



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

**ESTIMATIVAS DE VOLUMES DE RESERVATÓRIOS EM REGIÃO
SEMIÁRIDA COM ALTA DENSIDADE DE RESERVATÓRIOS POR
SENSORIAMENTO REMOTO**

FORTALEZA

2017

BRUNO SILVA PEREIRA

**ESTIMATIVAS DE VOLUMES DE RESERVATÓRIOS EM REGIÃO
SEMIÁRIDA COM ALTA DENSIDADE DE RESERVATÓRIOS POR
SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e
Gestão Ambiental do Instituto Federal do
Ceará como requisito para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto
Medeiros

Coorientador: Dr. Till Francke

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P436e Pereira, Bruno Silva.

Estimativa de volumes de reservatório em Região Semiárida com alta densidade de reservatórios por sensoramento remoto / Bruno Silva Pereira. - 2017.
65 f.

Dissertação (Mestrado) Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Pedro Henrique Augusto Medeiros.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Semiárido. 3. Água - Reservatórios. I. Título.

CDD 628

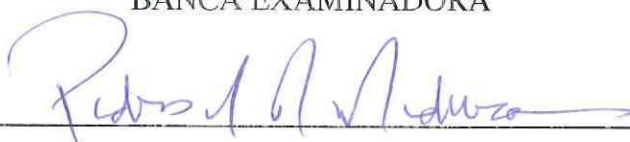
BRUNO SILVA PEREIRA

**ESTIMATIVAS DE VOLUMES DE RESERVATÓRIOS EM REGIÃO
SEMIÁRIDA COM ALTA DENSIDADE DE RESERVATÓRIOS POR
SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e
Gestão Ambiental do Instituto Federal do
Ceará como requisito para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

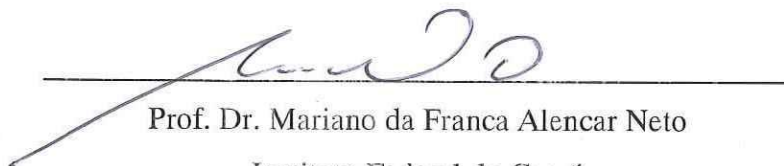
Aprovada em 05/06/17.

BANCA EXAMINADORA



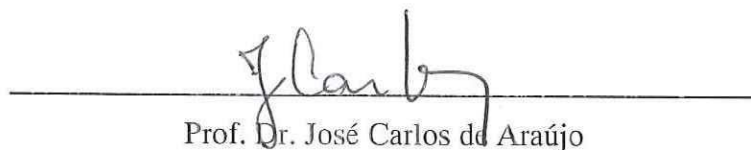
Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros (Orientador)

Instituto Federal do Ceará



Prof. Dr. Mariano da Franca Alencar Neto

Instituto Federal do Ceará



Prof. Dr. José Carlos de Araújo

Universidade Federal do Ceará

Aos meus avós Tarcisio e Raimunda

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Eridan Gomes e Vilmar Pereira. E à minha irmã Beatriz.

Aos meus amados avós, Raimunda Lúcia e Tarcisio Costa, todo o meu agradecimento e respeito. Obrigado por terem me dedicado tempo, esforço e paciência. Vocês me ensinaram a lutar e a enxergar na vida a beleza que há na simplicidade. E a todos os meus familiares.

À Camila Medeiros, minha noiva, amiga e companheira, que em todos os dias me incentivou e me deu forças para trilhar esta caminhada. “Não és sequer razão do meu viver, pois que tu és já toda a minha vida”! Eu te amo!

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes em minha vida, Eric Veras e Pedro Emmanuel.

Aos amigos Pedro Alencar, Bruna Campos, Fellipe Barbosa, Felipe Bonavides, Israel Mondego, Diego Moreira, Ana Luzia, Daniel Brasil e Elton Menezes.

Ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA) pela verba para o período sanduíche na Alemanha.

À Universidade de Potsdam pelo acolhimento na minha estadia na Alemanha. Aos Drs. Till Francke, Axel Bronstert, Saskia Förster e José Milguel Delgado.

Aos amigos de mestrado e de pesquisa, Tatiane Pinheiro, Christine Farias, Camila Lira, Andreza Santos, Alana, Léa Moreas, Jéssica Rocha e Italo Taeno.

À CAPES pelo apoio e bolsa fornecida durante o período de desenvolvimento deste estudo.

Aos professores José Carlos de Araújo, Mariano da Franca Alencar Neto e Geraldo Ramalho Luiz Bezerra Ramalha pelas preciosas contribuições.

Ao meu querido professor e orientador, Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros. Obrigado por essa dedicação exemplar, por todo carinho e paciência em cada orientação e conversa, por ser exemplo de profissional, por todo o conhecimento ofertado e por me incentivar a realizar os meus sonhos acadêmicos.

“Sim, já é outra viagem, e o meu coração selvagem tem essa pressa de viver.”
(Belchior)

RESUMO

Os fluxos de água em regiões com alta densidade de açudes dependem fortemente das propriedades dos reservatórios. Ainda assim, especialmente para áreas remotas e grandes, esta informação é muitas vezes indisponível. Neste estudo, a geometria e o volume de pequenos reservatórios superficiais no semiárido do Brasil foram estimados através de atributos de terreno e de forma extraídos por sensoriamento remoto. Modelos de regressão e classificação de dados foram utilizados para prever os volumes, em diferentes estágios hídricos, de 313 reservatórios, para os quais existe informação topográfica. As funções de potência utilizadas até agora para descrever as formas dos reservatórios, utilizando a calibração deste estudo, tendem a subestimar os volumes, portanto, foi proposta uma equação de forma modificada. Dentre os vários métodos testados, quatro foram propostos com base no desempenho e facilidade de uso, para os quais os erros percentuais médios absolutos variam de 21% a 38%. Em todas as análises realizadas, a equação modificada da forma do reservatório leva a erros menores nas estimativas de volume. A abordagem 1b é o método indicado neste estudo por apresentar o menor erro percentual médio absoluto. Assim, como alternativa, a abordagem 2 também é indicada por sua simplicidade de aplicação e por apresentar erro percentual médio absoluto próximo aos medidos nas abordagens 1a e 1c. Apesar do desafio de se obter com precisão as áreas alagadas por reservatórios, a gestão da água em ambientes com alta densidade de reservatórios, particularmente o semiárido brasileiro, deve se beneficiar da previsão de volume com base em sensoriamento remoto.

Palavras-chave: Volumes de reservatórios, rede de alta densidade de reservatórios, curva cota-área-volume, semiárido, sensoriamento remoto

ABSTRACT

Water fluxes in highly impounded regions are heavily dependent on reservoir properties. Still, especially for large and remote areas, this information is often unavailable. In this study, the geometry and volume of small surface reservoirs in the semiarid of Brazil were estimated through terrain and shape attributes extracted by remote sensing. Regression models and data classification were used to predict the volumes, at different water stages, of 313 reservoirs, for which topographic information is available. The power functions used so far to describe the reservoirs' shapes tend to underestimate the volumes. Using the calibration of this study, therefore, a modified shape equation was proposed. Among the various methods tested, four were proposed based on the performance and ease-of-use, for which the mean absolute percentage errors vary from 21% to 38%. In all the analyzes performed, the modified equation of the reservoir form leads to smaller errors in the volume estimates. Approach 1b is the method indicated in this study because it presents the lowest absolute percentage error. Thus, as alternative, the approach 2 is also indicated by its simplicity of application and by presenting absolute absolute percentage error close to those measured in approaches 1a and 1c. Despite the challenge of precisely deriving reservoirs' flooded areas, water management in high reservoir density environments should benefit from volume prediction based on remote sensing.

Keywords: Reservoir volume, high-density reservoir network, water height-area-volume curve, semiarid, remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	20
Figura 2 - Ilustração da forma dos reservatórios de acordo com a equação original de Molle (esquerda) e a equação modificada proposta deste estudo (direita).....	24
Figura 3 - Abordagem geral e dados utilizados para a estimativa do volume e da geometria de reservatórios.....	27
Figura 4 - modelos para o calculado das direções do fluxo.....	33
Figura 5 - variação dos coeficientes geométricos α (esquerda) e K (direita) dos 313 reservatórios no Ceará para as equações de forma original (Molle, 1994) e modificada.....	36
Figura 6 - Boxplot do erro relativo (predito versus volumes observados) dos métodos testados para estimativa de volumes de reservatórios no Ceará a partir de atributos de terreno (Abordagens 1a e 1b), de acordo com o modelo linear, aproximação e forma da equação	37
Figura 7 - Box-plots do erro relativo (predito versus volumes observados) dos métodos testados para estimativa de volumes de reservatórios na Bacia de Banabuiú a partir de atributos de forma (Abordagem 1c), de acordo com o número de atributos de forma, modelo linear e forma da equação	38
Figura 8 - Volumes preditos com as equações propostas versus volumes dos reservatórios observados - A) Abordagem 1a; B) Abordagem 1b; C) Abordagem 1c...	40
Figura 9 - Boxplot do erro relativo (predito versus volume observado) dos métodos testados para a estimação dos volumes de reservatórios no Ceará a partir da classificação de dados (Abordagem 2), de acordo com o número de classes, equação de forma e critério de classificação	41
Figura 10 - volumes previstos com o critério de classificação proposto versus volume observado soareservatórios - Abordagem 2.....	42
Figura 11 - Boxplots do erro relativo dos métodos propostos para a estimativa da capacidade de armazenamento dos reservatórios na Bacia de Banabuiú, com a área máxima obtida a partir de imagens do Landsat 5	43
Figura 12 - relação entre a área inundada baseada em sensoriamento remoto (Landsat, agosto de 2004) e a área máxima inundada a partir da base de dados do DNOCS	45

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1- Áreas máximas inundadas e os respectivos atributos de forma médio dos reservatórios (Abordagem 2) em classes com equidistribuição de reservatórios..... 42

Gráfico 1 - Balanço hídrico (evaporação x precipitação), Quixeramobim - CE 22

Gráfico 2 - Balanço hídrico (evaporação x precipitação), Morada Nova – CE..... 22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

α - Coeficiente de forma

α_{mod} – Coeficiente de forma modificado

α_{or} – Coeficiente de forma original

CAV – curva Cota-Área-Volume

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GLM – Modelo Linear Generalizado

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

IPLANCE - Fundação Instituto de Planejamento do Ceará

K - Coeficiente de abertura

K_{mod} – Coeficiente de abertura modificado

K_{or} – Coeficiente de abertura original

OSGeo - *Open Source Geospatial Foundation*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

USGS - *United States Geological Survey*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICE	53

1. INTRODUÇÃO

O semiárido cearense sofre com a escassez hídrica, fruto da irregularidade pluviométrica da região, de forma constante e severa em diversos períodos. O Governo do Estado do Ceará, por intermédio de órgãos públicos estaduais e federais, como forma de diminuir o déficit hídrico, armazenando a água proveniente dos períodos chuvosos, investiu na construção de reservatórios superficiais em regiões estratégicas.

Essa atitude, que também se atribui um viés político, tinha o objetivo de abastecer as regiões com maiores demandas, principalmente a capital do Estado do Ceará. Os municípios mais remotos continuavam e continuam sofrendo com a seca. Desta forma, os próprios agricultores, em diversas vezes por intermédio de órgãos de combate a seca como a SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) e o DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra a Seca), iniciaram a construção de pequenos reservatórios, muitas vezes sem informações técnicas. Essa ação ajudou no desenvolvimento de uma densa rede de açudagem no Estado do Ceará.

A falta de informações técnicas sobre os pequenos reservatórios dificultou a sua inserção nos planos de gestão dos recursos hídricos resultando em uma má operação do recurso disponível. Nesse contexto, estudos que tenham como finalidade gerar dados técnicos sobre os pequenos reservatórios se tornam fundamentais para o entendimento do funcionamento dos mesmos. Este estudo foca na determinação de dois coeficientes geométricos: K (coeficiente de abertura) e α (coeficiente de forma).

A partir do conhecimento destes coeficientes geométricos a estimativa da disponibilidade hídrica em uma determinada bacia hidrográfica ou o cálculo da capacidade de armazenamento de um dado reservatório se tornam possíveis.

Com o uso de técnicas de sensoriamento remoto e estatísticas, preditores podem ser utilizados a fim de contribuir com melhores estimativas de α e K e consequentemente menores erros nas capacidades modeladas.

O objetivo deste estudo é caracterizar a geometria de pequenos e médios açudes e analisar a relação entre os coeficientes geométricos e os preditores extraídos por sensoriamento remoto, por meio de estatística multivariada e análise de agrupamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A região semiárida do Nordeste do Brasil tem uma área de um milhão de km² e abriga cerca de 15 milhões de habitantes, onde os conflitos a respeito do uso da água são já muito evidentes e o abastecimento hídrico depende, em grande parte, da água armazenada em reservatórios superficiais, com crescimento cada vez maior da demanda por este recurso (MAMEDE, 2008; de ARAÚJO et al., 2006).

As regiões semiáridas, incluindo as inseridas no Estado do Ceará, sob os aspectos hidroclimatológicos, destacam-se pelo regime irregular de precipitações, altas taxas de evaporação e rios intermitentes (MALVEIRA, 2009, MALVEIRA et al., 2012; ARAÚJO, 2006; MAMEDE et al., 2012).

Outras características evidenciam a problemática da gestão hídrica na região semiárida como: prevalência de aquíferos fissurais em rochas de fundo cristalino as águas subterrâneas são escassas e/ou salgadas (de ARAÚJO e PIEDRA, 2009; MEDEIROS e de ARAÚJO, 2014; FIGUEIREDO et al., 2016; PINHEIRO et al., 2016; SANTOS et al., 2016).

A seca é um fenômeno natural, econômico e social de grande complexidade. Em períodos de estiagem prolongada a ausência de água proporciona a destruição das lavouras, dos rebanhos, além de potencializar a escassez hídrica para abastecimento humano (SILVA, 2014).

Segundo Alves (2003) os engenhos produtores de açúcar, no século XVII, paralisavam suas atividades durante as crises climáticas e assistiam ao aniquilamento dos seus escravos à fome.

Molle e Cadier (1992) afirmam que as secas de 1825-1827-1830 marcaram a arrancada da açudagem do Nordeste semiárido. Em 1832, o Conselho da Província do Ceará passou a atribuir prêmios a quem construísse um açude de certas dimensões. A partir de 1844, o Governo Imperial decidiu intervir diretamente, empregando recursos na construção de estradas e açudes. Desta forma, os proprietários rurais de forma indiscriminada e com poucas informações técnicas, iniciaram a construção de uma densa rede de reservatórios no semiárido cearense (de ARAÚJO e MEDEIROS, 2013)

Na seca de 1877 -1879 (RECIFE, 1981) o Conde D'Eu apresentou e aprovou a seguinte proposta:

“construir, quanto antes, no interior da província do Ceará e outras assoladas pela seca, represas nos rios

e açudes nas localidades que, para tal fim fossem mais apropriadas ao abastecimento d'água no mesmo interior e prolongar a estrada de Baturité.”

A partir da segunda metade do século XIX, especialmente depois da grande seca de 1877, a seca tornou-se um problema de política governamental devido à elevada mortalidade da população (MAGALHÃES, 1991).

O Açude Cedro, em 1908, foi o primeiro reservatório construído para o enfrentamento da seca no Nordeste. Nos anos seguintes à sua construção, tornou-se censo comum que o problema poderia ser resolvido pela construção de açudes (CAMPOS, 2015).

O semiárido cearense destaca-se por apresentar o maior índice de açudagem do mundo, englobando cerca de 70 mil açudes de pequeno porte que representam aproximadamente 80% do total de açudes construídos (MALVEIRA; DE ARAÚJO; GÜNTNER, 2012).

Entretanto a política de açudagem, visando garantir o suprimento hídrico em períodos de escassez, deve se atentar para a rede de pequenos reservatórios uma vez que os mesmos servem também como bacias de retenção de sedimentos, mantendo quantidade de sedimento gerado no interior da bacia prolongando a vida útil dos reservatórios de maior porte, situados à jusante, afetando a capacidade de armazenamento. (MAMEDE et al., 2012).

Geralmente localizado na cabeceira de grandes rios, os pequenos reservatórios não possuem informações suficientes para avaliar e entender seus processos hidrológicos (RAKHMATULLAEV, 2010).

Krol et al. (2011) afirmam que em bacias hidrográficas do semiárido, os reservatórios de pequena escala são numerosos e que os seus efeitos são basicamente de dois tipos: 1 - eles permitem o uso local distribuído; 2 - através do grande número de pequenos reservatórios, causando um efeito acumulado, na bacia de um rio de grande escala, eles assumem o papel dominante como fonte de disponibilidade de água nas localidades.

Os vários usos dos pequenos reservatórios são também destacados por diversos autores. Além da utilização usual, afirma-se que os reservatórios podem servir para dessedentação de animais, para fins recreativos, para fins comerciais e ajudando a reduzir a vulnerabilidade das pessoas à seca. Entretanto esses açudes tornam-se

indisponíveis durante secas plurianuais (LIEBE, 2002; POOLMAN, 2005; KROL, BRONSTERT, 2007)

Os pequenos reservatórios estão sempre em alta com as comunidades locais, pois melhoraram a segurança alimentar através do fornecimento de água para a irrigação durante a estação seca, fornecendo água para o gado e permitindo a produção de peixes (BOELEE et al., 2009; CECCHI et al., 2009).

Os reservatórios de pequena escala promovem a diversificação das atividades agrícolas na escala local. As demandas crescentes por fontes superficiais para a agricultura têm enfatizado a necessidade de obter mais informações sobre pequenos reservatórios. O armazenamento de água prestado por estas infraestruturas hidráulicas depende da *inter-ship* entre as entradas, saídas, e sua respectiva distribuição ao longo do ano (FOWE et al., 2015).

Alexandre (2012) em sua tese sobre a gestão de pequenos sistemas hídricos no semiárido nordestino, conclui que apesar de os usuários dos pequenos açudes manifestarem vontade de permanecer no campo, os mesmos não possuem uma gestão eficiente para que haja garantia hídrica, tanto em qualidade quanto em quantidade. A gestão dos pequenos açudes é realizada sem o conhecimento dos órgãos gestores. Poucas unidades são monitoradas de modo eficiente para o controle da disponibilidade hídrica e qualidade das águas.

Uma das consequências do crescimento populacional é o aumento da demanda por água. Esse uso desenfreado traz consigo a mudança das condições naturais dos recursos, o encolhimento da disponibilidade de água, a deterioração da qualidade dos recursos hídricos e o conflito entre as correntes municipais, interesses industriais e agrícolas pela alocação desse recurso fundamental a vida humana (LI e HUANG, 2012).

Rodrigues e Liebe (2013) afirmam que uma gestão eficiente dos recursos hídricos e um planejamento adequado dos reservatórios são prejudicados pelo conhecimento inadequado de seu número, capacidade de armazenamento e distribuição espacial na bacia.

A poluição dos corpos hídricos por uso, animal, sedimentos contaminados no reservatório, o desmatamento da mata ciliar e/ou o uso de insumos agrícolas são fatores que interferem na disponibilidade de água no semiárido, principalmente nos

pequenos reservatórios (de ARAÚJO et al. 2006; FEITOSA, 2011; WIEGAND et al, 2014).

Os pequenos reservatórios presentes na densa rede de açudagem no Nordeste brasileiro não apresentam, em sua maioria, dados de localização, características geométricas e capacidade de armazenamento. Uma estratégia apontada em estudos recentes como alternativa para a identificação, monitoramento e extração de informações dos pequenos reservatórios é a utilização de sensoriamento remoto (TOLEDO et al., 2014; ROCHA et al., 2015)

Rodrigues et al. (2007), em estudo sobre a distribuição espacial e área máxima do espelho d'água de pequenas barragens de terra na Bacia do Rio Preto, afirmam que o sensoriamento remoto mostra-se uma ferramenta adequada à gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas. Porém, a ferramenta é pouco explorada quanto a sua utilização para o monitoramento do volume de água armazenada em pequenas barragens.

Os coeficientes geométricos α (coeficiente de forma) e K (coeficiente de abertura) se relacionam, respectivamente, com a concavidade das encostas e a abertura e inclinação do vale barrado pelo açude. Assim, para o coeficiente K, esperam-se valores mais elevados para açudes de grande porte e localizados em regiões de vales aluviais largos e abertos (MOLLE, 1994)

Suassuna (2014) destaca que os pequenos açudes, principalmente pela falta de planejamento no momento da sua construção, apresentam formas geométricas variadas e por isso ocorrem inevitáveis problemas de dimensionamento e afirma também que não é raro açudes que nunca vieram a sangrar.

O conhecimento das características geométricas é importante ao se relacionar ao uso do reservatório. Para o abastecimento humano, a profundidade é um indicador do tempo em que a água estará disponível. Por outro lado, para o uso na irrigação, preferem-se reservatórios com o espelho d'água limitado diminuindo a perda por evaporação (PEREIRA, 2013).

Krol et al. (2011) também evidenciam a importância do conhecimento da geometria de pequenos açudes para a inclusão dos mesmos nas políticas de recursos hídricos da região. Com o quadro das mudanças climáticas e o uso desordenado dos recursos hídricos, reservatórios só poderiam fornecer água de forma sustentável, se as

intensidades de uso da água diminuam ou o aumento, regionalmente, do número de reservatórios.

As características geométricas dos açudes interferem diretamente no volume de água armazenado. Malveira e de Araújo (2013) afirmam que muitos pequenos reservatórios têm a bacia hidráulica tão aberta do ponto de vista topográfico, que podem secar completamente em três meses após o final da estação chuvosa devido à elevada taxa de evaporação (entre 2.000 e 2.400 mm por ano).

Liebe (2002) afirma que as características da topografia de uma região são um fator essencial quando se analisa a distribuição dos tamanhos dos reservatórios e a distribuição de sua frequência. O autor conclui que em uma área de um hectare, a distribuição da frequência diminui com o aumento da área de superfície.

Lima Junior et al. (2009) estudaram a bacia hidrográfica do açude Sumé-PB e chegaram à conclusão de que 90% dos açudes encontram-se mal dimensionados e que 33% destes açudes com a sua capacidade consideravelmente reduzida. Afirmam ainda que esse mau dimensionamento dos pequenos açudes afeta diretamente os açudes maiores, causando prejuízos.

Nascimento (2015) concluiu que a vazão regularizada por açudes é bastante sensível à geometria. Observando que um aumento dos coeficientes K e α , o que produziria uma redução da vazão regularizada. A autora afirma que esse resultado se explica pelo aumento da área inundada para uma mesma lâmina de água produzindo um aumento das perdas por evaporação e, conseqüentemente, a redução da vazão regularizada.

Desta forma o uso de sensoriamento remoto para levantamento de dados hidrológicos em áreas extensas e de difícil acesso, como o semiárido brasileiro, se mostra uma ferramenta fundamental. Zhang et al., (2016) utilizaram-se de imagens do satélite TanDEM-X, no Nordeste brasileiro, para a realização de batimetria, concluindo que essas imagens permitem um eficiente levantamento batimétrico especialmente em áreas remotas.

O sensoriamento remoto pode ser utilizado para o monitoramento sazonal em bacias hidrográficas. Estudos utilizando imagens do TerraSAR-X mostram que os dados permitem o monitoramento contínuo durante as estações de chuva e seca, sendo

possível detectar os limites da superfície da água de forma (Heine, et al., 2014; Gstaiger, et al., 2012)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

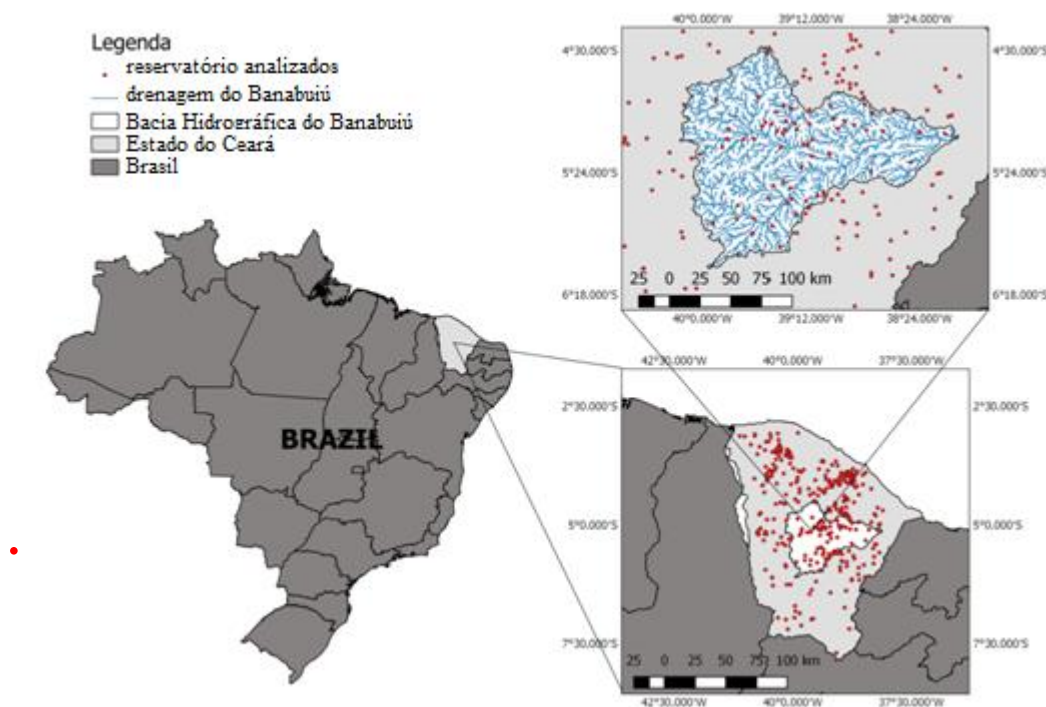
Área de estudo

Este estudo foi realizado no Estado do Ceará localizado no Nordeste brasileiro, possui um total de 184 municípios e uma área total de 148.887.632 km². Para o ano de 2015 o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) estimou uma população de 8.904.459 habitantes.

IPECE (2010) afirma que cento e cinquenta municípios do Estado do Ceará são pertencentes ao semiárido, ocupando uma área de 126.514,9 Km², que representa 86,8% da área total do Estado.

Um dos fatores principais que caracteriza a região é o clima diferenciado, o Estado do Ceará está no domínio da Caatinga, onde o ano é dividido em dois períodos hidrológicos: período chuvoso ou período seco, com o início das chuvas no mês de dezembro e o seu decaimento em maio com alguns eventos observados nos meses de junho e julho. Os meses de agosto a novembro, nas séries históricas, apresentam baixos eventos de chuvas e altas taxas de evaporação. Essa sazonalidade implica em uma fauna e flora adaptadas às regiões semiáridas.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Autor, 2017

Segundo dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (2006) o Estado do Ceará, no ano de 2015, teve um desvio -33,5% na média anual da precipitação. Sendo o normal 800,6 mm e o observado de 532,7 mm. Precipitações abaixo da média normal vem sendo observadas desde o ano de 2012. O ano de 2011 foi o último a apresentar a média anual acima da normal com 1034,5 mm.

FUNCEME, (2014) afirma que 91% do Estado do Ceará possui os climas divididos em Tropical Quente Semiárido (67,9%) e Tropical Quente Semiárido Brando (23,1%), totalizando 144 municípios.

O Estado do Ceará está dividido em doze bacias hidrográficas: Bacias do Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, Bacia do Banabuiú, Curu, Salgado, Metropolitana, Acaraú, Coreaú, Litoral, Sertões de Crateús e Serra da Ibiapaba.

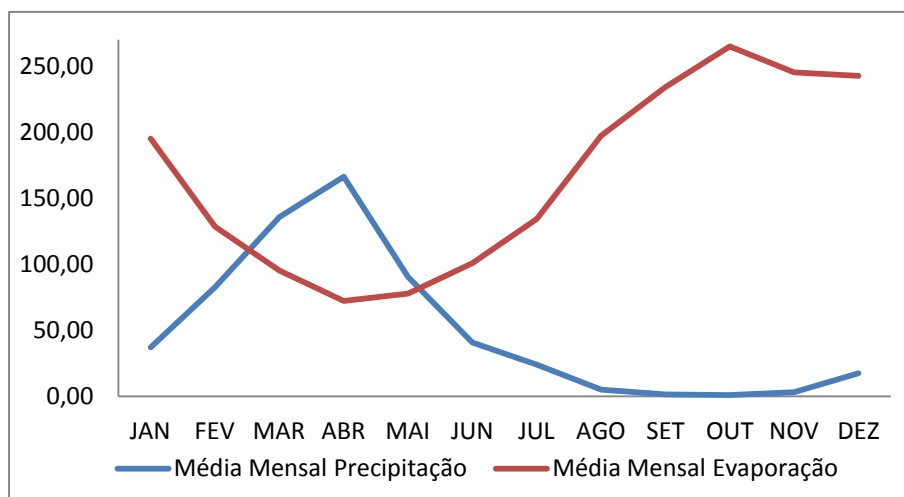
Generalizando, os cursos d'água na região semiárida são intermitentes ou efêmeros, ou seja, durante as estações chuvosas há escoamento e secam durante a estiagem. Assim, percebe-se a importância da gestão de recursos hídricos na região para diminuir a escassez de água durante o período de estiagem. Uma solução adotada foi a construção de reservatórios para guardar a água proveniente das estações chuvosas a fim de vencer os longos períodos de seca.

As rochas cristalinas ocupam uma área que corresponde a cerca de 85% da área do Estado. Na publicação “Atlas do Ceará” realizada pela Fundação Instituto de Planejamento do Ceará (IPLANCE, 1995) identifica-se as seguintes Unidades Geoambientais no Estado do Ceará, tais como: Tabuleiros Interiores; Planície Flúvio-Marinha; Chapada do Apodi; Chapada do Araripe; Glacis de Acumulação; Planalto da Ibiapaba; Planície Litorânea; Planície Ribeirinha; Serras Secas; Serras Úmidas; Sertão Ocidental Ibiapaba; Sertão Centro Ocidental; Sertão Pré-Litorâneo e Sertão Sul Ocidental.

A bacia do rio Banabuiú, onde os métodos abordados nesse estudo foram aplicados, drena uma área de 19.000 km² abrangendo 15 municípios, estando localizada na parte central do Estado do Ceará, uma das regiões mais secas do Estado. As temperaturas médias mensais apresentam uma estreita faixa, a partir de 25 ° C a 28° C, enquanto a umidade relativa varia entre 55% a 80% nas estações secas e chuvosas, respectivamente. A precipitação anual totaliza cerca de 700 mm considerando que a evaporação potencial excede 2.000 mm por ano.

Os municípios de Quixeramobim e Morada Nova apresentam essas características nos gráficos abaixo onde a média pluviométrica supera o da evaporação nos meses de março a abril, onde se caracteriza o período chuvoso dessas regiões, ou seja, a disponibilidade de água supera o limite máximo da evaporação potencial.

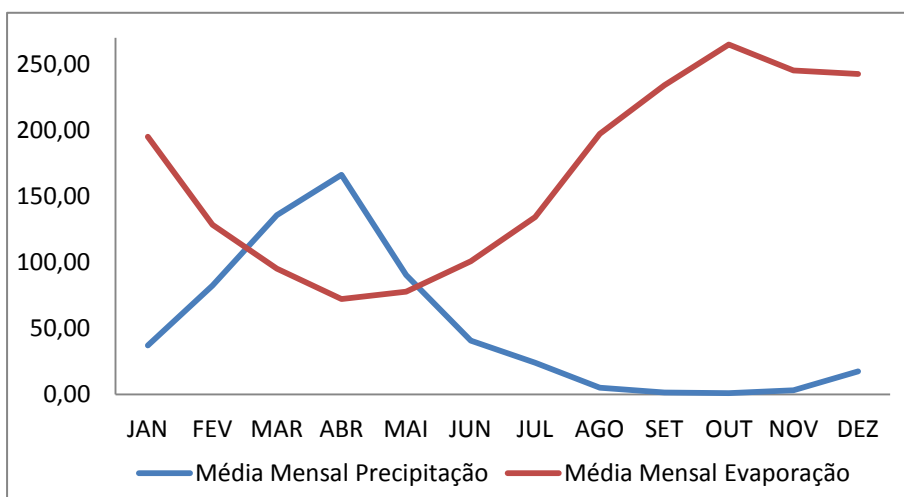
Gráfico 1 - Balanço hídrico (evaporação x precipitação), Quixeramobim - CE



Fonte: Autor, 2017

Nos meses de agosto a fevereiro o cenário exposto é de déficit hídrico e pluviosidade muito baixa. Nesse período a linha da evaporação potencial é superior a da pluviosidade uma vez que a quantidade de vapor de água no ar atmosférico é menor, sendo maior a intensidade da evaporação.

Gráfico 2 - Balanço hídrico (evaporação x precipitação), Morada Nova – CE



Fonte: Autor, 2017

Outro fator de importante influência é a temperatura que eleva o valor da pressão de saturação do vapor de água, agindo como fator ligado ao gradiente de vapor entre a superfície e o ar vizinho.

Pequenas barragens no semiárido cearense e sua parametrização

A alta densidade de reservatórios está presente nas regiões onde há escassez de água, e vários pesquisadores tem tentado estimar as capacidades de armazenamento dos reservatórios e suas geometrias (Liebe et al, 2005; Sawunyama et al, 2006; Gao et al, 2012; Rodrigues et al, 2012). No nordeste do Brasil, Molle (1994) estudou a forma dos reservatórios de superfície e propôs uma formulação de dois parâmetros (Equações 1 e 2). O autor calculou 420 pares de coeficientes geométricos dos reservatórios superficiais em quatro estados (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco).

$$V = K_{or} \cdot h^{\alpha_{or}} \quad (1)$$

$$A = \alpha_{or} \cdot K_{or} \cdot h^{(\alpha_{or}-1)} \quad (2)$$

Nas equações 1 e 2, V é o volume do reservatório (m³), A é a área inundada (m²), K_{or} é o coeficiente de abertura, α_{or} é o coeficiente de forma, h corresponde à altura da água (m). As amostras estudadas por Molle (1994) apresentaram média de 2,7 para o coeficiente α_{or} e mediana de 1500 para o coeficiente K_{or}. Usando esses valores para calcular a capacidade de armazenamento total nos reservatórios na bacia do Banabuiú, com dimensões dentro do intervalo estudado por Molle, resultou numa sobreavaliação de 54%, o que pode ser crítico para algumas avaliações.

Neste estudo, a caracterização geométrica dos reservatórios baseou-se nas curvas cota-área-volume (CAV) de um banco de dados publicado pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS (Pinheiro, 2014). O banco de dados tem informações sobre quatrocentos e oitenta e cinco (485) reservatórios de água de diferentes capacidades de armazenamento e distribuídos por toda a extensão territorial do Estado do Ceará. No entanto, devido informações incompletas de alguns reservatórios, que aumentaria a incerteza na determinação de α e K, este estudo tem uma amostra de trezentos e treze (313) reservatórios.

A análise de dados indicou que a elevada incerteza na determinação da altura da barragem é devido:

- i) A falta desta informação no banco de dados do DNOCS, já que há dificuldade em determinar precisamente o ponto mais baixo através de um levantamento topográfico regular;
- ii) O caráter dinâmico da parte inferior do reservatório devido a sedimentação (Araújo et al, 2006).

Assim, uma modificação da equação proposta por Molle (1994), usando uma altura fixa acima de uma área inundada, em vez de considerá-la a partir do fundo do reservatório. As Equações 3 e 4 mostram a modificação proposta neste estudo (Figura 2), denominada doravante de equação modificada.

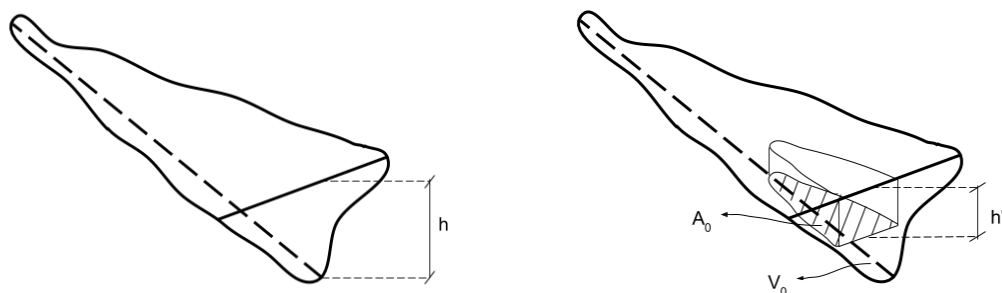
$$V = V_0 + A_0 \cdot h' + K_{\text{mod}} \cdot h'^{\alpha_{\text{mod}}} \quad (3)$$

$$A = A_0 + \alpha_{\text{mod}} \cdot K_{\text{mod}} \cdot h'^{(\alpha_{\text{mod}}-1)} \quad (4)$$

Nas Equações 3 e 4, A_0 e V_0 são parâmetros que significa área inicial de referência (m^2) e volume (m^3), respectivamente. K_{mod} é o coeficiente de abertura; α_{mod} é o coeficiente de forma, ambos de acordo com a formulação modificada proposto neste estudo, e h' altura da água acima da área inicial de referência (m).

A área inicial de referência foi arbitrariamente fixada em 5.000 m^2 , como a maior parte dos dados da CAV possuem áreas superiores a este limite, os coeficientes K_{mod} e α_{mod} podem ser calculados. Usando a equação original de Molle e os valores médios e medianos de α e K , respectivamente, estimou-se o V_0 em 2096 m^3 , o que representa uma porcentagem muito pequena da capacidade de armazenamento dos reservatórios, assim, a seleção arbitrária de A_0 não deve constituir uma importante fonte de incerteza.

Figura 2 - Ilustração da forma dos reservatórios de acordo com a equação original de Molle (esquerda) e a equação modificada proposta deste estudo (direita)



Fonte: Autor, 2017

A derivação dos coeficientes geométricos α e K a partir do banco de dados do DNOCS (Pinheiro, 2014), para a equação original (Molle, 1994) e para equações modificadas, foi obtida adaptando funções de energia (Equações 1 e 3) e a CAV dos 313 reservatórios no Ceará.

Obtenção de preditores e atributos do terreno e parâmetros de forma

Os coeficientes acima referidos α e K fornecem uma maneira de descrever a geometria de um reservatório. Para reservatórios que não possuem dados batimétricos, estimar esses coeficientes a partir de dados espaciais disponíveis, incluindo indicadores para o aumento da detecção por sensoriamento remoto é uma alternativa. Os atributos do terreno (características da paisagem e em torno do reservatório) e parâmetros de forma (características de área de superfície do reservatório na extensão máxima da água) obtidos por sensoriamento remoto foram correlacionados com os coeficientes geométricos das Equações 1 e 3.

As imagens ópticas e de radar foram usadas para derivar os preditores geomorfológicos. Os atributos de terreno foram extraídos de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com uma resolução espacial de 30 m, disponível na base de dados da *United States Geological Survey* (USGS). Um *buffer* de 50 m foi criado em torno dos terrenos para a extração das informações.

Os atributos utilizados neste estudo como preditores dos coeficientes de forma dos reservatórios (α e K) são os valores de: declive médio, a altitude, a curvatura plana, e os perfis de curvatura, área de influência, diferença de altura a partir do ponto de saída da barragem para o ponto de entrada da barragem; altura da barragem na saída; distância a partir do ponto de entrada para o ponto de saída da barragem; distância linear a partir do reservatório para ao exutório da bacia; latitude e longitude.

Os parâmetros de forma dos reservatórios foram obtidas de imagens Landsat 5 TM (*Thematic Mapa*), banda 4, com faixa espectral de 0,76 – 0,90 microns e uma resolução de 30 m, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As imagens foram capturadas pelo sensor no ano de 2004, entre os meses de julho e novembro, depois de uma temporada de chuvas intensas que cobre a região, existindo a alta probabilidade de que os reservatórios tenham atingido a sua área máxima e que os volumes máximos estimados neste estudo se aproximariam de suas capacidades de armazenamento. Os parâmetros de forma utilizados como indicadores

dos reservatórios para a determinação dos coeficientes geométricos são: área (A); perímetro (P); a relação/perímetro; circularidade; relação da espessura; diâmetro, número de pixels do esqueleto (linha média que se aproxima do comprimento do reservatório, incluindo suas ramificações); distâncias entre o centroide para os pontos de alturas mínimas e máximas no *buffer* em torno dos reservatórios.

Segundo as Equações 1 a 4, a aplicação das abordagens aqui propostas requerem, como dados de entrada, os coeficientes geométricos α e K e a altura da água, informações dificilmente disponíveis. Assim, as Equações 1 e 2 e as Equações 3 e 4 foram combinadas para expressar o volume do reservatório como uma função da área inundada, informação que pode ser obtida a partir do sensoriamento remoto, o que resulta nas Equações 5 (para as equações originais 1 e 2 de Molle) e 6 (para as equações modificadas 3 e 4).

$$V = K_{or} \cdot \left(\frac{A}{\alpha_{or} \cdot K_{or}} \right)^{\left(\frac{\alpha_{or}}{\alpha_{or}-1} \right)} \quad (5)$$

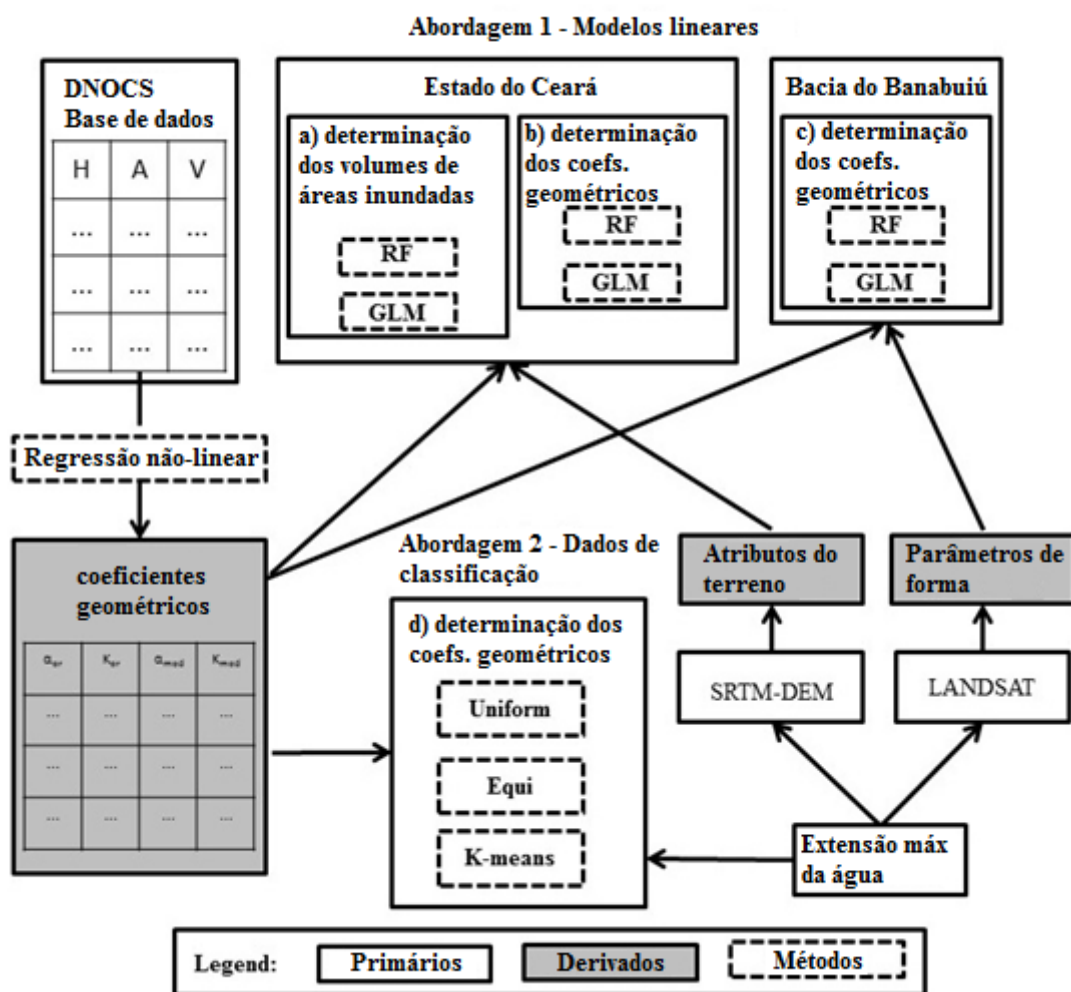
$$V = V_0 + A_0 \cdot \left(\frac{A - A_0}{\alpha_{mod} \cdot K_{mod}} \right)^{\left(\frac{1}{\alpha_{mod}-1} \right)} + K_{mod} \cdot \left(\frac{A - A_0}{\alpha_{mod} \cdot K_{mod}} \right)^{\left(\frac{\alpha_{mod}}{\alpha_{mod}-1} \right)} \quad (6)$$

Por causa da maior robustez da Eq. 5 e da Eq. 6 estas formulações foram utilizadas para a determinação dos coeficientes para cada conjunto de dados do reservatório-DNOCS por regressão não linear pelo método dos mínimos quadrados.

Estimativa de volume e geometria de pequenos reservatórios

Duas abordagens foram aplicadas para prever volumes e as geometrias dos reservatórios, tal como ilustrado na Figura 3 e descrito abaixo.

Figura 3 - Abordagem geral e dados utilizados para a estimativa do volume e da geometria de reservatórios



Fonte: Autor, 2017

Abordagem 1 - regressão linear para a estimativa dos volumes de reservatórios e coeficientes geométricos

Para derivar os volumes e as geometrias dos reservatórios, utilizando o Rstudio, software livre de estatística, abordagens estatísticas multivariadas foram testadas: Modelos Lineares Generalizados (GLM), com interações de termos de primeira e segunda ordem, e a regressão não paramétrica usando o *Random Forrest* (RF) (Breiman2001). Para parcimônia dos modelos, a seleção de preditores foi realizada com base em busca heurística para o melhor critério de informação de Akaike (AIC), sob a restrição de verificar os preditores para a multi-colinearidade.

Em primeiro lugar, uma regressão direta entre os volumes dos reservatórios e as áreas inundadas foi testada (Figura 3, 1a Approach). Num segundo passo, os métodos estatísticos foram aplicados em um correlato dos preditores e os coeficientes

geométricos originais e modificados: α e K (Figura 3 Abordagem 1b). Os métodos devolveram equações para a estimativa de cada coeficiente geométrico (α_{or} , K_{or} , α_{mod} , K_{mod}), que foram aplicadas nas Equações 5 e 6 para estimar os volumes dos reservatórios. Neste passo, os atributos do terreno extraídos a partir do modelo de elevação digital (SRTM) para todo o Estado do Ceará (conjunto de 313 reservatórios) foram usados como preditores, considerando que as áreas inundadas do reservatório foram obtidas a partir da CAV disponível para cada reservatório.

Os modelos estatísticos acima referidos também foram aplicados com os parâmetros de forma dos reservatórios como preditores. Este terceiro passo foi aplicado a 52 reservatórios da amostra que estão localizados na Bacia do Banabuiú, para os quais os parâmetros de forma foram obtidos a partir de imagens ópticas (LANDSAT 5), entre os quais a máxima área inundada (Figura 3 Abordagem 1c).

Os modelos estatísticos foram utilizados para derivar os coeficientes geométricos para as duas equações, original e modificada. Este é um teste do impacto da redução do número de preditores e, a fim de fornecer um método mais simples no que diz respeito à aplicabilidade do modelo, realizou-se o procedimento novamente considerando apenas quatro preditores: área, perímetro, diâmetro e a relação área / perímetro.

Abordagem 2 – Classificação de dados para a estimativa dos coeficientes de forma com base na área de superfície máxima

Na Abordagem 2, os dados foram classificados de acordo com a área máxima da superfície dos 313 reservatórios no Estado de Ceará, a fim de determinar os valores médios dos dois coeficientes geométricos para as equações original e (Figura 3). Três técnicas foram testadas para definem as classes: intervalo uniforme, equidistribuição dos reservatórios nas classes e K-means.

No método de intervalos uniformes, os 313 reservatórios foram distribuídos em classes com intervalos uniformes de área máxima, enquanto no método de equidistribuição, os reservatórios foram agrupados mantendo o mesmo número de reservatórios em cada classe. O método K-means divide n observações de k entre os grupos (clusters) com base em alguma similaridade métrica, que em cada observação pertence ao grupo mais próximo da média. Neste método, os pontos centrais de k grupos são escolhidos aleatoriamente, e uma medida de distância euclidiana de cada

observação é calculado. As observações são rotuladas usando a identificação do aglomerado mais próxima. O procedimento é repetido até que o critério de terminação seja alcançado (e.g. Niknam, 2010).

Foram testados diferentes números de n classes. Para as classes resultantes, coeficientes geométricos representativos foram derivados da média de todos os membros da classe.

Análise de desempenho

Para avaliar a qualidade das abordagens testadas, os volumes dos reservatórios foram calculados para todos os registros disponíveis das curvas cota-área-volume (sete registros por reservatório, em média), a partir da base de dados DNOCS (Pinheiro, 2004) e comparados com os valores observados.

Para um único reservatório i , o ajuste foi expresso como o erro relativo PE (%) do volume predito ($V_{pred,i}$) versus volume observado ($V_{obs,i}$):

$$PE_i = 100 \cdot \frac{V_{pred,i} - V_{obs,i}}{V_{obs,i}} \quad (7)$$

Para quantificar o desempenho geral das abordagens, utilizou-se a faixa de variação de PE e seu valor absoluto médio ($MAPE$, Equação 8) para todos os reservatórios n .

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |PE_i| \quad (8)$$

Extração dos preditores

Nessa etapa obtiveram-se informações da topografia para todo o Estado do Ceará através das imagens da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 metros e com projeção UTM (zona -24 S) adquirida através do banco de dados da USGS (*United States Geological Survey*).

Para os açudes inseridos na Bacia Hidrográfica do Banabuiú, no total de 52 reservatórios, realizou-se uma abordagem que se direciona para a extração de dados a partir de sensoriamento remoto, principalmente por meio de imagens ópticas.

Essas imagens foram adquiridas por meio do banco de dados do INPE e são oriundas do satélite LANDSAT 5 que esteve ativo entre os anos de 1984 até 2013. Para este estudo, levando-se em consideração o objetivo do mesmo, colheram-se as cenas do ano de 2004, entre os meses de julho e novembro, com a presença de nuvens inferior a 10% em cada quadrante, ano este que teve a pluviometria acima da média anual para todo o Estado do Ceará.

Desta forma considerou-se que a área da superfície dos açudes no ano de 2004 é a capacidade máxima de armazenamento dos mesmos. Também se fez o uso dos dados oriundos do SRTM, com as mesmas características já descritas nesta metodologia.

Com as informações das coordenadas geográficas dos açudes em estudo, disponível na ficha técnica, utilizou-se um vetor do tipo polígono para a identificação dos mesmos e para a determinação da área da criação de um *buffer* ou área de influência. O vetor possui 26.969 polígonos com área mínima de 1 hectare. Criou-se um *buffer* com uma distância de 50 metros e dentro desse limite extraíram-se os dados do SRTM para os 313 açudes da amostra.

Para o processo de extração dos dados topográficos utilizou-se o software GRASS GIS 7.0.3. Este é um software livre e de código aberto e é membro fundador do *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo).

Buffer

A área de influência do *buffer* foi definida em 50 metros. Utilizou-se o comando *v.buffer*.

Sendo *v.buffer* a indicação da criação de um buffer a partir de um vetor; *-t* indica a transferência das categorias e atributos do vetor para o *buffer*; *--overwrite* subscreve o arquivo de saída já existente; *input* é o vetor polígono adotado; *output* é o arquivo de saída e *distance* é a distância limite para a criação da área de influência.

O resultado desse processo é um polígono somado ao *buffer* criado. Desta forma, é necessário subtrair do arquivo de saída à área original do polígono, assim tem-se somente a área de influência. Utilizou-se o comando *v.overlay*.

Sendo *v.overlay* a sobreposição entre dois mapas vetoriais; *ainput* é o vetor (A); *atype* é o tipo do vetor; *binput* é o vetor (B); *operator* define as características de escrita do mapa de saída. *Not* indica que o vetor (A) não será sobreposto pelas

características do vetor (B), ou seja, o *output* será apenas o *buffer* com distância de 50 metros.

Altitude

Depois da criação do *buffer*, para todos os açudes, extraiu-se, a partir dos comandos do GRASS GIS, primeiramente o valor mediano da altitude para cada área de influência. Esse valor de altitude é simplesmente o valor de cada pixel do SRTM. Utilizou-se o comando *v.rast.stats*.

Sendo *v.rast.stats* o comando que indica o cálculo da estatística univariada de um mapa *raster* com base em um mapa vetor; *map* é o nome do vetor polígono; *raster* é o nome do mapa *raster* para o cálculo das estatísticas; *column_prefix* é o nome da nova coluna de atributos e *method* é método estatístico a ser utilizado, nesse caso a *median* = mediana.

Declividade

Utilizou-se o *raster* SRTM e as ferramentas do GRASS GIS para o cálculo da declividade do terreno da área de estudo. Utilizou-se o comando *r.param.scale*.

Sendo, *r.param.scale* a função que extrai parâmetros do SRTM; *input* é o *raster* do SRTM; *output* é o nome do mapa de saída com os valores de declividade e *param* é o parâmetro escolhido, nesse caso o *slope* que é a própria declividade.

Após a criação do mapa de declividade, extraíram-se esses valores da região do *buffer* e criou-se uma nova coluna para armazenar essas informações. Assim, tornou-se possível conhecer a declividade no entorno dos açudes estudados. Utilizou-se o comando *v.rast.stats*.

Sendo *v.rast.stats* o comando que indica o cálculo da estatística univariada de um mapa *raster* com base em um mapa vetor; *map* é o nome do arquivo *buffer*; *raster* é o nome do mapa *raster* para o cálculo das estatísticas, neste caso *slope*; *column_prefix* é o nome da nova coluna de atributos e *method* é método estatístico a ser utilizado, nesse caso a *median* = mediana.

Curvatura longitudinal

Nesse processo também se utilizou o *raster* SRTM para o cálculo da curvatura longitudinal (a curvatura vertical intersecta com o plano definido pela superfície de sentido normal e máximo de gradiente) do terreno da área de estudo. Utilizou-se o comando *r.param.scale*.

Sendo *r.param.scale* a função que extrai parâmetros do SRTM; *input* é o *raster* do SRTM; *output* é o nome do mapa de saída com os valores da curvatura longitudinal e *param* é o parâmetro escolhido, nesse caso o *longc* que é a própria curvatura longitudinal.

Com a criação do mapa da curvatura longitudinal tornou-se possível o conhecimento dos valores medianos para região do *buffer* dos reservatórios em estudo e criou-se uma nova coluna para armazenar essas informações. Utilizou-se o comando *v.rast.stats*.

Sendo *v.rast.stats* o comando que indica o cálculo da estatística univariada de um mapa *raster* com base em um mapa vetor; *map* é o nome do arquivo *buffer*; *raster* é o nome do mapa *raster* para o cálculo das estatísticas, neste caso *curv_long*; *columm_prefix* é o nome da nova coluna de atributos e *method* é método estatístico a ser utilizado, nesse caso a *median* = mediana

Curvatura plana

Assim como no processo de cálculo da curvatura longitudinal utilizou-se o *raster* SRTM para a determinação da curvatura plana (curvatura horizontal, interseção com o plano XY) do terreno da área de estudo. Utilizou-se o comando *r.param.scale*.

Sendo *r.param.scale* a função que extrai parâmetros do SRTM; *input* é o *raster* do SRTM; *output* é o nome do mapa de saída com os valores da curvatura plana e *param* é o parâmetro escolhido, nesse caso o *planc*.

Calcularam-se desta maneira os valores medianos para região do *buffer* dos reservatórios e para armazenar essas informações criou-se uma nova coluna. Utilizou-se o comando *v.rast.stats*.

Sendo *v.rast.stats* o comando que indica o cálculo da estatística univariada de um mapa *raster* com base em um mapa vetor; *map* é o nome do arquivo *buffer*; *raster* é o nome do mapa *raster* para o cálculo das estatísticas, neste caso *curv_plan*;

column_prefix é o nome da nova coluna de atributos e *method* é método estatístico a ser utilizado, nesse caso a *median* = mediana.

Fluxo acumulado

Para a medição de alguns parâmetros, que serão mostrados a seguir, foi-se necessário o cálculo do fluxo acumulado, tendo como base o SRTM, para todo o Estado do Ceará. Para a realização deste procedimento utilizou-se o GRASS GIS com o comando *r.terraflow*. O *r.terraflow* tem como objetivo não só calcular o fluxo acumulado, mas também a direção do fluxo, delimitação de bacias hidrográficas e o indicador topográfico de convergência (tci).

O GRASS GIS utiliza dois modelos para o cálculo das direções do fluxo: MFD (*Multiple Flow Direction*) e o SFD (*Single Flow Direction*). O método SFD atribui um sentido de fluxo único para o vizinho mais íngreme, “*downslope*”. O método MFD atribui múltiplas direções para todos os vizinhos na curva descendente.

Figura 4 - modelos para o calculado das direções do fluxo



Fonte: Manual GRASS GIS, 2017

Utilizou-se a rotina de calculo do GRASS GIS para a determinação dos parâmetros citados acima, seguindo o comando *r.terraflow*.

Sendo que *-s* indica que será utilizado o modelo SFD; *elevation* é o mapa do SRTM; *filled* é a função que preenche as possíveis falhas existentes no mapa do SRTM; *direction* é o nome do mapa de saída com os valores das direções do fluxo; *watershed* é o nome do mapa *sink-watershed*; *accumulation* é o nome do mapa *raster* de saída com os valores do fluxo acumulado e *tci* é o nome do mapa *raster* de saída do indicador topográfico de convergência.

Área de acumulação

Fez-se a utilização de funções do GRASS GIS para a determinação da área de acumulação para cada reservatório. Nessa fase, o princípio deu-se no encontro da célula com o maior valor de fluxo acumulado.

Desta maneira, converteu-se a área a partir das células de fluxo máximo acumulado para Km², levando em consideração a resolução espacial do *raster*, neste caso é de 30 metros.

Distância entre o ponto de entrada e de saída do açude

Com a ajuda do software GRASS GIS calculou-se a distância entre os pontos de entrada, pixel com o maior valor altimétrico, e saída, pixel com o menor valor altimétrico, na área de cada açude.

Utilizou-se a carta SRTM e o shape com as áreas dos açudes estudados. Assim, com a função *r.rast.stats* calculou-se a cota máxima e mínima para todos os açudes. Com a coordenada geográfica desses pontos, foi-se possível calcular a distância entre os pontos.

Diferença entre as altitudes de entrada e de saída do açude

A partir dos dados disponibilizados pela carta SRTM extraiu-se os valores medianos de altimetria dos pontos de entrada e saída dos açudes. Logo, conhecendo essas informações foi possível, pela subtração dos dados, conhecer a diferença entre as altitudes.

Distância do açude até o pixel de maior fluxo acumulado na bacia hidrográfica

Calculou-se para cada açude a sua distância, a partir do pixel de máximo fluxo acumulado, até o exutório da bacia hidrográfica na qual o mesmo está inserido. Utilizou-se o *shape* com as delimitações das bacias hidrográficas que contemplam o Estado do Ceará e em seguida, utilizando-se do *raster* de fluxo acumulado, determinou-se o pixel com o maior valor de acumulação, que por definição indica o exutório de uma determinada região topográfica.

A partir do conhecimento dessas informações, ponto máximo de fluxo do açude e da bacia hidrográfica, tornou-se possível, com a ajuda do programa estatístico R, o cálculo da distância euclidiana entre os pontos e o exutório.

Preditores extraídos por imagem óptica e SRTM:

Área – área máxima de inundação;

Perímetro – perímetro da área máxima de inundação;

Cota mínima – cota altimétrica mínima;

Cota máxima – cota altimétrica máxima;

Dist_Cota_Mín_Máx – distância entre a cota máxima e a mínima;

SomPixEsq – soma dos pixels do esqueleto: o esqueleto é uma linha que aproxima o comprimento do reservatório, incluindo suas ramificações;

Centroídexy – é o centro geométrico do reservatório em 2D;

DistCMMín – distância do centroide ao ponto de cota mínima na borda do reservatório;

DistCMMáx – distância do centroide ao ponto de cota máxima na borda do reservatório;

Diâmetro – É o diâmetro dos polígonos de cada reservatório;

Circularidade – $\frac{P^2}{A}$

Taxa de espessura – $\left(\frac{A}{P}\right)^2 \times 4 \times \pi$

Onde A e P são área e perímetro, respectivamente.

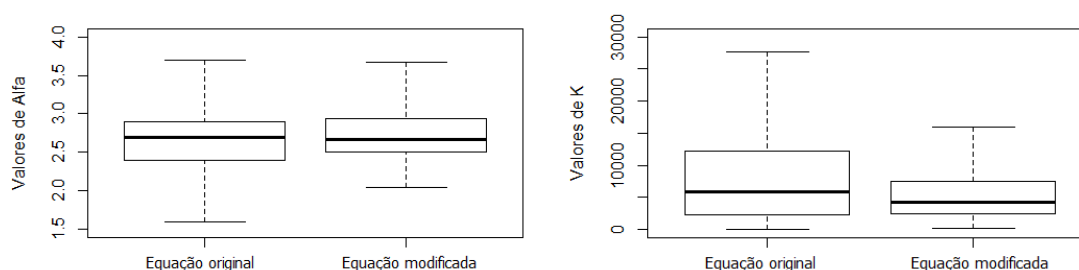
Área/Perímetro – Relação entre área e perímetro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização geométrica dos reservatórios de superfície com base em dados medidos

Os coeficientes geométricos α e K para a equação da forma original de Molle, medidos para os 313 reservatórios no Ceará (Pinheiro, 2004), aproximam-se da faixa de valores encontrados por Molle (1994), com média α de 2,71 e valor mediano de K atingindo 5.800. Para a equação da forma modificada, a média α e a mediana K são, respectivamente, 2,73 e 4.300. O valor de mediana para o coeficiente K caracteriza melhor os dados uma vez que o coeficiente K possui uma variabilidade considerável. Embora os valores médios dos coeficientes geométricos sejam semelhantes nas duas equações, sua variação apresentou grandes diferenças, com a equação da forma modificada resultando em uma faixa mais estreita, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - variação dos coeficientes geométricos α (esquerda) e K (direita) dos 313 reservatórios no Ceará para as equações de forma original (Molle, 1994) e modificada



Fonte: Autor, 2017

Abordagem 1 - regressão linear para a estimativa dos volumes de reservatórios e coeficientes geométricos

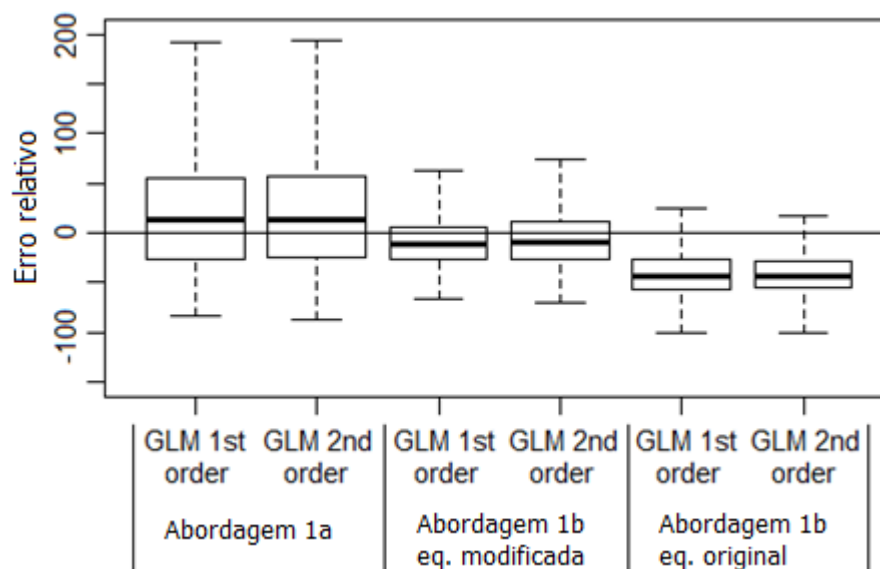
A derivação dos volumes dos reservatórios diretamente das áreas inundadas, com base em regressões lineares (Abordagem 1a), resulta em erros percentuais médios absolutos de 40% nos GLMs de 1ª e 2ª ordens.¹

Usando os mesmos modelos lineares para estimar os coeficientes geométricos α e K (Abordagem 1b) e aplicando os coeficientes previstos nas Equações 5 e 6 para estimar os volumes dos reservatórios para todos os pares de dados área-

¹ No programa R, "level" foi definido com o valor de 1 (GLM 1ª), significando que o modelo linear não levará em consideração os efeitos de interação. Outra forma o "level" definido como 2 (GLM 2ª) significa com o modelo linear levará em consideração os efeitos de interação.

volume, os erros percentuais absolutos médios para a forma original da equação são 43% e 44% para GLMs primeira e segunda ordens, respectivamente. Quando a equação modificada da forma do reservatório é aplicada, os erros percentuais médios absolutos na estimativa dos volumes caem para 21% e 23% para os mesmos métodos.

Figura 6 - Boxplot do erro relativo (predito versus volumes observados) dos métodos testados para estimativa de volumes de reservatórios no Ceará a partir de atributos de terreno (Abordagens 1a e 1b), de acordo com o modelo linear, aproximação e forma da equação



Fonte: Autor, 2017

Geralmente, os boxplots de erros relativos dos GLMs testados na Abordagem 1a mostram que o erro mediano resultante das regressões para obtenção dos volumes dos reservatórios é próximo de zero. Na Abordagem 1b, estimar os coeficientes geométricos através da equação modificada também apresentou erro mediano dos volumes em torno de zero, enquanto a equação original apresentou pior resultado.

O método *Random Forest* foi um pouco melhor, com MAPE de 38% e 15% na aproximação 1b com as equações de forma original e modificada, respectivamente. No entanto, sendo não paramétrico, o método *Random Forest* não pode ser relatado na forma de uma equação fechada e não foi mais considerado no estudo, por uma questão de simplicidade na aplicabilidade do método.

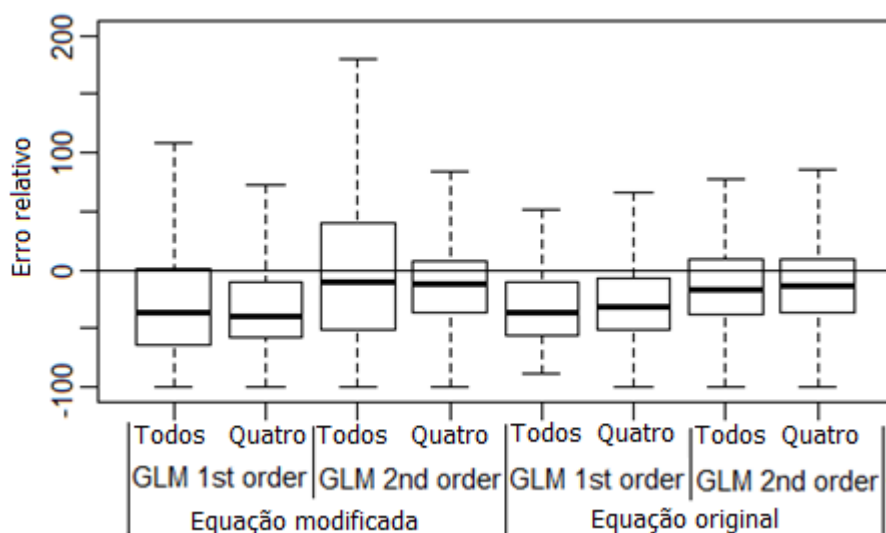
A estimativa dos coeficientes geométricos dos reservatórios da Bacia do Rio Banabuiú com os GLMs, com base nos atributos de forma (Abordagem 1c), leva a resultados semelhantes aos dos atributos do terreno (Figura 6).

Na análise realizada utilizando 4 preditores, os valores de MAPE seguem a mesma ordem de grandeza daqueles com todos os atributos de forma. Assim, a simplicidade introduzida pela redução do número de preditores não prejudica o desempenho desta abordagem para estimar a geometria de pequenos reservatórios.

Na abordagem 1c, usando todos os atributos de forma na equação original, os GLMs da 1ª e 2ª ordens apresentam erros percentuais absolutos médios de 49% e 45%, respectivamente, enquanto os erros usando a equação modificada são 51% e 35% na mesma ordem. Usando os quatro atributos de forma selecionados na equação original, os GLMs de 1ª e 2ª ordens apresentam erros percentuais absolutos médios de 39% e 38%, respectivamente, enquanto os erros usando a equação modificada são 33% e 32% na mesma ordem.

Em todos os métodos, as medianas dos erros relativos estão todas dentro do intervalo entre 0 e -50%, mas a equação modificada tende a produzir melhores volumes preditos (Figura 7). Os resultados também indicam que não há uma grande diferença dos erros relativos dos volumes previstos ao estimar os coeficientes geométricos com todos ou apenas 4 preditores de forma.

Figura 7 - Box-plots do erro relativo (predito *versus* volumes observados) dos métodos testados para estimativa de volumes de reservatórios na Bacia de Banabuiú a partir de atributos de forma (Abordagem 1c), de acordo com o número de atributos de forma, modelo linear e forma da equação



Fonte: Autor, 2017

Com base na qualidade do ajuste, calculada pela MAPE e sua faixa, bem como a facilidade de uso, aqui expressa pelo número e disponibilidade de dados de entrada, as seguintes equações são propostas para a previsão de volumes de reservatórios. Os volumes previstos calculados com os métodos propostos *versus* os respectivos volumes observados são apresentados na Figura 8.

Abordagem 1a: Volumes derivados diretamente dos atributos do terreno e das áreas inundadas:

$$\ln(V) = -(9.70E-1) + (5.09E-7)L_{out} + (5.38E-2)S + (1.09E0) \cdot \ln(A) + (3.20E1)L_{res,max} / A_{max} \quad (9)$$

Abordagem 1b: Coeficientes geométricos derivados de atributos de terreno e forma, a serem aplicados na Equação 6 para previsão de volume:

$$\alpha_{mod} = (2.88E0) + (2.99E-7)A_{max} - (4.01E-2)S - (1.58E-5)P_{max} - (1.94E2)\lambda / A_{max} - (9.48E-1)\lambda / L_{res,max} \quad (10)$$

$$K_{mod} = (3.12E3) - (7.58E-3)L_{out} - (2.47E2)LC + (5.83E1)\lambda - (2.90E6)\lambda / A_{max} \quad (11)$$

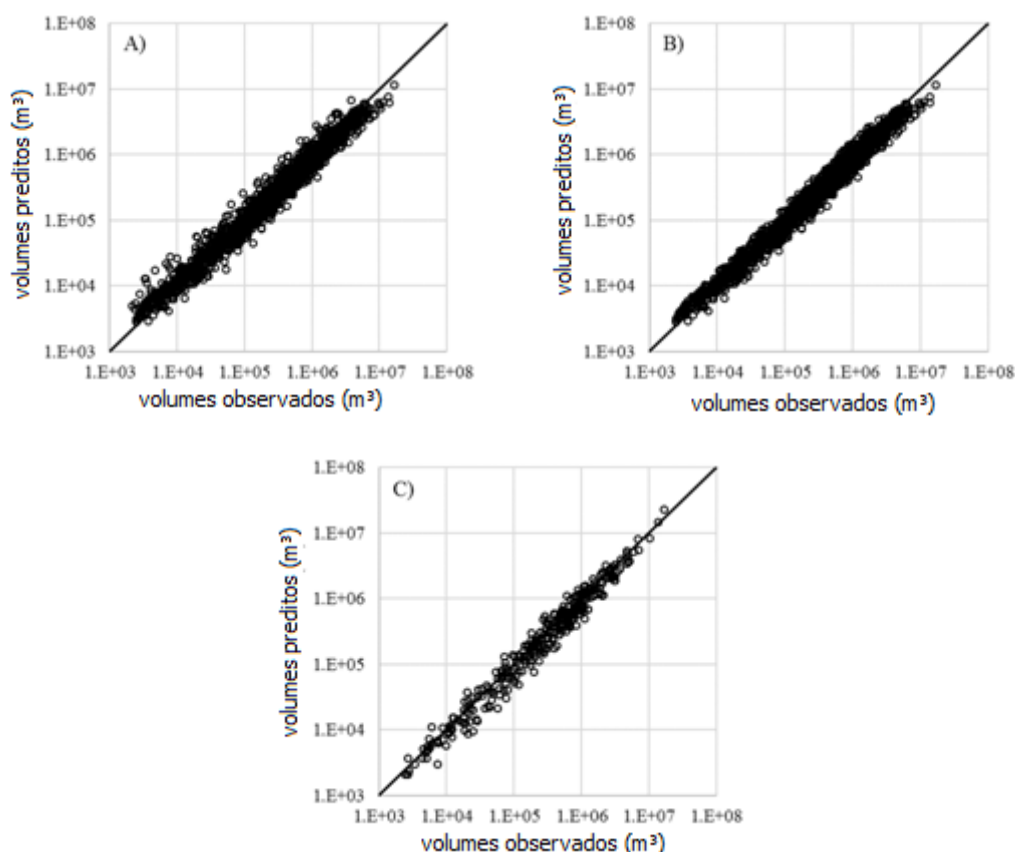
Abordagem 1c: Coeficientes geométricos derivados de atributos de forma, a serem aplicados na Equação 6 para previsão de volume:

$$\alpha_{mod} = (2.13E0) + (1.77E-6)A_{max} + (2.12E-2)(\lambda / P_{max}) - (2.47E-8)(A_{max}^2 / P_{max}) + (4.69E-6)A_{max} \cdot D / P_{max} + (9.14E-6)(A_{max}^2 / P_{max}) / D \quad (12)$$

$$K_{mod} = (6.43E3) + (2.35E1)\lambda - (3.78E3)A_{max} D / A_{max} + (3.5E-1)(A_{max}^2 / P_{max}) / D - (1.06E3)\lambda^2 / D \quad (13)$$

Nas Equações 9 a 13, V é o volume do reservatório (m³), A é a área inundada (m²), A_{max} é a área inundada máxima (m²), H_{max} é a altura da barragem (m), calculada neste estudo como a diferença da altura entre a entrada do reservatório e o ponto mais baixo no *buffer* de 50 m de largura em torno do reservatório, S é a declividade mediana no *buffer* (%), P_{max} é o perímetro da área inundada máxima (m), L_{res,max} é o comprimento do reservatório (m) com base na área máxima, calculada neste estudo como a distância da entrada do reservatório à barragem, L_{out} é a distância da represa à saída da bacia onde o reservatório está localizado, na costa), LC é a curvatura longitudinal mediana no *buffer* com 50 m de largura ao redor do reservatório (-), D é o diâmetro do reservatório (m), calculado neste estudo como a razão P_{max}/π, λ é a relação entre A_{max} e P_{max}.

Figura 8 - Volumes preditos com as equações propostas versus volumes dos reservatórios observados - A) Abordagem 1a; B) Abordagem 1b; C) Abordagem 1c



*Figuras A e B: 313 pontos; Figura C: 52 pontos.

Fonte: Autor, 2017

Outros pesquisadores, como Liebe et al. (2005) e Sawunyama et al. (2006), enfrentaram dificuldades em estimar com precisão os volumes de reservatórios individuais a partir de dados de sensoriamento remoto. Apesar da existência de uma forte relação entre as áreas de superfície do reservatório e os volumes, impulsionada por uma função de potência, algumas características impõem um certo grau de complexidade às formas dos reservatórios:

- Condições geomorfológicas podem impor curvatura transversal diferente, com considerável variação em termos de concavidade / convexidade;
- As características regionais do terreno podem não ser representativas das condições locais do reservatório, já que critérios específicos são usados para decidir sobre a construção de uma barragem (Molle, 1994), tais como seções estreitas nos vales dos rios;

- O processo de sedimentação altera a forma geral dos reservatórios, reduzindo a profundidade e aumentando a abertura (de Araújo, 2006).

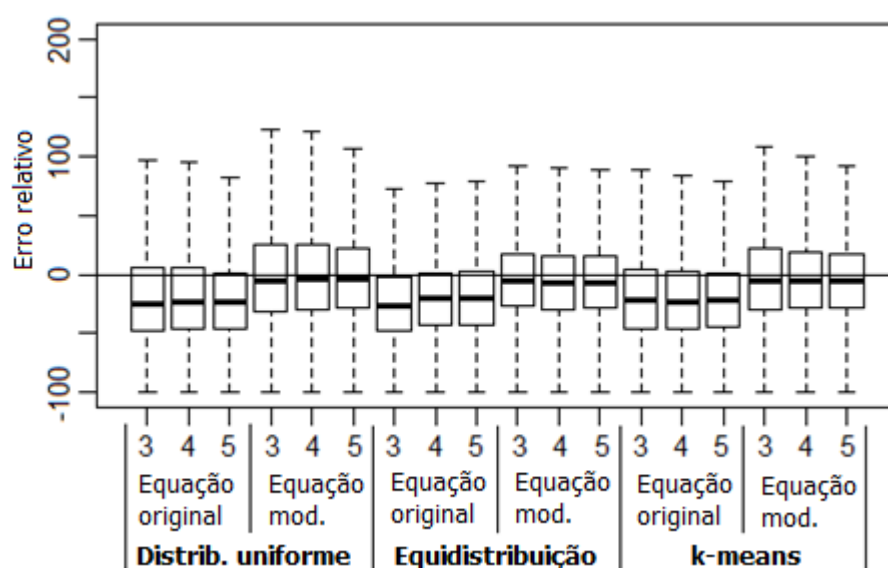
Abordagem 2 - Classificação de dados para a estimação dos coeficientes de forma com base na área de superfície máxima

Os resultados da classificação dos dados indicam que o número de classes, independentemente do método, produz um baixo impacto nos erros relativos dos volumes estimados pelas equações original e modificada (Figura 9). As MAPEs para o método de intervalo uniforme, usando a equação de forma original, são 38%, 37% e 35% para 3, 4 e 5 classes, respectivamente, enquanto as MAPEs para a equação modificada alcançam 37%, 37% e 34% na mesma ordem.

O método de equidistribuição apresenta resultados ligeiramente melhores para as equações original e modificada, com erros percentuais absolutos médios de 35%, 32% e 32%, respectivamente, com 3, 4 e 5 classes respectivamente e a última equação de 31% para todas as três classes testadas.

Da mesma forma, a classificação baseada em K-means teve um desempenho melhor com a equação de forma modificada. Os erros de percentagem absoluta média são 35%, 34%, 33%, 34%, 33% e 31% para as classes 3, 4 e 5 na equação de forma original e 3, 4 e 5 classes na equação de forma modificada.

Figura 9 - Boxplot do erro relativo (predito versus volume observado) dos métodos testados para a estimação dos volumes de reservatórios no Ceará a partir da classificação de dados (Abordagem 2), de acordo com o número de classes, equação de forma e critério de classificação



A partir da Figura 9, pode-se observar que o método de equidistribuição com a equação modificada apresenta um intervalo estreito dos erros relativos em torno de zero. O método de classificação de k-means também apresenta valores médios de erros relativos próximos de zero para a equação de forma modificada, mas um intervalo ligeiramente menor de *PE*. O método com maiores erros é o intervalo uniforme, pois agrupa um número similar de reservatórios em cada classe, não levando em conta efetivamente a similaridade em termos de áreas inundadas. Para todos os métodos utilizados para definir as classes, isto é, intervalo uniforme, equidistribuição e k-médias, a equação original subestima a capacidade de armazenamento dos reservatórios.

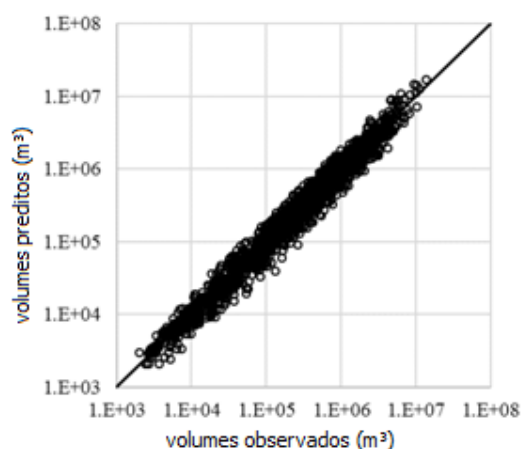
Com base na qualidade do ajuste e na facilidade de uso, propõe-se o seguinte critério de classificação para a predição dos volumes dos reservatórios na Abordagem 2 (Tabela 1). Os volumes previstos calculados com o método proposto (equidistribuição de reservatórios nas classes) em relação aos respectivos volumes observados são apresentados na Figura 10.

Tabela 1- Áreas máximas inundadas e os respectivos atributos de forma médio dos reservatórios (Abordagem 2) em classes com equidistribuição de reservatórios

Características das Classes		Classes		
		1	2	3
Variação da área máx inundada (m ²)	Mín.	5.1E4	3.5E5	6.4E5
	Máx.	3.5E5	6.4E5	3.2E6
α_{mod}		2,58	2,67	2,96
K_{mod}		3.136	5.342	4.942

Fonte: Autor, 2017

Figura 10 - volumes previstos com o critério de classificação proposto versus volume observado soareservatórios - Abordagem 2



*A figura apresenta 313 pontos.

Fonte: Autor, 2017

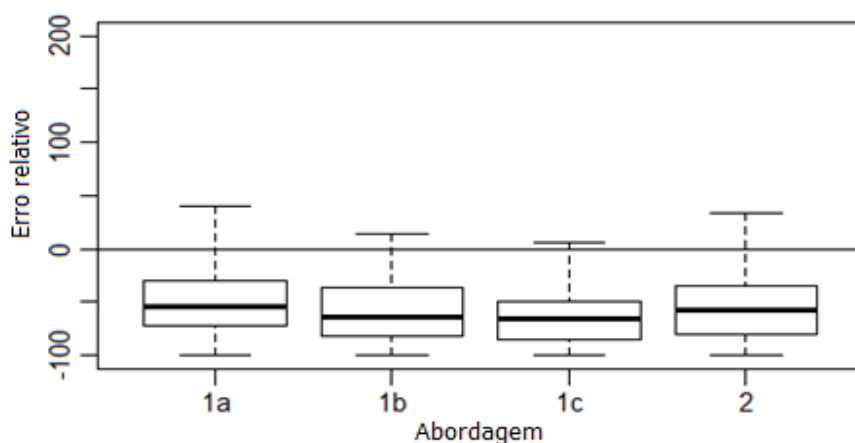
O desempenho do método de classificação proposto para agrupar os reservatórios, com erro médio percentual absoluto de 31%, indica a adequação da utilização área máxima inundada do reservatório como o critério de agrupamento.

O MAPE da Abordagem 2 é maior do que a da abordagem 1b (21%), mas na mesma ordem de grandeza das abordagens 1a (38%) e 1c (32%), apesar da sua simplicidade. No entanto, é preciso estar ciente sobre a dificuldade na obtenção da superfície máxima inundada de reservatórios não-monitorados, que são restritas a poucas ocasiões em que os reservatórios estão cheios (uma vez a cada cinco anos). Medições no local dos reservatórios realizados com GPS de mão pode ser dificultada por causa das condições de acesso (HEINE et al., 2014), enquanto estimativas baseadas em sensoriamento remoto são dependentes do tempo e da vegetação (TOLEDO et al., 2014), como discutido na próxima seção.

Avaliação da capacidade de armazenamento dos reservatórios por sensoriamento remoto

Para avaliar o potencial dos métodos para estimar a capacidade de armazenamento dos reservatórios, os modelos propostos foram executados para a bacia do Banabuiú usando como dados de entrada a área inundada estimados a partir de imagens ópticas obtidas pelo satélite Landsat 5 após a estação das chuvas intensas de 2004. A Figura 11 indica uma forte degradação dos resultados, com os erros percentuais absolutos médios de todos os métodos com 59% em média.

Figura 11 - Boxplots do erro relativo dos métodos propostos para a estimativa da capacidade de armazenamento dos reservatórios na Bacia de Banabuiú, com a área máxima obtida a partir de imagens do Landsat 5



Fonte: Autor, 2017

Os maus resultados são provenientes de algumas deficiências na extração da área inundada máxima na detecção remota. Em primeiro lugar, dificilmente podemos confirmar que os reservatórios estão completamente cheios no momento da aquisição das imagens de satélite, mesmo depois de intensas temporadas de chuvas como a ocorrida em 2004 na Bacia do Banabuiú. Esta incerteza relaciona-se à alta variabilidade temporal da precipitação (MEDEIROS e de ARAÚJO, 2014), resultando em uma ocorrência de fluxo muito concentrada (FIGUEIREDO et al, 2016), especialmente na pequena escala da maioria dos reservatórios não monitorados deste estudo. Assim, os reservatórios são preenchidos por inundações repentinas sobre um padrão temporal dominado por picos ocorrendo em poucos dias. Considerando que os reservatórios da região de estudo apresentam alto tempo de residência (normalmente superior a 2 anos), o enchimento completo pode ocorrer em uma frequência tão baixa como a cada 5 anos em mediana. Assim, são necessárias séries de imagens de satélite de longo período para determinar com precisão a extensão máxima de água. Por exemplo, Pekel et al. (2016) utilizaram imagens de satélite adquiridas ao longo de 32 anos para mapear mudanças de longo prazo e extensões máximas de água em escala global.

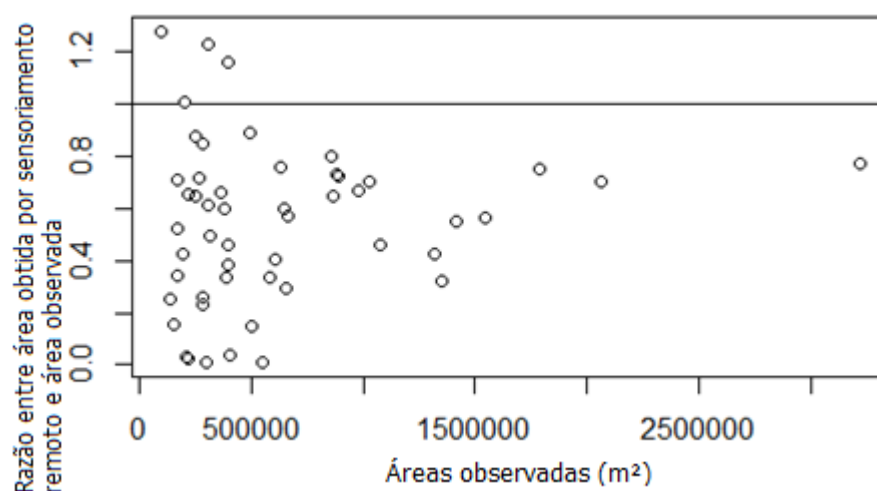
Adicionalmente, perturbações externas podem dificultar a detecção de água a partir de imagens ópticas (PALMER et al., 2015). Por exemplo, esforços têm sido implementados anteriormente para mapear a rede de reservatórios de alta densidade no Nordeste do Brasil utilizando imagens de satélite óptico (MALVEIRA et al, 2012, TOLEDO et al., 2014, PETER et al, 2014), mas erros na identificação de até 21 % (TOLEDO et al., 2014) são derivados da incapacidade de diferenciar as sombras das nuvens dos corpos de água e macrófitas da vegetação terrestre.

Alternativamente, foram propostos métodos de mapeamento de extensão de superfície de água com base em dados de Radar de Abertura Sintética, como os de Heine et al. (2004) e Zhang et al. (Submetido) usando séries temporais das imagens TerraSAR-X adquiridas no modo StripMap com uma resolução espacial de aproximadamente 3 m. Apesar de promissoras sobre a superação da dependência do clima e da interferência da vegetação na detecção de água, os métodos acima mencionados não puderam ser aplicados neste estudo, já que o TerraSAR-X começou a operar em 2008, uma vez que não ocorreu uma intensa estação de chuvas e a região enfrenta uma das maiores secas severas desde décadas, com duração de 2012 a 2016. Portanto, o estágio de baixa água na maioria dos reservatórios nos últimos anos impede

a detecção de áreas máximas inundadas de dados Terra-SAR. Além disso, os dados TerraSAR-X, semelhantes a muitos outros dados de satélite de alta resolução espacial, só são adquiridos mediante solicitação e, portanto, somente disponíveis para pontos selecionados, em vez de um mapeamento regular contínuo de toda a superfície terrestre. Além disso, as imagens de radar não podem oferecer um registro mais longo do passado que poderia permitir análises retrospectivas.

Outra fonte de incerteza na determinação das áreas máximas inundadas é a resolução da imagem, tanto espacial como temporal. A baixa resolução espacial promove grande impacto na área superficial derivada de imagens ópticas, especialmente para os reservatórios menores, como indicado na Figura 12. Inversamente, os reservatórios maiores são mais prováveis não terem sido completamente cheios durante o período chuvoso selecionado. Por outro lado, baixa resolução temporal ou aquisições esporádicas podem impedir a aquisição de imagens sem nuvens durante ou imediatamente após a estação chuvosa, quando é mais provável que os reservatórios estejam cheios. Neste contexto, as recentes missões Sentinel da ESA abrem novas possibilidades para o monitoramento da extensão da superfície da água, com o seu mapeamento contínuo da superfície da Terra em alta resolução espacial e temporal no domínio óptico (Sentinel-2) de microondas.

Figura 12 - relação entre a área inundada baseada em sensoriamento remoto (Landsat, agosto de 2004) e a área máxima inundada a partir da base de dados do DNOCS



Fonte: Autor, 2017

5. CONCLUSÕES

Regiões de escassez de água com alta densidade de reservatórios, como o semiárido do Nordeste do Brasil, geralmente sofrem com a falta de informações sobre as propriedades dos reservatórios, dificultando avaliações precisas da disponibilidade hídrica e hidrológica. Neste estudo, foi utilizado um conjunto de 313 reservatórios no Ceará (149.000 km²), no Brasil, para a obtenção de coeficientes geométricos de curvas cota-área-volume. Modelos de regressão linear e classificação de dados foram então utilizados para ajustar os volumes dos reservatórios e moldar os coeficientes aos atributos do terreno e aos atributos de forma do reservatório.

A função de potência utilizada até agora para descrever as formas dos reservatórios tende a subestimar os volumes com a calibração utilizada nesse estudo, portanto, foi proposta uma equação de forma modificada. Em todas as análises realizadas, a equação modificada da forma do reservatório leva a erros menores nas estimativas de volume. Isso resulta da independência da altura total da água, que contém alta incerteza devido à dificuldade em medir o ponto mais baixo do reservatório e o caráter dinâmico do fundo do reservatório devido à sedimentação.

Dentre os modelos lineares testados, foram propostas três abordagens baseadas na qualidade do ajuste dos volumes observados em relação aos volumes previstos, dispersão de erro, bem como a facilidade de uso: Abordagem 1a: derivação dos volumes dos reservatórios diretamente das áreas inundadas no Ceará; Abordagem 1b: derivação de coeficientes de forma a partir de atributos de terreno no Ceará; Abordagem 1c: derivação de coeficientes de forma a partir de atributos de forma no subconjunto da Bacia do Rio Banabuiú, 52 reservatórios dentro de 19.000 km². Os erros médios de percentagem absoluta dos métodos propostos foram de 38%, 21% e 32%, respectivamente.

A classificação proposta para a estimativa dos coeficientes de forma médios (Abordagem 2) resultou em erros percentuais absolutos médios dos volumes previstos de 31%. O desempenho deste método é semelhante ao dos modelos lineares, mas sua aplicação se beneficia da simplicidade, pois o único dado de entrada é a área inundada máxima do reservatório.

A principal restrição dos métodos propostos para estimar o volume do reservatório é a dificuldade de estimar áreas inundadas a partir do sensoriamento remoto, devido a perturbações externas tais como:

- Presença de nuvens sobre os reservatórios, e sombras, que são muitas vezes confundidas com os corpos de água;
- Presença de macrófitas flutuantes e emergentes nos reservatórios, que podem ser confundidas com vegetação nas margens, dificultando a estimativa precisa da área inundada efetiva;
- Resolução espacial e temporal das imagens, evitando a delimitação correta, especialmente de pequenos reservatórios, e a aquisição de imagens sem nuvens durante ou imediatamente após a estação chuvosa, respectivamente.

Para a estimativa das capacidades de armazenamento, surgem outras fontes de incerteza:

- Falta de conhecimento sobre o estado dos reservatórios, questão do estágio do assoreamento, no momento da aquisição da imagem, se a capacidade de armazenamento e, portanto, a área máxima inundada, tiverem sido atingidas.

Assim, a abordagem 1b é indicada para o cálculo da estimativa do volume de um reservatório, quando se deseja um maior rigor nessa estimativa, apresentando um menor valor do erro percentual médio absoluto. Como alternativa, quando se almeja simplicidade e imediatismo, conclui-se que a abordagem 2 é suficiente nesse objetivo, mas perdendo em estimativa.

No entanto, a gestão da água em ambientes de alta densidade de reservatórios deve se beneficiar da previsão de volume baseada em técnicas de sensoriamento remoto, permitindo a inclusão de pequenos reservatórios localizados em regiões remotas nas políticas de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, D.M.B. **Gestão de pequenos sistemas hídricos no semiárido nordestino**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. 150 p.
- ALSDORF, D.E.; LETTENMAIER, D.P. **Tracking fresh water from space**. Science, 301, 1491–1494, 2003. DOI: 10.1126/science.1089802
- ALVES, J. **História das secas** (séculos XVII a XIX). Edição fac-símile. Fortaleza: Fundação Waldemar Alcântara, 2003.
- BOELEEE, E. CECCHI, P. KONÉ, A. **Health impacts of small reservoirs in BurkinaFaso**. In: IWMI Working Paper, 136. IWMI, Colombo, Sri Lanka, 2009.
- CAMPOS, J. **Influência da forma do assoreamento na vazão regularizada de reservatórios do Estado do Ceará**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, 80 f, Fortaleza, 2015.
- CAMPOS, J.N.B. **Modeling the yield-evaporation-spill in the reservoir storage process: the Regulation Triangle Diagram**. Water Resources Management, 24, 3487-3511, 2010. DOI: 10.1007/s11269-010-9616-x
- CAMPOS, J.N.B. **Paradigms and public policies on drought in Northeast Brazil: a historical perspective**. Environmental Management, 55, 1052-1063, 2015. DOI: 10.1007/s00267-015-0444-x
- CEARÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. **Pacto das águas: caderno regional da sub-bacia do Banabuiú**. Fortaleza: INESP, 2009.
- CECCHI, P. GOURDIN, F. KONÉ, S. CORBIN, D. ETIENNE, J. CASENAVE, A. **Les petitsbarrages du nord de la Côte d’Ivoire: inventaire et potentialités hydrologiques**. Sécheresse 20 (1), 112–122, 2009.
- de 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, 51(1): 157-170, 2006.
- de ARAÚJO, J.C.; GONZÁLEZ P, J.I. **Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed**. Hydrological Processes, 23, 1169-1178, 2009. DOI: 10.1002/hyp.7232
- FEITOSA, L. S. **Aspectos Limnológicos da Pequena Açudagem no Semiárido: Estudo de Caso dos Açudes do Assentamento 25 de Maio, Madalena-CE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) UFC Fortaleza (CE), 130 p. 2011.

FIGUEIREDO, J.V.; de ARAÚJO, J.C.; MEDEIROS, P.H.A.; COSTA, A.C. **Runoff initiation in a preserved semiarid Caatinga small watershed, Northeastern Brazil.** Hydrological Processes, 30, 2390-2400, 2016. DOI: 10.1002/hyp.10801

FONTENELE, S.B.; MENDONÇA, L.A.R.; de ARAÚJO, J.C.; SANTIAGO, M.M.F.; GONÇALVES, J.Y.B. **Relationship between hydrogeological parameters for data-scarce regions: the case of the Araripe sedimentary basin, Brazil.** Environmental Earth Sciences 71(2), 885-894, 2013. DOI: 10.1007/s12665-013-2491-z

FOWE, T. KARAMBIRI, H. PATUREL, -E. J. POUSSIN. -C. J. CECCHI, P. **Water balance of small reservoirs in the Volta basin: A case study of Boura reservoir in Burkina Faso.** Agricultural Water Management 152 (2015) 99–109, 2015.

FUNCEME – **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.** Disponível em: <<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/ceara/media/anual>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

GAO, H.; BIRKETT, C.; LETTENMAIER, D.P. **Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing.** Water Resources Research 48(9), W09504, 2012. DOI: 10.1029/2012WR012063

HEINE, I.; FRANCKE, T.; ROGAß, C.; MEDEIROS, P.H.A.; BRONSTERT, A.; FOERSTER, S. **Monitoring seasonal changes in the water surface areas of reservoirs using TerraSAR-X time series data in semiarid Northeastern Brazil.** IEEE J-STARS, 7, 3190-3199, 2014. DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2323819

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ce>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

IPECE - **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará.** Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/textos_discussao/TD_76.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2016.

IPLANCE - Fundação Instituto de Planejamento do Ceará. **Atlas do Ceará.** Fortaleza, 1995. 64 p.

KROL, M.; BRONSTERT, A. **Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil.** Environmental Modelling & Software, v. 22, p. 259-268, 2007.

KROL, S. M. VRIES, M. J. de. OEL, P. R. van. ARAÚJO, J. C. de. **Sustainability of Small Reservoirs and Large Scale Water Availability Under Current Conditions and Climate Change.** Water Resour Manage (2011) 25:3017–3026.

LI Y.P, HUANG G.H.A. **Recourse-based nonlinear programming model for stream water quality management.** Stoch Environ ResRisk Assess 26:207–223, 2012.

LIEBE, J. **Estimation of water storage capacity and evaporation losses of small reservoir in the upper east region of Ghana.** Diploma thesis, University of Bonn, 2002.

LIEBE, J.; VAN de GIESEN, N.; ANDREINI, M. **Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment: A case study in the Upper East Region of Ghana.** Physics and Chemistry of the Earth 30, 448-454, 2005. DOI: 10.1016/j.pce.2005.06.011

LIMA JÚNIOR, V.A.; PORTO, R.Q.; PASSERAT DE SILANS, A.M.B.; ALMEIDA, C.N.; SILVA, G.S.; SANTOS, F.A. **Estimativa do volume anual escoado de pequenos açudes no semiárido nordestino: Um estudo de caso na bacia hidrográfica do açude Sumé – PB.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18, 2009.

MAGALHÃES, A. R. **Respostas Governamentais às secas: a experiência de 1987 no nordeste.** Imprensa Oficial do Ceará. Governo do Estado do Ceará. Secretaria de Planejamento e Coordenação. 1991. 231p.

MALVEIRA, V. T.C. **Pequena açudagem e sustentabilidade hidrológica em grandes bacias semi-áridas: estudo de caso da bacia do açude Orós.** Tese de Doutorado – Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará. 103 f. Fortaleza, 2009.

MALVEIRA, V.T.C.; de ARAÚJO, J.C. **Arranjos de açudagem no Nordeste Semiárido.** In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, 2013.

MALVEIRA, V. T. C.; DE ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A. Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, p. 109-117, 2012.

MAMEDE, L. G. **Reservoir Sedimentation in Dryland Catchments: Modelling and Management.** Dissertation for the Degree of Doctor of natural sciences. Faculty of Mathematics and Sciences at the University of Potsdam. 86 f. Potsdam – Germany, 2008.

MAMEDE, G. L.; ARAÚJO, N. A.; SCHNEIDER, C. M.; DE ARAÚJO, J. C.; HERRMANN, H. J. **Overspill avalanching in a dense reservoir network.** Proc. Natl Acad Sci USA, **109(19)**.

MEDEIROS, P.H.A.; de ARAÚJO, J.C. **Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes.** Journal of Soils and Sediments, 14, 1216-1223, 2014. DOI: 10.1007/s11368-013-0809-9

MOLLE, F. **Geometria dos pequenos açudes.** 3. ed. Recife: SUDENE, 131 p. (Brasil SUDENE. Hidrologia Nº 29), 1994.

MOLLE, F.; CARDIER, E. **Manual do pequeno açude: Construir, conservar e aproveitar pequenos açudes no Nordeste brasileiro.** Recife: SUDENE, 528 p, 1992.

NASCIMENTO, A. T. P. de. **Análise da disponibilidade hídrica nos pequenos açudes do assentamento 25 de maio, MADELANA-CE.** Monografia (Bacharelado

em Engenharia Ambiental e Sanitária). 65 f. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Maracanaú, 2015.

NIKNAM, T.; AMIRI, B. **An efficient hybrid approach based on PSO, ACO and k-means for cluster analysis.** *Applied Soft Computing*, 10, 183-197, 2010. DOI: 10.1016/j.asoc.2009.07.001

PALMER, S.C.J.; KUTSER, T.; HUNTER, P.D. **Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions.** *Remote Sensing of Environment*, 157(1-8), 2015. DOI: 10.1016/j.rse.2014.09.021

PEKEL, J.F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A.S. **High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes.** *Nature* 540, 418-422, 2016. DOI: 10.1038/nature20584

PETER, S.; de ARAÚJO, J.C.; ARAUJO, N.; HERRMANN, H.J. **Flood avalanches in a semiarid basin with a dense reservoir network.** *Journal of Hydrology*, 512, 408-420, 2014. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.001

PEREIRA, S. B. **Caracterização geométrica de pequenos açudes no semiárido cearense.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária). 51 f. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Maracanaú, 2013

PINHEIRO, D.M. **Açudagem particular em cooperação no Ceará.** Fortaleza: DNOCS, 2004.

PINHEIRO, E.A.R.; METSELAAR, K.; de JONG Van LIER, Q.; de ARAÚJO, J.C. **Importance of soil-water to the Caatinga biome, Brazil.** *Ecohydrology*, 9, 1313-1327, 2016. DOI: 10.1002/eco.1728.

POOLMAN, M.I. **Developing small reservoirs: A participatory approach can help.** MSc. Dissertation, Technical University of Delft, 2005.

R Core Development Team: **R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2015, Available from: <http://www.r-project.org>.

RAKHMATULLAEV, S. **Improvement of Operational Methods for the Assessment of the Water Reservoir Useful Storage Capacity Using Geoinformation Systems: Case Study of the Akdarya Reservoir.** University Bordeaux 1, Samarqand Province, Uzbekistan (Dissertation). 2010.

RECIFE. **As secas do Nordeste** (Uma abordagem histórica de causas e efeitos). Ministério do Interior – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Recife, 1981.

ROCHA, T. X. de S. ARAÚJO, E. M. MAMEDE, G. L. **Sensoriamento remoto como estratégia para a gestão das águas no semiárido: Uso de dados multiespectrais na detecção de diferentes alvos na bacia hidráulica de pequenos açudes.** In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Brasília/DF, 2015.

- RODRIGUES, L.N.; SANO, E.E.; AZEVEDO, J.A.; SILVA, E.M. **Distribuição espacial e área máxima do espelho d'água de pequenas barragens de terra na Bacia do Rio Preto**. Espaço e Geografia, v.10, p.101-122, 2007.
- RODRIGUES, L.N.; SANO, E.E.; STEENHUIS, T.S.; PASSO, D.P. **Estimation of small reservoir storage capacities with remote sensing in the Brazilian Savannah Region**. Water Resources Management, 26(4), 873-882, 2012. DOI: 10.1007/s11269-011-9941-8
- SAWUNYAMA, T.; SENZANJE, A.; MHIZHA, A. **Estimation of small reservoir storage capacities in Limpopo River Basin using geographical information systems (GIS) and remotely sensed surface areas: Case of Mzingwane catchment**. Physics and Chemistry of the Earth, 31, 935-943, 2006. DOI: 10.1016/j.pce.2006.08.008
- SCHULTZ, G.A. **Remote sensing in hydrology**. Journal of Hydrology, 100(1-3), 239-265, 1988. DOI: 10.1016/0022-1694(88)90187-4
- SILVA, A.C.B. **Qualidade da água e comunidade íctia do açude Marengo (Madalena, Ce) durante o período de estiagem**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia de Pesca. UFC Fortaleza (CE), 90 p, 2014.
- SUASSUNA, J. **A média e a pequena açudagem no Semi-árido nordestino: Uso da água na produção de alimentos**. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=756&Itemid=376>. Acesso: 10 jul. 2016.
- TOLEDO, C.E.; de ARAÚJO J.C.; ALMEIDA, C.L. **The use of remote-sensing techniques to monitor dense reservoir networks in the Brazilian semi-arid region**. International Journal of Remote Sensing, 35, 10, pp. 3683-3699, 2014.
- WIEGAND, M. C.; RIBEIRO, D. C.; NASCIMENTO, A. T. P.; ARAÚJO, J. C. **O sedimento como fonte de fósforo em açudes eutrofizados do semiárido**. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. João Pessoa/Paraíba. Anais...João Pessoa, 2014. CD-Rom.
- ZHANG, S.; MEDEIROS, P.H.A.; de ARAÚJO, J.C.; MONTAGH, M.; WASKE, B.; FOERSTER, S. **Bathymetric survey of water reservoirs in north-eastern Brazil based on TanDEM-X satellite data**. Science of the Total Environment, 571, 575-593, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016
- ZHANG, S.; FOERSTER, S.; MEDEIROS, P.; de ARAÚJO, J.C.; WASKE, B. **Monitoring water extents of macrophyte-covered small reservoirs in NE Brazil using TerraSAR-X time series data**. Manuscript submitted to the International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.

APÊNDICE

Lista dos açudes

Açude	Bacia H.	Município	α_{mod}	K_{mod}	α_{or}	K_{or}	Área (m ²)	Volume (m ³)	lat	long
Aguiar	Acaraú	Massapê	2,63	2120	3,4	243,2	257500	916000	-3,473333333	-40,35305556
Alcante	Acaraú	Santana do Acaraú	2,77	2167	3	1262	266200	809000	-3,514444444	-40,14222222
Altinhos	Acaraú	Santana do Acaraú	2,36	19151	1,7	102634	475000	1383000	-3,432777778	-40,24472222
Apurinã	Acaraú	Massapê	3,21	4283	3,3	3141	1638500	4382700	-3,434444444	-40,36027778
Argentina	Acaraú	Santana do Acaraú	3,25	650	3	861	489800	2187200	-3,369166667	-40,24416667
Bananeiras	Acaraú	Reriutaba	2,64	2457	2,7	2424	265000	951500	-4,161666667	-40,63194444
Barra do Juá	Acaraú	Santa Quitéria	2,85	4209	3,4	755	879500	2957200	-4,314722222	-39,85777778
Bom Futuro	Acaraú	Sobral	2,52	9914	2,6	8974	587500	1838000	-3,835	-40,37277778
Buri	Acaraú	Sobral	2,99	1737	2,8	3203	353300	1017300	-3,770277778	-40,56944444
Canadá	Acaraú	Cariré	2,85	2314	2,6	20778	1180600	2876000	-4,033333333	-40,53888889
Caraúbas (Ampliação)	Acaraú	Sobral	2,36	16671	2	40503	677000	2493000	-3,629722222	-40,24138889
Caruaru	Acaraú	Santa Quitéria	2,75	5364	2,7	6070	376700	915500	-4,124166667	-40,335
Elpídio Machado (Ampliação)	Acaraú	Tauá	3,26	3183	3,1	5520	1385000	3774200	-5,899166667	-40,39111111
Eurípedes	Acaraú	Cariré	2,99	3458	3	3741	448000	1014100	-3,930833333	-40,55944444
Expedito	Acaraú	Santana do Acaraú	2,55	5052	3	1447	279500	730700	-3,529166667	-40,15138889
Formiga	Acaraú	Pires Ferreira	2,35	6910	2,3	8621	185500	482200	-4,311944444	-40,59833333
Groaíras	Acaraú	Santa Quitéria	3,22	977	3,8	134	598500	1889500	-4,508888889	-39,88388889
Guimarães	Acaraú	Cariré	2,53	3823	2,1	12868	284000	1172500	-3,904444444	-40,43777778
Iratinga	Acaraú	Varjota	2,35	12496	2,5	7754	498700	1660400	-4,071388889	-40,545
Japiáçu	Acaraú	Catunda	3,07	4150	3	5920	650700	1449500	-4,540555556	-40,15444444
Julira	Acaraú	Cariré	2,51	2769	2,6	2180	286600	1347600	-3,966666667	-40,44222222
Lagoa Seca	Acaraú	Cariré	2,85	3110	3,3	1227	323500	730500	-3,8675	-40,43611111
Mantença	Acaraú	Catunda	2,8	3825	2,7	5883	541700	1772100	-4,549722222	-40,18555556

Manuel Dias	Acaraú	Reriutaba	2,45	4576	2,2	9439	307800	1283100	-4,166666667	-40,64083333
Maria de Jesus	Acaraú	Massapê	3,36	1185	3	3725	313200	601800	-3,545	-40,28638889
Martins Filho	Acaraú	Santa Quitéria	2,83	9020	3,4	1962	1410000	4153100	-4,357777778	-40,14277778
Milério	Acaraú	Santana do Acaraú	2,61	4232	2,7	3310	251000	669300	-3,468888889	-40,32333333
Monte (Ampliação)	Acaraú	Forquilha	3,18	2452	7,5	0,0078	1359200	2473000	-3,913333333	-40,19
Monte Silva	Acaraú	Cariré	2,53	5744	2,1	22370	282900	801700	-3,958888889	-40,54611111
Monte Só	Acaraú	Massapê	2,96	2515	2,8	4142	342900	896300	-3,6125	-40,35138889
Otílio	Acaraú	Santana do Acaraú	2,85	2986	2,7	5046	576900	2062300	-3,434444444	-40,25888889
Pacheco (Ampliação)	Acaraú	Santana do Acaraú	2,42	7937	2,5	7636	462000	1493000	-3,383333333	-40,33333333
Pacova II	Acaraú	Santana do Acaraú	2,52	11548	2,7	7574	619700	1785500	-3,323888889	-40,28777778
Papucu	Acaraú	Cariré	2,6	3136	2,9	1570	198400	517800	-3,840555556	-40,48194444
Pedra Amarela	Acaraú	Santa Quitéria	2,74	4685	2,7	6222	685200	2494900	-4,14	-40,03777778
Pereiros II	Acaraú	Hidrolândia	2,37	6393	2,6	3575	225000	630000	-4,555	-40,35666667
Pirituba	Acaraú	Graça	2,1	15017	2	21843	255800	860900	-4,021666667	-40,79861111
Portela	Acaraú	Sobral	2,83	3321	2,9	2896	485000	1498500	-3,782777778	-40,35666667
Quariguasi	Acaraú	Sobral	2,53	5136	2,2	13855	351600	1297800	-3,718888889	-40,40888889
Rangel	Acaraú	Monsenhor Tabosa	2,44	5608	3	1105	514500	2212400	-4,898333333	-40,13527778
Reparo	Acaraú	Santa Quitéria	2,88	2666	3,1	1492	980500	4387700	-4,455277778	-39,94972222
Riacho Cachoeirinha	Acaraú	Massapê	2,48	6383	2,6	4786	408700	1457100	-3,458055556	-40,42638889
Riacho Papucu	Acaraú	Cariré	2,71	6622	3,3	1128	1710000	7741200	-3,860277778	-40,50888889
Riacho Salgado	Acaraú	Hidrolândia	2,45	10151	2	41127	705200	3260200	-4,521666667	-40,25972222
Soares	Acaraú	Santana do Acaraú	3,07	3509	2,4	20821	490500	1166500	-3,4525	-40,24916667
Valparaíso	Acaraú	Santa Quitéria	3	3114	2,1	48261	1074500	4370700	-4,236666667	-39,84805556
Vilebaldo	Acaraú	Massapê	2,91	4134	3	3439	788700	2409200	-3,459444444	-40,38972222
Adauto	Banabuiú	Mombaça	2,64	1654	2,2	10260	247500	906200	-5,774166667	-39,91972222
Águas Belas	Banabuiú	Boa Viagem	2,52	3726	2,7	1646	247500	1107700	-4,865	-39,89916667
Alagoas	Banabuiú	Itatira	2,63	1105	3	375,3	157600	634600	-4,501666667	-39,51166667
Albertópolis	Banabuiú	Banabuiú	2,42	4738	3,1	726	382500	1547000	-5,2575	-39,05944444

Aracê	Banabuiú	Quixadá	2,68	9551	2,2	40003	854500	2870500	-5,074722222	-38,99805556
Berilópolis	Banabuiú	Milhã	2,4	44876	2,6	71	181000	5409000	-5,5425	-39,10472222
Betúlia	Banabuiú	Madalena	2,97	6754	2,7	13101	1315600	3880100	-5,041388889	-39,48833333
Bom Desejo	Banabuiú	Boa Viagem	2,71	1826	2,5	3616	168400	557400	-5,2125	-39,85305556
Cacodé	Banabuiú	Mombaça	2,51	3119	2,9	1035	285500	1090900	-5,845833333	-39,63361111
Cafundó	Banabuiú	Milhã	3,05	2601	2,2	17020	318800	842100	-5,565833333	-39,10555556
Cairara	Banabuiú	Boa Viagem	3	1330	3,2	900	218300	538000	-5,153055556	-39,81805556
Cais	Banabuiú	Boa Viagem	2,26	3542	2,6	1366	171800	764100	-5,150555556	-39,69361111
Campestre	Banabuiú	Quixadá	2,54	5250	2,6	5297	364200	1221100	-5,003888889	-39,02972222
Campo Novo	Banabuiú	Jaguaretama	2,36	21321	3	4776	540000	1180000	-5,3875	-38,75694444
Castro	Banabuiú	Quixeramobim	3,14	2624	2,6	10163	393900	830300	-5,465555556	-39,40527778
Catita	Banabuiú	Quixadá	2,92	7317	3,1	4192	892500	2095000	-4,955833333	-38,75388889
Cinco Riachos	Banabuiú	Quixadá	2,65	9748	2,6	9809	629700	1685400	-5,021666667	-38,95111111
Climério	Banabuiú	Senador Pompeu	2,65	1096	3	493	137700	516500	-5,593055556	-39,34333333
Codiá	Banabuiú	Senador Pompeu	3,32	3208	3,7	998	2063700	5922100	-5,704444444	-39,31083333
Coronel	Banabuiú	Quixeramobim	2,93	1375	3,1	760	498700	1991800	-5,189166667	-39,25583333
Cozoline	Banabuiú	Quixeramobim	2,72	4060	2,8	3202	395000	1144900	-5,037777778	-39,31666667
Crisântemo (Ampliação)	Banabuiú	Quixeramobim	2,68	3609	2,8	3254	198800	449900	-5,276388889	-39,19083333
Duarte	Banabuiú	Piquet Carneiro	2,65	5366	3	2334	407500	1128800	-5,79	-39,48694444
Ferros	Banabuiú	Quixeramobim	2,62	11015	2,7	8311	1029500	3509700	-4,926111111	-39,34305556
Freitas	Banabuiú	Quixeramobim	2,15	3830	2,2	3317	172300	1071200	-5,036944444	-39,2125
Gaspar	Banabuiú	Quixadá	2,55	3639	2,4	6525	217800	686400	-5,048055556	-38,88055556
Iêmen	Banabuiú	Mombaça	3,23	422	3,1	630	300500	1122300	-5,737777778	-39,61833333
Ingarana	Banabuiú	Limoeiro do Norte	2,62	8002	2,8	4906	552000	1546500	-5,1125	-38,20722222
Itaguaí	Banabuiú	Quixeramobim	3,25	2770	2,9	8762	1549600	4910400	-5,092777778	-39,45
Jacaraí	Banabuiú	Quixeramobim	2,62	5309	2,5	7196	306200	793000	-5,193611111	-39,22333333
Jantar	Banabuiú	Boa Viagem	2,91	1867	2,7	3348	171800	689700	-5,076388889	-39,80722222
Leocádio	Banabuiú	Caucaia	2,91	6482	2,6	12336	382500	675900	-4,898055556	-38,8

Manuel Gonçalves	Banabuiú	Mombaça	2,74	2481	2,8	2452	490000	2116700	-5,639166667	-39,73805556
Marengo (Ampliação)	Banabuiú	Madalena	2,73	8655	3,9	143	3218000	16800000	-5,029722222	-39,535
Melo Neto	Banabuiú	Mombaça	2,58	2249	2,4	3895	194600	738400	-5,74	-39,74361111
Monte São	Banabuiú	Banabuiú	2,44	2738	2,5	2890	123100	389100	-5,083333333	-38,79166667
Montese	Banabuiú	Boa Viagem	2,94	2160	2	26891	313200	930300	-5,2625	-40,01527778
Odmar	Banabuiú	Ibaretama	3,19	1797	3,2	1805	738800	2143600	-4,955	-38,74777778
Oitis	Banabuiú	Itatira	2,79	4850	2,6	7510	635000	2005000	-4,519722222	-39,52888889
Oliveira Castro	Banabuiú	Senador Pompeu	2,39	7475	2,8	1839	646500	3161500	-5,588333333	-39,51444444
Onofre	Banabuiú	Senador Pompeu	2,66	7510	2,8	5476	396800	881400	-5,5125	-39,35166667
Palmares (Reconstrução e Amp.)	Banabuiú	Quixadá	2,27	15749	2,7	5020	584500	2081000	-4,910277778	-39,05583333
Paradé	Banabuiú	Senador Pompeu	2,66	17237	2,7	14320	976500	2303200	-5,494166667	-39,4775
Pirabibu	Banabuiú	Quixeramobim	2,51	3893	2,5	4454	282000	1019700	-5,110833333	-39,40722222
Pompeu (Ampliação)	Banabuiú	Quixeramobim	2,7	6358	2,3	20638	603900	1950000	-5,016666667	-39,38333333
Retiro	Banabuiú	Morada Nova	3,05	2555	3,6	385	1055000	3605900	-5,3225	-38,46388889
Riacho Canhotinho	Banabuiú	Quixeramobim	3,19	2475	3	4796	862700	2348100	-5,355833333	-39,2675
Riacho do Tigre	Banabuiú	Madalena	2,83	5481	2,7	9579	1349900	4804200	-4,952222222	-39,455
Riachuelo	Banabuiú	Banabuiú	2,59	3527	2,5	5134	385100	1602700	-5,094166667	-38,6675
São Joaquim (Ampliação)	Banabuiú	Quixeramobim	2,49	21550	2,5	18396	1419700	5148100	-5,059444444	-39,55944444
Sibiró	Banabuiú	Quixeramobim	3	1134	3,2	513	664200	3054400	-5,078333333	-39,30527778
Sítio dos Macacos	Banabuiú	Piquet Carneiro	2,33	1921	2,5	1621	94900	398800	-5,946111111	-39,43
Suçuarana	Banabuiú	Boa Viagem	2,36	6840	2,5	4933	286500	975100	-5,147777778	-39,62333333
Tapajós	Banabuiú	Quixeramobim	2,71	2432	2,8	2329	214200	605200	-5,155833333	-39,19083333
Teotônio (2ª Ampliação)	Banabuiú	Madalena	2,33	21783	2,6	10503	1788700	10392900	-4,839444444	-39,58916667
Tertuliano	Banabuiú	Senador Pompeu	3,24	744	3,3	541	1072600	5012000	-5,623611111	-39,37027778
Tingui	Banabuiú	Quixeramobim	3,25	1709	2,8	6612	884700	2892100	-5,213333333	-39,4225
Úrsula	Banabuiú	Madalena	2,9	1706	3,2	716	656700	2921600	-4,9025	-39,39805556
Valentim	Banabuiú	Milhã	2,61	3509	2,7	2493	309500	1071500	-5,605555556	-39,23527778
Várzea Redonda	Banabuiú	Quixeramobim	2,25	13168	2,6	4773	424200	1443600	-5,080277778	-39,39194444

Vicente	Banabuiú	Milhã	2,17	12120	2,3	8649	266200	863300	-5,567777778	-39,14888889
Antonele	Coreaú	Uruoca	2,8	8448	2,5	24420	1531500	5861500	-3,352222222	-40,69555556
Antonino	Coreaú	Sernador Sá	2,17	16912	2	27445	313300	954500	-3,421666667	-40,58361111
Escorredor	Coreaú	Moraújo	2,55	5972	2,7	3990	418200	1354700	-3,505277778	-40,74333333
Guajará	Coreaú	Senador Sá	2,47	19113	1,6	167835	747800	2518600	-3,236944444	-40,50722222
Helianto	Coreaú	Morrinhos	2,41	4126	2	14426	162000	532900	-3,299166667	-40,28027778
Inhanduba	Coreaú	Bela Cruz	2,96	13934	3,2	6237	2387800	6274800	-3,078333333	-40,47388889
Itaúna	Coreaú	Granja	2,8	7241	2,7	11505	1237500	4481700	-3,119166667	-41,1175
Jaciguai	Coreaú	Marco	2,52	9728	4,5	45,307	458600	929000	-3,152222222	-40,46055556
João de Sá	Coreaú	Bela Cruz	2,31	14717	2,3	15477	564000	2077400	-3,203333333	-40,29638889
Lagoa Grande	Coreaú	Granja	3,32	891	5,7	0,53	488900	1096300	-3,305277778	-40,88194444
Lusitânia	Coreaú	Granja	3,01	5367	2,1	54560	761000	2005300	-3,128333333	-41,01166667
Maria Velha	Coreaú	Bela Cruz	3,1	3554	3,6	755	728700	1673500	-3,070277778	-40,31611111
Riacho das Cobras	Coreaú	Granja	3,03	1897	2,8	4231	321200	810600	-3,118055556	-40,79944444
Rio da Prata	Coreaú	Granja	2,52	7813	2,3	13221	479200	1609600	-3,086388889	-40,79916667
Uruoca	Coreaú	Uruoca	2,47	7176	2,6	4645	470000	1714700	-3,244166667	-40,56305556
Abernaud	Curu	Umirim	2,67	1348	2,8	1204	173500	642700	-3,639444444	-39,36472222
Anajé	Curu	Pentecoste	2,69	5209	2,6	7366	366000	992800	-3,848611111	-39,26305556
Baltazar	Curu	Canindé	2,61	2174	2,3	5843	320500	1616200	-4,159444444	-39,00888889
Batoque	Curu	Canindé	2,58	1556	2,9	793	167200	633300	-4,375	-39,4675
Carrapato	Curu	General Sampaio	2,87	4463	2,8	5424	722800	2289600	-4,0525	-39,22777778
Casa Nova	Curu	Caridade	2,61	3976	3	1231	440700	1635100	-4,232777778	-39,29527778
Chinuaquê	Curu	Canindé	2,6	6694	2,8	4292	562800	1874500	-4,235277778	-39,66444444
Cordeiro	Curu	Pentecoste	3,06	2289	3,2	1643	681600	2092600	-3,988333333	-39,00888889
Desterro	Curu	Caridade	2,61	25199	2,6	23770	1489500	3979200	-4,057777778	-39,11333333
Formosa	Curu	Caridade	2,63	3020	2,8	2153	210000	560000	-4,088333333	-38,99138889
Francisco Alves	Curu	Caridade	2,47	12808	2,4	15757	557500	1666000	-4,188333333	-39,16444444
Gonzaga	Curu	Itapajé	2,55	2567	2,9	1006	226200	829400	-3,819722222	-39,44861111

Ingá	Curu	Pentecoste	2,68	2731	2,4	6593	320100	1200200	-4,061388889	-39,05138889
Itaji	Curu	Paramoti	2,33	6237	2,7	2655	200000	580000	-4,113055556	-39,20972222
Jatobá	Curu	Canindé	2,05	4310	2,2	3604	109400	552400	-4,363888889	-39,64
Joaci	Curu	Caridade	3,19	2126	3,3	1355	893000	2589900	-4,196388889	-39,20083333
Joaquim Magalhães	Curu	Canindé	2,53	8690	2,4	12356	583800	2013100	-4,318888889	-39,32972222
Juá	Curu	Caridade	2,63	5721	2,8	3909	413600	1173000	-4,119166667	-39,05055556
Monte Orebe	Curu	Canindé	2,45	6561	2,6	3946	365500	1233000	-4,309722222	-39,32777778
Nicolau	Curu	Pentecoste	3,4	3349	3,3	3965	2082000	5451200	-3,729722222	-39,17194444
Nogueira Ramos	Curu	Irauçuba	3,25	1966	3,8	309	1230000	3756200	-3,833333333	-39,77055556
Riacho das Pedras	Curu	General Sampaio	3,31	1600	3,2	2098	1537000	5488100	-4,049722222	-39,52333333
Riacho Massapê	Curu	Apuiarés	2,6	6852	3,1	1512	618200	2052000	-3,952222222	-39,31083333
Riacho Santa Rita	Curu	Umirim	3,38	1675	2,4	21466	462200	1014900	-3,659444444	-39,38916667
Salvação	Curu	Paramoti	2,77	4238	2,8	4363	464700	1338100	-4,230833333	-39,45305556
São Paulo	Curu	Paramoti	2,92	2092	2,9	2045	427200	1353600	-4,277222222	-39,38361111
Sela	Curu	Umirim	2,76	4270	3,1	1731	608700	1999100	-3,664444444	-39,34861111
Seriema	Curu	Caridade	2,24	14388	2,6	5372	473700	1703800	-4,133055556	-39,15027778
Serra Branca	Curu	Canindé	2,07	5218	2	6822	76600	226500	-4,320277778	-39,55944444
Tibúrcio	Curu	General Sampaio	2,89	3564	3,4	803	801000	2625600	-4,034444444	-39,30083333
Vazante Grande	Curu	Maranguape	2,9	856	3,2	399	293100	2252200	-3,992222222	-38,98055556
Ziguezague	Curu	Paramoti	2,86	1640	3,1	1057	221600	603600	-4,112222222	-39,22861111
Acióli	Jaguaribe	Icó	2,72	8058	2,7	8106	1092600	3939600	-6,161111111	-38,75388889
Acoci	Jaguaribe	Campos Sales	2,54	3975	2,2	12385	410700	1950100	-6,986388889	-40,14305556
Altamiro	Jaguaribe	Jaguaribe	2,83	3905	3	2231	976200	3922100	-6,037777778	-38,61694444
Areré	Jaguaribe	Jucás	2,91	963	2,2	7730	262500	1115000	-6,363888889	-39,60194444
Barreiro	Jaguaribe	Tarrafas	2,64	4497	2,2	16848	338700	1085900	-6,855833333	-39,85222222
Boa Vista	Jaguaribe	Tauá	2,68	3915	2,2	18211	449100	1754800	-6,106388889	-40,43694444
Cana-Brava	Jaguaribe	Farias Brito	2,46	5633	2,4	7257	514500	2547000	-6,984166667	-39,60555556
Carapuça	Jaguaribe	Pereiro	2,56	5042	2,4	8975	606200	2908400	-6,153888889	-38,6

Cobras	Jaguaribe	Santana do Cariri	2,67	4110	2,4	10127	750000	4200000	-7,112777778	-39,82194444
Cococá	Jaguaribe	Tauá	3,62	5002	2,1	151123	1345500	2337000	-6,271388889	-40,4175
Dois Irmãos	Jaguaribe	Solonópole	3,59	743	2,9	6679	966900	2868700	-5,608888889	-38,96111111
Domingos Gomes	Jaguaribe	Tauá	2,54	8216	4,5	15,85	530000	1647300	-5,941388889	-40,57388889
Encanto II	Jaguaribe	Solonópole	2,96	5871	2,7	14349	1366600	4542800	-5,558611111	-39
Esperança	Jaguaribe	Solonópole	2,65	2497	2,7	2025	189600	562500	-5,753888889	-38,97111111
Feitosa	Jaguaribe	Tauá	3,12	4341	2,8	12945	3151700	13975100	-5,866666667	-40,13333333
Ferreira de Sousa	Jaguaribe	Milhã	2,45	2713	2,5	2786	167200	629700	-5,656388889	-39,2175
Figueiredo	Jaguaribe	Pereiro	3,54	3647	2,6	41171	1274900	2484500	-6,096944444	-38,48166667
Forte	Jaguaribe	Tauá	2,82	8086	4,4	843	1726000	2475400	-5,8775	-40,14138889
Futuro	Jaguaribe	Solonópole	2,49	4433	2,4	6275	204200	615400	-5,766666667	-38,95388889
Gondim	Jaguaribe	Russas	3,4	5015	2,9	21887	2088700	4797900	-4,797222222	-38,25305556
Holandina	Jaguaribe	Iracema	2,55	5235	2,4	7862	392200	1403700	-5,8075	-38,29583333
Ipuçaba	Jaguaribe	Araripe	2,64	7456	2,9	3624	1130000	4848800	-7,193611111	-40,08833333
Itaguá	Jaguaribe	Campos Sales	2,36	4287	2,2	6792	341300	1888300	-6,953611111	-40,31083333
Lagoa de Dentro	Jaguaribe	Assaré	2,69	1820	2,6	2517	239500	911700	-6,813055556	-39,94361111
Leandro	Jaguaribe	Maranguape	2,64	2437	2,7	2117	220800	713600	-5,775555556	-38,85833333
Logradouro	Jaguaribe	Antonina do Norte	3	1114	4,5	7,939	509200	1775900	-6,700833333	-39,95166667
Machado Pinheiro	Jaguaribe	Jaguaribe	2,9	7511	2,9	6666	1143700	3191900	-5,897222222	-38,60972222
Maia	Jaguaribe	Russas	2,15	7418	2,3	5010	160200	512900	-4,976388889	-38,16194444
Marreco	Jaguaribe	Jaguetama	2,42	9066	2,2	17179	267500	697000	-5,706388889	-38,70055556
Maximiano	Jaguaribe	Jaguaribe	3,19	2202	3,5	943	852200	2356700	-5,833333333	-38,5
Meireles	Jaguaribe	Russas	2,79	8134	2,2	34505	728400	2102700	-4,765555556	-38,2775
Monte Ararat	Jaguaribe	Dep. Irapuan Pinheiro	2,09	11792	2,1	11928	236300	904000	-5,843611111	-39,30305556
Monte Nobre	Jaguaribe	Solonópole	3,21	1711	2	36910	507700	1645100	-5,9625	-39,00444444
Mucuim	Jaguaribe	Arneiroz	2,75	7894	1,8	146110	1430800	7010000	-6,252777778	-40,12583333
Nova Holanda	Jaguaribe	Alto Santo	2,62	9899	2,5	14429	979800	3580400	-5,400833333	-38,24222222
Palhano	Jaguaribe	Palhano	3,09	5409	2,9	10341	1394400	3945900	-4,690833333	-38,10444444

Perciliano	Jaguaribe	Iracema	2,63	6496	2,7	5356	408500	1080000	-5,668333333	-38,28583333
Pinheiro	Jaguaribe	Solonópole	2,78	4968	2,7	6816	441600	1168300	-5,5975	-39,04694444
Pinho	Jaguaribe	Farias Brito	3,25	545	2,2	6741	255500	1231300	-6,969722222	-39,56944444
Queirós Pessoa	Jaguaribe	Jaguaretama	3,5	991	2,2	6744	1491800	4480100	-5,541388889	-38,81611111
Rabelo	Jaguaribe	Solonópole	2,71	3096	2,9	1921	333000	1044300	-5,880277778	-39,00083333
Riacho Barro Vermelho	Jaguaribe	Jaguaribe	2,39	4030	2,5	3189	139400	399800	-5,865	-38,86027778
Riacho do Saco	Jaguaribe	Arneiroz	3,91	170	2,4	24949	1467300	6300200	-6,25	-40,04444444
Riacho Fechado	Jaguaribe	Jaguaretama	2,66	16003	2,2	47540	780000	1860000	-5,647777778	-38,72055556
Riacho Tomás	Jaguaribe	Acopiara	2,73	5381	2,6	7475	994700	4237600	-6,187777778	-39,50861111
Rio Barbada	Jaguaribe	Morada Nova	3,72	2226	2,4	74498	2051000	4609200	-4,931666667	-38,34
Rio Palhano	Jaguaribe	Ibicuitinga	2,98	4395	2,8	8378	1248100	4370500	-4,930555556	-38,59083333
Saldanha	Jaguaribe	Alto Santo	3,25	2528	2,9	6423	2593000	11419200	-5,579444444	-38,17305556
Sambito	Jaguaribe	Alto Santo	3,43	1083	3	3203	468700	1194400	-5,488611111	-38,30305556
Sanharó	Jaguaribe	Assaré	2,32	3411	2,8	922	212000	882000	-6,95	-39,9625
Santa Delfina	Jaguaribe	Jucás	3,14	782	3,4	318	567700	2267200	-6,4525	-39,64444444
Santa Fé	Jaguaribe	Russas	2,35	10789	2,5	8076	366400	1103200	-4,985833333	-38,18555556
Sipaúba	Jaguaribe	Iguatu	2,63	9414	2,7	7684	230200	377200	-6,420277778	-39,20361111
Solonópole	Jaguaribe	Milhã	2,35	13762	2,5	2782	296700	617600	-5,7	-39,23888889
Vieira Gomes	Jaguaribe	Tauá	2,92	1308	2,8	2076	548900	2530000	-6,105833333	-40,43861111
Viração	Jaguaribe	Icó	2,94	3568	2,8	4971	561700	1521400	-6,135833333	-38,75305556
Volga	Jaguaribe	Alto Santo	2,74	5888	2,8	4760	456200	1124400	-5,407222222	-38,26583333
Aracati	Litorânea	Irauçuba	2,64	4471	2,9	2447	276800	684200	-3,882777778	-39,82527778
Cairu	Litorânea	Irauçuba	3,35	2376	3,3	2933	2123500	6984200	-3,855833333	-39,88194444
Capim-Açu	Litorânea	Santana do Acaraú	2,66	11036	2,9	6638	766000	1998000	-3,487222222	-40,04583333
Francisco Ponte	Litorânea	Santana do Acaraú	2,64	4242	2,6	5290	260500	698400	-3,561111111	-40,08833333
Guriú	Litorânea	Santana do Acaraú	2,86	2283	2,6	4654	411200	1379600	-3,421944444	-40,11916667
Hermeto	Litorânea	Santana do Acaraú	2,96	4701	2,8	6835	555000	1269400	-3,461111111	-40,10527778
Lituânia	Litorânea	Santana do Acaraú	2,79	2788	2,5	6563	252400	670700	-3,405	-40,11194444

Mendes Carneiro	Litorânea	Miraíma	2,93	2326	2,5	8587	315400	881200	-3,575555556	-40,01805556
Mesquita	Litorânea	Irauçuba	2,93	4995	2,9	6249	740000	1967300	-4,065833333	-39,90722222
Pajé	Litorânea	Cariré	2,8	9444	2,6	18175	864000	2224200	-3,995	-39,89555556
Pajeú	Litorânea	Sobral	3,67	271	2,5	10609	603000	2100000	-3,803888889	-39,98861111
Riacho da Volta	Litorânea	Itarema	2,96	3838	3,5	751	780000	2158000	-3,057777778	-39,88916667
Rio Carcará	Litorânea	Sobral	3,07	3759	3,5	1108	1028100	2919200	-3,701666667	-40,055
Sales	Litorânea	Sobral	2,59	8552	2,5	9930	515000	1436800	-4,096666667	-39,92444444
Santa Rita	Litorânea	Santana do Acaraú	2,89	8480	2,6	19005	685700	1477500	-3,438055556	-40,08416667
Vilar	Litorânea	Miraíma	2,96	2097	3	2070	320000	793800	-3,582222222	-40,05138889
Açudinho	Metropolitana	Baturité	2,69	2121	2,2	8124	217500	764200	-4,418055556	-38,90111111
Araripe de Sousa	Metropolitana	Cascavel	2,37	9244	2,3	12274	241500	596400	-4,234166667	-38,34583333
Barbados	Metropolitana	Aracoiaba	2,52	5211	2,2	15203	483000	2206300	-4,662222222	-39,08277778
Barbante	Metropolitana	Maranguape	2,29	1429	2,1	2906	60600	268600	-3,943611111	-38,75388889
Botija	Metropolitana	Maranguape	2,77	7082	1,9	87023	918200	3387100	-4,1	-38,79444444
Brisa do Mar (Ampliação)	Metropolitana	Maranguape	2,31	23754	2,5	15799	464300	999000	-3,979166667	-38,78194444
Bu (Ampliação)	Metropolitana	Maranguape	2,53	5320	2,3	10998	447200	1845900	-4,108888889	-38,77472222
Cabra-Velho	Metropolitana	Ibaretama	2,31	34493	2,6	17715	870200	2173600	-4,809444444	-38,82472222
Cavalcante	Metropolitana	Maranguape	2,41	5119	2,3	6976	224700	749000	-4,035	-38,7675
Cesário	Metropolitana	Maracanaú	2,93	2591	1,7	48022	214100	511500	-3,866666667	-38,655
Criancó (Ampliação)	Metropolitana	Barreira	3,14	1161	3,6	216	1568000	8235000	-4,358611111	-38,60361111
Cristiano	Metropolitana	Caucaia	3,04	7779	2,9	11653	660000	1160000	-3,884722222	-38,8025
Cruzeiro (Ampliação)	Metropolitana	Itapiúna	2,79	2598	2,7	4031	390500	1338700	-4,635833333	-38,96027778
Dario	Metropolitana	Maranguape	2,41	7860	2,6	5589	243700	587500	-3,961111111	-38,89
Éleri	Metropolitana	Itaitinga	2,63	9023	2,8	10665	609000	1303500	-3,944722222	-38,5225
Elias Barros	Metropolitana	Baturité	3,16	695	2,3	7065	482200	2737300	-4,423333333	-38,8675
Eng. Oliveira Pombo	Metropolitana	Itapiúna	3,22	837	4,1	48,3	690700	2406000	-4,621111111	-38,86861111
Fausto	Metropolitana	Caucaia	2,55	6077	2,4	10527	398200	1325100	-3,934166667	-38,8775
Fontenele	Metropolitana	Ibaretama	2,64	2599	2,4	5340	228000	812300	-4,934166667	-39,20861111

Guanabara (Reconstrução)	Metropolitana	Quixadá	2,58	4613	2,6	4551	522000	2230200	-4,736111111	-39,00722222
Ibiraipu	Metropolitana	Itapiúna	2,81	1984	2,7	2886	299900	1054200	-4,594722222	-39,10305556
Imburana	Metropolitana	Russas	2,62	11049	2,5	13409	591400	1500800	-4,635	-38,20888889
Isabel II	Metropolitana	Quixadá	2,62	3021	2,5	3994	390100	1678800	-4,723611111	-38,96694444
Itapemirim	Metropolitana	Caucaia	2,26	7382	1,9	20514	209800	790700	-3,8675	-38,84861111
Itauninha	Metropolitana	Ibaretama	2,63	2316	3,1	699	200700	602400	-4,778333333	-38,90972222
Jacinto	Metropolitana	Caucaia	2,59	2398	2,5	3564	165100	502800	-3,891944444	-38,76611111
Jaramataia	Metropolitana	Caucaia	2,39	7368	2,3	11496	425000	1797100	-3,971944444	-38,84361111
José Bonifácio	Metropolitana	Pentecoste	3,55	2826	2,8	19498	901000	1640200	-3,746388889	-39,05388889
Juvenal	Metropolitana	Acarape	2,98	4888	2,7	12544	1216500	4071700	-4,206111111	-38,68194444
Lajedo	Metropolitana	Maranguape	2,56	3652	2,4	6583	313000	1223300	-4,043055556	-38,91083333
Leiria	Metropolitana	Guaiúba	2,51	12424	2	70200	1290400	6898900	-4,073888889	-38,69805556
Mairi	Metropolitana	Choró	2,35	13301	2,5	8852	469800	1393900	-4,686388889	-39,25027778
Malheiros	Metropolitana	Guaiúba	2,6	5385	2,4	9806	289900	780600	-4,137777778	-38,73694444
Máximo	Metropolitana	Maranguape	2,26	14244	2,2	18733	513800	2042300	-4,111666667	-38,8025
Minguaú	Metropolitana	Caucaia	2,61	12589	2,8	8288	628600	1463400	-3,815277778	-38,73222222
Nunes	Metropolitana	Capistrano	2,58	2375	3,1	482	250400	915300	-4,501388889	-38,92527778
Oliveira	Metropolitana	Canindé	2,75	4205	2,7	4656	484400	1493100	-4,641388889	-39,245
Ouro Preto II	Metropolitana	Caucaia	2,24	47126	2,4	30274	1123500	3100000	-3,9025	-38,87555556
Pacajus	Metropolitana	Pacajus	2,78	16313	3	5032	1868700	6530000	-4,140833333	-38,52166667
Pão de Açúcar	Metropolitana	Caucaia	2,35	32060	2,6	17513	850000	2171700	-3,891944444	-38,82861111
Pedro Lopes	Metropolitana	Baturité	2,58	2319	2,8	1326	354700	1759300	-4,384722222	-38,90916667
Pereira Filho	Metropolitana	Canindé	2,36	13866	2,3	16628	467200	1418300	-4,535277778	-39,09944444
Perigoso (Ampliação)	Metropolitana	Eusébio	2,33	5832	2,1	9659	173500	642700	-3,892222222	-38,46388889
Piraju	Metropolitana	Maranguape	2,3	16874	1,9	49537	614200	2609300	-4,1025	-38,86666667
Plácido	Metropolitana	Caucaia	2,89	2211	3,2	802	857500	3748600	-3,910833333	-38,95138889
Poço Escuro	Metropolitana	Guaiúba	2,64	4034	3	1434	348000	1011500	-4,175555556	-38,645
Queluz	Metropolitana	Capistrano	2,88	3184	3	2211	430500	1144100	-4,463888889	-38,83583333

Raimundo Viana	Metropolitana	Choró	2,67	3981	2,6	5123	630000	2710800	-4,703611111	-39,20722222
Riacho da Ema	Metropolitana	Ibaretama	2,47	2159	2,6	2408	50700	94100	-4,745833333	-38,8675
Riacho Pau d'Óleo	Metropolitana	São Gonçalo do Amarante	2,87	3794	2,6	6967	262200	546200	-3,656111111	-39,09027778
Riacho Piabas	Metropolitana	Tejuçuoca	2,24	13298	2	27684	424000	1728000	-3,894444444	-38,98472222
São Borja	Metropolitana	Maranguape	2,92	5221	2,2	30842	572500	1501200	-3,981944444	-38,76111111
Serra Azul	Metropolitana	Ibaretama	2,26	4148	2,1	7964	106600	334100	-4,844166667	-38,80805556
Tamanca	Metropolitana	Aracoiaba	2,18	20215	2	30725	449400	1515900	-4,520555556	-38,70722222
Tatajuba de Baixo (Ampliação)	Metropolitana	Caucaia	2,94	6315	2,6	18305	1276700	4101100	-3,934166667	-38,82416667
Tatu	Metropolitana	Quixadá	2,25	11597	2,4	9027	316600	1007100	-4,68	-38,99555556
Tito	Metropolitana	Caucaia	2,42	5049	2,8	1490	340500	1339900	-3,947777778	-38,80444444
Tronco	Metropolitana	Capistrano	2,5	3538	2,7	2334	260600	937200	-4,482777778	-38,89
Umarizeiras (Reconstrução)	Metropolitana	Maranguape	2,53	18700	2,1	63147	885600	2591100	-3,995277778	-38,71694444
Várzea Nova	Metropolitana	Ibaretama	2,45	15310	2,3	26493	1313700	6213300	-4,743055556	-38,91083333
Apuí(ampliação)	S de Crateús	Crateús	3,64	1198	2,5	12254	1068200	4186500	-5,142222222	-40,57111111
Arcélia	S de Crateús	Crateús	2,81	7159	2,4	25079	811200	2425600	-5,201666667	-40,71444444
Bezerra de Melo	S de Crateús	Crateús	2,9	11911	3,1	7346	2872200	9569400	-5,069166667	-40,67833333
Caititu	S de Crateús	Crateús	3,06	2464	2,2	18469	281600	636200	-5,164722222	-40,75055556
Carapinima	S de Crateús	Ararendá	2,38	9737	2,5	7808	455500	1629700	-4,775	-40,70444444
Coutinho	S de Crateús	Independência	2,7	4491	2,7	16718	281600	3823700	-5,528888889	-40,37111111
Falcão	S de Crateús	Independência	2,58	6889	2,7	4531	429000	1231000	-5,394722222	-40,3175
Grota Verde	S de Crateús	Crateús	2,29	23006	2,5	13605	438000	934200	-5,320555556	-40,6125
Irapuá	S de Crateús	Crateús	2,92	6582	2,9	7139	1288700	3990900	-5,145555556	-40,41055556
Irapuru	S de Crateús	Independência	2,45	7092	2,6	5036	355000	1127500	-5,295	-40,0775
Itauru	S de Crateús	Ararendá	3,16	2241	2,8	5854	1085700	3728800	-4,739722222	-40,67305556
Marinheiro	S de Crateús	Crateús	3,07	4252	2,9	6655	932200	2404100	-5,1675	-40,57194444
Moura Fé	S de Crateús	Crateús	2,72	7862	2,3	21438	415500	931200	-5,128611111	-40,73333333
Pintada	S de Crateús	Nova Russas	2,38	5331	3	1218	207700	588600	-4,883888889	-40,5425
Ponciano	S de Crateús	Crateús	3,3	1956	3,6	1008	711200	1570900	-5,081944444	-40,68555556

Portais	S de Crateús	Crateús	2,97	4132	2,9	4874	552200	1319100	-5,185555556	-40,59166667
Riacho São José	S de Crateús	Independência	2,51	29602	2,2	80321	1640500	5471500	-5,25	-40,24638889
Sabóia II	S de Crateús	Independência	3	7789	3	8287	2807200	10288400	-5,381944444	-40,21277778
Santiago	S de Crateús	Crateús	2,77	15681	2,8	13456	740000	1338000	-5,190555556	-40,54861111
São José dos Campos	S de Crateús	Independência	2,69	3171	2,5	6643	624000	3087600	-5,426388889	-40,15083333
Verde	S de Crateús	Tamboril	3,42	3106	2,9	16529	1997500	5351200	-4,873055556	-40,39555556
Graça	Salgado	Icó	2,38	9116	2,4	10398	298200	833100	-6,381944444	-38,87638889
Jati	Salgado	Jati	3,18	4468	2,6	21062	1425000	3972900	-7,691111111	-39,0775
Justino	Salgado	Barro	2,65	1973	2,6	2401	296300	1297800	-7,181111111	-38,80611111
São Cipriano	Salgado	Lavras da Mangabeira	2,97	1339	2,6	3839	257500	782200	-6,734444444	-38,90555556