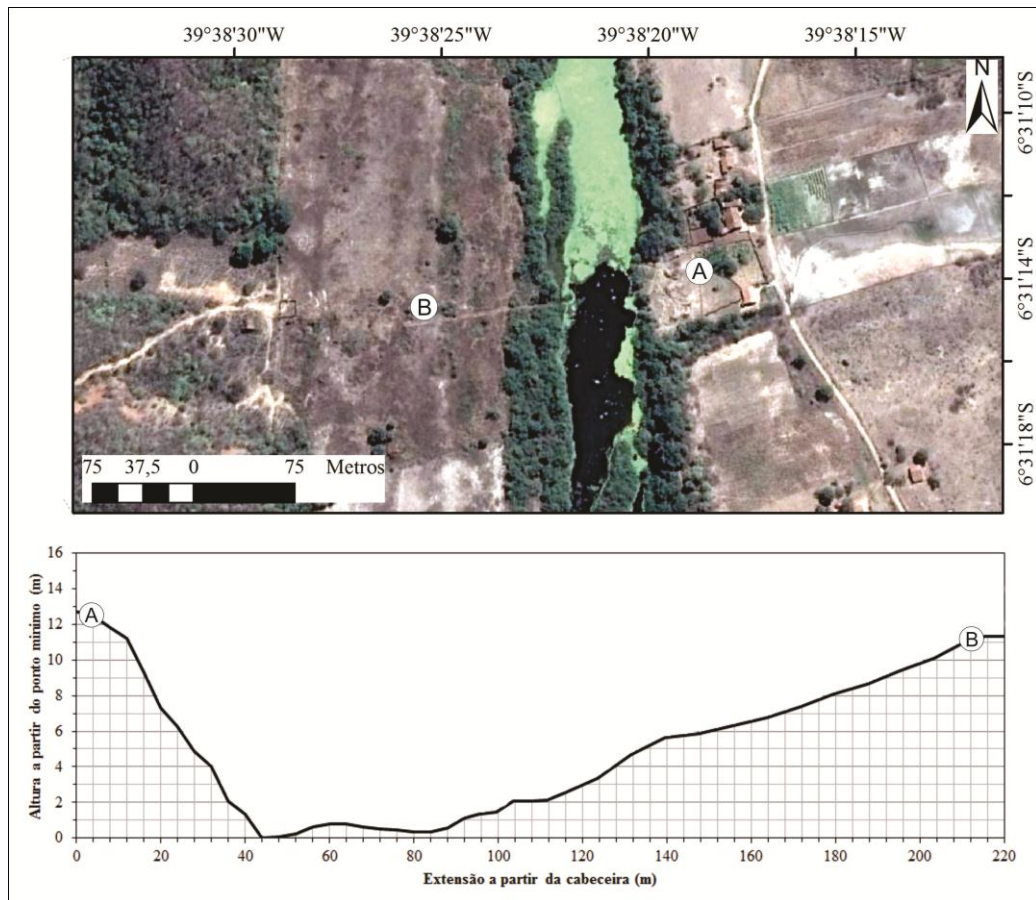


Figura 6 - Seção fluviométrica Sitio Patos, régua linimétrica.

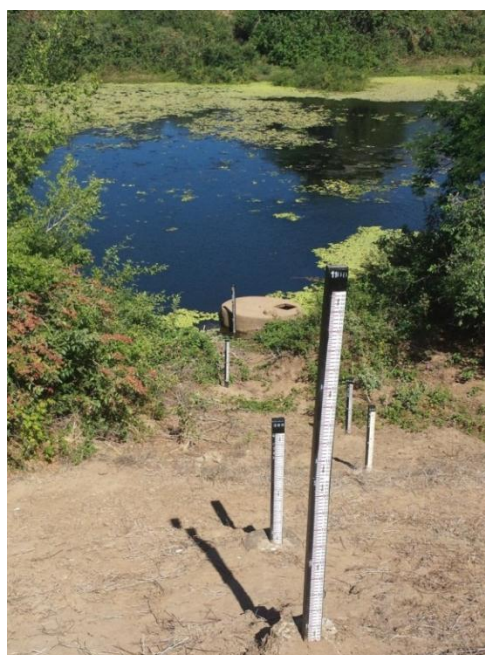
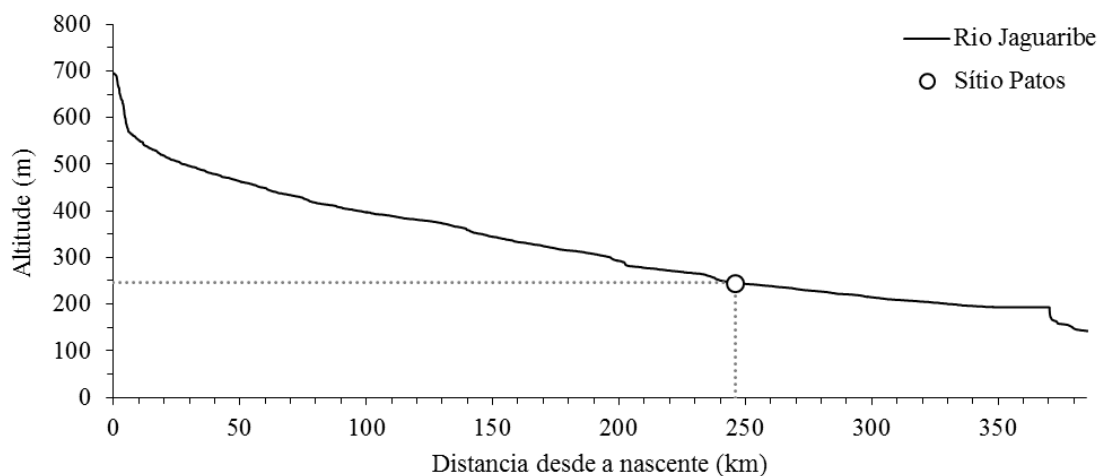


Figura 7 – Perfil longitudinal do Rio Jaguaribe dentro da Bacia do Alto Jaguaribe.



3.2 Avaliação de enchentes

3.2.1 Propriedades geométricas da estação fluviométrica

A seção transversal de um canal fluvial é uma linha imaginária que intersecta um plano vertical do rio, perpendicular ao leito. Conhecer as propriedades geométricas da seção transversal é indispensável em estudos hidrológicos, principalmente os que abrangem o sistema fluvial (OLIVEIRA, 2012). Assim se buscou analisar as relações da geometria hidráulica da seção transversal da estação fluviométrica Sítio Patos bem como suas variações interanuais.

Para realização dessa análises é necessário o levantamento topográfico detalhado do perfil transversal. Os dados topográficos da seção fluviométrica Sítio Patos foram obtidos junto à CPRM. Entre os anos de 2000 e 2013 a companhia realizou quatorze levantamentos topográficos, sendo dois levantamentos no ano 2000, e um a cada ano até 2013, excetuando-se o ano de 2006 (24 de janeiro de 2000, 2 de agosto de 2000, 24 de julho de 2001, 3 de julho de 2002, 26 de setembro de 2003, 31 de julho de 2004, 28 de setembro de 2005, 07 de agosto de 2007, 31 de outubro de 2008, 16 de outubro de 2009, 28 de julho de 2010, 17 de outubro de 2012 e 26 de julho de 2013).

Os dados dos 14 levantamentos topográficos disponibilizados pela CPRM foram inseridos em um software de CAD (Computer Aided Design ou Desenho Auxiliado por Computador) o AutoCAD[®] 2005 do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Na Figura

8 e na Tabela 4 são apresentados os elementos geométricos analisados para a seção transversal da estação fluviométrica Sitio Patos. O cálculo dessas variáveis geométricas efetuadas por meio de ferramentas e técnicas disponíveis no software AutoCAD.

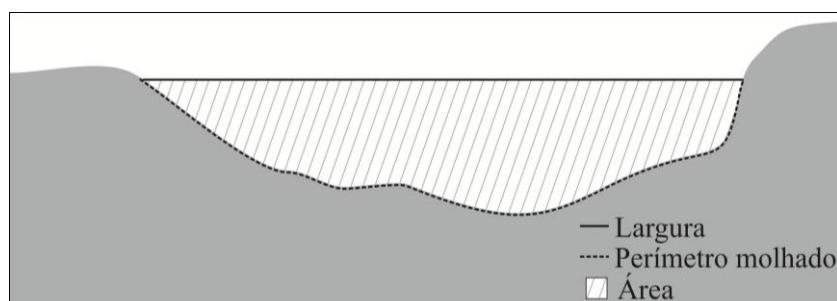
A apresentação, em um mesmo gráfico, de seções levantadas em diferentes anos facilita a verificação de alterações ocorridas, o que pode permitir avaliar a mudança de tendência das medições e consequente alteração da curva-chave.

Tabela 4 - Variáveis geométricas analisados para a seção transversal da estação fluviométrica Sitio Patos

Variável	Símbolo	Observação
Largura do canal	W	Comprimento da linha horizontal entre as margens (m)
Área	A	Área da seção transversal (m ²)
Perímetro molhado	P _M	Comprimento da linha de contato entre a superfície molhada e o leito (m)
Raio hidráulico	R _H	Quociente da área pelo perímetro molhado (m)

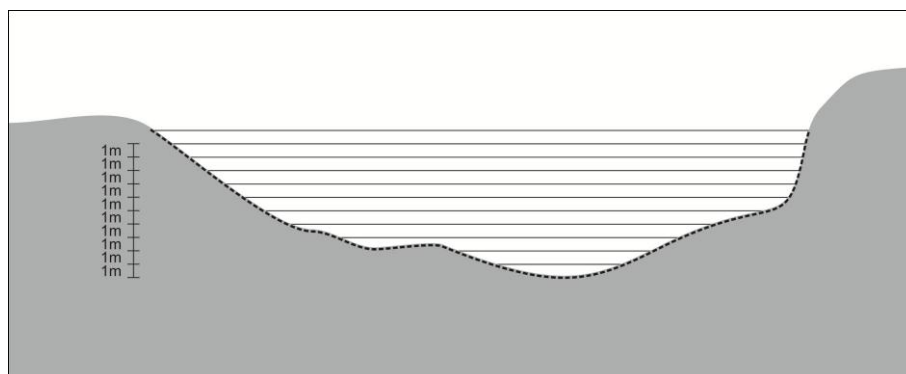
Fonte: Adaptado de Fernandez (2004).

Figura 8 - Representação gráfica das variáveis geométricas analisados para a seção para a seção transversal da estação fluviométrica Sitio Patos



Buscando um detalhamento dos variáveis geométricas analisadas, subdividiu-se a seção transversal em onze, com incrementos de um metro desde seu ponto mais baixo, bem como detalha a Figura 9.

Figura 9 - Representação gráfica da subdivisão da seção transversal



Para analisar as variações interanuais das variáveis geométricas na seção transversal da estação fluviométrica foi aplicado o teste de “t” de Student, testando os graus de correlação, adotando para todos os testes um nível de significância de 5% (FONSECA & MARTINS, 1980).

3.2.2 Enchentes

Com os dados dos 14 levantamentos topográficos da estação fluviométrica Sítio Patos disponibilizados pela CPRM, comparou-se altura da lâmina d’água com a correspondente largura que a lâmina d’água se estenderia dentro do perfil longitudinal da estação fluviométrica, com incrementos de um metro desde seu ponto mais baixo. Obtiveram-se equações que relacionam largura e altura da lâmina d’água para cada um dos levantamentos.

Nas análises referentes a enchentes foram utilizadas oito imagens orbitais, sete delas obtidas pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5, órbita/ponto 217/64 (13/07/2000, 19/04/2004, 11/07/2005, 12/06/2006, 27/03/2007, 16/05/2008 e 19/05/2009), e uma pelo sensor CCD do satélite CBERS 2, órbita/ponto 151/107 (28/03/2004). As imagens foram adquiridas junto a Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O critério para escolha das imagens foi estarem dentro do período chuvoso ou que o rio estivesse com um escoamento considerável além da condição de céu claro (sem cobertura de nuvens) sobre a posição da estação fluviométrica.

No manuseio e processos entre as bandas, recorte, classificação, realce e outras tarefas, fez-se necessário a utilização do *software* Erdas IMAGINE© 9.0.

Para a obtenção de um correto posicionamento das imagens no espaço, realizou-se um georeferenciamento imagem-imagem. Para tanto, foram utilizadas as

imagens GeoCover 2000, que são mosaicos de imagens do LANDSAT 7, disponibilizadas pela NASA e consideradas como referência. O procedimento é realizado tomando como base a imagem GeoCover 2000, identificando pontos de controle correspondentes entre as imagens base e a ser corrigida geometricamente. Fornecem bons pontos de controle, cruzamentos de estradas ou confluência de drenagens, que tenham pouca expressão em área, isto é, em ambas as imagens devem aparecer como um único pixel, que pode ser bem marcado. A partir dos pontos de controle, o programa define uma equação angular, e rotacional a imagem para que ela corresponda o máximo possível com a imagem base. Para a obtenção de resultados confiáveis é necessária uma boa distribuição dos pontos de controle na área (PERROTTA, 2005).

O termo composição colorida ou fala-cor, consiste na combinação de três bandas espectrais de satélite para a formação de uma composição colorida, uma vez que bandas espectrais separadas são imagens em preto e branco. Esta combinação de bandas, consiste em uma filtragem de informações espectrais, realçando o que se tenha interesse, procurando selecionar a alocação de cores que tenha uma melhor percepção ao olho humano (SOARES FILHO, 1998).

De acordo com DGI (2014) a combinação que melhor mostra os limites entre o solo e a água, discriminando a vegetação seria a combinação das bandas infravermelho próximo, vermelho e verde. As bandas das imagens LANDSAT 5 e CBRES 2 utilizadas na avaliação da parte de enchentes nesse trabalho foram associadas nessa combinação (infravermelho próximo, vermelho e verde).

Após georeferenciamento das imagens e com as bandas combinadas como anteriormente comentado, fez-se a medida da largura do rio no momento do imageamento do satélite (9h30min para o LANDSAT 5 e 10h30min para o CBERS 2) por meio do uso de ferramentas de SIG. Adotou-se essa largura como a largura média diária do rio.

De posse da largura do rio para as oito imagens analisadas, insere-se o valor de largura nas equações que relacionam largura e altura da lâmina d'água, obtendo a altura da lâmina. A CPRM disponibilizou dados de cota e vazão para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2013. Podendo assim comparar a altura medida pela CPRM com a altura medida via sensoriamento remoto nesse estudo.

Utilizando os dados das leituras na régua linimétrica (altura) e os valores correspondentes de vazão, estes disponibilizados pela CPRM, na estação fluviométrica Sítio Patos, construiu-se uma curva-chave cota-vazão. Inseriu-se nessa curva-chave da estação Sítio Patos os valores de alturas medidos via sensoriamento remoto, obtendo assim dados de vazão via sensoriamento remoto e podendo comparar com os dados de vazão da CPRM.

Buscando-se uma estimativa da vazão afluente do Açude Orós, utilizou-se o balanço hídrico diário do reservatório (Equação 1), dado que existe monitoramento diário do reservatório e todos os dados (elevação, área, volume, vazão liberada e vazão de sangria) foram fornecidos pela COGERH. Para se avaliar a precipitação e a evaporação sobre o reservatório, foram utilizados dados meteorológicos (temperatura máxima e mínima do ar, velocidade do vento, umidade relativa e insolação e precipitação) da estação meteorológica mais próxima do reservatório, a estação localizada no município de Iguatu, controlada pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), com código OMM: 83873.

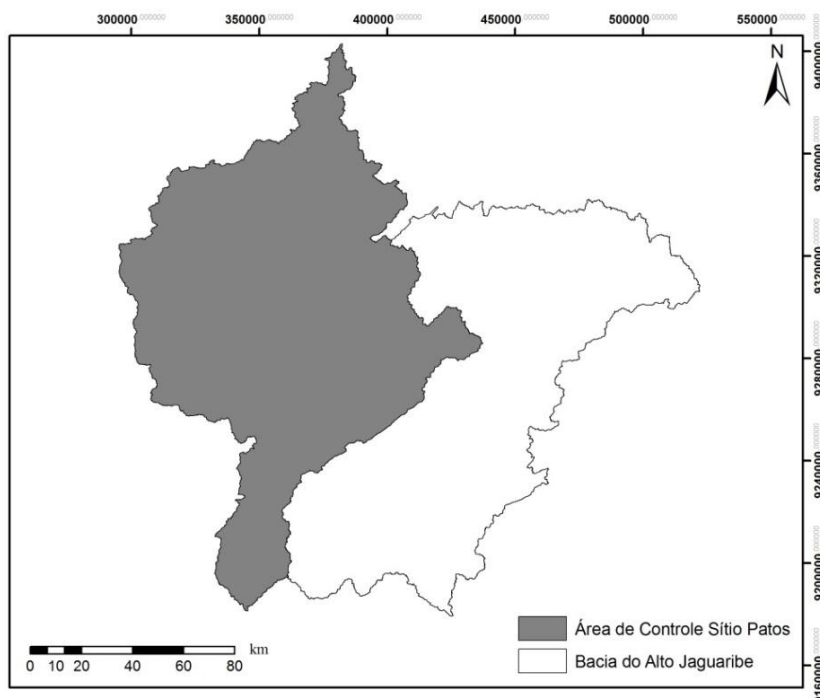
$$Q_a = \frac{\Delta V(t)}{\Delta t} - P + E + I - Q_B + Q_S + Q_U \quad (1)$$

Em que: Q_a é a vazão afluente; V é o volume do reservatório; t é o tempo; P é a precipitação direta sobre o reservatório; E é a evaporação; I é a infiltração; Q_B é a contribuição subterrânea; Q_S é a vazão de sangria; Q_U é a vazão retirada do reservatório para uso.

Utilizou-se a vazão afluente do Açude Orós estimada pelo balanço hídrico como um método alternativo de estimativa de vazão do rio Jaguaribe na seção do Posto Sítio Patos. As medidas de vazão afluente ao Açude Orós devem, portanto, indicar uma ordem de grandeza da vazão no próprio rio Jaguaribe, já que esse é seu maior contribuinte. Todavia, não se intenciona nessa pesquisa, associar os dois valores (vazão afluente ao açude e vazão no rio – Posto Sítio Patos) como iguais, já que há, entre as duas seções de controle, diversas entradas e saídas (Van OEL *et al.*, 2008). A vazão afluente ao Orós é comparada com as vazões disponibilizada pela CPRM e com aquela estimada via sensoriamento remoto, de modo a analisar a confiabilidade dos métodos.

Adicionalmente, multiplicou-se por um fator de área tanto a vazão estimada via sensoriamento remoto quanto a vazão estimada pela CPRM para melhor compará-las com a vazão estimada por balanço hídrico do Açude Orós. O fator de área corresponde à razão entre a área de contribuição do Açude Orós e a área de contribuição da seção (no caso, a do Posto Sitio Patos). A estação fluviométrica Sitio Patos controla uma área de 13.700 km² (Figura 10) da área total da Bacia do Alto Jaguaribe (24.538 km²), ou seja, o fator de área é 1,791.

Figura 10 – Área de controle da estação fluviométrica Sítio Patos dentro da Bacia do Alto Jaguaribe (Sistema de referência: SAD 69 – zona 24 S. Projeção em UTM).



3.3 Avaliação de secas

Araújo & Bronstert (Submetido) propõem em seu estudo um método para avaliação de secas em ambientes semiáridos. A seca é medida através de uma variável hidrológica X (Equação 2), que é o resultado de um balanço hídrico simples.

$$X(t) = Q_o(t) - Q_D(t) \quad (2)$$

Em que: Q_O é a vazão de oferta; Q_D é a vazão de demanda, em um instante (t), sendo o passo temporal Δt mensal.

$$Q_O(T_R, t) = Q_R(t) + \delta \cdot \left[\eta(t) \frac{V_o(t)}{N(T_R) \cdot \tau} \right] \quad (3)$$

$$\tau = \frac{V_{SC}}{Q_R} \quad (4)$$

Em que: Q_R é a vazão do rio para o reservatório; V_0 é o volume armazenado no primeiro dia do mês t; δ é um termo on-off ($\delta = 0$ se t é um mês excedente, e $\delta = 1$ se t é um mês deficitário); τ é o tempo de residência do reservatório, N é o número de meses que sofrem déficit hídricos por ano; η é a eficiência do reservatório; V_{SC} é a capacidade de armazenagem do reservatório, V_{SC} é a capacidade de armazenagem do reservatório, e Q_R é a vazão média histórica.

A Equação 2 busca demonstrar a água armazenada no reservatório que está disponível no momento t. A vazão de demanda pode ser obtida com a Equação 5:

$$Q_D(t) \cong f(t) \cdot [\lambda(t) \cdot Q_{90}] \quad (5)$$

Em que: λ é o fator de demanda mensal (adimensional); Q_{90} é vazão que pode ser liberado do reservatório com 90% de confiabilidade; f é o fator de seca sazonal (adimensional).

Durante a estação chuvosa o fator de secura é igual a 1 ($f=1$), mas para a estação seca $f \geq 1$, dependendo da precipitação da estação chuvosa. Uma produção não satisfatória da agricultura, no período chuvoso, devido a baixas precipitações, tente a ser compensado por uma demanda maior de água para a irrigação no período seco.

$$f(t) = 1; \text{ Se } H_w(t) \geq \overline{H_w} \quad (6a)$$

$$f(t) = 1 + \nabla U \cdot \frac{[\overline{H_w} - H_w(t)]}{H_w} \text{ Se } H_w(t) < \overline{H_w} \quad (6b)$$

$$\nabla U = - \frac{dU}{dH} \quad (6)$$

Em que: HW é a precipitação na estação chuvosa anterior; HW é a precipitação média histórica; ∇U é gradiente de uso consuntivo, que é de aproximada mente 0,8 para irrigação próximas ao açude Orós, no estado do Ceará (Van OEL *et al.*, 2008), U é o uso consuntivo mensal; H é a precipitação mensal.

O diagnóstico de seca é dado quando o $X < 0$; após um ou mais meses de excedente ($X > 0$). A severidade da seca DS é a magnitude, DM, são dadas pelas equações 7 e 8.

$$DS = -\int_{t_i}^{t_f} X(t).dt \quad (7)$$

$$DM = \frac{DS}{(t_f - t_i)} \quad (8)$$

Em que: t_i é o mês de início de seca (valores de $X < 0$); t_f o mês de fim da seca.

Para o cálculo das vazões afluente, foram utilizados dados de vazão, disponibilizadas pela CPRM, da estação fluviométrica Iguatu, localizada logo a montante do Açude Orós, no município de Iguatu (Latitude $6^{\circ} 22' 28''$ S e Longitude $39^{\circ} 17' 36''$ W), é operada pela CPRM (Código 36160000) (Figura 11) e de responsabilidade da ANA, controla uma área de 20.700 km² da bacia do Alto Jaguaribe (CPRM, 2014).

Figura 11 - Seção fluviométrica Iguatu, réguas linimétricas.



Fonte: Wiegand (2009)

No cálculo do termo de on-off (δ) e do número de meses deficitários (N) foram considerados como os meses de menores precipitações (maio a fevereiro). Todas as data analisadas nessa parte do trabalho encontravam-se em meses deficitários ($\delta = 1$) estando entre um dos 10 meses deficitários (N = 10). A eficiência, estimada por Araújo & Bronstert (Submetido) foi tal que $\eta = 0,17$, o que corrobora resultados anteriores Araújo *et al.* (2006).

Para o cálculo do tempo de residência do reservatório (τ), razão entre o volume na capacidade máxima e a vazão afluente média do rio, utilizaram-se os dados de vazão do posto fluviométrico de Iguatu ($\tau = 0,67$ anos).

Os dados do volume armazenado no primeiro dia de cada mês foram estimados via sensoriamento remoto. Como o dia de imageamento não necessariamente é no primeiro dia do mês, os volumes estimados via sensoriamento remoto são para data da imagens, esse volume foi considerado o volume no primeiro dia do mês.

Na avaliação de secas realizados nesse estudo foram utilizadas dez imagens obtidas pelo sensor Mapeador Temático (TM) do LANDSAT 5, Adquiridas junto a Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órbita/ponto 217/64, para os dias: 12/09/1987, 24/08/1992, 14/08/1994, 01/08/1995, 12/08/1999, 01/08/2001, 23/08/2003, 15/10/2005, 03/09/2007, 21/09/2008 e 29/08/2011.

O critério para escolha das imagens foi estarem em condição de céu claro (sem cobertura de nuvens) sobre o reservatório, estarem dentro de um período considerado de estiagem, além disso, buscou-se escolher imagens de anos subsequentes que estivessem em meses considerados mais secos.

Como descritas na parte de avaliação de cheias, as imagens trabalhadas na parte de avaliação de secas também foram georreferenciadas com imagens base o mosaico GeoCover 2000. Como primeira etapa para avaliação de secas, temos a medida de área do espelho de água do Açude Orós, foi realizado uma classificação de imagens. Para tal processamento utilizou-se da classificação de imagem não supervisionada.

A maioria das técnicas de classificação de imagens baseia-se no agrupamento de valores de intensidade ou resposta espectral. Considera-se classificação

não supervisionada de imagens o processo em que não existe interação entre o sistema e o analista. Durante a fase de treinamento, alguns algoritmos necessitam de alguns parâmetros que devem ser fornidos ao sistema (número mínimo e máximo de classes desejadas e número de interações), mas o software decide, com base em estatística, quais as classes a serem separadas e quais pixels pertencem a cada uma (MOREIRA, 2003).

Na classificação das imagens foram utilizadas apenas as bandas 4, 3 e 2 (infravermelho próximo, vermelho e verde) do satélite LANDSAT 5. Através do *software* Erdas IMAGINE© 9.0 realizou-se a classificação, utilizando o método denominado Isodata.

Para este estudo foram determinadas quatro classes, buscando definir bem a diferença entre água, vegetação rala, vegetação densa e áreas antropizadas.

Após classificadas as áreas, mediu-se com o auxílio de técnicas SIG as áreas do espelho d'água do Açude Orós, interpolando os valores de área medidas via sensoriamento remoto com os dados de cota-área-volume do reservatório, estimando-se assim seu volume.

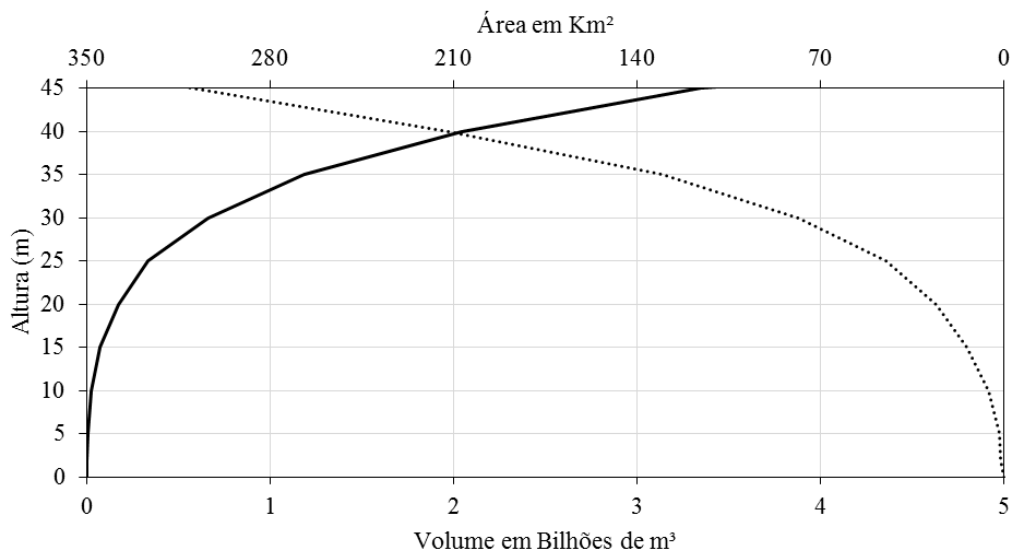
A Tabela 5 apresenta os dados de cota versus altura versus área versus volume para a Barragem Presidente Juscelino Kubitscheck de Oliveira (Açude Orós). Essas relações podem ser visualizadas em forma gráfica na Figura 12.

Tabela 5 – Características de Cota, Altura, Volume e Área do Açude Orós.

Cota (m)	Altura (m)	Volume (m ³)	Área (m ²)
160	0	0	0
162	2	289.000	-
165	5	3.410.000	1.645.000
170	10	22.547.000	6.010.000
175	15	73.222.000	14.261.000
180	20	173.848.000	25.969.000
185	25	331.539.000	45.007.000
190	30	660.216.000	78.543.000
195	35	1.183.266.000	130.677.000
200	40	2.039.822.000	211.845.000
205	45	3.342.807.000	310.048.000
206	46	4.000.000.000	330.000.000

Fonte: Adaptado de Araújo (1990).

Figura 12 – Diagrama de Cota-Área-Volume do Açude Orós.



Fonte: Adaptado de Araújo (1990).

Segundo CORRÊA FILHO *et al.* (2005), deve-se ressaltar que a curva cota-área-volume utilizada para o projeto de uma barragem serve apenas como ponto de partida para o plano de gestão dos seus recursos hídricos, além do que nem sempre são baseadas em levantamentos topográficos de escala adequada, disponíveis na época de sua construção, sendo aconselhável uma atualização na curva cota-área-volume para que se considerem os efeitos decorrentes do assoreamento.

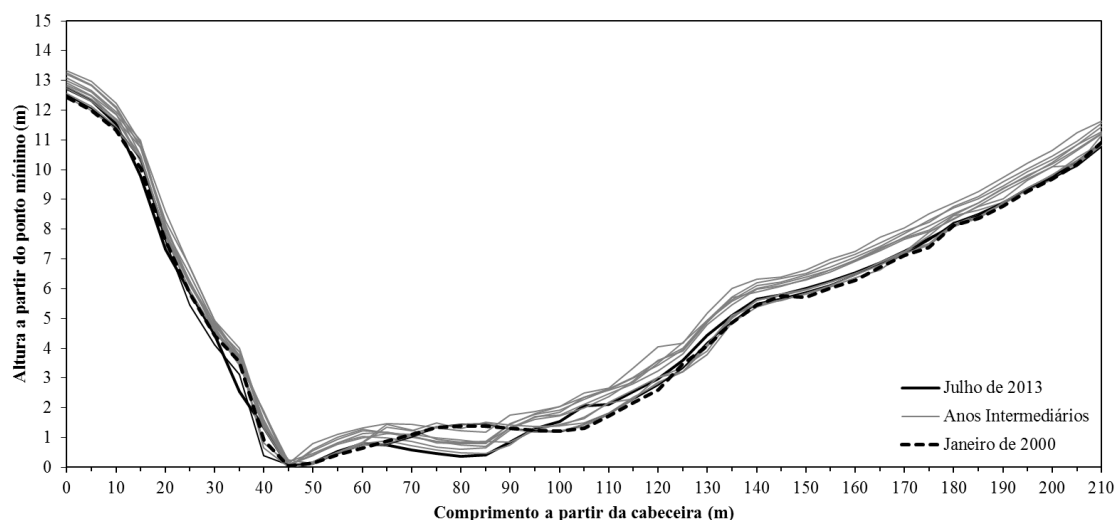
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação de enchentes

4.1.1 Propriedades geométricas da estação fluviométrica

A Figura 13 expõe graficamente a topografia do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos (Tabela 6), ano a ano, entre 2000 e 2013. Notam-se alterações interanuais, porém essas alterações não se caracterizam como evolução contínua nem na deposição de sedimentos, nem na erosão de material, se assemelhando com uma variação cíclica na acomodação e retirada de sedimentos. Essa característica da estação fluviométrica Sítio Patos se deve possivelmente por conta de a mesma estar localizada em trecho mediano do Rio Jaguaribe, se caracterizando como trecho de transporte de sedimentos, com pouco depósito, e não sendo fonte de erosão.

Figura 13 - Evolução do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos entre 2000 e 2013



Essa evolução cíclica também pode ser justificada pela variação entre secas e cheias. De acordo com (CAVALCANTE *et al.*, 2006) no período de estiagem do Rio Jaguaribe, a produção de sedimentos é muito baixa, e mesmo as margens que estão desprotegidas, não sofrem com a retirada de material, uma vez que o rio nessa época não possui capacidade para o arraste de materiais do leito, nem das margens.

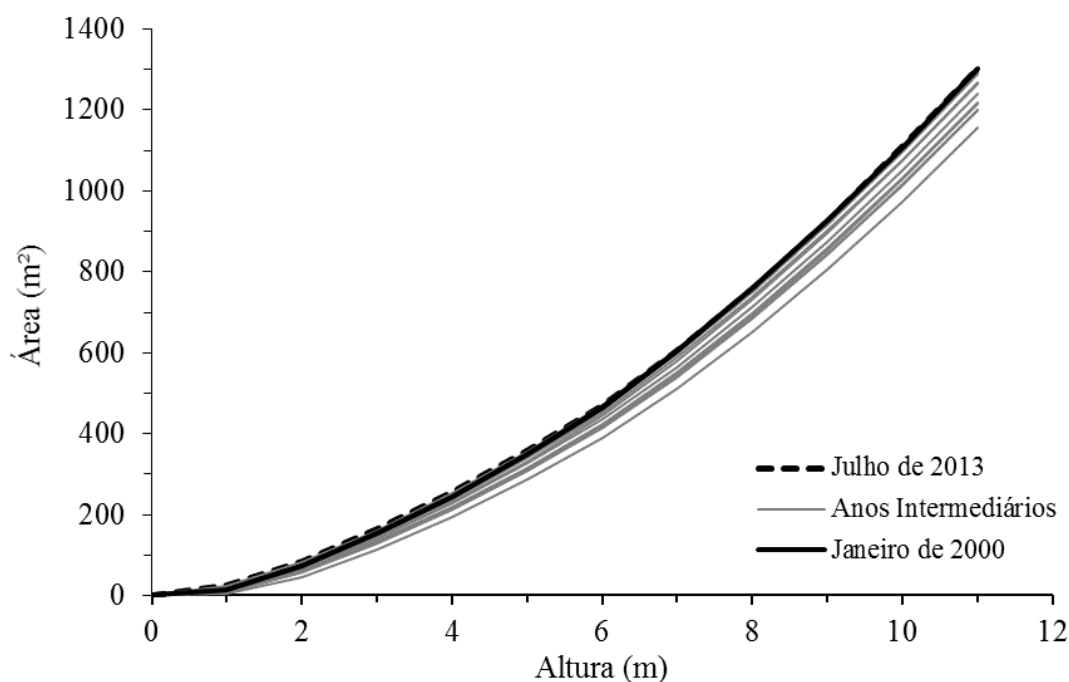
Segundo (CAVALCANTE, 2001), a busca de armazenamento de água, com grande número de açudes e barragens e passagem molhadas dispersos ao longo da bacia do Rio Jaguaribe, bem como no próprio leito do rio, retêm as cargas de sedimentos que

sem essas intervenções chegariam às partes mais baixas do rio. Esse entendimento está em consonância com o demonstrado por Lima Neto *et al.* (2011), após análise de dados diários de produção de sedimentos ao longo de 25 anos na seção de Iguatu, do mesmo rio Jaguaribe.

Apresenta-se na Figura 14 a variação da área do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos, entre os anos de 2000 e 2013. Como descrito na metodologia, a seção foi subdividida em onze partes, com incrementos de um metro partindo do ponto mais baixo da seção. Verifica-se que existem oscilações nas áreas de um ano para outro, mas é uma evolução cíclica que varia e retorna a uma medida de área bastante similar à área da primeira data estudada no ano 2000 (Tabela 7).

Variações acentuadas que ocorram ao longo do tempo, em decorrência de ondas de cheias, podem provocar acúmulos de sedimentos e ou a erosão da calha e taludes do rio. Esses fatores interferem na área molhada, na velocidade do escoamento e, conseqüentemente, no ajuste da curva de descarga, o que pode comprometer a qualidade dos dados de cota e vazão estimada.

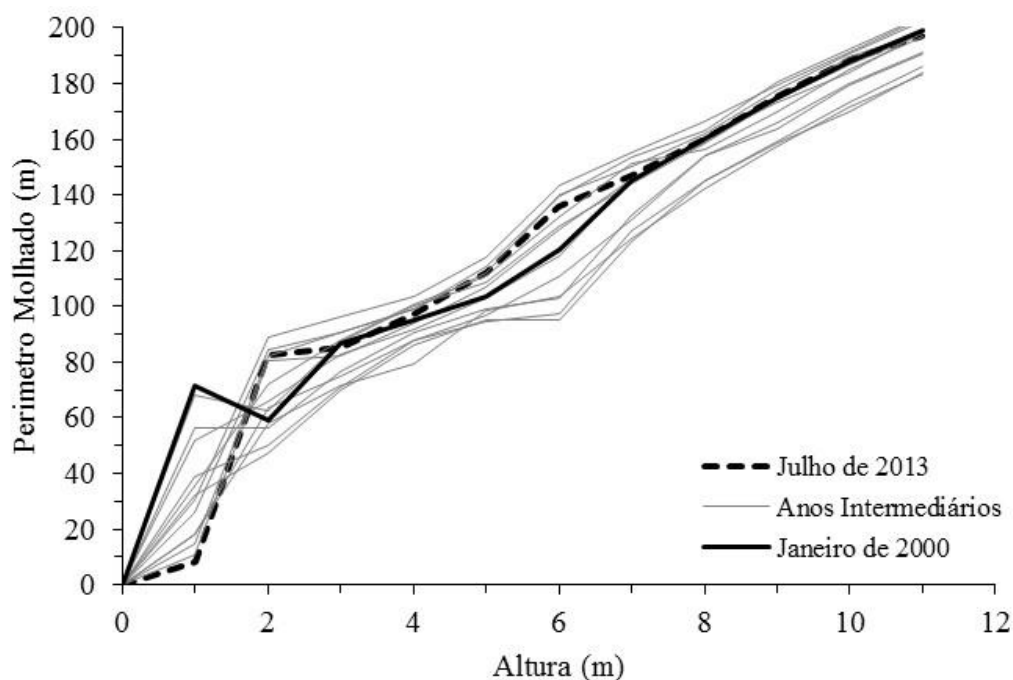
Figura 14 - Evolução da área do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos entre 2000 e 2013.



Na Figura 15 exibe-se a evolução ou variação do perímetro molhado entre os anos de 2000 e 2013, para o perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos.

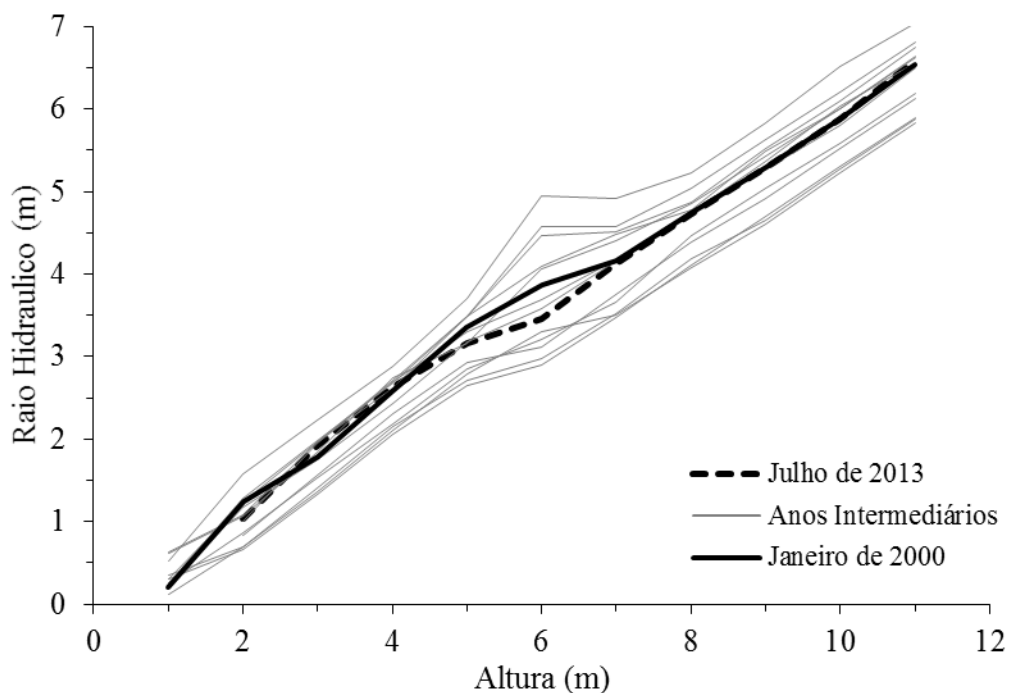
Observa-se uma grande variação até o incremento de 3 metros, observando-se aí uma modificação do leito do rio (Figura 12). Em algum momento houve uma deposição de material na parte próxima à margem esquerda. Acima dos 4 metros observa-se comportamento estável da seção, com uma dinâmica cíclica das relações entre altura do nível d'água e perímetro molhado (Tabela 8).

Figura 15 - Evolução do perímetro molhado do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos entre 2000 e 2013.



O raio hidráulico é a razão entre a área e o perímetro molhado, e seu comportamento temporal na seção em estudo entre os anos estudados (2000 a 2013) está disposta na Figura 16. Quando se comparam apenas os dois anos extremos, 2000 e 2013, não se nota tanta discrepância. Existe uma variação dos valores de raio hidráulico entre os incrementos de 5 e 7 metros, estando associadas a uma variação no perímetro molhado também nesse intervalos de incrementos (Figura 15). Mesmo apresentando uma variação, esta se caracteriza como cíclica, quando retorna a valores bem próximos àqueles registrados no primeiro ano analisado.

Figura 16 - Evolução do raio hidráulico do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos entre 2000 e 2013



Além da análise gráfica das variações interanuais das variáveis geométricas na seção transversal da estação fluviométrica, aplicou-se o teste de “t” de Student, buscando testando se havia diferença estatística entre os anos estudados e o grau de correlação. Adoptou-se para todos os testes usar um nível de significância de 5%. Testando todas as variáveis geométricas (perfil longitudinal, área, perímetro molhado e raio hidráulico) não se observou diferença estatística significativa entre os anos de análise (Tabelas 10, 11, 12 e 13).

Tabela 6 - Evolução do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos ao longo dos anos.

X (m)	Y (m)													
	JAN/00	AGO/00	JUL/01	JUL/02	SET/03	JUL/04	SET/05	AGO/07	OUT/08	OUT/09	JUL/10	OUT/11	OUT/12	JUL/13
0	12,43	12,44	12,51	12,57	12,74	13,32	12,93	12,80	13,09	13,25	13,00	13,21	12,84	12,73
5	12,00	11,99	12,06	12,14	12,30	12,96	12,50	12,38	12,66	12,84	12,62	12,83	12,46	12,33
10	11,33	11,34	11,38	11,44	11,62	12,22	11,84	11,71	11,94	12,10	11,86	12,07	11,67	11,54
15	10,05	10,42	10,37	10,38	10,47	10,91	10,87	10,75	10,99	10,74	10,26	10,47	10,36	9,79
20	7,64	7,81	7,62	7,72	7,85	8,60	8,16	8,06	7,99	8,28	7,85	7,86	7,89	7,32
25	5,83	5,93	5,46	5,96	6,14	6,72	6,19	6,24	6,49	6,76	6,26	6,17	6,28	5,90
30	4,42	4,58	4,11	4,57	4,73	4,93	4,87	4,59	4,82	4,94	4,61	4,67	4,71	4,45
35	3,56	3,63	3,12	3,64	3,87	4,00	3,76	3,72	3,62	3,70	3,42	3,53	3,48	2,55
40	0,90	0,65	0,38	0,82	1,39	1,54	1,48	1,60	1,85	1,83	1,44	1,33	1,89	1,34
45	0,05	0,01	0,07	0,11	0,24	0,12	0,10	0,00	0,20	0,00	0,08	0,00	0,07	0,02
50	0,14	0,11	0,11	0,12	0,13	0,79	0,41	0,17	0,45	0,56	0,40	0,60	0,17	0,15
55	0,42	0,48	0,45	0,50	0,47	1,10	0,78	0,52	0,82	0,95	0,81	1,02	0,46	0,54
60	0,65	0,75	0,75	0,76	0,81	1,32	0,98	0,85	1,14	1,22	1,04	1,27	0,80	0,80
65	0,87	0,79	0,78	0,74	1,35	1,46	1,14	1,43	1,17	1,17	0,99	1,16	0,88	0,76
70	1,10	1,07	1,02	1,13	1,23	1,43	1,11	1,24	1,04	1,07	0,86	1,00	0,72	0,58
75	1,34	1,34	1,34	1,36	1,48	1,33	0,98	0,94	0,87	0,83	0,67	0,88	0,57	0,46
80	1,38	1,42	1,44	1,43	1,31	1,23	0,92	0,84	0,74	0,79	0,60	0,83	0,48	0,36
85	1,38	1,48	1,46	1,43	1,52	1,19	0,82	0,86	0,70	0,79	0,66	0,87	0,47	0,41
90	1,30	1,30	1,30	1,28	1,42	1,75	1,32	0,84	1,32	1,46	1,24	1,43	0,76	0,85
95	1,23	1,17	1,22	1,21	1,38	1,87	1,60	1,26	1,67	1,78	1,70	1,80	1,35	1,31
100	1,21	1,21	1,19	1,22	1,39	2,03	1,74	1,44	1,84	1,93	1,76	2,03	1,40	1,54
105	1,30	1,43	1,44	1,36	1,50	2,49	1,99	1,63	2,35	2,27	2,11	2,36	1,68	2,07
110	1,71	1,81	1,79	1,78	1,82	2,65	2,37	2,19	2,60	2,62	2,46	2,64	2,17	2,11
115	2,18	2,28	2,28	2,27	2,34	3,33	2,91	2,60	2,86	3,00	2,81	3,02	2,30	2,54
120	2,60	3,03	2,76	2,86	2,79	4,06	3,59	3,01	3,50	3,42	3,24	3,58	2,82	2,98
125	3,46	3,22	3,32	3,22	3,33	4,17	3,90	3,35	4,20	3,96	3,80	4,00	3,22	3,59
130	4,08	4,12	4,19	4,04	4,10	5,17	4,87	3,91	4,94	4,92	4,78	4,94	3,78	4,44
135	4,85	5,10	4,89	5,10	5,00	6,01	5,70	5,04	5,58	5,63	5,47	5,72	4,85	5,11
140	5,45	5,49	5,50	5,43	5,62	6,31	5,89	5,60	6,02	6,10	5,98	6,21	5,38	5,65
145	5,75	5,61	5,68	5,62	5,78	6,39	6,09	5,82	6,18	6,23	6,10	6,34	5,62	5,80

150	5,72	5,85	5,89	5,85	5,97	6,63	6,32	5,99	6,40	6,46	6,29	6,51	5,81	6,01
155	6,01	6,11	6,13	6,11	6,22	6,98	6,62	6,23	6,64	6,72	6,57	6,87	6,06	6,25
160	6,28	6,46	6,47	6,47	6,52	7,25	6,96	6,51	6,95	7,05	6,92	7,15	6,36	6,54
165	6,71	6,79	6,83	6,89	6,85	7,73	7,38	6,81	7,32	7,43	7,28	7,53	6,64	6,86
170	7,13	7,19	7,16	7,26	7,23	8,04	7,70	7,22	7,73	7,85	7,65	7,92	7,20	7,25
175	7,39	7,46	7,64	7,52	7,78	8,51	7,98	7,90	8,12	8,31	7,92	8,23	7,47	7,68
180	8,12	8,15	8,22	8,23	8,44	8,87	8,48	8,35	8,51	8,70	8,32	8,76	8,10	8,12
185	8,36	8,36	8,53	8,39	8,63	9,25	8,89	8,76	8,89	9,02	8,79	9,10	8,37	8,46
190	8,78	8,91	8,90	8,93	8,91	9,74	9,39	9,02	9,35	9,46	9,27	9,59	8,86	8,88
195	9,28	9,39	9,35	9,31	9,35	10,22	9,77	9,64	9,81	9,93	9,70	10,02	9,30	9,35
200	9,69	9,80	9,72	9,67	9,83	10,64	10,24	10,11	10,20	10,34	10,09	10,45	9,69	9,78
205	10,17	10,41	10,12	10,26	10,32	11,24	10,85	10,14	10,69	10,85	10,65	10,97	10,18	10,27
210	10,93	10,89	10,76	10,84	10,85	11,63	11,27	11,14	11,23	11,44	11,20	11,56	10,81	10,89

Tabela 7 - Evolução de áreas do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos ao longo dos anos.

Incremento (m)	Área (m ²)													
	JAN/00	AGO/00	JUL/01	JUL/02	SET/03	JUL/04	SET/05	AGO/07	OUT/08	OUT/09	JUL/10	OUT/11	OUT/12	JUL/13
1	15,03	15,92	16,55	14,86	11,54	5,88	9,04	11,46	10,90	9,06	14,61	8,95	22,08	25,60
2	73,70	73,45	74,62	72,15	61,87	45,15	62,00	68,97	62,10	58,08	68,30	58,58	81,25	84,56
3	154,59	152,77	155,34	151,34	140,10	112,95	135,03	146,91	132,18	127,70	141,31	128,42	159,38	163,97
4	245,11	243,94	247,72	242,89	230,26	192,46	219,52	237,68	216,65	212,57	229,00	212,90	252,06	255,15
5	348,07	345,16	352,01	344,32	330,32	286,02	316,12	338,70	312,32	308,48	327,08	310,23	354,04	355,83
6	465,49	461,32	469,22	460,62	444,54	389,61	423,77	451,84	419,20	414,88	435,57	417,07	470,45	469,55
7	604,37	598,36	606,44	597,24	579,89	509,87	552,13	587,00	546,08	539,48	564,27	540,71	607,97	605,52
8	758,81	751,76	759,83	750,10	731,29	649,52	697,57	737,68	692,12	683,43	711,21	684,22	760,70	758,72
9	926,80	918,57	925,99	917,20	895,66	804,68	858,42	900,43	853,16	841,44	874,44	842,92	927,79	926,36
10	1108,10	1097,87	1105,14	1097,82	1075,15	974,36	1032,73	1077,26	1027,91	1014,20	1050,57	1015,23	1108,36	1107,53
11	1301,61	1289,24	1295,88	1290,28	1266,89	1156,63	1219,23	1266,05	1215,35	1200,14	1239,77	1200,68	1301,37	1300,86

Tabela 8 - Evolução do perímetro molhado do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos ao longo dos anos.

Incremento (m)	Perímetro molhado (m)													
	JAN/00	AGO/00	JUL/01	JUL/02	SET/03	JUL/04	SET/05	AGO/07	OUT/08	OUT/09	JUL/10	OUT/11	OUT/12	JUL/13
1	71,33	68,35	32,11	56,57	38,71	51,78	35,57	18,35	17,95	25,94	14,73	30,18	10,88	8,00
2	59,32	62,30	47,25	56,38	50,21	65,63	71,81	63,71	57,92	84,67	82,38	89,02	80,44	82,32
3	86,81	87,14	69,66	76,55	71,22	82,81	87,99	74,84	71,57	90,76	90,53	96,10	82,01	85,41
4	94,89	100,07	86,11	90,73	87,98	91,55	100,78	87,58	79,13	99,01	98,99	103,71	93,76	97,13
5	103,74	108,82	94,99	98,89	94,65	102,83	110,80	96,97	98,71	114,14	112,01	117,36	107,11	112,52
6	120,31	128,62	94,84	103,04	97,18	118,27	132,00	110,62	103,40	139,75	140,21	143,73	127,73	135,60
7	145,09	144,20	123,36	132,53	126,98	145,54	151,26	130,86	124,11	153,35	150,24	155,55	145,58	146,85
8	160,18	158,59	145,35	154,30	145,30	159,22	156,12	154,28	142,56	163,21	162,25	166,76	160,12	160,29
9	174,90	174,27	158,67	165,96	159,31	174,64	170,16	163,91	157,26	180,73	177,71	179,23	172,99	175,03
10	188,04	189,39	169,79	180,14	173,12	186,53	185,04	179,35	171,42	192,23	190,54	191,24	183,72	188,51
11	199,34	198,38	184,15	191,27	186,15	198,22	196,90	190,93	183,31	204,24	202,59	203,53	198,39	197,31

Tabela 9 - Evolução do raio hidráulico do perfil longitudinal da estação fluviométrica Sítio Patos ao longo dos anos.

Incremento (m)	Raio hidráulico (m)													
	JAN/00	AGO/00	JUL/01	JUL/02	SET/03	JUL/04	SET/05	AGO/07	OUT/08	OUT/09	JUL/10	OUT/11	OUT/12	JUL/13
1	0,21	0,23	0,52	0,26	0,30	0,11	0,25	0,62	0,61	0,35	0,99	0,30	2,03	3,20
2	1,24	1,18	1,58	1,28	1,23	0,69	0,86	1,08	1,07	0,69	0,83	0,66	1,01	1,03
3	1,78	1,75	2,23	1,98	1,97	1,36	1,53	1,96	1,85	1,41	1,56	1,34	1,94	1,92
4	2,58	2,44	2,88	2,68	2,62	2,10	2,18	2,71	2,74	2,15	2,31	2,05	2,69	2,63
5	3,36	3,17	3,71	3,48	3,49	2,78	2,85	3,49	3,16	2,70	2,92	2,64	3,31	3,16
6	3,87	3,59	4,95	4,47	4,57	3,29	3,21	4,08	4,05	2,97	3,11	2,90	3,68	3,46
7	4,17	4,15	4,92	4,51	4,57	3,50	3,65	4,49	4,40	3,52	3,76	3,48	4,18	4,12
8	4,74	4,74	5,23	4,86	5,03	4,08	4,47	4,78	4,85	4,19	4,38	4,10	4,75	4,73
9	5,30	5,27	5,84	5,53	5,62	4,61	5,04	5,49	5,43	4,66	4,92	4,70	5,36	5,29
10	5,89	5,80	6,51	6,09	6,21	5,22	5,58	6,01	6,00	5,28	5,51	5,31	6,03	5,88
11	6,53	6,50	7,04	6,75	6,81	5,84	6,19	6,63	6,63	5,88	6,12	5,90	6,56	6,59

Tabela 10 - Teste "T" de Student para o perfil longitudinal, sendo a amostra nas colunas e as referências nas linhas.

	JAN/00	AGO/00	JUL/01	JUL/02	SET/03	JUL/04	SET/05	AGO/07	OUT/08	OUT/09	JUL/10	OUT/11	OUT/12
JAN/00	-	0,1045	0,0212	0,1108	0,3155	1,2783	0,7225	0,3157	0,7943	0,9100	0,5613	0,9014	0,0473
AGO/00	-0,1054	-	-0,0830	0,0064	0,2109	1,1775	0,6208	0,2135	0,6926	0,8094	0,4596	0,8009	-0,0552
JUL/01	-0,0215	0,0832	-	0,0896	0,2942	1,2578	0,7018	0,2948	0,7735	0,8895	0,5406	0,8809	0,0264
JUL/02	-0,1118	-0,0064	-0,0894	-	0,2044	1,1712	0,6146	0,2072	0,6863	0,8032	0,4534	0,7947	-0,0615
SET/03	-0,3177	-0,2106	-0,2931	-0,2040	-	0,9742	0,4160	0,0075	0,4875	0,6067	0,2547	0,5983	-0,2617
JUL/04	-1,3351	-1,2197	-1,2998	-1,2124	-1,0105	-	-0,5657	-0,9796	-0,4950	-0,3649	-0,7276	-0,3722	-1,2513
SET/05	-0,7488	-0,6382	-0,7196	-0,6313	-0,4282	0,5614	-	-0,4108	0,0712	0,1950	-0,1616	0,1871	-0,6810
AGO/07	-0,3254	-0,2182	-0,3007	-0,2116	-0,0076	0,9668	0,4085	-	0,4801	0,5993	0,2472	0,5910	-0,2692
OUT/08	-0,8225	-0,7113	-0,7926	-0,7044	-0,5014	0,4908	-0,0712	-0,4823	-	0,1246	-0,2327	0,1167	-0,7528
OUT/09	-0,9530	-0,8407	-0,9217	-0,8337	-0,6310	0,3658	-0,1970	-0,6089	-0,1260	-	-0,3587	-0,0077	-0,8797
JUL/10	-0,5815	-0,4722	-0,5541	-0,4654	-0,2620	0,7216	0,1615	-0,2484	0,2328	0,3548	-	0,3467	-0,5183
OUT/11	-0,9449	-0,8327	-0,9137	-0,8257	-0,6229	0,3736	-0,1892	-0,6011	-0,1182	0,0077	-0,3509	-	-0,8718
OUT/12	-0,0486	0,0563	-0,0269	0,0626	0,2672	1,2318	0,6756	0,2685	0,7473	0,8636	0,5144	0,8550	-

Máximo e mínimo em negrito (1,2783 e -1,3351); n = 42 e v (5%) = 2,9655.

Tabela 11 - Teste "T" de Student para a área do perfil longitudinal, sendo a amostra nas colunas e as referências nas linhas.

	JAN/00	AGO/00	JUL/01	JUL/02	SET/03	JUL/04	SET/05	AGO/07	OUT/08	OUT/09	JUL/10	OUT/11	OUT/12
JAN/00	-	-0,0375	0,0049	-0,0442	-0,1667	-0,6781	-0,3528	-0,1270	-0,3822	-0,4454	-0,2531	-0,4374	0,0307
AGO/00	0,0371	-	0,0423	-0,0067	-0,1287	-0,6367	-0,3133	-0,0889	-0,3425	-0,4053	-0,2140	-0,3973	0,0680
JUL/01	-0,0049	-0,0425	-	-0,0491	-0,1717	-0,6836	-0,3581	-0,1320	-0,3874	-0,4507	-0,2582	-0,4427	0,0257
JUL/02	0,0438	0,0067	0,0489	-	-0,1220	-0,6293	-0,3062	-0,0820	-0,3354	-0,3981	-0,2070	-0,3901	0,0747
SET/03	0,1631	0,1272	0,1688	0,1203	-	-0,4965	-0,1793	0,0403	-0,2080	-0,2693	-0,0816	-0,2613	0,1948
JUL/04	0,6090	0,5775	0,6170	0,5702	0,4559	-	0,2952	0,4978	0,2685	0,2123	0,3874	0,2201	0,6435
SET/05	0,3315	0,2973	0,3381	0,2903	0,1723	-0,3089	-	0,2132	-0,0280	-0,0873	0,0956	-0,0794	0,3643
AGO/07	0,1237	0,0875	0,1293	0,0807	-0,0402	-0,5403	-0,2211	-	-0,2500	-0,3118	-0,1229	-0,3038	0,1552
OUT/08	0,3577	0,3238	0,3644	0,3167	0,1990	-0,2798	0,0278	0,2400	-	-0,0591	0,1231	-0,0512	0,3907
OUT/09	0,4124	0,3790	0,4194	0,3718	0,2549	-0,2189	0,0860	0,2961	0,0584	-	0,1806	0,0079	0,4457
JUL/10	0,2406	0,2055	0,2468	0,1986	0,0793	-0,4102	-0,0968	0,1199	-0,1251	-0,1855	-	-0,1776	0,2728
OUT/11	0,4051	0,3716	0,4121	0,3645	0,2475	-0,2270	0,0783	0,2887	0,0506	-0,0079	0,1730	-	0,4384
OUT/12	-0,0305	-0,0683	-0,0257	-0,0749	-0,1979	-0,7120	-0,3853	-0,1582	-0,4148	-0,4783	-0,2851	-0,4703	-

Máximo e mínimo em negrito (0,6522 e -0,7184); n = 11 e v (5%) = 3,5814.

Tabela 12 - Teste "T" de Student para o perímetro molhado do perfil longitudinal, sendo a amostra nas colunas e as referência nas linhas.

	JAN/00	AGO/00	JUL/01	JUL/02	SET/03	JUL/04	SET/05	AGO/07	OUT/08	OUT/09	JUL/10	OUT/11	OUT/12
JAN/00	-	0,1023	-1,1797	-0,6048	-1,0494	-0,1607	-0,0331	-0,7452	-1,1532	0,2454	0,0984	0,4187	-0,2235
AGO/00	-0,1004	-	-1,2763	-0,7051	-1,1474	-0,2572	-0,1297	-0,8362	-1,2481	0,1553	0,0110	0,3252	-0,3112
JUL/01	1,2272	1,3522	-	0,6202	0,1486	1,0191	1,1483	0,3660	0,0062	1,3464	1,1663	1,5611	0,8481
JUL/02	0,6059	0,7194	-0,5973	-	-0,4579	0,4218	0,5502	-0,1966	-0,5808	0,7890	0,6257	0,9827	0,3056
SET/03	1,0750	1,1972	-0,1463	0,4683	-	0,8728	1,0018	0,2282	-0,1375	1,2098	1,0338	1,4194	0,7152
JUL/04	0,1672	0,2725	-1,0190	-0,4380	-0,8862	-	0,1279	-0,5939	-0,9953	0,3953	0,2439	0,5743	-0,0775
SET/05	0,0343	0,1373	-1,1467	-0,5705	-1,0159	-0,1277	-	-0,7141	-1,1208	0,2762	0,1283	0,4506	-0,1935
AGO/07	0,8230	0,9405	-0,3886	0,2167	-0,2460	0,6305	0,7592	-	-0,3757	0,9837	0,8145	1,1848	0,4951
OUT/08	1,2206	1,3454	-0,0064	0,6136	0,1421	1,0127	1,1420	0,3600	-	1,3404	1,1605	1,5549	0,8423
OUT/09	-0,2735	-0,1763	-1,4426	-0,8778	-1,3163	-0,4236	-0,2963	-0,9929	-1,4116	-	-0,1395	0,1641	-0,4623
JUL/10	-0,1131	-0,0129	-1,2885	-0,7177	-1,1598	-0,2694	-0,1419	-0,8477	-1,2601	0,1439	-	0,3134	-0,3223
OUT/11	-0,4498	-0,3558	-1,6121	-1,0538	-1,4884	-0,5931	-0,4660	-1,1525	-1,5781	-0,1581	-0,2929	-	-0,6162
OUT/12	0,2560	0,3630	-0,9337	-0,3493	-0,7995	0,0854	0,2134	-0,5134	-0,9114	0,4750	0,3212	0,6569	-

Máximo e mínimo em negrito (1,5611 e -1,6121); n = 11 e v (5%) = 3,5814.

Tabela 13 - Teste "T" de Student para o do raio hidráulico, sendo a amostra nas colunas e as referência nas linhas.

	JAN/00	AGO/00	JUL/01	JUL/02	SET/03	JUL/04	SET/05	AGO/07	OUT/08	OUT/09	JUL/10	OUT/11	OUT/12
JAN/00	-	-0,1283	0,8174	0,3242	0,3932	-0,9895	-0,5942	0,2575	0,1696	-0,9697	-0,5439	-1,0181	0,3166
AGO/00	0,1281	0,0000	0,9386	0,4481	0,5143	-0,8513	-0,4628	0,3863	0,2976	-0,8302	-0,4020	-0,8807	0,4597
JUL/01	-0,8631	-0,9930	-	-0,5112	-0,4232	-1,9206	-1,4796	-0,6110	-0,6931	-1,9104	-1,5002	-1,9437	-0,6475
JUL/02	-0,3349	-0,4638	0,5002	-	0,0764	-1,3508	-0,9377	-0,0795	-0,1652	-1,3348	-0,9150	-1,3772	-0,0575
SET/03	-0,4157	-0,5447	0,4237	-0,0782	-	-1,4379	-1,0206	-0,1608	-0,2459	-1,4228	-1,0044	-1,4638	-0,1477
JUL/04	0,9172	0,7906	1,6860	1,2119	1,2607	-	0,3467	1,1804	1,0863	0,0299	0,4723	-0,0345	1,3411
SET/05	0,5792	0,4520	1,3659	0,8848	0,9410	-0,3646	-	0,8403	0,7485	-0,3385	0,0978	-0,3970	0,9636
AGO/07	-0,2559	-0,3847	0,5750	0,0765	0,1511	-1,2655	-0,8566	-	-0,0862	-1,2486	-0,8274	-1,2925	0,0308
OUT/08	-0,1697	-0,2983	0,6567	0,1599	0,2327	-1,1725	-0,7682	0,0867	-	-1,1547	-0,7319	-1,2000	0,1271
OUT/09	0,8897	0,7631	1,6600	1,1853	1,2348	-0,0296	0,3186	1,1528	1,0589	-	0,4418	-0,0639	1,3104
JUL/10	0,4909	0,3635	1,2823	0,7993	0,8575	-0,4599	-0,0905	0,7515	0,6603	-0,4347	-	-0,4916	0,8650
OUT/11	0,9493	0,8228	1,7164	1,2431	1,2912	0,0347	0,3797	1,2128	1,1185	0,0650	0,5079	-	1,3770
OUT/12	-0,2834	-0,4123	0,5489	0,0498	0,1251	-1,2953	-0,8849	-0,0277	-0,1137	-1,2787	-0,8579	-1,3220	-

Máximo e mínimo em negrito (1,7164 e -1,9437); $n = 11$ e $v(5\%) = 3,5814$.

4.1.2 Enchentes

As Figuras 17 e 18 expõem graficamente as equações que relacionam largura e altura da lâmina d'água para cada um dos 14 levantamentos topográficos da estação fluviométrica Sítio Patos entre os anos de 2000 e 2013.

Figura 17. Relação entre largura e altura da lâmina d'água para a estação fluviométrica Sítio Patos, A: Janeiro de 2000, B: Agosto de 2000, C: 2001, D: 2002, E: 2003, F: 2004, G: 2005

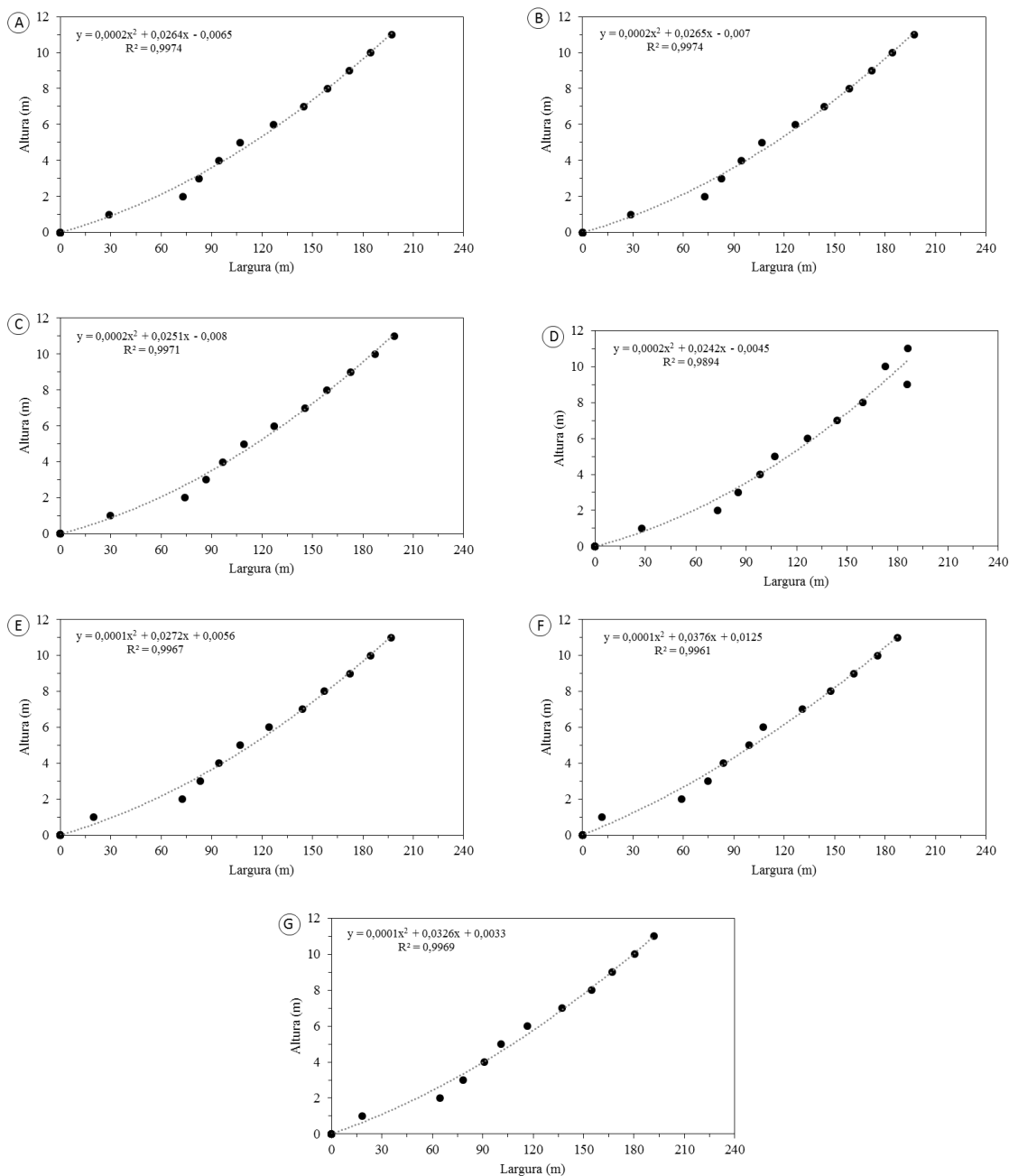
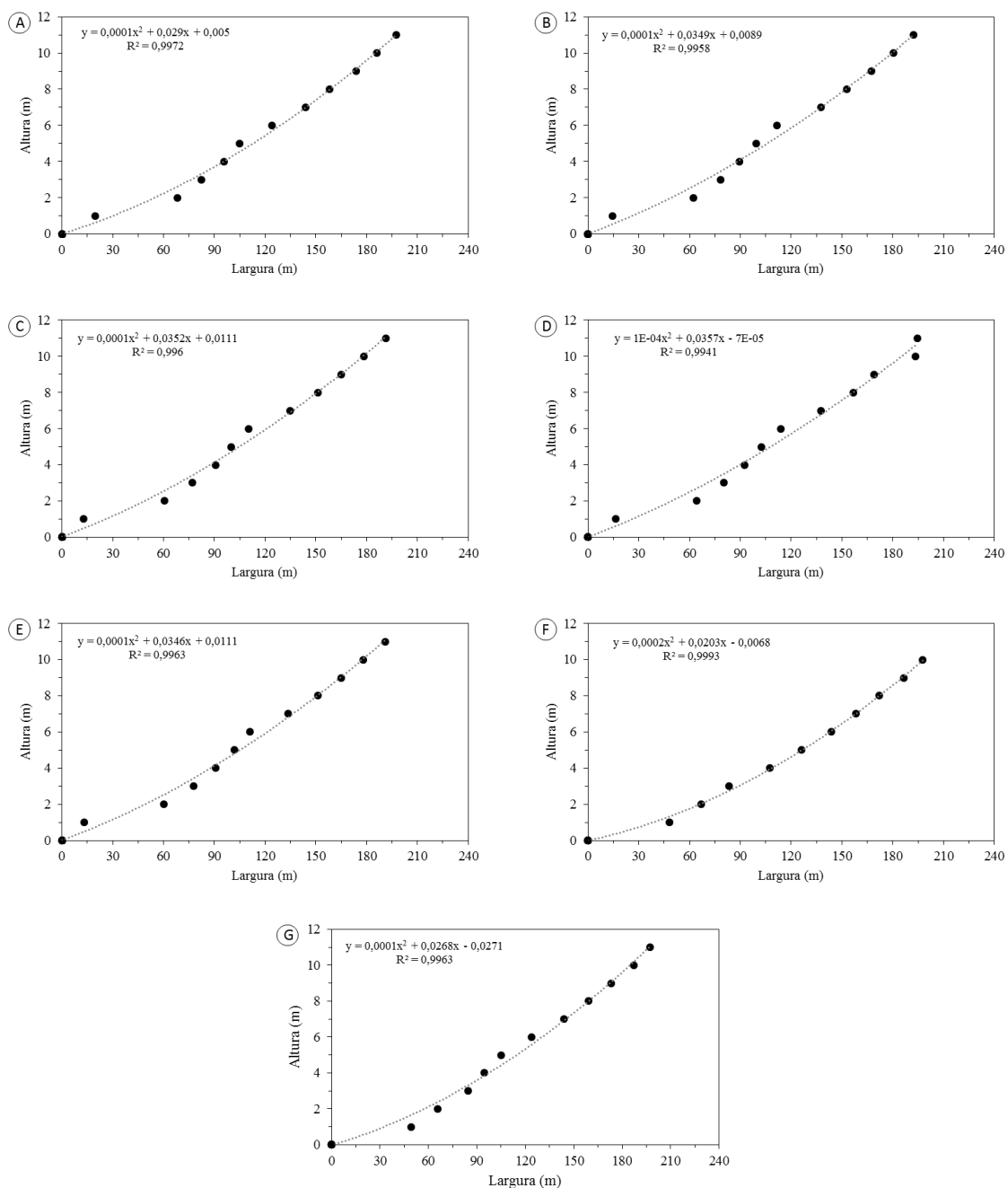


Figura 18 – Relação entre largura e altura da lâmina d'água para a estação fluviométrica Sítio Patos, A: 2007, B: 2008, C: 2009, D: 2010, E: 2011, F: 2012, G: 2013



As equações apresentaram um bom ajuste com um coeficiente de correlação (R^2) sempre com um valor superior a 0,994 (Tabela 14) com exceção do levantamento do ano de 2002 no qual a equação obteve um coeficiente de correlação de 0,989.

Tabela 14 – Equações das relações entre largura (y) e altura da lâmina d'água (x) para a estação fluviométrica Sítio Patos.

Ano	Equação	R ²
2000	$y = 0,0002x^2 + 0,0264x - 0,006$	0,997
2000	$y = 0,0002x^2 + 0,0265x - 0,007$	0,997
2001	$y = 0,0002x^2 + 0,0251x - 0,008$	0,997
2002	$y = 0,0002x^2 + 0,0242x - 0,004$	0,989
2003	$y = 0,0001x^2 + 0,0272x + 0,005$	0,997
2004	$y = 0,0001x^2 + 0,0376x + 0,012$	0,996
2005	$y = 0,0001x^2 + 0,0326x + 0,003$	0,997
2007	$y = 0,0001x^2 + 0,0290x + 0,005$	0,997
2008	$y = 0,0001x^2 + 0,0349x + 0,008$	0,996
2009	$y = 0,0001x^2 + 0,0352x + 0,011$	0,996
2010	$y = 0,0001x^2 + 0,0357x - 0,000$	0,994
2011	$y = 0,0001x^2 + 0,0346x + 0,011$	0,996
2012	$y = 0,0002x^2 + 0,0203x - 0,006$	0,999
2013	$y = 0,0001x^2 + 0,0268x - 0,027$	0,996

As medidas de largura do rio foram obtidas via sensoriamento remoto (Figura 19) e inseridas nas equações obtendo a altura corresponde, como exposta na Tabela 15 e Figura 20. Os valores de altura estimados via sensoriamento remoto (utilizando as equações de relacionavam largura e altura) mostraram boa aproximação com relação às alturas medidas pela CPRM. A diferença média entre as alturas estimadas pelos dois métodos foi de aproximadamente 26%. A data de maior discrepância na estimativa foi em 28 de agosto de 2004, quando a diferença entre a altura estimada pela régua linimétrica e pelo sensoriamento remoto foi de 40%. Em seguida, em 27 de março de 2008, a diferença foi de 38%. A data em que se observou menor diferença entre as alturas estimadas via sensoriamento e via régua linimétrica (medida pela CPRM) foi em 13 de julho de 2000, quando a diferença foi de apenas 2,3%.

Figura 19 - Recorte das cenas das imagens CBERS-2 e LANDSAT-5 para uma área próxima a estação fluviométrica Sítio Patos, A: 13/07/2000, B: 28/03/2004, C: 19/04/2004, D: 12/06/2006, E: 27/03/2007, F: 16/05/2008, G: 19/05/2009 e I: 07/04/2011.

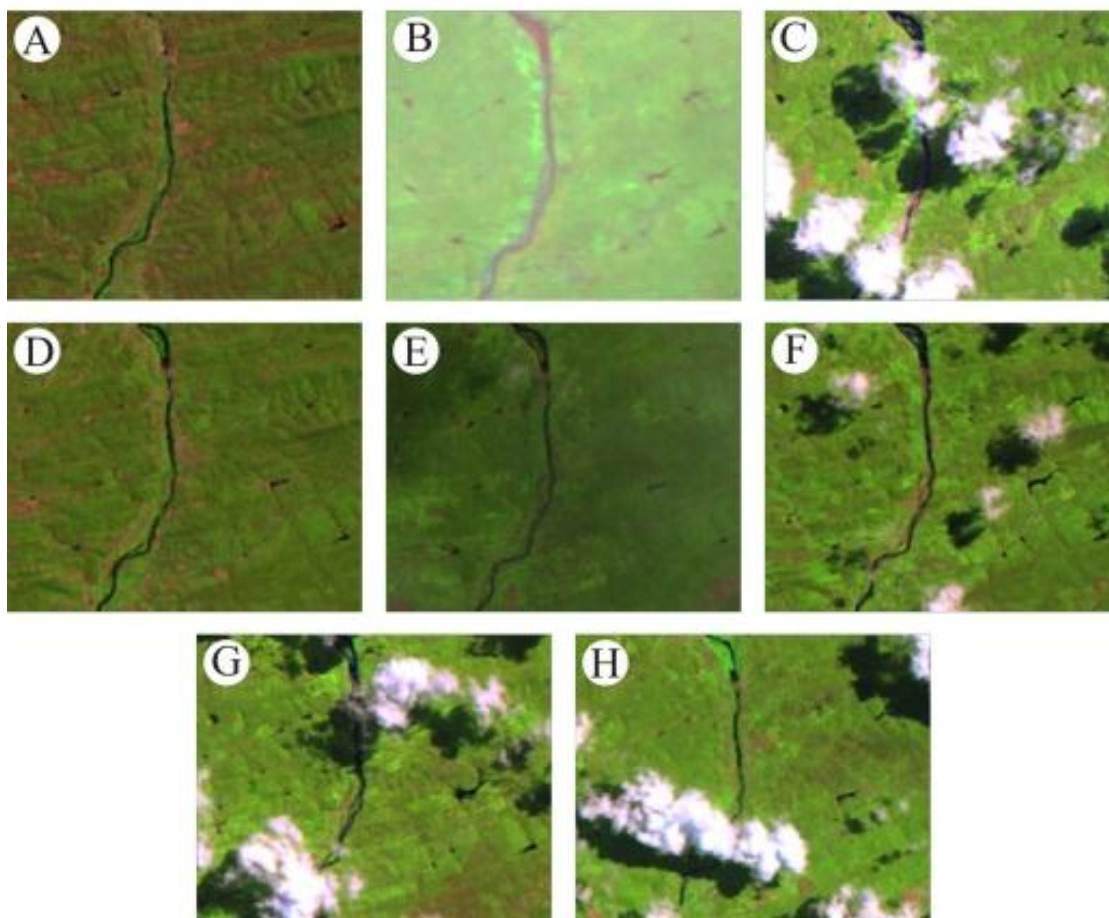
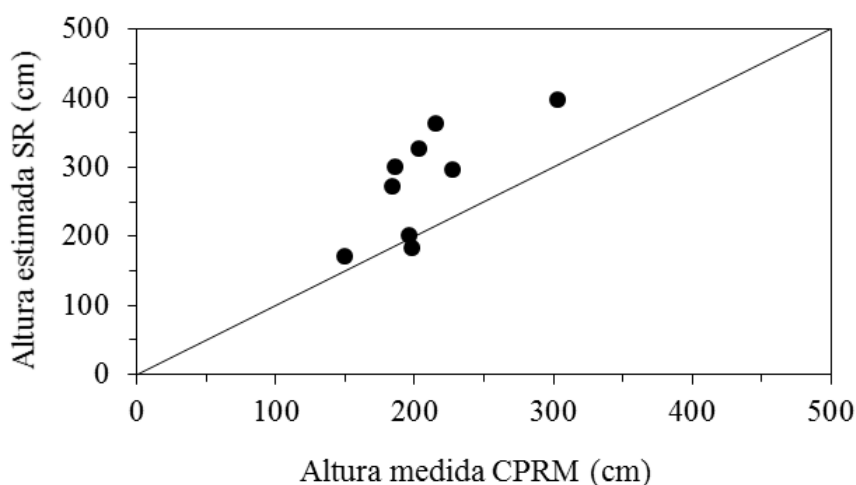


Tabela 15 – Largura da superfície d'água, estimada por sensoriamento remoto, na estação fluviométrica Sítio Patos, versus altura da lâmina d'água estimada pelas relações topográficas (ver Figuras 19) e medida pela CPRM

Data	Largura (m)	Altura (cm)	
		Estimada	Medida
13/07/2000	54,0	200,7	196,0
28/03/2004	80,0	363,6	215,0
19/04/2004	73,0	326,5	203,0
12/06/2006	75,0	273,3	184,0
27/03/2007	81,0	300,0	186,0
16/05/2008	71,0	297,3	227,0
19/05/2009	90,0	396,7	303,0
07/04/2011	46,0	184,27	198,00

Figura 20 – Comparativo entre as alturas da lâmina d'água, no Posto Sítio Patos, estimadas através de sensoriamento remoto e através de réguas linimétricas, como medida pela CPRM



Os valores de nível d'água estimados pelos dois métodos apresentam discrepâncias da ordem de zero a 100% (Figura 20). Essa distância pode estar associada tanto à baixa resolução dos satélites utilizados no estudo (20 metros para o CBRES e 30 metros no LANDSAT), quanto às imprecisões das medidas baseadas em réguas linimétricas, conforme alerta Bárdossy (2013).

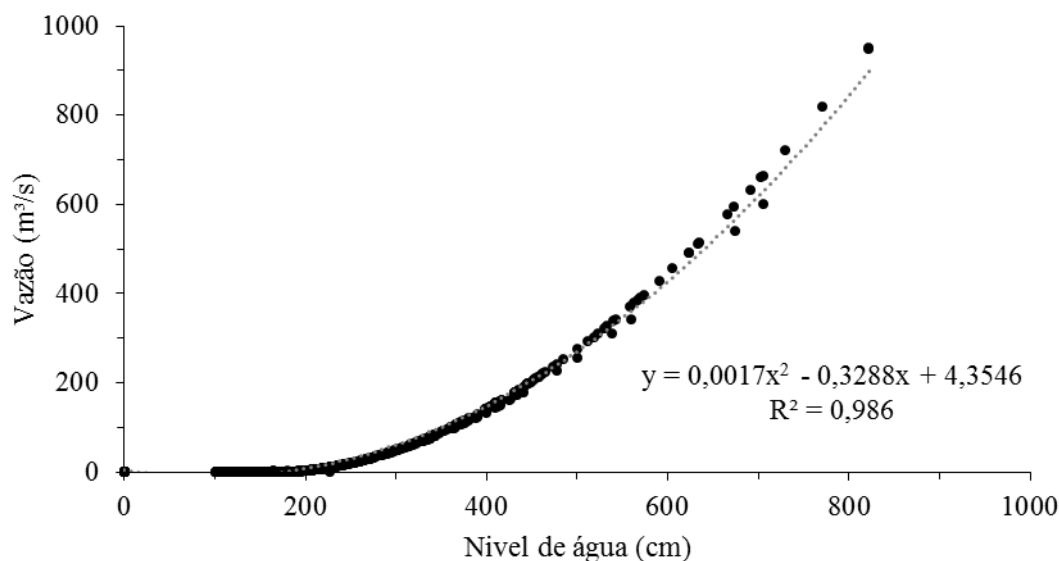
As leituras das réguas linimétricas podem estar associadas a uma série de erros, alguns relacionados com a imperícia ou negligência do observador, ou instalações defeituosas, assim como dificuldade de acesso ao local da régua, em ocasião de cheia, quando há impacto de sobrenadantes contra a régua e oscilações de ondas da ordem de dezenas de centímetros (SANTOS *et al.*, 2001; BÁRDOSSY, 2013).

Na curva chave da estação fluviométrica Sítio Patos (Figura 21), os valores mínimos e máximos de cota variam entre 0 e 822 cm e de vazão entre 0 e 951 m³.s⁻¹. A curva-chave (Equação 9) apresenta-se na forma de polinômio de grau dois com coeficiente de determinação próximo à unidade (R² = 0,98).

$$Q = 0,0017h^2 - 0,3288h + 4,3546 \quad (9)$$

Em que: Q é a vazão (m³.s⁻¹) e h é a altura da lamina d'água em cm.

Figura 21 – Curva chave cota vazão para a estação fluviométrica Sítio Patos (Obtida com os dados disponibilizados pela CPRM)



Wiegand (2009), trabalhando com a estação fluviométrica de Iguatu, também na Bacia do Alto Jaguaribe, analisou uma série de dados de 25 anos (1984-2008). Para isso usou a curva chave análoga à apresentada na Figura 20 que, segundo o autor, demonstra elevada robustez, principalmente se se considera que a mesma foi traçada com cerca de um século de dados (a partir de 1912). O efeito da grande quantidade de pequenos açudes a montante da estação fluviométrica tem resposta relativamente pequena sobre a parte superior da curva chave, posto que nas ocasiões de enchente os pequenos açudes vertem ('sangram') em profusão, não interferindo no padrão de escoamento dos grandes rios a jusante (MALVEIRA *et al.*, 2012; MAMEDE *et al.*, 2012; PETER *et al.*, 2014).

A Tabela 16 expõe os valores de vazões líquidas disponibilizados pela CPRM para estação fluviométrica Sítio Patos; estimativas via sensoriamento remoto para estação fluviométrica Sítio Patos; estimativa pelo balanço hídrico no Açude Orós e ainda os valores das vazões disponibilizadas pela CPRM e vazões estimadas via sensoriamento remoto (para estação fluviométrica Sítio Patos) multiplicadas pelo fator de área, como explicado anteriormente.

Inicialmente, ao se comparar os valores de vazão estimados via sensoriamento remoto e os dados de vazão disponibilizados pela CPRM, observou-se uma certa discrepância. Realizou-se o cálculo do balanço hídrico do Açude Orós a fim de comparar e analisar a confiabilidade do método de estimativa de vazão via sensoriamento remoto.

Tabela 16 – Vazões estimadas no Posto Sítio Patos, obtidas pelos métodos de balanço hídrico do Açude Orós; de sensoriamento remoto; e de régua linimétrica associada à curva chave (CPRM). As duas últimas colunas (SR-f e CPRM-f) apresentam os métodos de sensoriamento remoto e da CPRM multiplicados pelo fator de área (1,791). A última linha corresponde à análise pelo Teste “T” de Student.

Data	Vazão (m ³ /s)				
	Balanço (Orós)	Estim SR	CPRM	SR-f	CPRM-f
13/07/2000	6,16E+00	6,85E+00	2,12E+00	7,21E+00	2,23E+00
28/03/2004	1,01E+02	3,64E+02	6,40E+00	3,83E+02	6,73E+00
19/04/2004	8,91E+01	7,82E+01	3,50E+00	8,24E+01	3,69E+00
12/06/2006	5,52E+00	4,14E+01	4,33E-01	4,36E+01	4,56E-01
27/03/2007	2,33E+01	5,87E+01	6,21E-01	6,18E+01	6,54E-01
16/05/2008	1,77E+02	5,69E+01	1,02E+01	5,99E+01	1,07E+01
19/05/2009	4,33E+02	1,41E+02	5,15E+01	1,49E+02	5,42E+01
07/04/2011	2,83E+01	1,49E+00	2,48E+00	1,57E+00	2,61E+00
Média	1,08E+02	9,36E+01	9,65E+00	9,85E+01	1,02E+01
Difer. média	-	13,28%	91,06%	55,30%	83,99%
Teste "T"	-	-0,34	-16,16	-0,21	-15,27

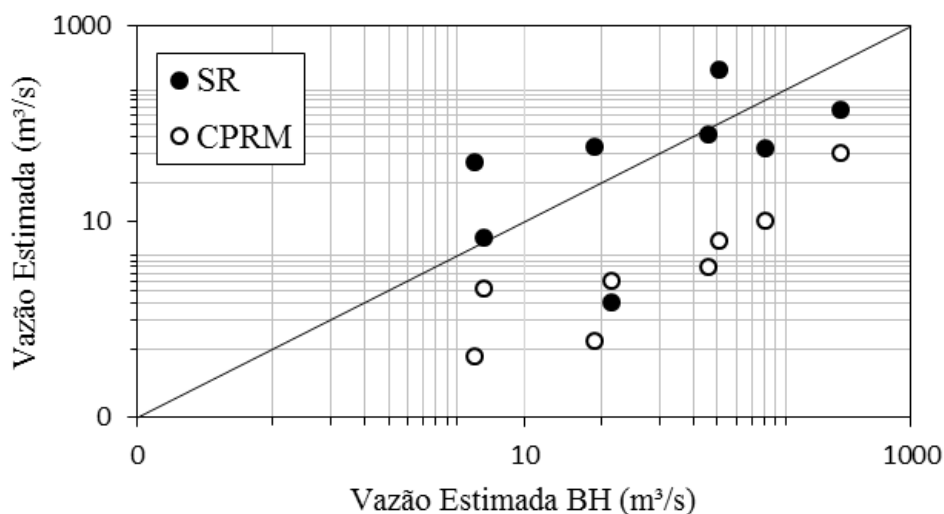
n = 8 e v (5%) = 4,029

Comparando-se apenas a vazão estimada via sensoriamento remoto com aquelas obtidas por CPRM (Tabela 16), observa-se uma tendência segundo a qual a vazão estimada via SR sempre superestima a vazão da CPRM, porém, com diferenças muito altas, acima de 800%.

Confrontando-se as estimativas de vazão via SR e da CPRM com a vazão afluente ao Açude Orós (através do balanço hídrico, Tabela 16), pode-se notar que a estimativa via SR apresenta uma diferença média de 13%, enquanto que a estimativa via dar éguas linimétricas (CPRM) resultam em uma diferença média de 91%. Com o auxílio do teste “T” de Student é possível perceber que existe diferença estatística entre os dados da CPRM e os dados do balanço, porém isso não se verifica com os dados estimados via SR.

Esses resultados podem demonstrar possíveis erros de medidas de vazão através das régua linimétricas na estação fluviométrica Sítio Patos. A Figura 22 expõe graficamente as comparações descritas no parágrafo acima, evidenciando-se maior aproximação dos pontos pretos (estimativa via SR) da reta identidade.

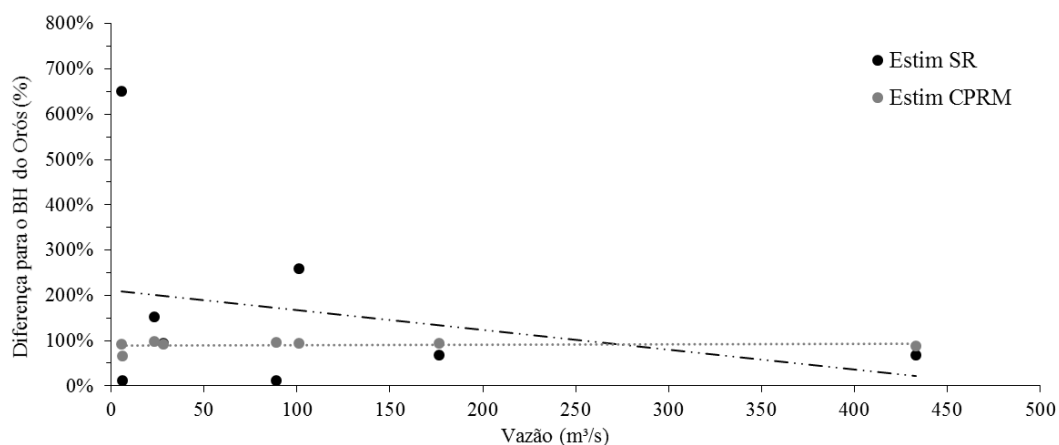
Figura 22 – Análise comparativa entre as vazões estimadas pelo balanço hídrico do Açude Orós com as vazões estimadas via sensoriameto remoto no Posto Sítio Patos (pontos pretos); e as vazões estimadas pela CPRM também para o Posto Sítio Patos.



Quando se comparam as vazões (CPRM-f e SR-f), que foram multiplicadas pelo fator de área, com as vazões afluentes ao Açude Orós por balanço hídrico, a diferença média entre as estimativas se eleva em relação àquelas que usaram dados não multiplicados pelo fator de área (Tabela 16).

Essa comparação é uma aproximação, dadas as muitas entradas a montante da seção (MALVEIRA *et al.*, 2012), assim como os muitos outros usos (Van OEL *et al.*, 2008). Essas variáveis são associadas a grandes incertezas e têm características variáveis no tempo: em certos períodos prevalecem as retiradas de água, em outros prevalecem os aportes.

Figura 23 – Diferença entre as vazões estimadas através do balanço hídrico do Açude Orós e as vazões estimadas via sensoriameto remoto no Sítio Patos; e as vazões estimadas pela CPRM.



Na Figura 23 demonstra-se graficamente a diferença, em porcentagem, entre os dados de vazão disponibilizados pela CPRM e dados de vazão estimadas via sensoriamento remoto, ambas comparadas com os dados de vazão obtidos junto ao balanço hídrico do Açude Orós. Como se pode observar nas linhas de tendências, a diferença da CPRM é praticamente constante, independentemente da grandeza das vazões. Já as vazões estimadas via SR tendem a diminuir a diferença com a elevação dos valores de vazão. Esse comportamento pode estar associado à resolução espacial dos satélites utilizados nesse estudo, enquanto que em eventos de maior magnitude o rio apresenta maior largura, sendo de melhor identificação na imagem.

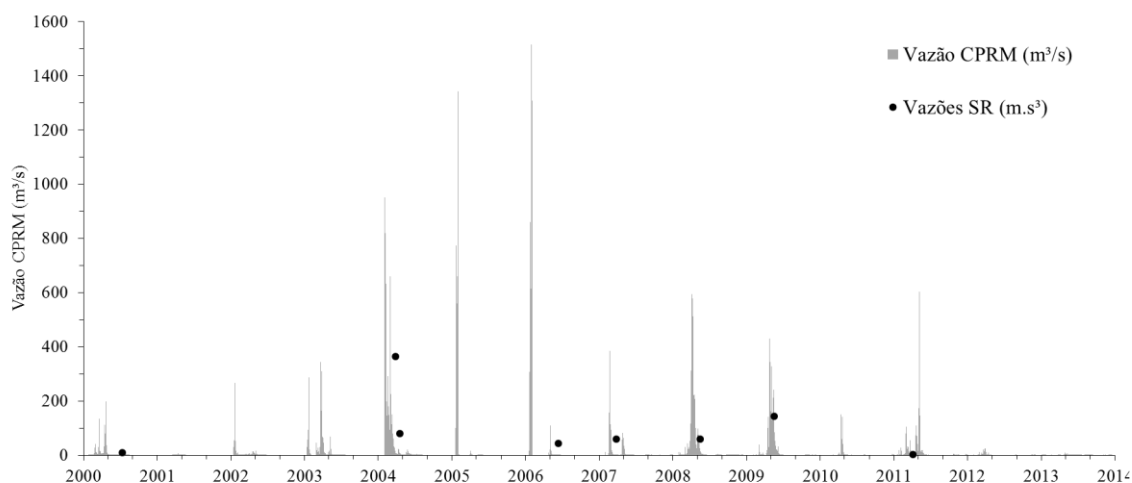
Yilmaz *et al.* (2010), avaliando um sistema de monitoramento de dilúvio global (GFMS - Global Flood Monitoring System), utilizou dados de sensoriamento remoto em duas bacias nos Estados Unidos. Segundo os autores, o método foi eficiente na estimativa dos eventos causados pelas fortes chuvas, no entanto, o desempenho da simulação foi ruim nas fases posteriores, quando as vazões são menores.

Enchentes são geralmente eventos bruscos que ocorrem em curtos períodos de tempo, dificultando as análises desses eventos com o uso de sensores como o LANDSAT ou o CBRES devido as suas órbitas de recorrência serem relativamente demoradas (resolução temporal de 16 e 26 dias respectivamente).

Sheng *et al.* (2001) detectaram questões críticas ao se monitorar eventos hidrológicos com o uso do sensoriamento remoto. A correta identificação dos corpos hídricos e a cobertura de nuvens sobre os pontos visados estão entre os problemas pois, para algumas imagens, muito dificulta ou mesmo impossibilita uma estimativa confiável.

A Figura 24 expõe os hidrogramas (vazão versus tempo entre os anos de 2000 e 2013), de modo comparativo, entre os valores estimados pela CPRM e via sensoriamento remoto para a estação fluviométrica de Sítio Patos.

Figura 24 – Hidrograma para o período entre 2000 e 2013 disponibilizadas pela CPRM na estação fluviométrica Sítio Patos e vazões estimadas via sensoriamento remoto.



4.2 Avaliação de secas

Os valores de área e volume do reservatório Orós obtidos através do sensoriamento remoto, bem com os valores de área e volume disponibilizados pelo DNOCS estão expostos na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores de área e volume obtidos via sensoriamento remoto e dados de área e volume provindos do DNOCS para o Açude Orós.

Data	Cota SR (m)	Cota DNOCS (m)	Área SR (km²)	Área DNOCS (km²)	Volume SR (hm³)	Volume DNOCS (hm³)
12/09/87	197,8	198,7	178,31	188,29	1,82	1,79
24/08/92	194,7	195,2	122,28	133,90	1,11	1,22
14/08/94	187,2	187,8	48,55	62,12	0,37	0,51
01/08/95	192,4	194,1	92,41	119,98	0,78	1,07
12/08/99	191,1	191,8	79,30	95,48	0,65	0,82
01/08/01	188,2	187,8	54,95	61,98	0,42	0,51
21/08/03	188,1	188,7	54,24	68,79	0,42	0,57
15/10/05	196,0	196,1	144,09	145,91	1,37	1,34
03/09/07	195,6	196,4	137,46	151,23	1,29	1,40

Quando se comparam as cotas estimadas via sensoriamento remoto e as cotas disponibilizadas pelo DNOCS (Tabela 17), não se nota diferença significativa, sendo a média de apenas 0,3%.

Comparando-se as áreas do Açude Orós medidas com sensoriamento remoto com as áreas disponibilizadas pelo DNOCS (Tabela 17), observa-se uma diferença média de aproximadamente de 11% entre as grandezas. A maior diferença observada

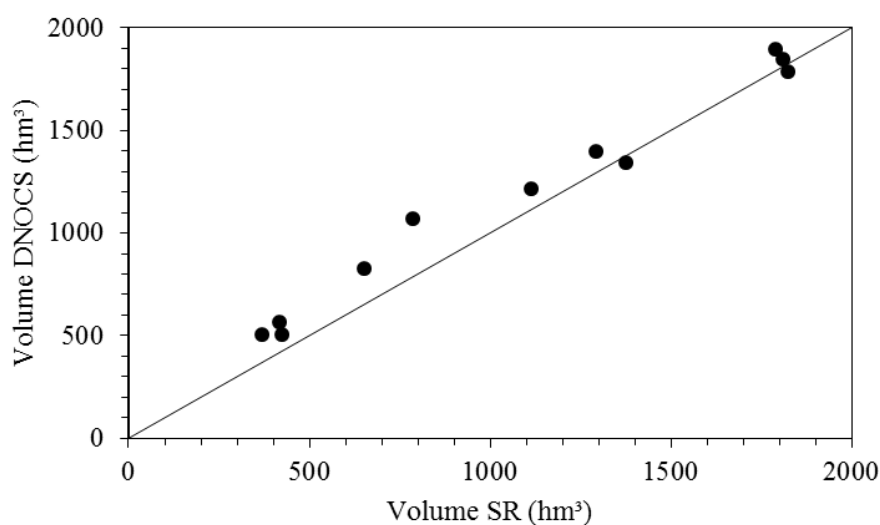
ocorreu na data de 14 de agosto de 1994 e a segunda maior diferença ocorreu em 01 de agosto de 1995.

Quando se compara o volume do reservatório obtido via sensoriamento remoto com os dados de volume disponibilizados pela DNOCS, verifica-se uma diferença de cerca de 9%. Ocorreu o inverso nas análises de área. A maior diferença foi para a data de 01 de agosto de 1995 e a segunda maior diferença para a data de 14 de agosto de 1994.

Um dos grandes entraves para se trabalhar com sensoriamento remoto no monitoramento de reservatórios é a presença de macrófitas, que podem causar diferença na área medida via sensoriamento para a real área do reservatório, uma vez que as o classificador de imagens pode considerar as macrófitas como vegetação externa ao lago, não contribuindo para a medida de área coberta por água e sim por solo (CEARÁ, 2011; MESQUITA *et al.*, 2013). Nesse estudo, a diferença entre área do Açude Orós medida via sensoriamento remoto e os dados de área disponibilizados pela DNOCS foi relativamente pequena, possivelmente devido à pequena quantidade de macrófitas quando comparadas ao tamanho do reservatório (LOPES, 2013).

O comparativo entre os volume do reservatório via sensoriamento remoto com os dados disponibilizados pelo DNOCS está ilustrado na Figura 25. Como já comentado, verifica-se que não houveram difereças significativas.

Figura 25 – Comparativo entre volume do Açude Orós obitdo via sensoriamento remoto e como disponibilizado pelo DNOCS.



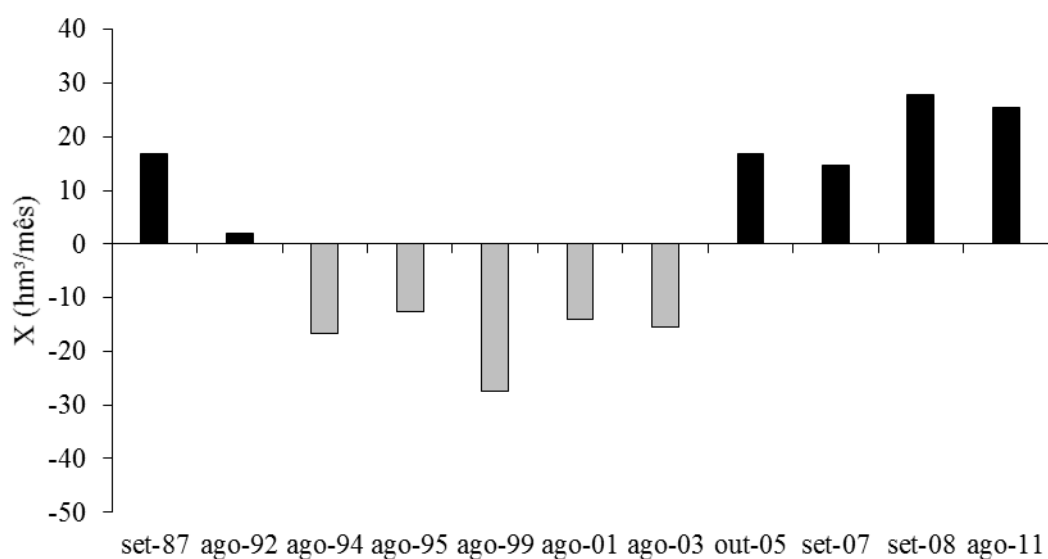
A Tabela 18 expõe os principais parâmetros utilizados no cálculo da variável hidrologia de seca “X”, bem como os valores de “X” para as datas analisadas nesse estudo.

Tabela 18– Principais parâmetros de avaliação da seca hidrológica no Açude Orós.

Data	Qr (m ³ /s)	δ	η	Vo (hm ³)	N	τ	Qo (hm ³ /mês)	Qd (hm ³ /mês)	X (hm ³ /mês)
12/09/1987	0			1.824			46,3	29,5	16,8
24/08/1992	0,6			1.112			28,8	26,8	2,0
14/08/1994	0,9			368			10,2	26,8	-16,6
01/08/1995	1,1			784			21,0	33,7	-12,7
12/08/1999	0	1,0	0,17	652	10,0	0,67	16,5	44,1	-27,5
01/08/2001	1,1			424			11,9	25,9	-14,1
21/08/2003	0,7			417			11,3	26,8	-15,5
15/10/2005	0			1.374			34,9	18,1	16,7
03/09/2007	0			1.293			32,8	18,1	14,7
21/09/2008	0			1.809			45,9	18,1	27,8

Avaliando-se a variável hidrológica de seca para as datas em estudo, constataram-se valores negativos para as datas de 14/08/1994, 01/08/1995, 12/08/1999, 1/08/2001 e 21/08/2003 (Tabela 18 e Figura 26). Nessas datas consideram-se meses de seca, e a severidade calculada foi de 16,6 hm³ para agosto de 1994; 12,7 hm³ em agosto de 1995; 27,5 hm³ em agosto de 1999; 14,1 hm³ em agosto de 2001; e 15,5 hm³ em agosto de 2003. O mês de seca mais severa foi o de agosto de 1999, e agosto de 1995 foi o mês cuja seca foi considerada menos severa, entre os meses analisados.

Figura 26 – Variação da variável hidrológica de seca.



Procurando-se analisar a eficiência do uso do sensoriamento remoto na avaliação de secas, calculou-se o valor da variável hidrológica X, nos mesmos meses, com o volume estimado pelo DNOCS através de medidas linimétricas e das curvas cota-área-volume. Ao final foram feitas comparações entre os dois resultados. Essa comparação está exposta na Tabela 19 e Figura 27.

Tabela 19 – Variável hidrológica de seca “X” utilizando volume estimado via sensoriamento remoto e utilizando dados de volume do DNOCS.

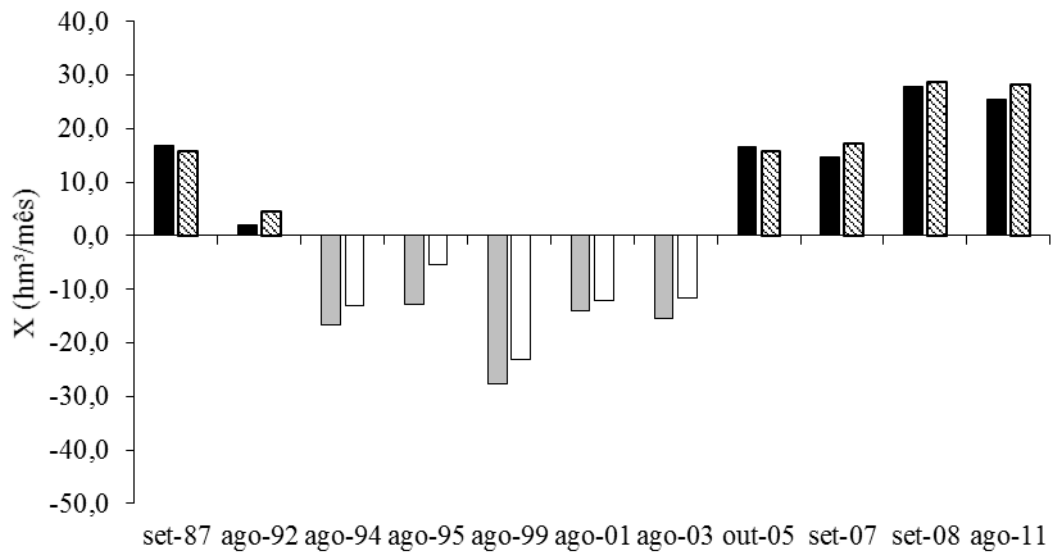
Data	X (hm ³ /mês)	
	SR	DNOCS
12/09/1987	16,77	15,86
24/08/1992	2,00	4,65
14/08/1994	-16,59	-13,06
01/08/1995	-12,69	-5,37
12/08/1999	-27,52	-23,13
01/08/2001	-14,07	-11,98
21/08/2003	-15,53	-11,69
15/10/2005	16,73	15,91
03/09/2007	14,66	17,32
21/09/2008	27,77	28,73
12/09/1987	25,42	28,14

Quando se comparam os valores da variável hidrológica de seca X, calculada via sensoriamento remoto e pelo DNOCS, não se observa diferença significativa, encontrando-se valores pouco discrepantes, com diferença média de 25%. Os valores mais distanciados ocorreram no mês de agosto de 1995, quando a diferença foi de 58%. Observe-se também que houve elevado nível de acerto nos meses em que a variável “X” foi positiva, com diferença média de apenas 7%. A Figura 27 (assim como a Tabela 19) também demonstra integral concordância entre os dois métodos a respeito de qual mês é seco e qual não é. Esse resultado demonstra a grande aplicabilidade das técnicas de sensoriamento remoto à análise de secas, pelo menos em grandes sistemas (como o do Açude Orós), desde que não cobertos de modo considerável por macrófitas.

Por fim, deve-se mencionar que a vazão do rio Jaguaribe, nas datas de análise (Tabela 19) era muito próxima de zero, não tendo sido necessário estimá-las. Entretanto, caso se deseje utilizar o SR para um monitoramento contínuo da variável de seca “X”, far-se-á necessário considerar a vazão de aporte ao sistema hídrico (variável Q_R na Equação 3). Nesse caso, como analisado no item ‘Enchentes’, ficou demonstrado que a técnica de sensoriamento remoto se presta adequadamente à estimativa das vazões dos rios. Portanto, o SR será capaz de estimar tanto o volume efetivamente acumulado

no início de cada mês quanto a vazão de aporte nas datas em que imagens estejam disponíveis. Assim, com essas duas variáveis, é possível analisar a ocorrência e/ou a severidade de secas pelo método proposto por Araújo & Bronstert (Submetido).

Figura 27 – Variável hidrológica de seca “X” utilizando volume estimado via sensoriamento remoto e utilizando réguas linimétricas associadas à curva cota-volume segundo o DNOCS.



5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa aqui dissertada permite gerar as seguintes conclusões. A metodologia de estimativa de vazão via sensoriamento remoto (SR) mostrou ser vantajosa e rápida além de confiável. Isso abre uma grande possibilidade de monitoramento de eventos extremos através de medidas rápidas, baratas e seguras das larguras das seções, em substituição às medidas clássicas de nível d'água feitas com o uso de réguas linimétricas. Os erros encontrados na estimativa de vazões pelo método de SR no âmbito da presente pesquisa são medianos, devendo estar intimamente relacionado com a resolução das imagens. Foi possível demonstrar que tal erro decresce à medida que as vazões aumentam, o que confere ainda maior potencialidade do método para monitoramento de enchentes.

A análise das relações da geometria hidráulica da seção transversal da estação fluviométrica Sítio Patos mostra variações interanuais, porém essas variações são de características cíclicas.

A metodologia utilizada para avaliação de seca mescla dados medidos diretamente com dados de sensoriamento remoto, tendo apresentado boa aplicabilidade. Não houve diferença entre as estimativas de ocorrência de seca (ou não) usando quer a técnica de SR, quer usando os dados oficiais do DNOCS. Além disso, o erro médio na estimativa da variável de seca “X” foi de apenas 25% para os meses secos e de 7% para os meses não secos. Essa conclusão, entretanto, está restrita à observação de grandes sistemas hídricos – como o Orós – nos quais a presença de macrófitas ainda é marginal. Caso se deseje monitorar continuamente a ocorrência de secas, será necessário também monitorar a vazão afluente ao sistema. Nesse sentido, o SR demonstrou que pode ser de grande utilidade, pois consegue avaliar de modo confiável suas duas variáveis centrais: as vazões dos rios principais e os volumes dos reservatórios que compõem o sistema.

No sentido de melhorar os resultados aqui encontrados em futuros estudos recomenda-se que:

A potencialidade de dados LANDSAT e CBERS no acompanhamento de cheias e secas não deve ser ignorado. Embora a resolução espacial ainda seja considerada grosseira, a grande cobertura de área, o baixo custo e a facilidade no processamento e obtenção de dados torna-os atraente no monitoramento de eventos extremos.

Sugere-se buscar o uso de satélites que utilizem sensores com uma maior resolução espacial e temporal podendo assim alcançar melhores resultados e conseguir uma quantidade maior de dados. Além disso, há a opção de imagens de sensores passivos de microndas que, mesmo na presença de cobertura de nuvens sobre o alvo, conseguem dar informações úteis para o usuário.

6 REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 160 p. ISBN 97-885-73154-511.

ARAÚJO, J. A. D. A. **Barragens no Nordeste do Brasil: experiência do DNOCS em barragens na região semi-árida**. 2. ed. Fortaleza: DNOCS, 1990. 328 p.

ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Hydrological droughts in a densely impounded semi-arid basin: the case of the Jaguaribe River, Brazil. **Water Resources Management**, Submetido.

ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006.

BÁRDOSSY, A. **Data – information - (mis)interpretation**. International Conference on Water Resources and Environmental Research. Koblenz, Alemanha 2013.

BARRA, T. D. S. et al. Caracterização climatológica da severidade de secas do Estado do Ceará - Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 266-272, 2002.

BARRETT, E. C.; CURTIS, L. F. **Introduction to Environmental Remote Sensing**. 2. Londres: Chapman, 1982. 352 p.

BHALME, H. N.; MOOLEY, D. A. Large-Scale Droughts/Floods and Monsoon Circulation. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 1197–1211, 1980.

BRAKENRIDGE, G. R. et al. Space-Based Measurement of River Runoff. **EOS**, v. 86, n. 19, p. 185 - 188, 2005.

BRASIL. **Plano estratégico de desenvolvimento sustentável do semiárido**. Ministério da Integração Nacional: Agência de Desenvolvimento do Nordeste 2005.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford, 1987. 551 p.

CAMPOS, J. N. Modeling the Yield–Evaporation–Spill in the Reservoir Storage Process: The Regulation Triangle Diagram. **Water Resources Management**, v. 24, n. 13, p. 3487-3511, 2010.

CARDOSO, B. B. G.; MARTINS, E. S. P. R.; SOUZA FILHO, F. A. Uso de Otimização/Simulação e Previsão de Afluências na Operação Tática dos Reservatórios do Sistema Jaguaribe-Metropolitano – CE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 175-186, 2006.

CAVALCANTE, A. A. **Aspectos da Produção de Sedimentos e seus Efeitos na Gestão dos Recursos no Baixo Vale do Rio Jaguaribe**. 2001. 145 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

CAVALCANTE, A. A.; CUNHA, S. B. D. Morfodinâmica fluvial em área semiáridas: discutindo o vale do Rio Jaguaribe - CE - Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 39 - 49, 2012.

CAVALCANTE, A. A.; MAIA, R. P.; MORAIS, J. O. D. **Dinâmica fluvial do baixo Jaguaribe-CE: Uma avaliação a partir de estudos de descarga sólida**. IV Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia: Internacional Association of Geomorphologists / União da Geomorfologia Brasileira 2006.

CEARÁ. **Anuário estatístico do Ceará 2002 – 2003**. (IPECE) 2003.

_____. **Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLANERH)**. HÍDRICOS, S. D. R. Fortaleza: SRH 2005.

_____. **Inventário ambiental do Açude Orós**. COGERH. Fortaleza 2011.

CEZAR FILHO, A. **Instalação e calibração da seção fluviométrica experimental Ponte Prainha-Montante, Rio de Ondas, Bahia**. 2013. 61 p. Monografia Colegiado de Geografia do Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal da Bahia, Barreiras

CIRILO, J. A. et al. **Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas**. 1. Recife: ABRH e Editora UFPE, 2007. 508 p.

CORRÊA FILHO, C. R. R.; ALBERTIN, L. L.; MAUAD, F. F. Determinação dos polinômios cota x área x volume utilizando a sonda acoustic doppler profiler (adp) no reservatório de barra bonita – SP. . **Revista Minerva: Pesquisa e Tecnologia**, v. 2, n. 1, 2005.

COSTA, C. A. G. **Umidade do solo e disponibilidade hídrica na zona das raízes em condições naturais de caatinga preservada**. 2012. 154 p. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

COSTA, C. A. G. et al. **Análise de sensibilidade da vazão regularizável em reservatórios de diferentes escalas**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande: ABRH 2009.

CPRM. HidroWeb. ANA, 2014. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/> >. Acesso em: 08 Ago de 2014.

D'AGOSTINO, D. R. et al. Assessing the results of scenarios of climate and land use changes on the hydrology of an Italian catchment: modelling study. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 19, p. 2693-2794, 2010.

DGI. Divisão de Geração de Imagens - INPE. 2014. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/> >. Acesso em: 29 de Ago de 2014.

EPIPHANIO, J. C. N. **CBERS: estado atual e futuro**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal: INPE: 2001-2008 p. 2009.

FERNANDEZ, O. V. Q. Relações da geometria hidráulica em nível de margens plenas nos córregos de Marechal Cândido Rondon, região oeste do Paraná. **Geosul**, v. 19, n. 37, p. 115-134, 2004.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. São Paulo: Oficina de Texto, 2011. 128 p. ISBN 978-85-79750-168.

FONSECA, J. S. D.; MARTINS, G. D. A. **Curso de Estatística**. São Paulo: Editora Atlas, 1980. 292 p.

GHEYI, H. R. et al. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

GLEICK, P. H. Roadmap for sustainable water resources in southwestern North America. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 50, p. 1300 - 1305, 2010.

GUEDES, R. V. D. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. D. A. S. D. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** v. 23, 2012.

INPE. CBRS: Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. 2014. Disponível em: < <http://www.cbcrs.inpe.br/> >. Acesso em: 29 de Ago de 2014.

JANOWIAK, J. E.; ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. The Precipitation Anomaly Classification: A Method for Monitoring Regional Precipitation Deficiency and Excess on a Global Scale. **Jornal of Climate and Applied Meteorology**, v. 25, p. 565–574, 1986.

KALLIS, G. Droughts. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 33, p. 85-118, 2008.

LAKSHMI, V. The role of satellite remote sensing in the prediction of ungauged basins. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 5, p. 1029 - 1034, 2004.

LAUER, D. T.; MORAIN, S. A.; SALOMONSON, V. V. The Landsat Program: Its Origins, Evolution, and Impacts **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 63, n. 7, p. 831-838, 1997.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 46 p. Disponível em: < www.cpac.embrapa.br >.

LIMA NETO, I.; WIEGAND, M.; ARAUJO, J. C. Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semi-arid Brazilian basin. **Hydrological Sciences Journal**, v. 56, p. 319 - 333, 2011.

LIMEIRA, R. C. et al. Aplicação do Índice de Severidade de Seca de Palmer Para o Estado da Paraíba. **Revista FAFIBE Online**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2007.

LINGJIA, G. et al. An AMSR-E data unmixing method for monitoring flood and waterlogging disaster. **Chinese Geographical Science**, v. 21, n. 6, p. 666 - 675, 2011.

LIU, W. T. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2006. 250 p.

LOPES, F. B. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil**. 2013. 111 p. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MACÊDO, M. V. A. **Características Técnicas dos Açudes Públicos do Ceará**. 2 ed. Fortaleza: DNOCS, 1981. 191 p.

MALVEIRA, V.; ARAÚJO, J.; GÜNTNER, A. Hydrological Impact of a High-Density Reservoir Network in Semiarid Northeastern Brazil. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 1, p. 109–117, 2012.

MALVEZZI, R. **Semiárido: uma visão holística**. Brasília: CONFEA, 2007. 140 p.

MAMEDE, G. L. et al. Overspill avalanching in a dense reservoir network. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 19, p. 7181 - 7195, 2012.

MARENGO, J. A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R., *et al* (Ed.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande - PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p.385-422. ISBN 978-85-64265-011.

MATGEN, P. et al. Towards an automated SAR-based flood monitoring system: Lessons learned from two case studies. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 36, n. 7-8, p. 241–252

2011.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C. D. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, p. 1216 - 1223, 2014.

MEIRELES, M. **Estimativa da evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem Landsat 5 – TM na bacia do Acaraú – CE**. 2007. 88 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MELO, G. R. D. et al. **Análise de índice de seca para Nordeste do Brasil**. 19 SINAPE - Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística. ABE. São Paulo 2010.

MESQUITA, F. D. O. et al. Uso do sensoriamento remoto para avaliação da distribuição espacial e quantificação de Macrófitas na barragem Umari –Upanema, RN. **Revista ACSA**, v. 9, n. 2, p. 102-109, 2013.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTEGRO, S. M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S., *et al* (Ed.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. 1. Campina Grande - PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. p.2-24. ISBN 978-85-64265-03-5.

MOREIRA, M. A. **Fundamento do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4 ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2003. 422.

NALBANTIS, I.; TSAKIRI, G. Assessment of Hydrological Drought Revisited. **Water Resources Management**, v. 5, n. 23, p. 881-897, 2009.

NICÁCIO, R. M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do Rio São Francisco**. 2008. 320 p. Tese (Doutorado). Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2010. 388 p. ISBN 978-85-21205-401.

OLIVEIRA, E. D. D. Geometria Hidráulica: Algumas Considerações Teóricas e Práticas. **Sociedade e Território**, Natal, v. 24, n. 1, p. 166-184, 2012.

OMM. **Hay suficiente agua em el mundo?** Paris: UNESCO, 1997. 22 p.

PALMER, W. C. **Meteorological drought**. Washington: Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, 1965.

PERROTTA, M. M. **Registro de imagens com relação ao mosaico GeoCover 2000**. Programa ENVI. DISERE: CPRM: 15 p. 2005.

PETER, S. et al. Flood avalanches in a semiarid basin with a dense reservoir network. **Journal of Hydrology**, v. 512, p. 408 - 420, 2014.

PINHEIRO, A. Enchente e Inundação. In: SANTOS, R. F. O. (Ed.). **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. p.96-106. ISBN 978-85-7738-080-0.

PINHEIRO, M. I. T.; CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. D. C. Conflitos por águas e alocação negociada: o caso do vale dos Carás no Ceará. **Revista de Administração Pública**, v. 46, n. 6, p. 1655 - 1672, 2011.

QUIRING, S. M. Developing objective operational definitions for monitoring drought. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 48, p. 1213-1229, 2008.

QULIN, T. et al. **Measuring lake water level using multi-source remote sensing images combined with hydrological statistical data**. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Anchorage, AK: IEEE. 7: 4885 - 4888 p. 2004.

ROOY, M. P. V. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. **Notos**, v. 14, p. 43-48, 1965.

SANTANA, E. W. D. **Caderno regional da sub-bacia do Alto Jaguaribe / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**. CEARÁ, A. L. D. E. D. Fortaleza: INESP. 5: 119 p. 2009.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: LACTEC. Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, 2001. 372 p.

SHENG, Y.; GONG, P.; XIAO, Q. Quantitative dynamic flood monitoring with NOAA AVHRR. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 9, p. 1709 - 1724, 2001.

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources: a new appraisal and assesment for the 21 century**. Paris: UNESCO, 1998. 76 p.

SILVA, R. M. A. Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semi-Árido: políticas públicas e transição paradigmática. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 38, n. 3, p. 467-485, 2007.

SOARES FILHO, B. S. **Análise de paisagem: Fragmentação e mudanças**. UFMG. Belo Horizonte: Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto - Instituto de Geociências: 88 p. 1998.

TEMIMI, M. et al. A multi-temporal analysis of AMSR-E data for flood and discharge monitoring during the 2008 flood in Iowa. **Hydrological Processes**, v. 25, n. 16, p. 2623–2634, 2011.

THOLEY, N.; CLANDILLON, S.; FRAIPONT, P. D. The contribution of spaceborne SAR and optical data in monitoring flood events: examples in Northern and Southern France. **Hydrological Processes**, v. 11, n. 10, p. 1409–1413, 1997.

TONIAL, T. M. et al. Caracterização preliminar de áreas de vegetação em microbacias da região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista de Pesquisa e Pós-Graduação**, Erechim, p. 107-130, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS, 2012. 944 p.

USGS. Landsat Project Description. 2014. Disponível em: < http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php >. Acesso em: 29 de Ago de 2013.

VAN OEL, P. R. et al. The impact of upstream water abstractions on reservoir yield: the case of the Orós Reservoir in Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 53, p. 857-867, 2008.

VARGAS, G. P. **Reflexões sobre os recursos hídricos e as possibilidades de um planejamento e gestão urbano-ambiental centrado na água.** XIV Encontro Nacional da ANPUR. Rio de Janeiro: UFRJ 2011.

VILLELA, S. W.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

VRIELING, A. Satellite remote sensing for water erosion assessment: a review. **Catena**, v. 65, n. 1, p. 2-18, 2006.

WIEGAND, M. C. **Proposta Metodológica para Estimativa da Produção de Sedimentos em Grandes Bacias Hidrográficas: estudo de caso Alto Jaguaribe, CE.** 2009. 110 p. Dissertação (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding the drought phenomenon: The role definitions. In: WILHITE, D. A.; EASTERLING, W. E., *et al* (Ed.). **Planning for drought toward a reduction of societal vulnerability**. Londres: Westview Press, 1987. p.11-31.

YEVJEVICH, V. M. **An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts**. Fort Collins, Colorado State University: Hydrologic Paper No. 23, 1967.

YILMAZ, K. K. et al. Evaluation of a satellite-based global flood monitoring system. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 14, p. 3763-3782 2010.