



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DA CAPACIDADE HÍDRICA DE RESERVATÓRIOS CRÍTICOS DO
ESTADO DE PERNAMBUCO**

IZAEL JOÃO DO NASCIMENTO

CARUARU

2018

IZAEL JOÃO DO NASCIMENTO

**ANÁLISE DA CAPACIDADE HÍDRICA DE RESERVATÓRIOS CRÍTICOS DO
ESTADO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste,
como pré-requisito para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Cirilo

CARUARU

2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

N244a	Nascimento, Izael João do. Análise da capacidade hídrica de reservatórios críticos do Estado de Pernambuco. / Izael João do Nascimento. - 2018. 138f. : 30 cm. Orientador: José Almir Cirilo. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018. Inclui Referências. Inclui índice 1. Recursos hídricos. 2. Secas. 3. Reservatório de água - Jucazinho. 4. Déficit hídrico. I. Cirilo, José Almir (Orientador). II. Título. 620 CDD (23. ed.)	UFPE (CAA 2018-115)
-------	---	---------------------

IZAEL JOÃO DO NASCIMENTO

**ANÁLISE DA CAPACIDADE HÍDRICA DE RESERVATÓRIOS CRÍTICOS DO
ESTADO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do
Agreste - CAA, da Universidade Federal de
Pernambuco - UFPE, como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato
APROVADO COM NOTA _____.

Caruaru, 26 de julho de 2018.

Prof. Dr. José Almir Cirilo

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Orientador

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Avaliador

Prof^a. Dr^a. Tatiane Barbosa Veras de Albuquerque

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Avaliador

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Coordenador da disciplina

À minha família.

AGRADECIMENTOS

À Deus, fonte da vida.

Aos meus pais Ivanildo e Josefa, e ao meu irmão Izaildo.

Aos meus amigos, pelo incentivo e atenção que demonstraram ao longo da minha graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Almir Cirilo, pelo imenso conhecimento que compartilha e pelo apoio.

Aos professores das áreas de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, que, com sua sabedoria e didática, forneceram os estímulos e orientações necessários para a elaboração deste trabalho.

“A educação é a arma mais poderosa que você
pode usar para mudar o mundo.”

Nelson Mandela

RESUMO

O Agreste pernambucano é uma região carente de recursos hídricos devido a fatores como o solo cristalino, a demanda de sua crescente população, os fenômenos climáticos cada vez mais intensos, e os reservatórios cuja capacidade é, por vezes, menor que a necessária para atender tantos usos. A gestão dos volumes acumulados deve ser efetiva, garantindo aos usuários uma segurança de abastecimento pelo maior período possível. Nesse sentido, uma prática comum na região é a transposição de água entre bacias hidrográficas a fim de complementar ou assumir a disponibilidade de vazões para localidades que deixaram de ser atendidas por alguns mananciais mais próximos. No presente trabalho, foram realizadas duas abordagens. Uma, se propõe a discorrer sobre o gerenciamento das vazões captadas nos mananciais, durante esses anos de estiagem, ressaltando a importância do Monitor das Secas na definição quanto às retiradas operacionais na intenção de minimizar impactos negativos a longo prazo, como o colapso total. A outra, consiste em modelar, em dois programas de geoprocessamento, alguns reservatórios representativos para a região, seja pelo volume que podem comportar ou pela demanda deles requeridas, encontrando suas curvas características que relacionam cota, área e volume, comparando com valores já consolidados utilizados pela gestão, visando, também, constatar perdas da disposição de acumulação. As divergências encontradas foram significativas, comprometendo a análise de perda de vida útil que é relativamente baixa ao longo do tempo, porém foi possível perceber a similaridade das curvas empregando diferentes programas computacionais.

Palavras-chave: Curvas características, Monitor das Secas, Jucazinho, Déficit hídrico, Capacidade.

ABSTRACT

The Agreste region of Pernambuco is a locality needy of water resources owing to factors such as crystalline soil, the demand of its growing population, the increasingly intense climatic phenomena, and the reservoirs whose capacity is sometimes less than that required for meet so many uses. The management of the accumulated volumes should be effective, ensuring the users a security of supply for the longest possible period. In this sense, a common practice in the region is the transposition of water between river basins in order to complement or assume the availability of flows to localities no longer served by some sources more close. In the present study, two approaches have been. One proposes to discuss the management of the flows collected in the springs, during these drought years, highlighting the importance of the Drought Monitor in the definition of operational withdrawals in order to minimize long-term negative impacts, such as total collapse. The other one consists in modeling in two geoprocessing programs some representative reservoirs for the region, either by the volume they can accommodate or by their demand, finding their characteristic curves that relate dimension, area and volume, comparing with already consolidated values used by the management, aiming, also, to detect losses of the disposition in accumulate. The divergences found were significant, compromising the analysis of loss of useful life, which is relatively low over time, but it was possible to perceive the similarity of the curves using different computational programs.

Keywords: Characteristic curves, Drought Monitor, Jucazinho, Water deficit, Capacity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Régua linimétrica, localizada no reservatório de Poço da Areia	26
Figura 2 – Esquema de zoneamento de um reservatório	28
Figura 3 – Tendências de acomodação de um fluxo em um reservatório	29
Figura 4 – Esquema de Curva-guia para gestão de reservatórios.....	37
Figura 5 – Esquema da modelagem da morfologia da Terra	42
Figura 6 – Fusos UTM que atravessam o Brasil e as letras de latitude	43
Figura 7 – Regimes hídricos dos rios da região Nordeste.....	52
Figura 8 – Demanda <i>versus</i> disponibilidade hídrica, Região do São Francisco	54
Figura 9 – Demanda <i>versus</i> disponibilidade na Região do Atlântico Nordeste Oriental	54
Figura 10 – Delimitação do Semiárido, 2017.....	55
Figura 11 – Número de dias com déficit hídrico no Semiárido, entre 2011 e 2016.	56
Figura 12 - Porcentagem de área do Nordeste sob cada cenário de seca.....	59
Figura 13 – Comparação entre os mapas de 2014 e 2016, para o mês de agosto.....	60
Figura 14 – Comparação entre os mapas de dezembro de 2016 e junho de 2017.....	61
Figura 15 – Mapa do Monitor das Secas para setembro e outubro de 2017	61
Figura 16 – Histórico do Monitor das Secas em Pernambuco	62
Figura 17 – Diagrama Unifilar do Sistema Pirangi	64
Figura 18 – Bacia do Rio Capibaribe.....	65
Figura 19 – Isolinhas de evapotranspiração potencial na Bacia do Capibaribe	66
Figura 20 – Bacia hidrográfica do rio Ipojuca.....	67
Figura 21 – Isolinhas de evapotranspiração potencial na Bacia do Ipojuca.....	68
Figura 22 – Bacia hidrográfica do rio Una.....	69
Figura 23 – Volume armazenado no semiárido nordestino, em novembro de 2017	70
Figura 24 – Situação das reservas hídricas em Pernambuco, em novembro de 2017	70

Figura 25 – Reservatórios em Colapso no Estado, em maio de 2017	72
Figura 26 – Reservatórios com disponibilidade entre 10% e 90%, em maio de 2017	72
Figura 27 – Localização das barragens de estudo, no Leste do Estado	73
Figura 28 – Municípios abastecidos parcial ou totalmente pelo reservatório de Jucazinho	75
Figura 29 – Histórico do reservatório de Bitury.....	77
Figura 30 – Histórico da barragem de Pão de Açúcar	77
Figura 31 – Barragem de Belo Jardim, Pedro Moura Jr.	78
Figura 32 – Acumulação em Pedro Moura Jr., entre 2008 e 2017.	78
Figura 33 – Municípios abastecidos parcialmente pelo reservatório do Prata	79
Figura 34 – Quadriculas na região do reservatório de Jucazinho	82
Figura 35 – Recorte do mosaico do reservatório de Jucazinho na cota 300 m	82
Figura 36 – Cálculo do volume da barragem através da Caixa de ferramentas	83
Figura 37 – Processo em lote para cálculo do volume de Jucazinho, no QGis	83
Figura 38 – Modos de análise no ArcGis	84
Figura 39 – Mensuração da área do polígono da cota 251m de Jucazinho, no ArcGis	84
Figura 40 – Simulação realizada para Jucazinho no período de 1973 a 2016.....	86
Figura 41 – Volumes-meta e estados de criticidade definidos para Jucazinho.	88
Figura 42 – Comparação das curvas cota-área da APAC e a resultante do QGis para Jucazinho	89
Figura 43 – Comparação das curvas cota-área da APAC e a resultante do ArcGis no modo Planar, para Jucazinho.....	91
Figura 44 – Comparação das curvas cota-área da APAC e a resultante do ArcGis no modo Planar, para Jucazinho.....	93
Figura 45 – Comparação das curvas cota-volume da APAC e a resultante do QGis para Jucazinho	95
Figura 46 – Comparação das curvas cota-área da APAC e a resultante do QGis para Pão de Açúcar	96

Figura 47 – Elevações nas regiões mais distantes do barramento do reservatório de Pão de Açúcar	97
Figura 48 – Polígono obtido na simulação da cota 721,75 m do reservatório Pão de Açúcar .	98
Figura 49 – Comparação das curvas cota-volume da APAC e a resultante do QGis para Pão de Açúcar.....	98
Figura 50 – Volume observado em Jucazinho no período de 2011 a 2016	100
Figura 51 – Vazões captadas em Jucazinho, entre 2011 e 2016.....	102
Figura 52 – Volumes históricos <i>versus</i> volumes com a regra do monitor – Jucazinho	103
Figura 53 – Captações históricas <i>versus</i> captações com a regra do monitor – Jucazinho	104
Figura 54 – Volume disponível na barragem do Prata, no período de 2008 a 2017	106
Figura 55 – Vazões médias mensais, em L/s, captados no Prata.....	106
Figura 56 – Histórico do reservatório de Pedro Moura Jr., no período de 2008 a 2016.....	108
Figura 57 – Vazões captadas em Pedro Moura Jr., entre 2011 e 2016.....	109
Figura 58 – Volume disponível em Bitury, no período de 2008 a 2016.....	111
Figura 59 – Vazões captadas em Bitury, entre 2011 e 2016.....	111
Figura 60 – Curva cota-área do reservatório Bitury	127
Figura 61 – Curva cota-volume, Bitury	127
Figura 62 – Curva cota-área - Jucazinho.....	128
Figura 63 – Gráfico cota-volume, Jucazinho	128
Figura 64 – Curva cota-área - Pão de Açúcar.....	129
Figura 65 – Curva cota-volume, Pão de Açúcar.....	129
Figura 66 – Curva cota-área – Pedro Moura Jr.	130
Figura 67 – Curva cota-volume, Pedro Moura Jr	130
Figura 68 – Curva cota-área - Prata	131
Figura 69 – Curva cota-volume, Prata	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comitês de Bacia Hidrográfica em Pernambuco.....	34
Tabela 2 – Níveis e Volumes de operação em um reservatório	36
Tabela 3 – Quantidade realizada para cada objetivo do PE3D	46
Tabela 4 – Resolução espacial e radiométrica dos produtos do PE3D, de acordo com a escala.....	47
Tabela 5 – Disponibilidade hídrica de cursos das Regiões Hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental e do São Francisco em Pernambuco	53
Tabela 6 – Classificação dos níveis de seca aplicados no Monitor	58
Tabela 7 – Maiores porcentagens para cada cenário de seca	59
Tabela 8 – Alguns reservatórios e açudes na bacia do rio Capibaribe.....	66
Tabela 9 – Alguns reservatórios e açudes na bacia do Ipojuca	68
Tabela 10 – Os maiores reservatórios do Estado.....	71
Tabela 11 – Perda de água nas ligações em cidades atendidas por Jucazinho	76
Tabela 12 – Cenários de Seca, com gatilhos e metas de resposta	87
Tabela 13 – Valores da comparação das curvas cota-área da APAC e QGis, no sistema SIRGAS 2000 25S, para o reservatório de Jucazinho	90
Tabela 14 – Valores da comparação das curvas cota-área da APAC e ArcGis Planar, no sistema SIRGAS 2000 25S, para o reservatório de Jucazinho	92
Tabela 15 – Valores da comparação das curvas cota-área da APAC e ArcGis Geodesic para o reservatório de Jucazinho	94
Tabela 16 – Valores da comparação das curvas cota-área da APAC e QGis, no sistema SIRGAS 2000 24S, para o reservatório de Pão de Açúcar	97
Tabela 17 – Valores da comparação das curvas cota-volume da APAC e QGis, no sistema SIRGAS 2000 24S, para o reservatório de Pão de Açúcar	99
Tabela 18 – Vazões médias disponibilizadas pela barragem de Jucazinho	103

Tabela 19 – Déficit analisado nas cidades atendidas por Jucazinho, no período de 2008 a 2016.....	105
Tabela 20 – Déficit nos municípios atendidos pelo Prata.....	108
Tabela 21 – Valores da comparação das curvas cota-volume da APAC e QGis, no sistema SIRGAS 2000 25S, para o reservatório de Jucazinho	124
Tabela 22 – Comparação entre o QGis e o ArcGis no tratamento dos dados de Jucazinho ..	126
Tabela 23 – 50 maiores reservatórios de Pernambuco.....	132
Tabela 24 – Déficit máximos e médios observados em cidades do Agreste, no estudo de Ramos (2017)	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação e características do Tempo de residência.	27
Quadro 2 – Tipos de deposição de sedimentos.....	31
Quadro 3 – Tipos de arquivo Shapefile.....	44
Quadro 4 – Cenário Real - Histórico da barragem de Jucazinho	101
Quadro 5 – Cenário Real - Histórico da barragem do Prata.....	107
Quadro 6 – Cenário Real - Histórico da barragem de Pedro Moura.....	110
Quadro 7 – Cenário Real - Histórico da barragem de Bitury	112

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ACI – Associação Cartográfica Internacional

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima

COBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

Cemaden – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco

CIH – Centro Internacional de Hidroinformática

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento e Abastecimento

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GIS – *Geographic Information System*

GPS – *Global Positioning System*

GSD – *Ground Sampling Distance*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFOCS – Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas

INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INSA – Instituto Nacional do Semiárido

IOCS – Inspetoria de Obras Contra as Secas

MI – Ministério da Integração Nacional

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NDDH – Número de Dias com Déficit Hídrico

OMM – Organização Meteorológica Mundial

ONU – Organização das Nações Unidas

PCD – Plataforma de Coleta de Dados

PE3D – Pernambuco Tridimensional

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos

PRH – Plano Diretor de Recursos Hídricos

PSHPE – Programa de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco

REM – Radiação Eletromagnética

RPN – Reserva de Proteção Natural

SAGA – *System for Automated Geoscientific Analyses*

SDEC – Secretaria Desenvolvimento Econômico

SEINFRA – Secretaria de Infraestrutura de Pernambuco

SFB – Serviço Florestal Brasileiro

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SRH – Secretaria de Recursos Hídricos

SRHE – Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TIFF – *Tagged Image File Format*

UTM – Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	Justificativa	22
1.2	Motivação	22
1.3	Objetivos	23
1.3.1	Objetivo Geral	23
1.3.2	Objetivo específico	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	Hidráulica e Hidrologia em reservatórios.....	24
2.1.1	Classificação de um reservatório	27
2.1.2	Circulação Interna.....	28
2.1.3	Assoreamento	30
2.2	Política Nacional de Recursos Hídricos.....	33
2.2.1	Usos múltiplos da água	34
2.2.2	Outorga de uso.....	34
2.2.3	Cobrança pelo uso.....	35
2.2.4	Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos.....	35
2.3	Gestão de reservatórios.....	36
2.3.1	Níveis e volumes operativos das barragens.....	36
2.3.2	Operação de reservatórios	36
2.4	Geoprocessamento	38
2.4.1	Sensoriamento Remoto	39
2.4.2	Cartografia.....	41
2.5	Dados para Sistemas de Informações Geográficas	44
2.5.1	Modelos geométricos	44

2.5.2 Modelos de atributos.....	45
2.6 Pernambuco Tridimensional	46
3 REGIÃO DE ESTUDO.....	48
3.1 Contextualização dos recursos hídricos no interior do Nordeste	48
3.2 Panorama hídrico	51
3.2.1 Disponibilidade hídrica em Pernambuco	53
3.2.2 Polígono das secas	55
3.2.3 Monitor das secas	57
3.3 Bacias Hidrográficas do Agreste	63
3.3.1 Transferência de água entre bacias	63
3.3.2 Adutora Pirangi.....	64
3.3.3 Bacia do rio Capibaribe.....	65
3.3.4 Bacia do Rio Ipojuca.....	67
3.3.5 Bacia do Rio Una.....	68
3.4 Reservatórios críticos.....	70
3.5 Reservatórios e sistemas de abastecimento do estudo	73
3.5.1 Jucazinho	74
3.5.2 Bitury.....	76
3.5.3 Pão de açúcar.....	77
3.5.4 Pedro Moura Júnior	78
3.5.5 Prata.....	79
4 FERRAMENTAS DE ESTUDO	80
4.1 Curvas características dos reservatórios.....	80
4.1.1 <i>Softwares</i> de geoprocessamento utilizados	80
4.1.2 Geoprocessos e metodologias.....	82
4.1.3 Objetos de análise	85

4.2	Monitor das secas aplicado aos reservatórios	85
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	89
5.1	Curvas características.....	89
5.1.1	Curvas de Jucazinho	89
5.1.2	Curvas Pão de Açúcar	96
5.2	Monitor de Secas.....	100
5.2.1	Jucazinho	100
5.2.2	Prata.....	105
5.2.3	Pedro Moura Jr.	108
5.2.4	Bitury.....	110
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	113
6.1	Conclusões.....	113
6.2	Recomendações	115
	REFERÊNCIAS.....	116
	GLOSSÁRIO	123
	APÊNDICE A - TABELA QGIS - JUCAZINHO.....	124
	APÊNDICE B - DIVERGÊNCIAS ENTRE O QGIS E O ARCGIS	126
	ANEXO A - CURVAS APAC.....	127
	A.A.Bitury.....	127
	A.B.Jucazinho.....	127
	A.C.Pão de Açúcar.....	128
	A.D.Pedro Moura Júnior	129
	A.E.Prata.....	130
	ANEXO B - 50 MAIORES RESERVATÓRIOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO	132
	ANEXO C - DÉFICITS NO ABASTECIMENTO NO AGRESTE	134

ÍNDICE	136
--------------	-----

1 INTRODUÇÃO

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) vem alertando que eventos climáticos terão maior frequência e intensidade nas próximas décadas, devido à alterações no meio ambiente, causadas, em grande parte, pela ação antrópica. Analisando séries históricas de pluviosidade, identifica-se que, ultimamente, as ocorrências de enchentes ou secas estão mais acentuadas e já não são tão esparsas no tempo como no passado, confirmando a exposição da Organização. Secas plurianuais, por exemplo, estão mais comuns em várias localidades do país. Recentemente, grande parte do Nordeste subsistiu a um período com precipitações abaixo da média. Já sendo uma região carente de recursos hídricos, permear por um cenário como este causou grande impacto nos mananciais, afetando a economia e principalmente a população.

Muitos reservatórios de Pernambuco entraram em colapso, que, segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), reflete a situação em que o volume existente é menor que a décima parte da capacidade total. Todos se encontram no interior do Estado, local onde a média histórica aponta baixos índices pluviométricos e altas taxas de evaporação.

Quando há ocorrência de grandes volumes precipitados, a conjuntura hídrica tem melhora em algumas represas, mas outras não gozam os mesmos resultados. Às vezes, o relevo não favorece o alcance de grandes cotas da lâmina d'água, ou então, são construídas com uma pequena área de drenagem a montante, assim, o volume retido é baixo.

De igual modo, as cheias e enchentes que atingem a região afetam a rotina da população. Em áreas metropolitanas o sistema de drenagem parece estar comprometido. Conjuntamente, a população que vive às margens de rios sofrem quando há grandes tormentas, como as grandes enchentes de 2010 e 2011. Mas é nesse cenário que brotam ideias que favorecem vários setores da sociedade. Um deles foi o Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) que realizou um levantamento do estado e forneceu dados de alta qualidade que favorecem âmbitos como o científico e de gestão pública de recursos.

Com seus dados foram idealizadas barragens de controle de cheias, adutoras e outras obras. É também o material do PE3D que será utilizado para o geoprocessamento em programas computacionais, sendo este um dos objetivos do presente trabalho.

Identificar os elementos que influem no armazenamento hídrico de cada reservatório contribui para conhecer e modelar a capacidade disponível. Assim, podem-se traçar ações a serem desenvolvidas para evitar crises no sistema de abastecimento.

O Monitor de Secas também é uma ferramenta a ser utilizada na gestão, pois fornece parâmetros para uma avaliação de impactos de estiagens. Convém observar a atuação dos Comitês de Bacia Hidrográfica (COBH), quando existentes, seus Planos de Recursos Hídricos e os resultados de suas ações na busca pela melhoria dos sistemas. Nesse contexto, a gestão dos recursos hídricos é o instrumento determinante para garantir o fornecimento de água para os diversos usos existentes nas localidades próximas ao manancial, ou mesmo distantes dele, como quando há transposições de volumes entre bacias.

1.1 JUSTIFICATIVA

À luz dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9 433, de 08 de janeiro de 1997) – como o estudo da disponibilidade de água necessária, atendendo aos diversos usos de forma sustentável e, prevenindo eventos hidrológicos críticos, naturais ou advindos do uso inapropriado –, o presente trabalho visa analisar características dos reservatórios que expliquem a instabilidade hídrica no interior do Estado, fazendo um compêndio de dados que podem ser utilizados em modelagem hidrológica.

Conhecer o reservatório pode contribuir para o melhor planejamento dos usos do volume nele armazenado, conseguindo uma condição de administração dos recursos hídricos eficiente, visto que a água é o recurso natural mais utilizado pelo ser humano.

1.2 MOTIVAÇÃO

A principal motivação para a realização deste trabalho é a atual preocupação com as mudanças climáticas, e a que ponto pode interferir nos reservatórios e, conseqüentemente, na sociedade atual: seus consumos, sua economia.

Percebe-se, que haverá necessidade de profissionais que saibam gerir os volumes acumulados e que possam planejar mudanças conjunturais dos sistemas hídricos. Além do mais, a ação de tratar sobre barragens, para quaisquer usos, engloba conceitos de diversas áreas das Engenharias, não só a Hidráulica e a Hidrologia, mas também: Geotecnia, Estruturas, Agronomia, Produção, Cartografia, Topografia, Modelagem Numérica e Saneamento Ambiental, por exemplo.

Logo, o desenvolvimento deste texto tem como objetivo proporcionar uma visão geral das informações acadêmicas adquiridas no Curso de Engenharia Civil perante um exemplo de aplicação interdisciplinar e depositar conhecimentos que podem ser bastante utilizados na vida profissional.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Busca-se neste trabalho, identificar fatores que causam a instabilidade hídrica de abastecimento d'água no Agreste de Pernambuco, com foco nos principais reservatórios formados por barragens na região e discorrer sobre as soluções propostas. Também, aplicar métodos computacionais para avaliar a capacidade atual desses reservatórios críticos, à luz de informações geográficas de alta resolução.

1.3.2 Objetivo específico

Com auxílio dos dados do Programa Pernambuco Tridimensional¹ e dos *softwares* *QGis*² e *ArcGis*, pretende-se realizar:

- Análise de estudos desenvolvidos sobre a questão e as soluções apontadas para equacionar o problema de disponibilidade hídrica no Agreste Pernambucano.
- Determinação de curvas de referência características dos reservatórios, como curva volume-cota e volume-área, a partir de modelos digitais de terreno ou de elevação, como modelo de análise para avaliar se as informações existentes da época do projeto ainda têm validade.
- Comparar as curvas geradas por diferentes programas computacionais, a fim de observar diferenças entre o processamento feito pelos programas a partir dos mesmos dados de entrada.
- Comparar as curvas obtidas com a curva consolidada no projeto do reservatório; e discorrer sobre as causas de eventuais discrepâncias.

¹ Pernambuco Tridimensional: ver Seção 2.6 .

² QGis Las Palmas GC, versão 2.18.0, com GRASS 7.0.5

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HIDRÁULICA E HIDROLOGIA EM RESERVATÓRIOS

Baptista e Coelho (2010) conceituam barragem como uma obra hidráulica que se destina a efetuar o represamento de um curso de água, objetivando o uso racional e regularizado do volume nela acumulado, para múltiplos fins.

Os reservatórios impactam o ambiente mas também sofrem a influência de agentes meteorológicos atuantes na localidade onde se situam. Azevedo (2010) ressalta a importância do conhecimento dessas variáveis para conhecer melhor a disponibilidade hídrica e realizar uma correta modelagem hídrica, a qual pode servir como uma base informativa a ações de gestão das águas. A quantidade de água envolvida nos processos hidrológicos pode ser avaliada através da chamada equação do balanço hídrico, pela lei da conservação da massa. A variação no armazenamento está em função do volume de água que chega ao reservatório e do volume que o deixa. Algumas parcelas das equações de balanço hídrico em reservatórios são referentes a etapas próprias do ciclo hidrológico.

A Agência Nacional de Águas (ANA) (2012b) destaca alguns impactos ambientais pela construção de uma barragem, como: modificações no regime de escoamento superficial, que podem trazer prejuízos à flora e à fauna do rio; desapropriação e remoção de habitantes da área de inundação; interrupção parcial do transporte de sedimentos e nutrientes para jusante; e perdas por evaporação, devido ao aumento do espelho d'água.

Braga (2002) define o escoamento superficial como o processo em que água flui sobre o solo, deslocando-se para locais de altitudes inferiores, até atingir um corpo ou curso hídrico, como um rio, lago ou oceano. Ao escoar sobre o solo, essa água pode encontrar locais de recarga de aquíferos e infiltrar para camadas inferiores. Também, ao unir-se a um corpo d'água, como um lago ou açude, esse escoamento sofre uma estagnação, denominada de detenção, e, se o solo for permeável, esse represamento favorece o aumento de volumes infiltrados, visto que as massas de água ficam mais tempo no local.

Conhecer como se processam os escoamentos superficiais numa região é necessário pra realizar um melhor gerenciamento dos recursos hídricos e implantação de obras de captação e reserva. Alvarez e Garcez (1988) ressaltam que, nas regiões em que os escoamentos superficiais são escassos, surgem imensos problemas, visto que a água é um bem essencial ao ser humano e à maioria de suas atividades.

Para haver essa quantificação, dispõe-se de métodos de hidrometria, que conforme Azevedo (2010), pode ser conceituada da seguinte maneira:

A Hidrometria [...] é a parte da Hidrologia ligada à medida das variáveis hidrológicas, e tem como objetivo obter dados básicos, tais como precipitações, temperatura, radiação solar, velocidade e direção dos ventos, evapotranspiração, umidade relativa do ar, níveis de água, vazões, sedimentos e parâmetros de qualidade de água, entre outros, e a sua variação no tempo e no espaço. (AZEVEDO, 2010, pág. 54)

A pluviometria é a técnica de medição das precipitações que ocorrem em uma área. Segundo a ANA (2014e), a pluviometria permite quantificar a variação espacial e temporal da quantidade de chuva que se precipitam, contribuindo para o entendimento dos fenômenos climáticos regionais e de eventos como secas e enchentes. Geralmente estas informações são enviadas para a Agência Pernambucana de Águas e Clima ou entidades federais como a CPRM – Serviço Geológico Brasileiro ou o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Outra parte da Hidrometria é a fluviometria que segundo Azevedo (2010) destina-se à medição de variáveis de um curso d'água, como a altura da lâmina da água em relação ao leito e a vazão de deflúvio do escoamento superficial. Segundo Azevedo (2010), para registrar o nível de água, podem ser utilizados linígrafos³ ou réguas linimétricas. A ANA (2014e) relata que elas podem ser utilizadas na identificação das cotas de nível em um reservatório.

Por estas cotas obtidas na régua, pode-se identificar mais facilmente o volume acumulado em um reservatório se já houver um estudo de relação cota-volume precedente. Analogamente, quando realizados estudos topográficos numa barragem, pode-se também identificar a curva cota-área, a fim de encontrar a área de inundação de um reservatório e quantificar o volume de evaporação que se processa sobre o espelho d'água.

Um exemplo de régua linimétrica está representado na Figura 1, instalada no reservatório de Poço da Areia, em Bezerros, Agreste pernambucano. Este equipamento faz parte de um conjunto que registra a cota do nível de água acumulado na barragem em diferentes elevações, para permitir mensurar as flutuações do volume armazenado.

Para estudos de reconhecimento da profundidade do leito de rios e reservatórios em relação ao nível d'água pode-se valer da batimetria. A batimetria da seção transversal consiste em um levantamento detalhado do relevo da seção molhada ou parte submersa da seção transversal (AZEVEDO, 2010).

³ Linígrafo: Ver Glossário.

Figura 1 – Régua linimétrica, localizada no reservatório de Poço da Areia



Fonte: Autor, em 18 de maio de 2017.

Mais uma variável a ser observada numa bacia hidrográfica é a evapotranspiração, pois é um mecanismo relevante para balanços hídricos de uma bacia hidrográfica, devido ao volume de água que potencialmente pode ser destinado à atmosfera. Segundo Sperling (2002), a evaporação é o processo de transferência da água superficial do estado líquido para o gasoso, estando atrelada à temperatura e umidade relativa do ar. Um alto índice de evapotranspiração local é uma variável desfavorável para os reservatórios.

Outro fator desfavorável para os reservatórios é o ciclo hidrossedimentológico. Segundo Tucci (2004), o transporte de sedimentos é um processo íntimo ao ciclo hidrológico. Por esse motivo, o denomina ciclo hidrossedimentológico, embora as partículas não retornem naturalmente ao local de onde se originam. A hidrossedimentologia é uma área da sedimentologia⁴ que estuda o transporte dos sedimentos por ação dos cursos hídricos (AZEVEDO, 2010). Abrange os processos de intemperismo, carreamento – o qual é chamado de descarga sólida de um deflúvio –, deposição e consolidação do material.

Baptista e Coelho (2010) expressam que o processo de transporte e deposição de sedimentos está relacionado a distribuição das velocidades do fluxo. Quando há uma barragem, a mudança de regime fluvial favorece a sedimentação, a qual resulta no processo de perda de capacidade hídrica do reservatório. Tucci (2004) comenta, também, que quase a totalidade da literatura de hidrologia versa sobre os prejuízos causados ao aproveitamento hidráulico de mananciais, como o assoreamento⁵ de represas e rios.

⁴ Sedimentologia: Ver Glossário.

⁵ Assoreamento: Ver Glossário.

2.1.1 Classificação de um reservatório

De acordo com a ANA (2012b), os reservatórios podem ser classificados por seus aspectos físicos ou construtivos, tais como capacidade de armazenamento, altura do barramento e tempo de residência médio de uma parcela de água no seu interior.

Massad (2010, pág 175) ressalta que para o Comitê Brasileiro de Grandes Barragens considerar uma represa como uma grande barragem, ela precisa ter:

- mais de 15 m de altura entre o ponto mais baixo até a crista; ou
- entre 10 e 15m, mas que possua uma ou mais das seguintes características:
 - a) Mínimo de 500 m de comprimento de crista;
 - b) Mínimo de 100.000 m³ de água acumulada;
 - c) Acima de 2.000 m³/s de vazão;
 - d) Barragem com difíceis condições de fundação;
 - e) Barragem com projeto não convencional.

Os reservatórios podem ainda ser classificados quanto ao tempo de residência, ou seja, relação entre volume do reservatório, em m³, e a vazão média afluente, em m³/s, portanto, tem como unidade de grandeza o segundo (ANA, 2012b). No Quadro 1, traz-se um resumo dos parâmetros de classificação do tempo de residência, apresentando características de cada tipo de relação.

Quadro 1 – Classificação e características do Tempo de residência.

Relação volume/vazão	Tempo de residência	Característica
Pequena	Maior que 1 ano	Pequenas variações sazonais ocorrem no armazenamento e a vazão de saída é retirada da superfície
Média	Entre 4 meses e 1 ano	Estes reservatórios apresentam estratificação vertical e grande variação do armazenamento
Grande	Menor que 4 meses	A estratificação vertical é difícil de estabelecer-se, e a variação longitudinal da temperatura pode ocorrer

Fonte: Adaptado de ANA (2012b).

O tempo de residência é uma característica da represa que é muito observada quanto a qualidade das águas:

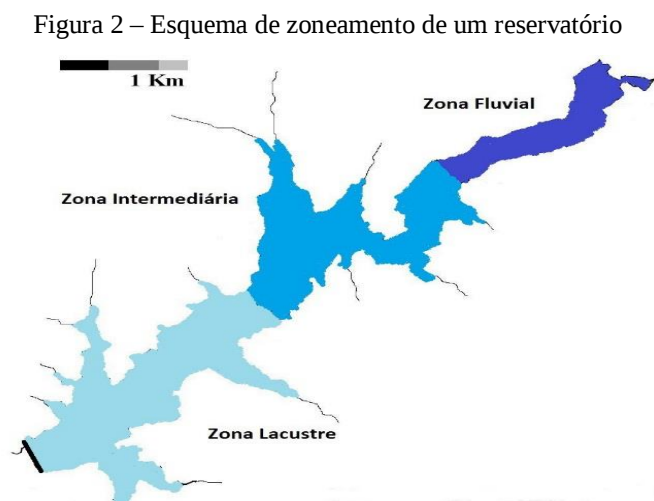
A importância de conhecer-se o tempo de residência de um reservatório é fundamental para o entendimento da variação dos parâmetros de qualidade de água do reservatório. Por exemplo, reservatórios que recebem água com alta concentração de nutrientes podem passar por um processo denominado eutrofização, e a possibilidade de um reservatório ficar ou não eutrofizado depende do aporte de nutrientes, da disponibilidade de luz solar na coluna d'água, e do tempo de residência da água no reservatório. (ANA, 2012b, pág. 26).

Segundo a ANA (2012b), geralmente, para o cálculo do tempo de residência é utilizada a vazão média de longo prazo. Porém, esse tempo pode ser calculado, também, com o uso da vazão média do período de estiagem ou do período de cheia.

2.1.2 Circulação Interna

A ANA (2012b) indica que uma barragem exibe um regime hidrodinâmico de transição entre um sistema lótico (rio) e um sistema lêntico (lago). No que se refere à estratificação térmica, a ação eólica e das correntes de densidade, e quanto a circulação geral ocasionada pelas entradas e saídas de massas de água advindas dos cursos d'água afluentes, a represa é mais similar ao sistema fluvial na região mais a montante do reservatório e mais aparentado ao sistema lacustre próximo ao paramento. Portanto, é comum apresentar um zoneamento da barragem em regiões fluvial, lacustre e intermediária.

Um esquema de compartimentação de um reservatório está retratado na Figura 2, na qual percebe-se a zona lacustre próxima ao barramento, onde, normalmente, é o local mais profundo, com maior gradiente de temperatura, menor velocidade e maior tempo de residência; já na zona fluvial, essas características são opostas.



Fonte: Serafim-Junior *et al.*, (2011).

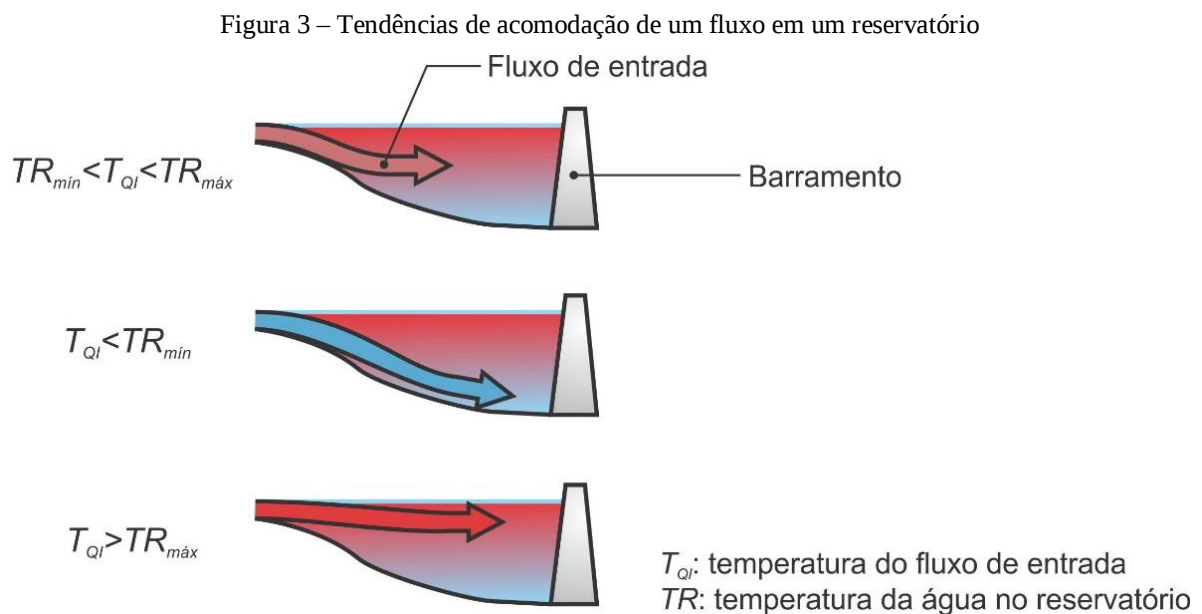
Os compartimentos formados no reservatório não são estáticos. São resultados de efeitos combinados de vários gradientes que se sobrepõem, podendo se expandir e se contrair conforme os fluxos e operação do reservatório, formando assim um ambiente dinâmico espacial e temporalmente (KIMMEL *et al.*, 1990, *apud* ANA, 2012b).

Também é importante ressaltar que os zoneamentos nem sempre são bem definidos, pois os reservatórios apresentam características hidrogeomorfológicas que imprimem uma maneira única de compartimentação. Conhecendo-se essas zonas, consegue-se entender melhor os comportamentos dos fluxos e dos sedimentos no corpo hídrico.

Quando um fluxo adentra no reservatório, o máximo volume do mesmo tende a acomodar-se nos estratos de igual massa específica, que estão em função da temperatura. Assim:

Se a temperatura do fluxo de entrada é maior que a da massa de água no reservatório, ele irá acomodar-se na camada mais superior, e no caso contrário, quando a temperatura do fluxo de entrada é menor este irá ocupar a parte junto ao fundo do reservatório (ANA, 2012b, pág. 30).

Na Figura 3, representa-se esquemas de tendência de acomodação de um fluxo que adentra um reservatório, indicando que maior parte do volume afluyente direciona-se para um estrato do reservatório que está numa temperatura similar.



Fonte: ANA, 2012b, pág. 30

Segundo a ANA (2012b), a estratificação, em reservatórios, comumente é fruto do balanço de calor entre as condições externas, como radiação solar e atmosférica, e a água armazenada. Braga *et al.* (2002), ressalva que a radiação incidente no espelho de água, geralmente é majoritariamente absorvida logo abaixo da superfície, justificando o fato de as regiões mais profundas apresentarem-se mais frias. Também, o fluxo líquido de calor proveniente dos afluentes do represamento e dos canais laterais, além da ação do vento e da precipitação, influenciam no processo de estratificação. Ainda conforme a ANA (2012b), esta estratificação confere à massa líquida uma estabilidade física, com as camadas mais densas no leito sobrepostas pelas mais leves.

O fenômeno da estratificação térmica impacta na organização e no funcionamento dos sistemas lacustres. Segundo Braga *et al.* (2002), a diferença de temperatura ao longo de sua profundidade é evidenciada por três camadas distintas:

- Epilímnio: camada superficial de maior turbulência, temperatura maior e mais uniforme, e menor densidade,
- Hipolímnio: camada profunda, de menor temperatura e maior densidade, com menor turbulência.
- Metalímnio: uma região intermediária, em que há o ponto de máximo gradiente de temperatura vertical, chamado de termoclina.

2.1.3 Assoreamento

Os sedimentos carregados pelo fluxo influenciam no gradiente de densidade no reservatório, pois deixam mais denso o volume afluente. Dependendo do tempo de residência, da direção tomada pelos sedimentos no reservatório e da disposição de órgãos hidráulicos, haverá maior deposição a montante do barramento e isso fará com que haja perda da capacidade hídrica (ANA, 2012b).

Embora possa ser atenuado, o assoreamento de um reservatório é um processo inevitável, independente das finalidades do mesmo, mas segundo a literatura, quando o reservatório é usado para controle de cheias – as quais trazem muitos sedimentos –, o assoreamento é mais vigoroso.

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2000) comenta, no Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios, impactos causados pelos sedimentos, no Brasil e no mundo.

Um estudo do Banco Mundial (Mahmood, 1987) mostrou que a vida útil média dos reservatórios existentes em todos os países no Mundo decresceu de 100 para 22 anos, tendo sido avaliado em 6 bilhões de dólares anuais o custo para promover a remoção dos volumes que vão sendo assoreados. [...] A partir de estudo realizado pela Eletrobrás/IPH (1994) pode-se concluir que a perda anual de capacidade de armazenamento dos reservatórios do nosso país é de aproximadamente 0,5% ou um pouco mais nestes anos (Carvalho, 1994). Essa taxa pode corresponder a perdas de capacidade de armazenamento de $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ por ano o que corresponde a um volume maior do que muitos dos médios reservatórios existentes (Estreito, Jaguari, Moxotó, Salto Osório, Porto Colômbia etc.). Por outro lado, constata-se que a erosão no país tem aumentado com o crescimento da população e do uso do solo (ANEEL, 2000, pág. 9).

A forma e o local de sedimentação influenciam no comportamento da capacidade hídrica no decorrer do tempo. No quadro 2 está expresso um resumo sobre os tipos de classificação, conforme Cabral (2005):

Quadro 2 – Tipos de deposição de sedimentos

Tipo de depósito	Característica	Impacto	Granulometria
Remanso (backwater deposit)	Material que se deposita no final do remanso, ligeiramente acima do nível máximo do reservatório. Teoricamente, esses depósitos podem progredir tanto para dentro do lago como para montante	Podem provocar enchentes a montante	Constituem em princípio dos materiais de maior granulometria, como seixos
Delta	A variação do nível d'água é quem condiciona a formação do delta. O material geralmente se deposita logo que o escoamento penetra o reservatório	Reduz a capacidade útil do reservatório	Possui partículas do tamanho de areia ou maiores
Depósito de Fundo ou leito (botton – set deposit)	Material geralmente transportadas para jusante dos deltas e se depositam no trecho mais baixo do reservatório. A forma desses depósitos depende das características dos minerais e das características químicas da água	Reduz o volume morto do lago	Geralmente partículas de silte e argila
Depósito de margem (overbank)	Provocado pela deposição dos sedimentos trazidos pelas ondas da água e pelo vento.	Reduz gradualmente a capacidade útil do reservatório	Geralmente partículas de finos
Depósito de várzea ou de planície de inundação	Produzido pelas enchentes, ocorrendo ao longo do curso d'água e do reservatório	Reduz a capacidade útil do reservatório	Formado por sedimentos finos e grossos.

Fonte: Adaptado de Cabral (2005) e ANA (2012b)

Durante os estudos de viabilidade de um reservatório, a previsão da vida útil é um importante aspecto a se conhecer, pois está relacionada a sua utilização a longo prazo. Como exemplo, segundo a ANEEL (2000, pág 7), o tempo de assoreamento total em Sobradinho pode ultrapassar os 1000 anos, mas os depósitos de remanso podem começar a prejudicar as atividades de navegação em menos de cinquenta anos de construída.

Para os reservatórios destinados à produção de energia elétrica e/ou ao abastecimento, a vida útil é considerada igual ao tempo, em anos, que o nível dos depósitos de sedimentos alcançam as soleiras das tomadas d'água. Já para os reservatórios destinados ao controle de cheias, a sua vida útil pode ser considerada o tempo, em anos, que o volume do reservatório estará totalmente tomado pelos sedimentos, ou o tempo, em anos, que o reservatório não estará mais cumprindo com a sua finalidade. (ANA, 2012b, pág. 33)

Considerando o assoreamento, o cálculo da vida útil de um reservatório, pode ser feita pelas seguintes táticas, de acordo com Paiva e Paiva (2003):

- Conservadores:

Podem se suceder através de dois critérios. Em um, fixa-se um tempo (50 a 200 anos), e determina-se o volume ocupado pelo material sedimentar em porcentagem (%) do volume total. No outro, fixa-se a fração (%) do volume total reservada para os sedimentos, e determina-se o tempo de assoreamento.

- Não conservadores:

Também podem se suceder através de dois métodos:

a) Método empírico de redução de área: baseado no ajuste da área original do reservatório considerando-se o decréscimo da área devido a deposição dos sedimentos.

b) Método área-incremento: método puramente matemático e baseia-se na relação entre as cotas e os volumes disponíveis ao sedimento.

2.2 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

A Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, é o marco da regulação dos recursos hídricos no Brasil, intitulada de Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Segundo a ANA (2014a), essa política foi inspirada no modelo francês de gestão hídrica, desenvolvido a fim de controlar a poluição em corpos de água do país europeu, garantindo a salubridade dos mesmos.

No Brasil, a Lei das Águas, como a PNRH também é conhecida, traça diretrizes que orientam os órgãos do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), entre os quais estão os Comitês de Bacia e as Agências de Água. Estes últimos são responsáveis pela aplicação da Lei das Águas em nível local, tendo como base a bacia hidrográfica. Estes órgãos se utilizam de instrumentos de gestão, entre eles o Plano de Recursos Hídricos, elaborado para uma bacia deve conter informações sobre o uso das águas, a outorga do direito de uso, a cobrança pelo uso da água e o Sistema de Informações de Recursos Hídricos.

A gestão das águas tem maior presença nas bacias de grande porte, pois englobam uma área de drenagem maior, na qual muitos habitantes residem e dependem dos recursos hídricos da região. Portanto, são apenas as grandes bacias que conseguem desenvolver e subsidiar órgãos gestores e de tomada de decisão, como os Comitês de Bacia Hidrográfica, os COBH, e os CONSU, Conselhos de Usuários de Reservatórios, mais comuns no Nordeste.

Agências de águas, entidades executivas no âmbito das bacias, são criadas quando há cobrança pelo uso das águas e capacidade de autosustentação. A Agência Peixe Vivo, braço executivo do Comitê da Bacia do Rio São Francisco, responde pelas bacias hidrográficas do sertão pernambucano, que compreendem mais de 60% do território estadual presente na bacia do São Francisco. Os comitês estaduais funcionam então como de sub-bacias no caso daquelas inseridas na região hidrográfica do São Francisco.

Uma alternativa é a formação de um comitê que gerencie duas ou mais pequenas bacias, desde que haja representatividade e eficiência. Segundo a APAC⁶, o Estado possui, hoje, apenas 7 comitês de Bacia Hidrográfica formados: Metropolitano Sul, Metropolitano Norte, Capibaribe, Goiana, Ipojuca, Una e Pajeú.

⁶ AGÊNCIA Pernambucana de Águas e Climas. Bacias hidrográficas. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=7>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

Na Tabela 1, estão apresentados os comitês já em funcionamento no Estado, quantidade de pessoas no seu corpo colegiado e quantos municípios estão sob influência do respectivo comitê. Vale ressaltar que, um município pode participar de dois ou mais comitês que deliberam sobre os recursos hídricos das bacias que existem em seu interior.

Tabela 1 – Comitês de Bacia Hidrográfica em Pernambuco

BACIA HIDROGRÁFICA	MUNICÍPIOS INTEGRANTES	REPRESENTANTES
Rio Capibaribe	42	45
Rio Ipojuca	25	30
Rio Goiana	26	30
Rio Una	42	25
Rio Pajeú	27	25
Metropolitano Sul	9	30
Metropolitano Norte	11	30
TOTAL	07 Comitês	215

Fonte: APAC.⁷

2.2.1 Usos múltiplos da água

A água é um bem público, de valor econômico e que pode ser utilizado para diversos fins, tais como, abastecimento humano, dessedentação de animais, irrigação, navegação, geração de energia, entre outros.

Algumas vezes, pode haver conflitos entre interesses, cabendo aos órgãos de gestão intervirem arbitrariamente na questão e definir quais devem ser os usos da água. Para tanto, as atividades desenvolvidas na bacia são referenciadas e verifica-se como a água deve ser utilizada a fim de atender o máximo de usos.

2.2.2 Outorga de uso

Como já comentado, a água é um bem de domínio público, logo não deve ser apropriada por um particular. Porém, os órgãos de gestão podem ceder o direito à uma pessoa de direito privado para explorar um corpo hídrico visando um determinado fim, a isso se denomina outorga.

⁷ AGÊNCIA Pernambucana de Águas e Climas. Bacias hidrográficas. Disponível em: <<
http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=7>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

2.2.3 Cobrança pelo uso

A cobrança pelo uso visa atribuir à água a relevância de um bem de valor econômico e, conseqüentemente, sensibilizar o público que é um bem a ser racionalizado. Dependendo do uso e da quantidade de água retirada, haverá cobrança. O montante arrecadado deve servir para continuar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos na bacia que utiliza a água.

Segundo a ANA (2014d), no Nordeste, onde a transposição hídrica é mais comum que em outras regiões do país devido à escassez de mananciais, quando há cobrança, os valores são aplicados na bacia que faz o uso e não na bacia provedora da água. Assim, não se dá o suporte necessário a esta, como ações de preservação de mananciais e estudos de potencialidades, por exemplo. Ademais, conforme ANA (2014c), os valores cobrados no Brasil são, relativamente, bem inferiores aos cobrados por outros países, o que constata e reforça a desatenção dada aos recursos hídricos.

2.2.4 Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos

As informações hidrológicas, adquiridas através de estações de medição ou de estudos realizados, compõem um conjunto de dados que podem ser utilizados pelo público para fins de conhecimento ou de estudos, inclusive modelagem hidrológica, ou por órgãos para tomada de decisão.

A Lei das Águas define o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos como um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão. A coleta de informações é realizada de forma descentralizada por regiões, mas busca-se a unificação do sistema para que todos os cidadãos possam ter contato.

A Agência Nacional das Águas, a ANA, e a Agência Pernambucana de Águas e Climas mantêm registros e estudos realizados e os disponibilizam para a população. Como alguns dados são processados em tempo real, quando ocorrem fenômenos meteorológicos pode-se alertar órgãos de defesa social para tomar as devidas providências evitando acidentes, como quando há grandes precipitações que podem causar enchentes em um determinado local, por exemplo.

2.3 GESTÃO DE RESERVATÓRIOS

2.3.1 Níveis e volumes operativos das barragens

Conforme Baptista e Coelho (2010), em uma barragem podem ser identificados níveis de operação e volumes característicos, entre eles, destacam-se os níveis máximo e mínimo operacionais, e os volumes útil e morto, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Níveis e Volumes de operação em um reservatório

Nível / Volume	Descrição
Topo da obra	É a cota de coroamento da estrutura de barramento.
Borda livre	Folga entre o nível máximo maximorum e o topo da obra
Nível Máximo Maximorum	Cota correspondente à altura da lâmina de água quando ocorrem cheias de projeto, e nesse nível se mantém por curto período.
Volume de Espera	Volume reservado para amortecer o deflúvio de cheias
Nível Máximo Operacional	Corresponde à cota máxima de projeto para operação normal do reservatório.
Volume Máximo Operacional (Volume Útil)	Espaço para reserva hídrica, também denominada capacidade do reservatório, sendo o objeto da regularização pela gestão operacional.
Nível Mínimo Operacional	Nível mais baixo em que ainda é possível realizar captação de água sem necessitar de bombeamento
Volume Morto	Espaço reservado no projeto para o preenchimento pelos sedimentos que chegarem à barragem, não impedindo a operação normal da captação durante a vida útil do reservatório. Normalmente, não está disponível para uso, porém, quando há secas severas, os gestores podem instalar máquinas hidráulicas de captação e implementar o volume morto para utilização.

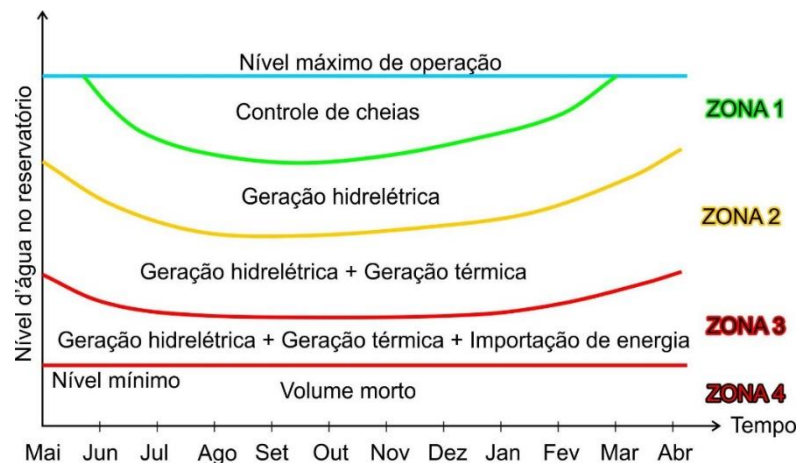
Fonte: Collischonn e Dornelles (2013)

2.3.2 Operação de reservatórios

Em um reservatório, existem divisões do volume total de armazenamento em zonas com regimes de descarga característicos. “A distribuição do volume útil do reservatório nessas zonas pode ser constante ao longo do ano, ou pode variar de forma sazonal” (ANA, 2012b). A gestão de uma barragem definirá os volumes que a mesma deve apresentar em determinadas épocas do ano, para atender as necessidades locais de abastecimento, para geração de energia elétrica e para controle de cheias. Assim, por exemplo, antes do período chuvoso, um reservatório que tem entre seus usos a função de amortecimento de enchente, deve estar com uma folga de volume suficiente para esse fim.

A construção de curvas-guia para os reservatórios ajuda a balizar a gestão hídrica. Um esquema dessas curvas está representado na Figura 4, onde reflete a operação de um reservatório de múltiplos usos e considerando-se a condição climática esperada num ano comum.

Figura 4 – Esquema de Curva-guia para gestão de reservatórios



Fonte: Bravo (2010)

Há, na literatura, duas formas de operação de reservatórios:

- *Pack rule*: Estabelece que, existindo um excesso de água, produzindo descarga acima do valor necessário, ela será utilizada para obter benefícios, como mais energia produzida, mais disponibilidade para irrigação, mais destinação ao abastecimento em geral. Essas descargas liberam espaço no reservatório, reduzindo a probabilidade de deflúvios futuros (ANA, 2012b).
- *Hedging rule*: Estabelece que, existindo escassez de água, é mais recomendada uma pequena redução preventiva no abastecimento para garantir um aumento no volume armazenado e reduzir as chances de no futuro o déficit de abastecimento seja mais severo, o que acarretaria maiores danos econômicos (ANA, 2012b).

No Agreste de Pernambuco, a técnica do *Hedging* é mais utilizada pela concessionária de abastecimento, já que é uma região de pouca disponibilidade hídrica.

A simulação de vazão regularizada com a utilização do Monitor de Secas, o qual será abordado na Seção 3.2.3, pode indicar a necessidade de redução das captações e qual o volume a ser retirado sem comprometer a funcionalidade do reservatório a longo prazo. Quando a situação de redução de captação se implanta, ocorre os racionamentos no fornecimento de água nas cidades.

2.4 GEOPROCESSAMENTO

Segundo a ANA (2012a), o primeiro registro histórico de geoprocessamento ocorreu em Londres, no ano de 1854, quando o doutor John Snow teve a iniciativa de marcar no mapa da cidade a localização dos casos de cólera, durante uma epidemia.

Até então não se sabia a forma de contaminação das pessoas, porém, Snow identificou que os casos ocorriam muito próximos a corpos hídricos, como os poços, muito utilizados no abastecimento humano à época. Entendeu ele que a cólera poderia ser transmitida por veiculação hídrica e esse fato possibilitou tomadas de medidas mais cabíveis e assertivas no combate à doença.

O registro dos casos de cólera na Inglaterra deu-se em situações de poucos recursos de gestão de informações. Hoje já se assimila muita tecnologia na coleta e tratamento de dados, sendo associada, por vezes, como advinda da revolução tecnológica, onde até a própria Cartografia evoluiu bastante com o uso de satélites, aerofotos e outras ferramentas.

Atualmente, a Cartografia pode contar com valiosos recursos associados, como aerofotos, imagens orbitais, sistemas de posicionamento por satélites, sistemas de informações geográficas, sensoriamento remoto e outros, que além de facilitar as atividades cartográficas, também possibilitam a rápida disponibilização das informações coletadas, assim como a sua mais eficiente atualização (ANA, 2012a, pág. 6).

Em conformidade com a ANA (2012a), o geoprocessamento, no sentido mais literal, pode ser definido como o processamento informatizado de dados georreferenciados, assim associa-se informações com coordenadas geográficas. Para Rodrigues (1993, *apud* ANA, 2012^a, pág. 9), “geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltados para um objetivo específico”.

Com uma cartografia mais desenvolvida, pode-se contar com dados, em maior quantidade e qualidade, o que favoreceu informações mais confiáveis e representativas.

Consoante ANA (2012a), na década de 1950, Inglaterra e Estados Unidos investiram nos processos de automação para reduzir os custos de produção de mapas e sua manutenção. Posteriormente, na década de 1960, no Canadá, surgiram os primeiros *softwares* de gestão da informação geográfica e produção cartográfica como ação governamental para criar um censo dos recursos naturais.

Com o desenvolvimento dos programas, surgiu o termo *Geographic Information System* (GIS), ou, em português, Sistemas de Informação Geográfica – SIG, que posteriormente, ganhou vulto de disciplina independente (ANA, 2012a).

O *software Google Earth* ficou mundialmente conhecido e popularizou o acesso a dados territoriais massivamente. Mas programas de geoprocessamento também foram popularizados há mais tempo. Conforme a ANA (2012a), o primeiro SIG de código aberto foi criado em 1978.

De acordo com o Centro Internacional de Hidroinformática (CIH), o geoprocessamento é um conjunto de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial. Segundo a ANA (2012a, pág. 11), pode-se citar as seguintes técnicas:

- Técnicas para coleta de informação espacial: Cartografia, Sensoriamento Remoto, GPS, Topografia Convencional, Fotogrametria, Levantamento de dados alfanuméricos;
- Técnicas de armazenamento de informação espacial: Bancos de Dados orientado a objetos, Relacional, Hierárquico, entre outros.
- Técnicas para tratamento e análise de informação espacial, como Modelagem de Dados, Geoestatística, Aritmética Lógica, Funções topológicas, Redes; e
- Técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os sistemas *Geographic Information Systems*, *Land Information Systems*, *Automated Mapping/Facilities Management*, *Computer-Aided Drafting and Design*.

2.4.1 Sensoriamento Remoto

A fase de captação de dados, atualmente, é bastante influenciada pelos métodos de Sensoriamento Remoto, que evoluíram com o avanço da tecnologia e permitiram o aprimoramento visual das imagens para potencializar a extração de informações delas. A partir dos dados coletados, criam-se, também, modelos com os quais pode-se fazer simulações de alterações nos fatores ambientais, utilizando o território como unidade de amostra. Assim, visa-se a compreensão dos processos de desenvolvimento para cada cenário simulado, que, comparados com a realidade, direcionam as medidas a serem tomadas em busca da evolução local. Moraes Novo (2010), define sensoriamento remoto da seguinte maneira:

Utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (MORAES NOVO, 2010, pág. 48).

Vê-se, pela definição supracitada, que os sensores coletam as informações que estão em seu campo de visada, mas sem estar em contato com o objeto, o qual pode estar a muitos metros de distância, na superfície terrestre.

De acordo com a ANA (2012a), os sensores têm por finalidade perceber a Radiação Eletromagnética (REM) proveniente da superfície terrestre e converter a energia conduzida pela onda eletromagnética em pulso eletrônico ou valor digital proporcional à intensidade desta energia. Conforme a ANA (2012a, pág. 14), segundo a fonte da onda eletromagnética captada pelos sensores, eles podem ser classificados como:

- Passivos: Utilizam apenas a radiação natural emitida ou refletida pela superfície terrestre.
- Ativos: Os próprios sensores emitem uma radiação que ao incidir nos alvos, reflete e retorna, momento no qual pode-se aferir dados, como a distância. Um exemplo de sensor ativo bem conhecido é o radar⁸.

A ANA (2012a) ressalta que os dados obtidos com uma e com outra classe de sensor podem se complementar, haja vista que as características que recolhem são diferentes:

O processo de interação com os alvos destes sensores ativos destinam-se a captar as características geométricas e dielétricas, enquanto as características físicas e químicas das feições terrestres são captadas pelos sensores passivos (ANA, 2012a, pág. 14).

Segundo Jensen (2007, *apud* ANA, 2012a, pág. 16), a resolução espacial é a medida de menor distância angular ou linear entre dois alvos que pode ser obtida pelo sensoriamento remoto, geralmente em *pixels*⁹. Estes representam uma área na superfície, definindo a resolução espacial. “Em dois documentos visualizados na mesma escala, o de maior resolução espacial apresentará pixels de menor tamanho, já que discrimina objetos de menor tamanho” (ANA, 2012a, pág. 16).

⁸ De acordo com a ANA (2012a, pág. 14), os radares têm a vantagem de que sua radiação pode transpassar as nuvens, permitindo, então, sua operação sob quaisquer condições atmosféricas.

⁹ *Pixels*: Contração do termo, em inglês, *picture cells*.

2.4.2 Cartografia

A Associação Cartográfica Internacional (ACI) elaborou, em 1964, no XX Congresso Internacional de Geografia, a seguinte definição para a Cartografia:

“Conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, com vistas à elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão, assim como a sua utilização.” (IBGE¹⁰).

A ANA (2012a) afirma que uns dos principais empecilhos encontrados quando se faz geoprocessamento são as projeções e o datum¹¹ cartográfico. A Terra não é um corpo espacial de formato regular – não é um elipsoide perfeito, e muito menos uma esfera perfeita –, é um corpo com variações morfológicas, que interferem numa planificação das informações com a acurácia e a precisão desejadas.

Para tentar modelar a Terra, porém de uma maneira que respeitasse a morfologia real, Carl F. Gauss (1777-1855) introduziu o conceito do Geoide, que considera a superfície do nível do mar e suaviza-se as elevações e depressões continentais.

Mas, a manipulação com o Geoide gerava erros que não eram constantes ao longo de toda a superfície terrestre, o que fez os cartógrafos buscarem simplificações através de um novo modelo geométrico mais simples, o que resultou na aproximação para o Elipsoide.

Na Figura 5 está representado um esquema da modelagem do planeta Terra, onde a forma real é a curva do terreno. Na imagem, também estão indicadas as altitudes relativas entre os modelos de representação da Terra.

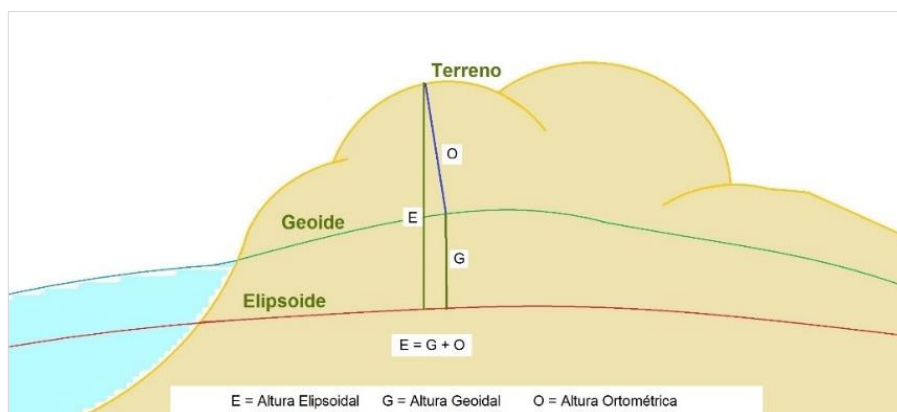
Entre estas altitudes estão:

- a altura elipsoidal: diferença entre a cota do terreno e o modelo elipsoidal;
- a altura geoidal: diferença entre o modelo geoidal e o elipsoidal; e
- a altura ortométrica: diferença entre a cota do terreno e o modelo elipsoidal.

¹⁰ IBGE. Atlas Geográfico Escolar. Disponível em: <<<https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia>>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

¹¹ Datum: “Ponto fixo fundamentado e solidamente materializado, conhecido e que seja utilizado como referência para o estabelecimento de qualquer outro ponto” na concepção de um novo sistema geodésico. (ANA, 2012a, pág. 31).

Figura 5 – Esquema da modelagem da morfologia da Terra



Fonte: Adaptado de WIKIMEDIA¹².

Segundo a ANA (2012a), para minimizar os erros causados pela modelagem da superfície terrestre como forma regular quando forem realizados cálculos geográficos sobre o elipsoide, foram introduzidos os meridianos e paralelos, com distâncias conhecidas. A introdução dos paralelos e meridianos possibilitou a criação de Sistemas de Coordenadas esféricas, no qual os pontos de interesse são locados conhecendo-se as latitudes e longitudes, ou seja, suas coordenadas geográficas¹³.

O problema nesse caso é que se busca a planificação da modelagem do planeta para criar mapas, mas como o modelo é esférico, e a esfera é um sólido geométrico não-planificável, é impossível planificar o modelo sem que haja distorções nas informações. Utiliza-se, então, projeções cartográficas, as quais, segundo a ANA (2012a), fazem uso de fórmulas matemáticas para transformar as coordenadas geográficas esféricas em planas.

Os métodos de projeção originais são a projeção cilíndrica, a cônica e a plana ou azimutal. Destes, origina-se os tantos outros tipos de projeção existentes atualmente, entre eles a Projeção de Mercator. Esta projeção “pertence ao tipo chamado conforme, por que não deforma os ângulos.” (TERRA E COELHO, 2005, pág 46).

Muito utilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, a Projeção de Mercator foi desenvolvida durante a Segunda Guerra Mundial, como uma modificação da projeção cilíndrica, e resultou no Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM).

¹² WIKIMEDIA. Disponível em: <<<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Altitudes.svg>>>. Acesso em 13 nov 2017.

¹³ Coordenadas geográficas: São um sistema de linhas imaginárias (paralelos e meridianos) que servem para localizar um ponto ou acidente geográfico na superfície terrestre. (TERRA; COELHO, 2005)

Segundo a ANA (2012a), o Sistema UTM divide o mundo em 60 fusos que se estendem por 6° de longitude, começando do meridiano 180 °W para o 174 °W que recebe a identificação de fuso UTM 1, depois o fuso entre os meridianos 174 °W e 168 °W é identificado como o fuso 2, e assim por diante, até a faixa entre os meridianos 168 °E e 174 °E, que é nomeada como fuso 59 e, finalmente, entre os meridianos 174 °E e 180° E, o fuso UTM 60.

Também, divide-se em zonas entre paralelos que são nomeados por letras do alfabeto romântico. De acordo com a ANA (2012a), no Brasil passam oito fusos ao longo do território, desde o fuso 18, que atravessa o Acre, até o fuso 25, que engloba Fernando de Noronha-PE, no Oceano Atlântico, conforme está representado na Figura 6.

Figura 6 – Fusos UTM que atravessam o Brasil e as letras de latitude



Fonte: INPE.

Para o correto manuseio dos dados em um Sistema de Informação Geográfica faz-se necessário referenciar os dados a um sistema de projeção, escolhendo um Sistema Geodésico. Este é definido através de parâmetros junto a um elipsoide modelado com o formato da Terra.

No presente trabalho, foi utilizado o sistema geodésico Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS) 2000. Segundo o IBGE, desde 25 de fevereiro de 2015, o SIRGAS 2000 é o único sistema geodésico de referência oficialmente adotado no Brasil

O projeto SIRGAS [...] foi criado na Conferência Internacional para Definição de um Datum Geocêntrico para a América do Sul, realizada em outubro de 1993 em Assunção, Paraguai, e teve estabelecidos os seguintes objetivos: definir um sistema de referência geocêntrico para a América do Sul; estabelecer e manter uma rede de referência, e definir e estabelecer um datum geocêntrico (IBGE, 1997).

2.5 DADOS PARA SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Mendes e Cirilo (2013) ressaltam que as operações de SIG requerem que as camadas de dados estejam representadas em uma das três estruturas suportadas pelo programa, para serem eficientemente executadas. As estruturas de dados pertencem a modelos, que podem ser geométricos ou de atributos.

2.5.1 Modelos geométricos

Segundo Mendes e Cirilo (2013), os modelos geométricos servem para a representação gráfica no ambiente digital, podendo sua estrutura de dados ser vetorial ou matricial (raster).

Conforme a ANA (2012a), na “estrutura vetorial, a localização e a feição geométrica do elemento são armazenadas e representadas por vértices definidos por um par de coordenadas”. A partir das coordenadas, pode-se criar dados como: pontos, linhas retas ou curvas, polígonos e círculos, com os quais consegue-se expressar todas as feições geométricas que serão modeladas.

ANA (2012a) ressalta que o sistema não identifica relações entre os dados armazenados em um arquivo, devendo haver arquivos complementares que indiquem a relação existente. O conjunto desses arquivos gera um *shapefile*, composto por um arquivo principal, um arquivo de atributos e um indexador. Só então o SIG processa, lê ou escreve outros arquivos *shapefile*. No Quadro 3, estão expostos algumas características dos componentes dos arquivos *shapefile*.

Quadro 3 – Tipos de arquivo Shapefile

Extensão	Importância	Descrição
.shp	É o arquivo principal que apresenta a informação geométrica (ponto, linha ou polígono)	É descrito também como uma lista de vértices (par de coordenadas), que definem a localização espacial do elemento mapeado.
.dbf	É o arquivo que possui a tabela de atributos de todas as entidades geométricas existentes no arquivo <i>.shp</i>	É descrito como uma tabela semelhante a de uma planilha, contendo linhas e colunas.
.shx	É o arquivo indexador que cria o relacionamento entre o arquivo geométrico <i>.shp</i> com a tabela de atributos <i>.dbf</i>	Possibilita uma relação entre os aspectos geométricos e de atributos de uma informação geográfica.

Fonte: Adaptado de ANA (2012a).

Conforme ANA (2012a), os dados na estrutura matricial são representados por uma matriz, com i linhas e j colunas, que ao se cruzarem definem células chamadas de *pictures cells*, ou *pixels*. Cada pixel apresenta um valor referente ao atributo, e também valores das coordenadas, quando está georreferenciado. Um esquema de um dado raster é caracterizado por sua formação *pixelada*, geralmente, advindos de imagens obtidas de fotografias aéreas ou de satélite.

O modelo raster é adequado para armazenar e manipular imagens de sensoriamento remoto, da superfície terrestre. Os atributos dos pixels representam um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície terrestre. (ANA, 2012, pág. 8).

2.5.2 Modelos de atributos

Complementarmente aos modelos geométricos, os modelos de atributos consideram os atributos dos dados, isto é, as informações descritivas qualitativas ou quantitativas. Segundo a ANA (2012a), a estrutura de atributos precisa estar associada a um modelo geométrico e esses atributos associados aos dados podem ser espaciais, temporais ou temáticos.

- Os atributos espaciais guardam informações sobre: localização, como as coordenadas; topologia, como distâncias e vizinhanças; e geometria das entidades, como área, perímetro e forma.
- Os atributos temporais referem-se à idade do objeto de estudo, à data ou à frequência de aquisição.
- Os atributos temáticos referem-se a outras propriedades que não são de localização nem temporais. Por exemplo, tipos de rochas, índice pluviométrico, pedologia, quantidades do objeto, e outras informações.

2.6 PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL

O programa Pernambuco Tridimensional foi idealizado pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE), após as enchentes que castigaram os municípios da Mata Sul do estado de Pernambuco, entre 2010 e 2011, contando com aporte financeiro do Banco Mundial destinado ao Programa de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco (PSHPE), dentro do qual foi inserido, com êxito, o objetivo de mapear todo o Estado, originando assim o Programa Pernambuco Tridimensional - PE3D (CIRILO et al, 2014).

Esse mapeamento se fez por uma varredura a laser do terreno, que consiste no levantamento da altura de pontos sobre uma superfície através da emissão de raios laser, permitindo obter com qualidade e rapidez informações altimétricas.

Os serviços compreendem o recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser de todo o território pernambucano. O conjunto de dados está sendo apresentado exclusivamente em meio digital e todo o conteúdo será disponibilizado integralmente para download. Ao final do levantamento serão disponibilizados, com coordenadas planimétricas e altimétricas, cerca de 75 bilhões de pontos, ou seja, um ponto a cada 1,3m² de todo o território pernambucano (SDEC/PE. Disponível em: <<<http://www.pe3d.pe.gov.br/>>>. Acesso: 13 nov. 2017).

Na Tabela 3, estão relacionadas as quantidades realizadas para cada objetivo do Pernambuco Tridimensional.

Tabela 3 – Quantidade realizada para cada objetivo do PE3D

Descrição	Quantidade	
Recobrimento aerofotogrametrico digital com GSD 50cm e geração de ortoimagem na escala de 1:5.000 atendendo ao PEC classe A	98146	km ²
Recobrimento aerofotogrametrico digital com GSD 12cm e geração de ortoimagem na escala de 1:1.000 atendendo ao PEC classe A	870	km ²
Perfilamento a Laser e geração do Modelo Digital do Terreno com erro máximo altimétrico melhor que 25 cm.	98146	km ²
Perfilamento a Laser e geração do Modelo Digital do Terreno com erro máximo altimétrico melhor que 10 cm.	870	km ²
Implantação de marcos geodésicos.	40	Unid.

Fonte: SDEC/PE. Disponível em: <<<http://www.pe3d.pe.gov.br/>>>. Acesso: 13 nov. 2017

A Tabela 4 foi obtida da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, e nela estão expostos os dados quanto aos produtos obtidos com o PE3D.

Tabela 4 – Resolução espacial e radiométrica dos produtos do PE3D, de acordo com a escala

PRODUTO	ESCALA 1:5000		ESCALA 1:1000	
	Espacial	Radiométrica	Espacial	Radiométrica
ORTOFOTO	50 cm	8 Bits	12 cm	8 Bits
MDE ASCII	-	-	-	-
MDE RASTER	1 m	32 Bits	50 cm	32 Bits
MDT ASCII	-	-	-	-
MDT RASTER	1 m	32 Bits	50 cm	32 Bits
COMPOSIÇÃO	1 m	8 Bits	50 cm	8 Bits

Fonte: SDEC/PE. Disponível em: <<<http://www.pe3d.pe.gov.br/>>>. Acesso: 13 nov. 2017

Todo o Estado foi mapeado com um recobrimento aerofotogramétrico e geração de ortofotos na escala 1:5.000, e algumas cidades foram mapeadas na escala 1:1000, referenciados no Sistema de Coordenadas Projetadas UTM SIRGAS 2000, nos fusos 24S e 25S. Esses dados foram utilizados na gestão de situações de risco, o que serviu na melhor locação de estruturas hídricas como novas adutoras e projetos de barragens de reserva e controle de cheias, como a barragem de Serro Azul.

3 REGIÃO DE ESTUDO

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO INTERIOR DO NORDESTE

Nos tempos do Brasil Colônia, o Nordeste foi uma região de grande destaque social e econômico, pois era onde estavam localizados grandes centros urbanos e portos para despacho dos produtos tropicais para a Europa. O desenvolvimento de pastos, os cultivos de cana-de-açúcar, fumo e algodão e a exploração madeireira comprometiam a vegetação e o solo locais pois se fazia sem preocupações ambientais. Segundo a ANA¹⁴, os solos e climas do litoral favoreciam o trato dos rebanhos embora a pecuária pudesse ser próspera também no interior, porém no início da colonização era mais concentrada próxima à costa, onde auxiliavam nas fazendas de cana e perto dos potenciais consumidores do mercado interno e externo.

De acordo com a ANA¹⁵, enquanto a população se concentrava no litoral, ou seja, nos dois primeiros séculos de colonização, as secas quase não foram notadas pela comunidade. Conforme a ANA (2014d), observando a baixa pluviosidade em Pernambuco no ano de 1583, Fernão Cardim realizou o primeiro registro de seca do Nordeste.

Segundo a ANA (2014d), foi através da Carta Régia de 1701 que não permitia a criação bovina no litoral para que não houvesse concorrência de recursos com a cultura canavieira, que houve a multiplicação dos rebanhos e o aumento da ocupação de territórios mais semiáridos fazendo com que o assentamento das secas fosse importante.

Quando os períodos de estiagem se faziam presentes, ocorriam vários danos à economia da região. Para a população sem posses, a alternativa para superar a fome era o êxodo, migrando, na maior parte das vezes, para os centros urbanos no litoral, que recebiam milhares de flagelados (ANA, 2014d). Campos comenta os transtornos de secas à população:

[...] a ocupação do interior continuou dispersa até meados do século XIX quando ocorreu um período de 32 anos sem registro de grandes secas (de 1845 a 1876). Sem maiores adversidades, a população cresceu, mas a implantação de infraestruturas hídricas não acompanhou seu crescimento. Fato que por outro lado levou a seca de 1877 a 1879 a se configurar como um evento catastrófico (CAMPOS, 1990, *apud* ANA, 2014d, pág 7).

¹⁴ AGENCIA Nacional de Águas. Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos no Nordeste. Capacitação Unesp – Educação a distância, 2014d. pág. 7

¹⁵ AGENCIA Nacional de Águas. *loc. cit.*

Em meados do século XIX, ocorreram expedições imperiais de conhecimento do território, e o Nordeste foi um destino. Segundo a ANA (2014d), com apoio do Imperador, foi constituída a Comissão Científica de Exploração. Entre 1859 e 1861, os sertões foram objeto do grupo de estudos e reconhecimento. Em Paulo Afonso, na Bahia, sob domínio da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), encontra-se um livro com anotações das excursões realizadas na região do Rio São Francisco. Essas expedições pelo Nordeste colocaram a Corte do Império do Brasil a par da situação social e econômica das localidades distantes da Capital, embora os estudos não tivessem como cerne as estiagens e seus reflexos.

Com a recorrência das secas, buscou-se soluções para melhorar as condições de vida no semiárido e evitar que houvesse problemas urbanísticos advindos da chegada dos afetados pelas estiagem:

A seca de 1877 a 1879 constitui-se num marco no pensamento de combate as secas, que deixou de ser tratada somente de forma assistencialista e passou a ter também uma visão tecnicista. [...] foi criada pelo governo imperial uma comissão que avaliou a situação e sugeriu ações para mitigar os efeitos da seca, como: abertura de poços artesianos, construção de estradas e açudes e canalização de rios. (ANA, 2014d, pág. 8).

A partir de então, pode-se notar o início de uma fase de obras, principalmente as de açudagem. Segundo Vargas (apud Massad, 2010, pág. 174), o Nordeste foi pioneiro na construção de barragens de terra no Brasil, já no início do século XX, como ação do plano de combate à seca. De acordo como o Departamento Nacional de Obras conta a Seca (DNOCS)¹⁶, com a seca de 1877, foram propostos vários açudes no Ceará, e em 1906 foi inaugurado o açude do Cedro, no Município de Quixadá.

A ANA (2014d) comenta sobre as instituições de gerência das políticas de convivência com as secas.

O arranjo institucional e a distribuição de verbas para o combate às secas foram alterados diversas vezes, culminando, em 1909, com a criação da Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), uma divisão do Ministério da Viação e Obras Públicas [...]. A IOCS tinha como linha de atuação os trabalhos técnicos de campo, envolvendo aspectos geológicos e climatológicos, que iam ao encontro de ações há muito preconizadas por estudiosos e realizadas, na medida do possível, por particulares (GUERRA, 2004, *apud* ANA 2014d, pág. 9).

¹⁶ DNOCS. Cedro. Disponível em: <<<http://www.dnocs.gov.br/barragens/cedro/cedro.htm>>>. Acesso 16 jul. 2018

Segundo a ANA (2014d), na década de 1910 foram instalados os primeiros postos pluviométricos e houve a ênfase em produção de mapas em conjunto com os estudos cartográficos realizados. Com a seca de 1915 e a ascensão do paraibano Epiácio Pessoa à Presidência da República, em 1919, houve almejo para a construção de mais açudes no Nordeste.

Conforme o DNOCS¹⁷, em 1920, o IOCS passou a se chamar IFOCS (Inspetoria Federal de Obras Contra Seca), a qual, em 1945, passou a se chamar DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas –, que foi transformado em autarquia federal, ficando responsável pelas atividades de desenvolvimento, algumas depois assumidas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

Segundo a ANA (2014d), a criação da SUDENE, em 1958, marcou uma nova maneira de pensar do governo da época. O foco deixa de ser a seca e passa ao desenvolvimento econômico e social, que até então era precário e sem planejamento da região. Nesse momento, a atuação do DNOCS voltou-se para estudo de disponibilidade hídrica e uso da água, associada a incentivos e políticas.

Também em 1945, foi criada a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) e a Comissão do Vale do São Francisco, tendo uma visão do aproveitamento da água para a gerar energia para o Nordeste e desenvolver a região (SOUZA, *apud* ANA 2014d, pág. 10).

A ANA (2014d) informa que as atuações do Plano de Combate às Secas iam do público ao particular, como a construção de grandes reservatórios públicos, mas também de pequenos açudes particulares, nesse caso, numa ideia que a água seria disponibilizada para o público local, mas a água geralmente ficava limitada aos donos das terras.

Quando a população passou a cobrar a construção de represas em locais de livre acesso formou-se um objeto de barganha política. Algumas obras ficavam apenas nas promessas eleitorais, porém outras eram concretizadas.

Essa é uma fase denominada “solução hídrica”, que é caracterizada pela construção desordenada de pequenos açudes, o que alterou significativamente o perfil hidrológico do semiárido, a disponibilidade hídrica e a gestão das águas (ARAÚJO, 2011, *apud* ANA, 2014d, pág. 10).

¹⁷ DNOCS. Disponível em: <<<http://www2.dnocs.gov.br/historia>>>. Acesso em:

Os encontros internacionais sobre o meio ambiente deram novo fôlego a políticas públicas no Brasil. Em 1983, foi realizada em Brasília, o Seminário Internacional de Gestão de Recursos Hídricos, representando o início dos debates nacionais sobre esse tema (ANA, 2014d). Três anos depois, o Ministério de Minas e Energia recomendou a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o SINGREH, buscando implementar uma política de recursos hídricos.

Em 1997, foi promulgada a Lei nº 9.433, chamada de Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o SINGREH. Após três anos de promulgada a Lei das Águas, a Lei nº 9.984/2000, criou a ANA – Agência Nacional de Águas, entidade federal com a finalidade de implementar a Política.

Todos os estados possuem Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos e dividiram seus territórios em unidades de planejamento de recursos hídricos, ressaltando-se que cada unidade pode coincidir com a área da bacia hidrográfica, ou representar somente uma parte de uma bacia, ou ainda incluir várias bacias. (ANA, 2014d, pág. 17).

Mesmo assim, os processos de gestão ainda são deficientes no Brasil, pois, segundo a ANA (2014d), os estudos não abrangem todo o território dos Estados, devido à nem todas as bacias estaduais terem órgãos de gerência hídrica e decisão fortalecidos, ou mesmo existentes.

Vale ressaltar também o fato de que a gestão hídrica no Nordeste é dificultada pelas condições climáticas que fogem da situação geral brasileira, necessitando muitas vezes de infraestruturas hídricas como adutoras e canais. Segundo a ANA (2014d), a construção, gestão e manutenção de infraestruturas hídricas que assegurem o fornecimento de água, acarretam um ônus adicional nas políticas para combate aos problemas regionais de abastecimento ou outros usos.

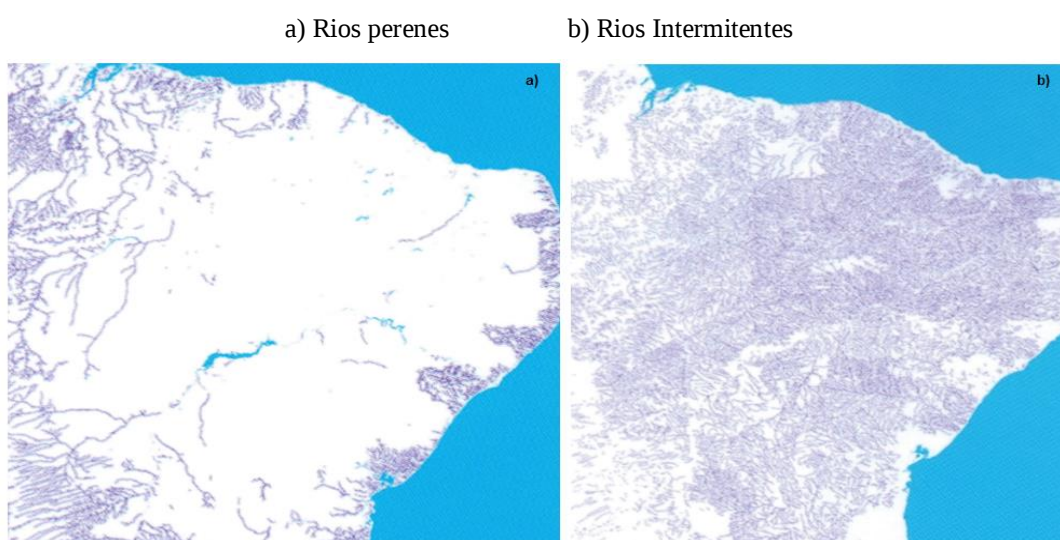
3.2 PANORAMA HÍDRICO

De acordo com a ANA (2012b), o Brasil possui grande reserva de água doce e apresenta 13,8% do deflúvio médio mundial. Por outro lado, seu tamanho continental imprime uma diversidade de climas e algumas regiões do país sofrem graves problemas de escassez de água.

Nota-se que há uma discrepância quando se observa a oferta para os usuários em cada bacia, como exemplo, há “uma disponibilidade hídrica *per capita* variando de 1.835 m³/hab./ano, na bacia hidrográfica do Atlântico Leste, a 628.938 m³/hab./ano, na bacia Amazônica” (ANA, 2012b, pág. 20).

Segundo a ANA (2012c), no semiárido brasileiro a maior parte dos rios é intermitente, como pode ser observado na Figura 7, fato que contribui para os problemas de abastecimento humano e dificuldades na implantação de empreendimentos que exijam uma maior garantia de água, o que, conseqüentemente, afeta o desenvolvimento socioeconômico regional.

Figura 7 – Regimes hídricos dos rios da região Nordeste



Fonte: ANA, 2005

Em virtude dessa carência hídrica da região nordestina o acúmulo de água para atravessar o período de estiagem tornou-se comum e necessário, desde pequenos reservatórios, que atendem uma propriedade, a grandes barragens, para suprimento de vários municípios.

Para se ter uma ideia, dos cerca de 7.000 reservatórios artificiais com espelhos d'água acima de 19 hectares existentes no Brasil até 2013, aproximadamente 2.800 estavam localizados na região Nordeste, ou seja, 40% do total. (ANA, 2012c, pág. 4)

Além de uma grande quantidade de açudes, no Nordeste há extensa malha de adutoras capazes de levar a água armazenada até os usuários, o que demonstra que a região é dependente de estruturas hídricas, que por vezes interligam diversas bacias.

A ANA (2012c) comenta ainda que a presença de grandes obras de represamento possibilitou a perenização de alguns rios importantes para a economia no Nordeste através da técnica de regularização das vazões, como ocorreu nos rios Piranhas-Açu (PB/RN) e Jaguaribe (CE).

3.2.1 Disponibilidade hídrica em Pernambuco

A ANA (2005, pág 13) mensura e classifica a situação dos rios de acordo com a relação entre a demanda e a disponibilidade dos cursos em faixas cujos limites são os seguintes:

- Preocupante – Relação entre demanda e disponibilidade de 10 a 20%.
- Crítica – Relação entre demanda e disponibilidade de 20 a 40%.
- Muito crítica – Relação entre demanda e disponibilidade maior que 40%.

Segundo os dados da ANA (2005), os rios das Regiões Hidrográficas Atlântico Nordeste Oriental e do São Francisco não se encontram em uma situação confortável, pois a relação entre a demanda e a disponibilidade de todos os rios é maior que 10%, o que confere a classificação de, no mínimo, “Preocupante”.

A relação entre a demanda e a disponibilidade nos cursos hídricos pernambucanos apresenta níveis de “Crítico” a “Muito crítico”, como pode ser observado na Tabela 5, adaptada do Relatório da ANA (2005). Estes índices indicam a necessidade de ações mais eficazes de gestão hídrica na região, que é uma das mais secas do país, tanto pela baixa precipitação, quanto pela estrutura geológica cristalina.

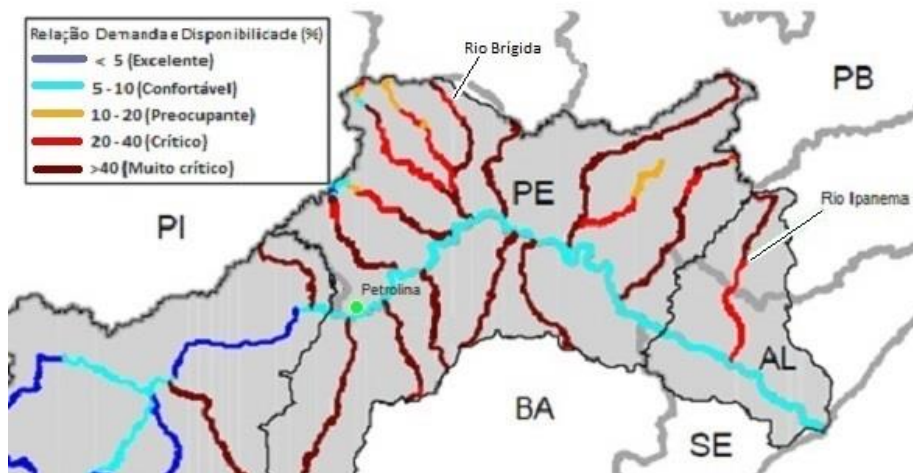
Tabela 5 – Disponibilidade hídrica de cursos das Regiões Hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental e do São Francisco em Pernambuco

Região hidrográfica	Principais bacias	Classificação
Atlântico Nordeste Oriental	- Rio Paraíba; PB - Rios Gramame, Goiana, PB e PE; - Rio Capibaribe, PE - Rios Una, Ipojuca Sirinhaém, PE - Rio Mundaú, AL.	Muito crítica
São Francisco	- Rios da margem esquerda de Sobradinho, BA; - Rios Jacaré, Salitre, Curaçá, Macururé, BA; - Rios Pontal, Garças, Brígida, Terra Nova, PE; - Rios Pajeú, Moxotó, Curitiba, PE - Rio Ipanema, AL e PE	Muito crítica Crítica

Fonte: ANA, 2005, pág. 106-107, adaptado.

No caso da bacia do São Francisco em Pernambuco apenas nas áreas ribeirinhas do rio principal há uma situação mais confortável para atendimento da oferta de água. Todo o restante da bacia coexiste com situação extremamente crítica, como pode ser visualizado na Figura 8.

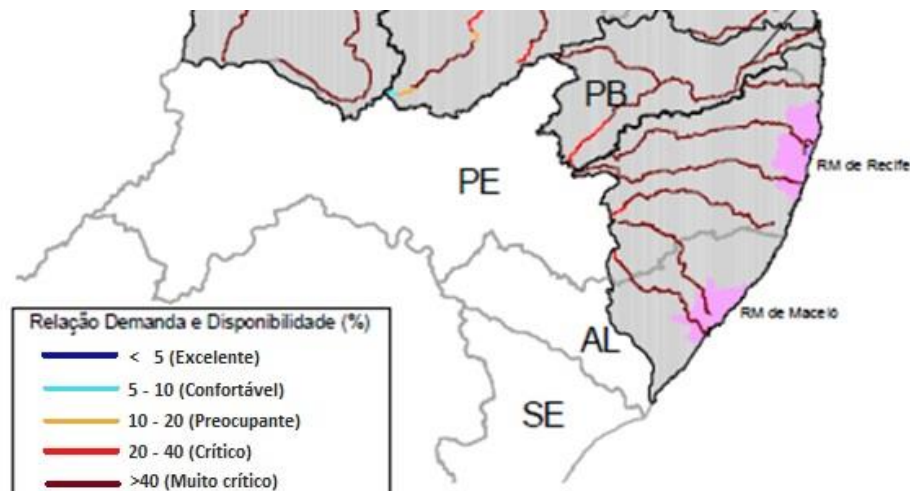
Figura 8 – Demanda versus disponibilidade hídrica, Região do São Francisco



Fonte: ANA, 2005, pág. 99. Adaptado

Fora da bacia são franciscana, como representado na Figura 9, a região leste do Estado de Pernambuco, que é objeto de estudo do presente trabalho, apresenta rede hidrográfica cujo nível é “Muito crítico”. Embora as localidades mais próximas ao Oceano tenham índices pluviométricos maiores, ou seja, maior disponibilidade, a densidade demográfica, que aumenta do interior para o litoral, acarreta maiores demandas, portanto, aumenta a criticidade dos índices.

Figura 9 – Demanda versus disponibilidade na Região do Atlântico Nordeste Oriental

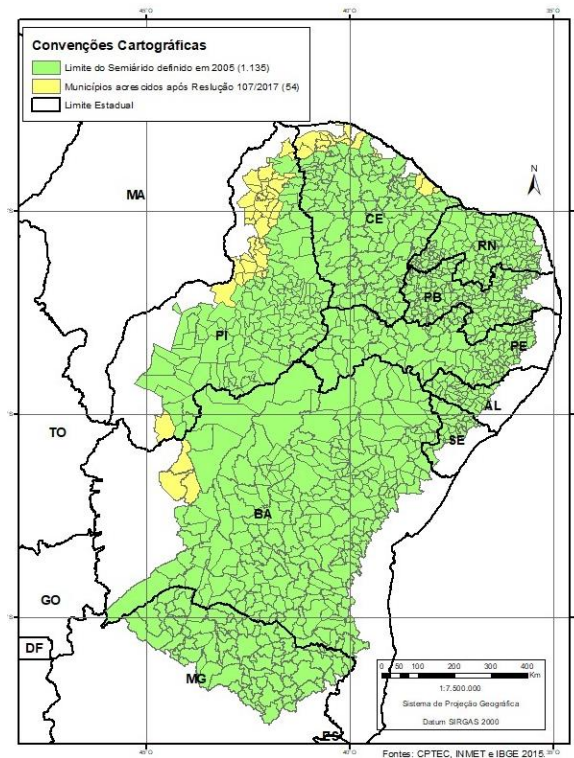


Fonte: ANA, 2005, pág. 98. Adaptado

3.2.2 Polígono das secas

O sertão está sob a influência do clima semiárido, o qual, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), engloba grande parte do Nordeste e também fora desse limite administrativo, se estendendo até o norte de Minas Gerais. Essa região também é chamada de Polígono das Secas. Recentemente, no fim de 2017, o Ministério da Integração Nacional (MI) publicou a nova delimitação do Semiárido Brasileiro, que não contou com exclusões de municípios da lista, apenas inclusões, o que indica que os efeitos de estiagem estão afetando áreas cada vez maiores. O novo mapa, segundo MI (2017), pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 – Delimitação do Semiárido, 2017



Fonte: MI, 2017, pág. 90.

Essa região tem seu clima estudado e acompanhado há muitos anos, compreendendo uma área de quase 900 mil km², segundo dados de Soares (2013), o qual retrata o cenário do semiárido da seguinte forma:

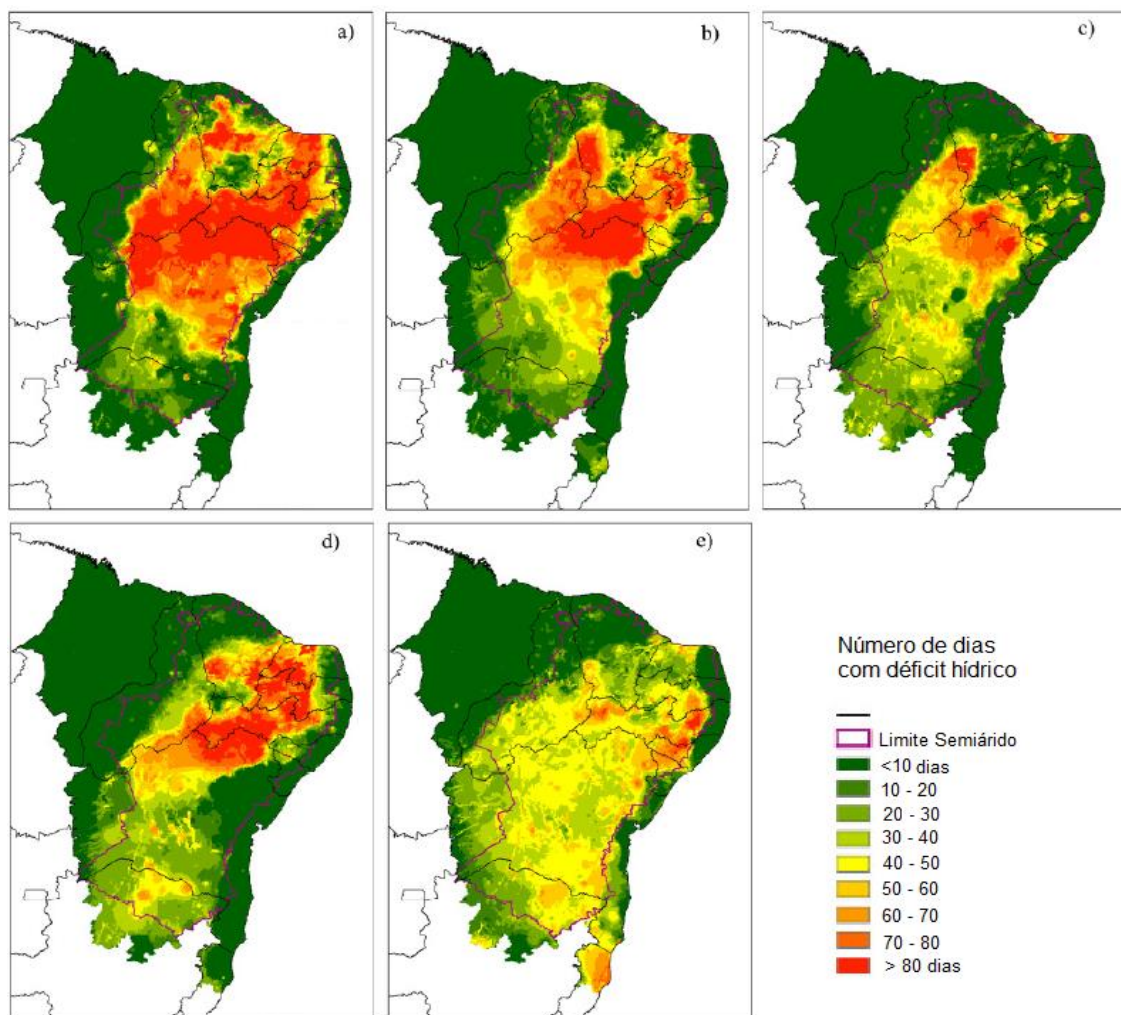
Esse domínio é caracterizado pela pluviosidade inferior a 800 mm/ano, pela média de temperatura entre 23 °C e 27 °C, e por extensões pediplanizadas drenadas por rios temporários e cobertas pela vegetação da Caatinga. [...], com chuvas irregulares no tempo e no espaço, as médias pluviométricas da região são pouco significativas (KOSMINSKY; ZUFFO, 2009, *apud* SOARES, 2013, pag. 77).

Tal irregularidade de precipitações dificulta o desenvolvimento da agricultura de sequeiro. Logo, busca-se como saída a agricultura irrigada, tal como no Vale do São Francisco, principalmente em Petrolina.

Na Figura 11, estão expostos alguns dados sobre o número de dias com déficit hídrico (NDDH) na região onde o semiárido domina. Pode-se perceber que o interior da região Nordeste é a que mais sofre com a falta de água no solo, o que compromete o crescimento da vegetação e a sustentação de culturas.

Figura 11 – Número de dias com déficit hídrico no Semiárido, entre 2011 e 2016.

Entre os anos hidrológicos de a) 2011-2012, b) 2012-2013, c) 2013-2014, d) 2014-2015, e) 2015-2016



Fonte: Marengo *et al.* (2016), pág. 52.

Porém, com o lançamento de outros projetos de estudos, pode-se observar melhor a região mais atual e representativamente, servindo de base para ações de caracterização e combate às secas de forma mais efetiva. Um desses projetos é o Monitor das Secas.

3.2.3 Monitor das secas

De posse de informações climáticas, pôde-se criar uma ferramenta que auxilia na verificação de impactos de estiagem nas regiões áridas do país, chamada de Monitor das Secas.

O Monitor de Secas é um processo de acompanhamento regular e periódico da situação da seca no Nordeste, cujos resultados consolidados são divulgados por meio do Mapa do Monitor de Secas. [...] tem como objetivo integrar o conhecimento técnico e científico já existente em diferentes instituições estaduais e federais para alcançar um entendimento comum sobre as condições de seca, como: sua severidade, a evolução espacial e no tempo, e seus impactos sobre os diferentes setores envolvidos. (ANA¹⁸)

No ano de 2012, o Ministério da Integração Nacional (MI), durante o extremo período de escassez hídrica no Nordeste, criou um grupo de trabalho para avaliação da gestão das secas no país e estudo da instituição de uma Política Nacional de Secas.

Influenciado pelo cenário internacional, que já discutia o assunto – inclusive culminando no Encontro de Alto Nível sobre Políticas Nacionais de Seca, ocorrido em Genebra, em março de 2013 –, o Brasil demonstrou compromisso na gerência de planejamentos para mitigação dos impactos das secas.

Posteriormente, o MI solicitou apoio ao Banco Mundial para desenvolvimento de políticas nacionais e estaduais a respeito das secas e um programa para o Nordeste. Assim, passou-se de uma gestão de crise, reagindo ao problema, para uma gestão de risco, antevendo o problema, através de monitoramento, alertas precoces, identificação dos impactos e das áreas vulneráveis, e planejamento de respostas sistemáticas a longo prazo.

Em outubro de 2013, durante o seminário "Secas, Impactos e Respostas: uma Análise da Seca de 2012-2013 no Nordeste e Contribuições para uma Política Nacional de Seca", realizado na capital cearense, representantes de instituições federais e estaduais, além de organizações civis, assentiram em desenvolver metodologias de monitoramento e informações para previsão e alerta de secas.

¹⁸ ANA. Monitor das secas do Nordeste. <<<http://monitordesecas.ana.gov.br/>>>. Acesso: 11 jul. 2017.

Desponta, então, o Monitor de Secas do Nordeste, que, em agosto de 2014, ficou sob regência, na esfera federal, da Agência Nacional de Águas (ANA), do Ministério da Integração Nacional (MI) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Já na esfera estadual, conta com o envolvimento de órgãos de todos os Estados do Nordeste, que disponibilizam informações e participam do processo de validação do mapa.

A compilação dos dados fica a cargo de três entidades estaduais que tratam do clima: a APAC, a FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) e o INEMA (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia). O Monitor exprime os estudos classificando as áreas em níveis de seca. Na Tabela 6, encontram-se as descrições de cada categoria de classificação adotada.

Tabela 6 – Classificação dos níveis de seca aplicados no Monitor

Categoria	Percentil	Descrição	Impactos Possíveis
S0	30 %	Seca Fraca	Entrando em seca: veranico de curto prazo diminuindo plantio, crescimento de culturas ou pastagem. Saindo de seca: alguns déficits hídricos prolongados, pastagens ou culturas não completamente recuperadas.
S1	20 %	Seca Moderada	Alguns danos às culturas, pastagens; córregos, reservatórios ou poços com níveis baixos, algumas faltas de água em desenvolvimento ou iminentes; restrições voluntárias de uso de água solicitadas.
S2	10 %	Seca Grave	Perdas de cultura ou pastagens prováveis; escassez de água comuns; restrições de água impostas.
S3	5 %	Seca Extrema	Grandes perdas de culturas / pastagem; escassez de água generalizada ou restrições
S4	2 %	Seca Excepcional	Perdas de cultura / pastagem excepcionais e generalizadas; escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência.

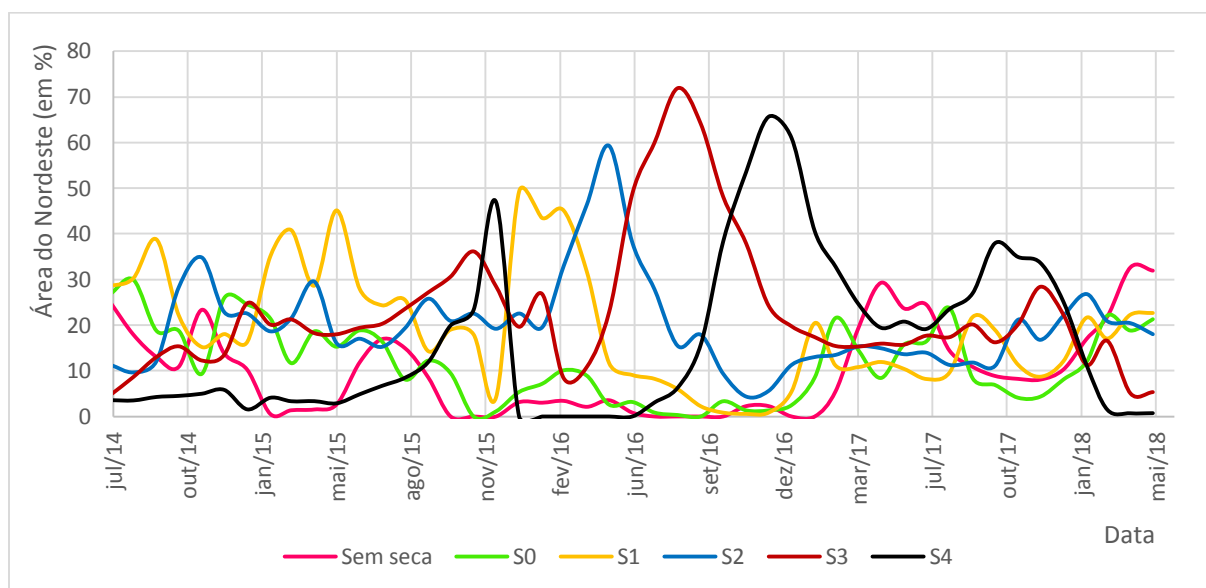
Fonte: National Drought Mitigation Center, Lincoln, Nebraska, U.S. Adaptado por FUNCEME¹⁹

O Monitor das secas é formulado mensalmente e classifica as áreas pela sua susceptibilidade futura aos impactos causados pela atual conjuntura hídrica na região. Desde seu primeiro mapa, lançado em 2014, o Monitor acompanha os anos de seca que atingem o Nordeste, inclusive 2016, um dos anos mais secos.

¹⁹ FUNCEME. Tabela de classificação de severidade de seca. Disponível em: <<<http://msne.funceme.br/pg/pagina/show/214>>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

Na Figura 12 está relacionada a porcentagem da área do Nordeste que apresenta cada cenário de seca, desde o primeiro mapa até maio de 2018. Nesta figura, pode-se observar pontos críticos, como em agosto de 2016 que estava com mais de 70% da região englobada no cenário de seca extrema, S3. Também a seca excepcional presente em 65,64% do Nordeste, em dezembro de 2016.

Figura 12 - Porcentagem de área do Nordeste sob cada cenário de seca



Fonte: FUNCEME

Na Tabela 7²⁰ estão apresentados as maiores áreas abrangidas por cada cenário de seca. Por exemplo, em Abril de 2018, o cenário Sem seca mais esteve presente na Região desde o início do monitoramento, atingindo 32,68% da área o que indica que nesse mês houve mais áreas fora de cenários de seca.

Tabela 7 – Maiores porcentagens para cada cenário de seca

Data	Sem seca	S0	S1	S2	S3	S4
abr/18	32,68%*	18,82%	22,31%	20,44%	5,04%	0,71%
ago/14	17,94%	29,95%*	30,28%	9,66%	8,65%	3,52%
jan/16	3,14%	5,37%	49,28%*	22,56%	19,65%	0,00%
mai/16	3,56%	2,58%	11,65%	59,27%*	22,94%	0,00%
ago/16	0,01%	0,33%	5,98%	15,46%	71,91%*	6,31%
dez/16	2,28%	1,34%	0,85%	5,60%	24,29%	65,64%*

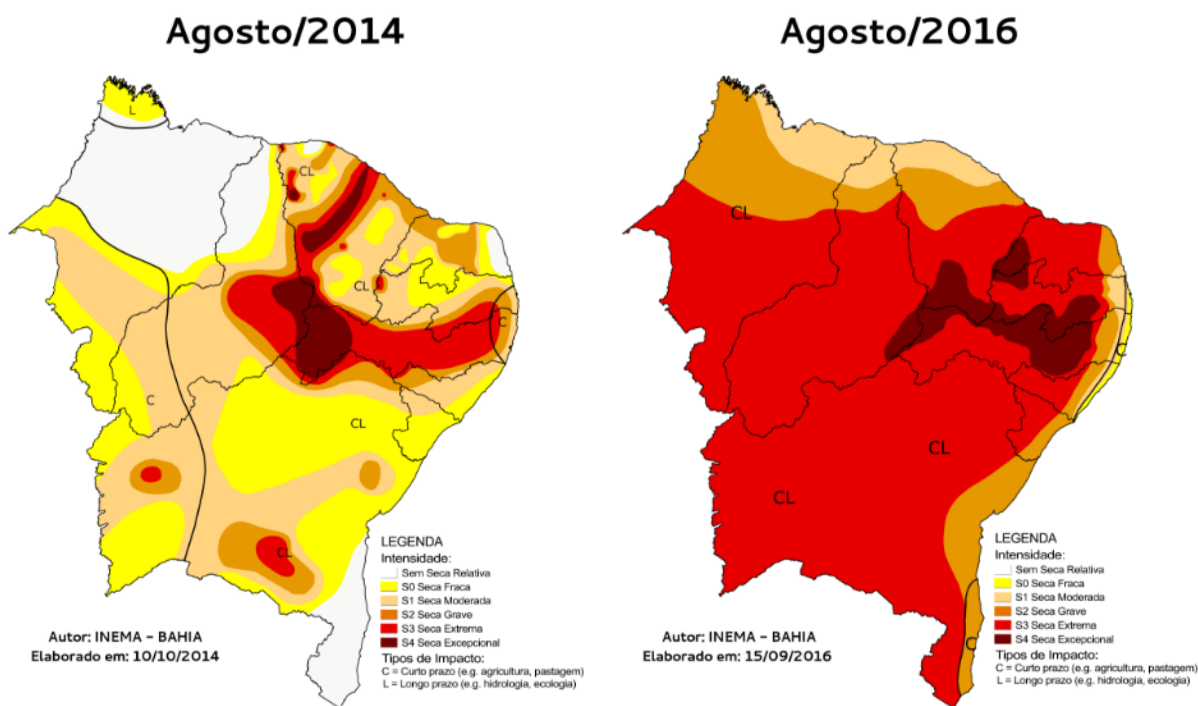
Fonte: FUNCEME

²⁰ Os asteriscos na Tabela 7 indicam que, no mês referido, a área abrangida pelo cenário foi a maior desde o início do Monitor.

Na Figura 13 observa-se uma intensificação da seca no mês de agosto de 2016, em relação ao correspondente mapa do ano de 2014. Isso foi causado pelo baixo índice de precipitações que atingiram o Nordeste no período compreendido entre a elaboração dos mapas, que mesmo com alguns meses chuvosos não foi suficiente para melhorar a condição da seca na região.

Ressalta-se que, conforme a mesma figura, todo o Nordeste se enquadrava na região de secas de nível moderado a excepcionalmente severo, em 2016, diferente de 2014, quando havia indicação que algumas áreas não seriam impactadas pela seca.

Figura 13 – Comparação entre os mapas de 2014 e 2016, para o mês de agosto

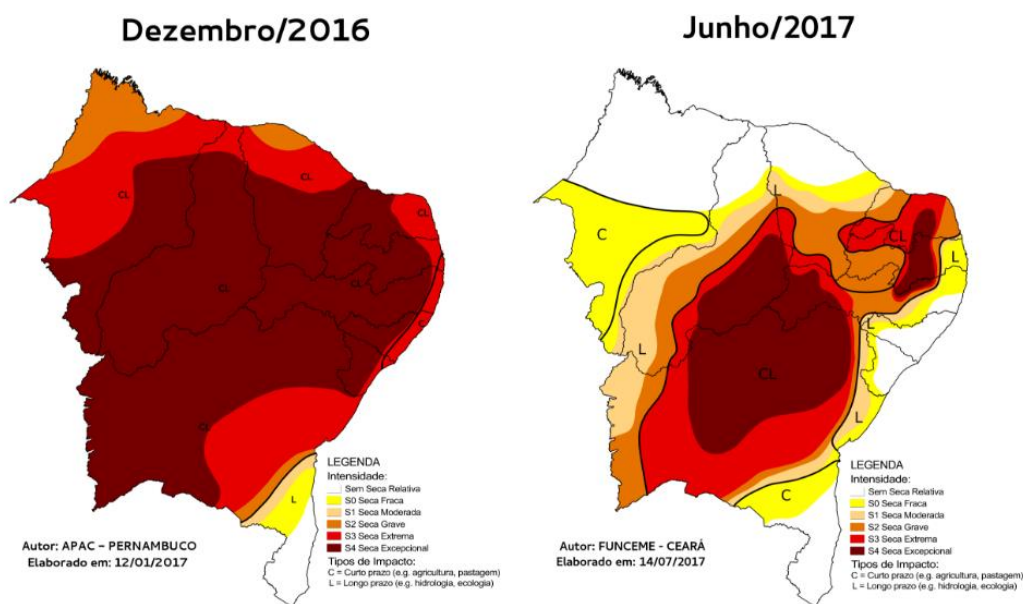


Fonte: FUNCEME²¹

Na Figura 14 percebe-se uma situação muito crítica, na qual, em dezembro de 2016, a maior parte do Nordeste encontrava-se na área de seca excepcional. Esse quadro foi aliviado com chuvas que chegaram a região em maio de 2017, portanto, no mês de junho, muitas localidades já estavam fora da zona de seca excepcional, mas essa classificação ainda continuava no interior do território, principalmente sobre o Oeste baiano e pernambucano e Leste do Piauí.

²¹ FUNCEME. Histórico dos dados tabulares de seca. Disponível em: << <http://msne.funceme.br/map/mapa-monitor/comparacao> >>. Acesso em: 19 nov. 2017.

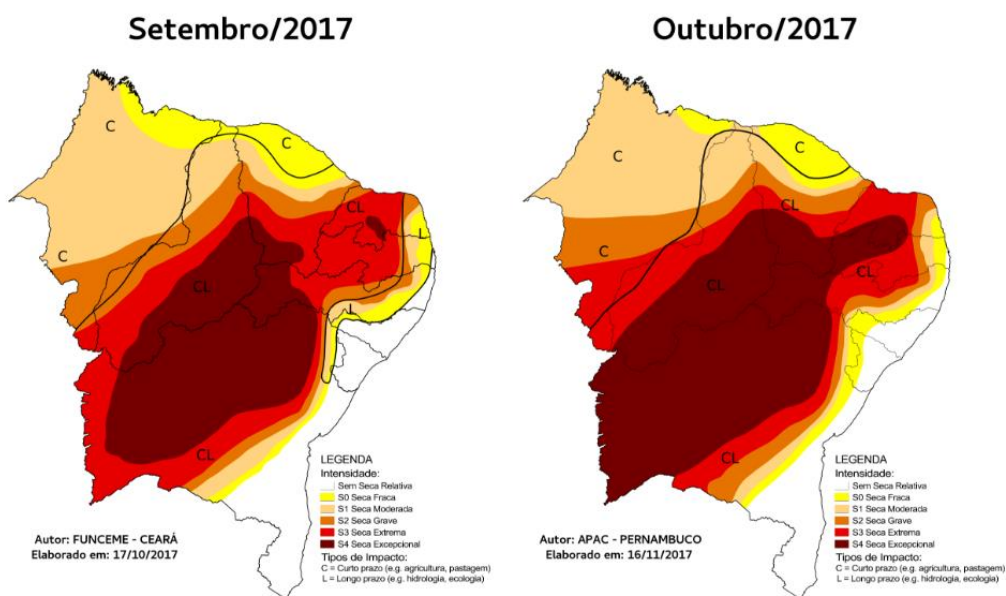
Figura 14 – Comparação entre os mapas de dezembro de 2016 e junho de 2017.



Fonte: FUNCEME²²

Segundo os mapas de setembro e outubro de 2017, expostos na Figura 15, a região classificada como de seca excepcional vem aumentando mensalmente desde junho. E como a partir de dezembro começam os meses mais quentes, a situação tende a se agravar.

Figura 15 – Mapa do Monitor das Secas para setembro e outubro de 2017



Fonte: FUNCEME²³

²² FUNCEME. Histórico dos dados tabulares de seca. Disponível em: << <http://msne.funceme.br/map/mapa-monitor/comparacao> >>. Acesso em: 19 nov. 2017.

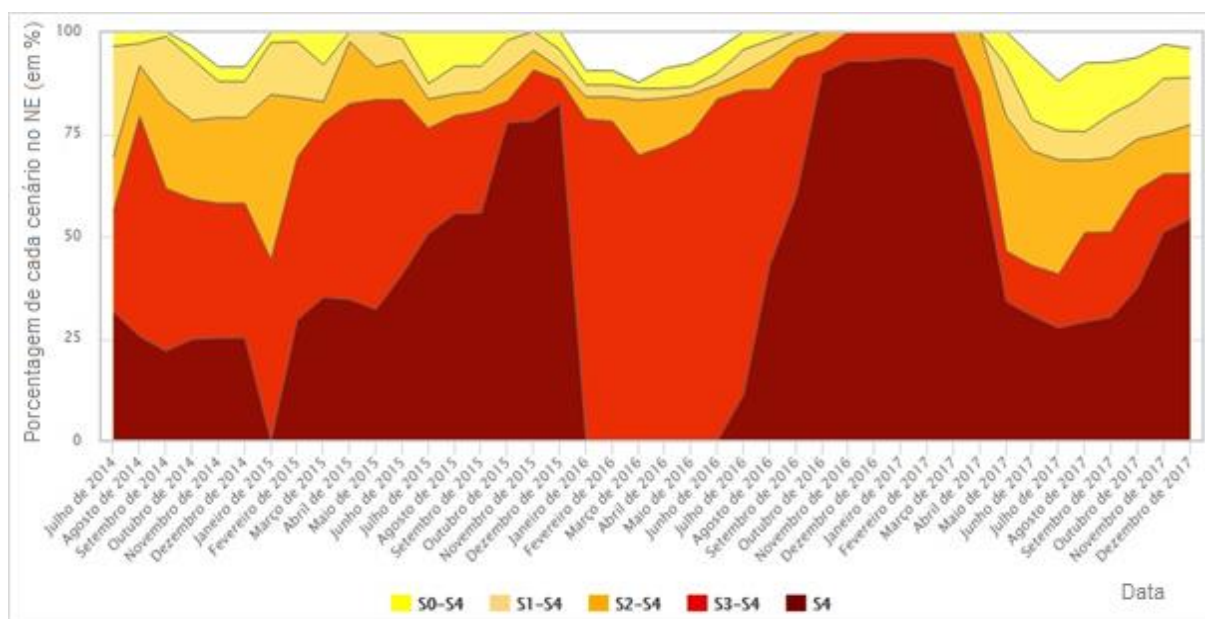
²³ FUNCEME. *loc. cit.*

Se a situação permanecer dessa forma, confirmar-se-á o alerta da ANA que a região poderá se transformar de zona semiárida a zona árida, o que majoraria a crise do abastecimento humano.

Quando estuda-se reservatórios, o Monitor serve para definir regime de operação com diferentes faixas de vazão captada, conforme a situação do reservatório e o mês em vigor, evitando ou postergando colapsos dos sistemas de abastecimento. Utiliza-se como referência a Tabela 6, onde estão relacionados os percentis limites para cada nível de seca, sendo classificada como extrema, quando o volume fica abaixo de 2%.

Analisando apenas os cenários de seca no território pernambucano, percebe-se que os níveis de seca extrema e excepcional dominaram grande parte do Estado desde que o Monitor foi implantado. Segundo a FUNCEME²⁴, o mês mais crítico foi janeiro de 2017, no qual 93,6% da superfície estadual foi classificada como em seca excepcional e o restante em seca extrema. A série histórica do Monitor para Pernambuco pode ser visualizada na Figura 16.

Figura 16 – Histórico do Monitor das Secas em Pernambuco



Fonte: FUNCEME²⁵

²⁴ FUNCEME. Histórico dos dados tabulares de seca. Disponível em: <<
<http://msne.funceme.br/map/mapa-monitor/area>>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

²⁵ FUNCEME. Histórico dos dados tabulares de seca. *loc. cit.*

3.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS DO AGRESTE

O Agreste de Pernambuco é uma região de pouca disponibilidade hídrica e densamente habitada. Configura-se, então, em uma área que precisa de gerenciamento dos mananciais para não comprometer os usos desenvolvidos na região, que na maior parte é para abastecimento humano, mas o abastecimento industrial também é presente. Polos regionais de desenvolvimento como Caruaru, Belo Jardim, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama são grandes consumidores de água para suas atividades produtivas. Como a demanda é alta, e a disponibilidade é comprometida.

3.3.1 Transferência de água entre bacias

O projeto de transposição do São Francisco se fará com o destino das águas do rio para dois destinos: o Eixo Norte, que levará volumes para o Sertão cearense, potiguar, paraibano e pernambucano, e o Eixo Leste, que incrementará o abastecimento no Sertão Meridional pernambucano e no Agreste da Paraíba e de Pernambuco.

No Eixo Leste haverá vazão contínua de 10 m³/s, disponibilizados para consumo humano, embora a capacidade máxima seja de 28 m³/s (RAMOS, 2017). Obras como estações elevatórias, estações de tratamento de água, adutoras e reservatórios se fazem necessários para concretizar o projeto da transposição, que por fim beneficiarão 68 sedes municipais e 80 localidades próximas ao traçado da adutora (COMPESA, apud RAMOS, 2017, pág. 56).

Desde o início da discussão do projeto de transposição de águas do rio São Francisco para as regiões mais críticas do Nordeste que a situação do Agreste de Pernambuco se configura como prioridade. Para atender as necessidades dessa região, como também de áreas da Paraíba, foi criado e em 2017 entrou em operação o Eixo Leste, canal que atualmente complementa a oferta de água para a região de Campina Grande, na Paraíba.

Embora o Eixo Leste cruze o território pernambucano, a efetividade de atendimento da porção leste do estado depende de duas obras hídricas de grandes dimensões: a Ramal do Agreste, canal que interligará o Eixo Leste com estação de tratamento de águas no município de Arcoverde, e a Adutora do Agreste, conjunto de tubulações e sistemas elevatórios que se estenderá por mais de 1300 km de extensão quando concluída. A adutora está com a primeira etapa avançada. O ramal, porém, foi iniciado somente neste 1º. Semestre de 2018, devendo suas obras se estenderem por mais de três anos.

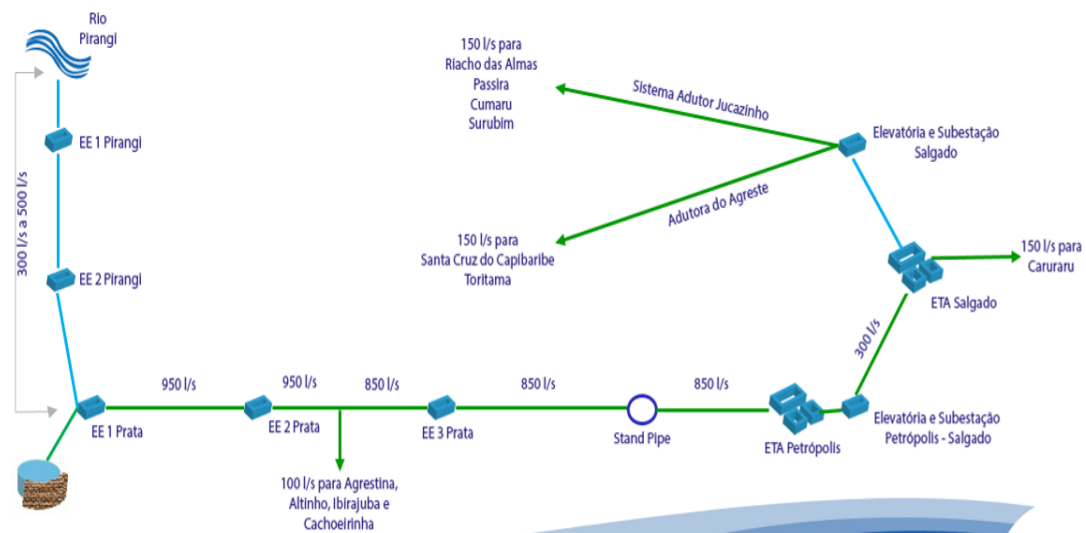
Durante a estiagem dos últimos anos e face à constatação de que o atendimento das demandas do Agreste a partir do São Francisco irá demorar alguns anos para se tornar realidade, comprovou-se a necessidade de transpor água de outras fontes para o Agreste, agora a partir da Mata Sul do estado, na bacia do rio Una. A adutora do Pirangi, em operação, tem capacidade de transferir cerca de 400 L/s para Caruaru, interligada às cidades mais próximas. A adutora de Serro Azul, em início de obras, terá captação na barragem do mesmo nome e transportará também 500 L/s para as cidades do Agreste Central.

3.3.2 Adutora Pirangi

A adutora Pirangi capta água do rio homônimo, em Catende, Zona da Mata Sul, e a envia até o reservatório do Prata, localizada no município de Bonito, no Agreste pernambucano, por intermédio de estações elevatórias instaladas em Catende e Bonito. Segundo a COMPESA, a adutora faz parte do projeto de regularização da vazão da barragem do Prata, o que dará segurança hídrica para vários municípios da região. É uma transposição de águas, pois beneficiará cidades das bacias do Ipojuca e do Capibaribe.

As captações de 400 L/s no rio Pirangi, somam-se a 550 L/s advindos do Sistema Prata, para abastecer cidades como Agrestina e Caruaru, de acordo com a COMPESA. Um esquema do sistema Pirangi para atender ao Agreste é encontrado na Figura 17.

Figura 17 – Diagrama Unifilar do Sistema Pirangi



Fonte: COMPESA (2016, *apud* Ramos, 2017, pág. 60)

Com a inversão do sentido de vazão da adutora que vinha de Jucazinho com destino a Caruaru, na bacia do Ipojuca, as águas que chegam a esta cidade, vindas do sistema Pirangi-Prata, são enviadas até cidades da bacia do Capibaribe, como Santa Cruz do Capibaribe, Surubim e Passira. Evidenciando-se, então, a importância das transposições para esta região do semiárido.

3.3.3 Bacia do rio Capibaribe

Segundo a APAC²⁶, a bacia do Capibaribe apresenta uma área de 7.455 km² (7,58% da área de Pernambuco), estendendo-se pelo território de 42 municípios do Estado, entre os quais Santa Cruz do Capibaribe, Toritama, Caruaru, Surubim, Gravatá, Vitória de Santo Antão, Carpina, São Lourenço da Mata e Recife, embora nem todos tenham sua sede nesta bacia.

O rio Capibaribe nasce entre os municípios de Jataúba e Poção, no Agreste, e atravessa vários centros urbanos, servindo de corpo receptor de resíduos industriais e domésticos, conforme o Plano Hidroambiental da bacia elaborado pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) (2010a). De acordo com a APAC²⁷, ele torna-se perene apenas a partir de Limoeiro, na Zona da Mata, e nos seus alto e médio cursos, apresenta-se intermitente, pois depende das precipitações que são escassas nestas áreas. Um esquema da bacia, com sua rede de drenagem e os municípios englobados, pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18 – Bacia do Rio Capibaribe



Fonte: Autor (2017)

²⁶ APAC. Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco: *Bacia do rio Capibaribe*. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=14>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

²⁷ APAC. Bacias Hidrográficas: *Bacia do rio Capibaribe*. loc. cit.

Na Tabela 8 apresenta-se uma relação de alguns reservatórios da bacia hidrográfica. Jucazinho é a maior das barragens existentes na bacia, localizando-se na calha do rio principal, mas, mesmo com capacidade de 327 milhões de m³, não resistiu ao longo período de estiagem nesta década, secando completamente em 2016, de acordo com a COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento.

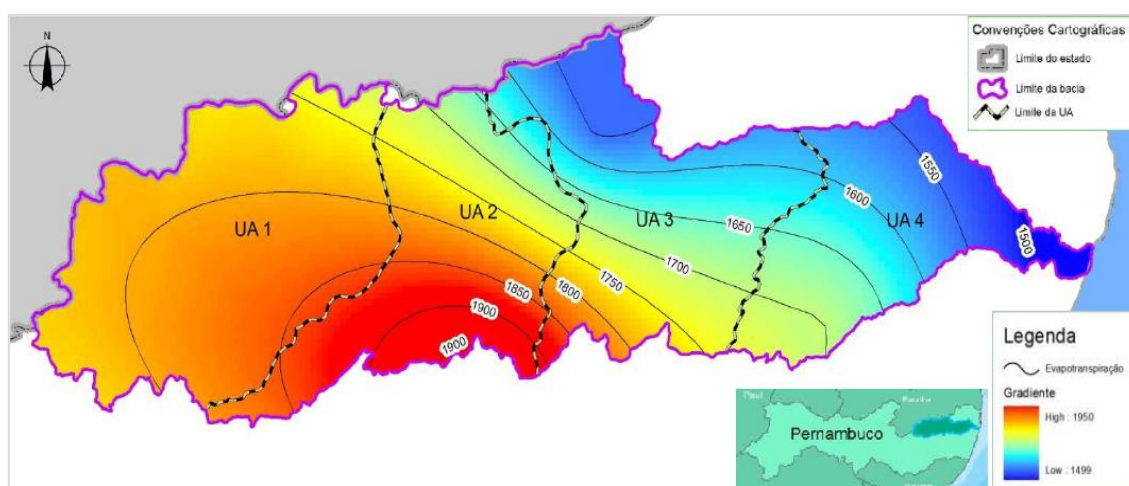
Tabela 8 – Alguns reservatórios e açudes na bacia do rio Capibaribe

Reservatório / Açude	Município	Capacidade Máxima (m ³)
Carpina	Lagoa do carro	270 000 000
Eng. Gercino Pontes	Caruaru	13 600 000
Goitá	São Lourenço da Mata	52 535 000
Jucazinho	Surubim	327 035 000
Poço Fundo	Santa Cruz do Capibaribe	27 750 000
Tapacurá	São Lourenço da Mata	94 200 000

Fonte: APAC²⁸

Segundo a SRH (2010a), a região do Alto Capibaribe tem uma das mais altas taxas de evapotranspiração do Estado, chegando a 1900 mm no norte do município de Caruaru, conforme pode ser visto na Figura 19, onde retrata-se as isolinhas de evapotranspiração potencial de Hargreaves. Jucazinho se encontra na localidade com taxa de evapotranspiração de cerca de 1700 mm.

Figura 19 – Isolinhas de evapotranspiração potencial na Bacia do Capibaribe



Fonte: SRH, 2010a, pág. 59

²⁸ APAC. Bacias Hidrográficas: *Bacia do rio Capibaribe*. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=14>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

3.3.4 Bacia do Rio Ipojuca

Conforme a APAC²⁹, a bacia do rio Ipojuca engloba 3,49% da área do Estado – o que corresponde a 3.435,34 km² –, e 25 municípios, entre eles: Arcoverde, Belo Jardim, Caruaru, Bezerros, Gravatá, Vitória de Santo Antão, Escada e Ipojuca.

Segundo a SRH (2010b), no Plano Hidroambiental da Bacia³⁰, o rio Ipojuca possui um percurso de cerca de 320 km e apresenta regime fluvial intermitente até Chã Grande, na Zona da Mata, quando se torna perene, mas já drena constantemente, em sua calha, efluentes domésticos e industriais desde Caruaru, no Agreste.

Apresenta-se um esquema da bacia do Ipojuca na Figura 20, onde pode ser identificado o trajeto do leito principal, sua rede de drenagem e os municípios nela inseridos.

Figura 20 – Bacia hidrográfica do rio Ipojuca



Fonte: Autor (2017)

Alguns reservatórios existentes estão relacionados na Tabela 9, com sua capacidade máxima, e, de acordo com a SRH (2010b), o maior deles, Pão de Açúcar, possui uma pequena área de drenagem a montante, são apenas 485 km², dependendo muito do período chuvoso para conseguir captar recursos, já que seus cursos afluentes são intermitentes.

²⁹ APAC. Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco: *Bacia do rio Ipojuca*. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=17>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

³⁰ SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Ipojuca. Disponível em: <<http://www.srh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/bacia_ipojuca/index.php/download>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

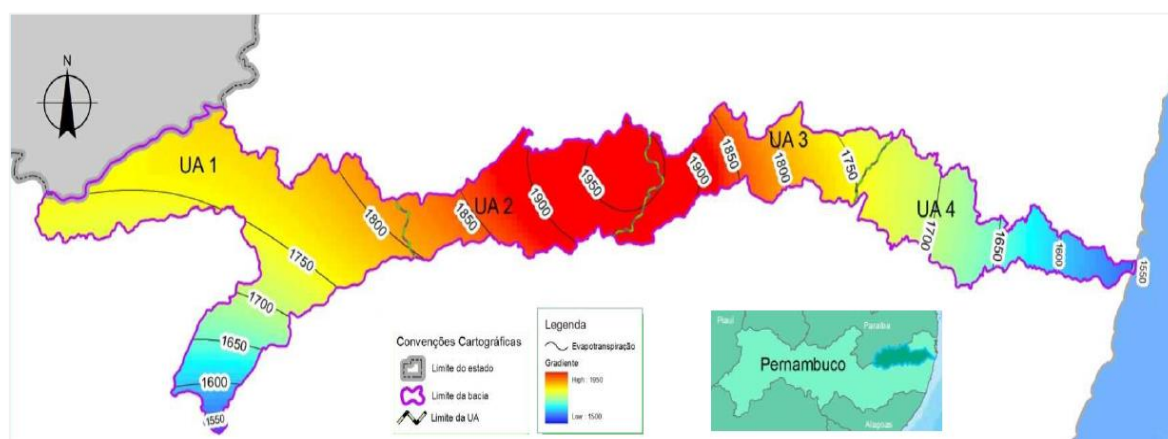
Tabela 9 – Alguns reservatórios e açudes na bacia do Ipojuca

Reservatório / Açude	Município	Capacidade Máxima (m³)
Belo Jardim (Pedro Moura Jr.)	Belo Jardim	30 740 000
Eng. Severino Guerra	Belo Jardim	17 776 000
Manuíno (Bezerras)	Bezerras	2 021 000
Pão De Açúcar	Pesqueira	34 230 000
Taquara	Caruaru	1 347 000

Fonte: APAC³¹ e APAC³²

Na Figura 21, pode-se visualizar as isolinhas de evapotranspiração potencial Hargreaves na Bacia do Ipojuca, conforme o Plano Hidroambiental da bacia. Segundo a SRH (2010b), os reservatórios de Bitury e Pedro Moura estão numa região com taxas de evapotranspiração acima de 1800 mm.

Figura 21 – Isolinhas de evapotranspiração potencial na Bacia do Ipojuca



Fonte: SRH, 2010b, pág. 55

3.3.5 Bacia do Rio Una

A APAC³³ informa que a bacia do rio Una abrange uma “área de 6.740,31 km², dos quais 6.262,78 km² estão em solo pernambucano, correspondendo a 6,37% do total do Estado”, englobando território de 42 municípios, entre os quais estão: Catende, Palmares, Panelas, São Benedito do Sul, Bonito, São Bento do Una, São José da Coroa Grande.

³¹ APAC. Reservatórios por porcentagem de acumulação. Disponível em: <<<http://www.apac.pe.gov.br/monitoramento/>>>. Acesso em:

³² APAC. Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco: *Bacia do rio Ipojuca*. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=17>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

³³ APAC. Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco: *Bacia do rio Una*. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=23>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

A nascente do rio Una localiza-se no município de Capoeiras e percorre cerca de 290 km até o Oceano Atlântico, apresentando-se intermitente até à cidade de Altinho, quando seu regime fluvial torna-se perene. Na Figura 22 retrata-se a bacia do rio Una, seus municípios e rede de drenagem.

Figura 22 – Bacia hidrográfica do rio Una



Fonte: Autor (2017)

Hoje o maior reservatório da bacia é Serro Azul, concebido como parte do projeto de controle de cheias do Rio Una, após as enchentes de 2010, que causaram grandes prejuízos à sociedade da Mata Sul do Estado. Foi a primeira – e por hora, a única – construída, no plano que continha cinco barragens prometidas pela gestão.

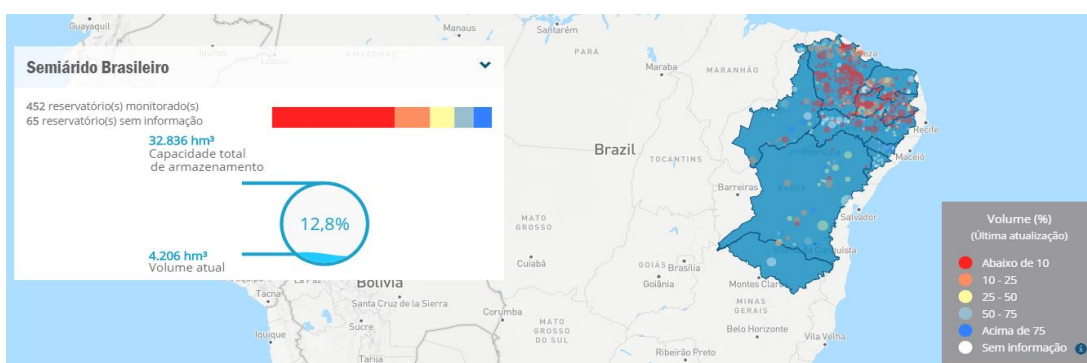
O segundo maior, o Prata, é manancial mais importante para muitos municípios do Agreste. Em 2016 provou sua importância quando, após o colapso de Jucazinho, foi utilizado para suprir as demandas da região de forma insuficiente mas evitando o colapso principalmente para a cidade de Caruaru, a maior da região.

Observe-se que essa operação de suprir o déficit de outros mananciais precisou de muita atenção da COMPESA, haja vista que o Prata acumula cerca de um oitavo de Jucazinho, em capacidade de armazenamento. A entrada em operação da adutora do Pirangi evitou o colapso do sistema do Prata.

3.4 RESERVATÓRIOS CRÍTICOS

O Portal Olho n'Água do Instituto Nacional do Semiárido (INSA) sintetiza os monitoramentos realizados pelos órgãos que realizam a gestão das águas no Nordeste e disponibiliza dados sobre a situação de reservatórios na região da Caatinga. Podem ser visualizada, conforme indicado na Figura 23, a situação de reserva hídrica no semiárido no mês de novembro de 2017, constatando-se a baixa oferta na região, correspondente a 12,8% da capacidade total.

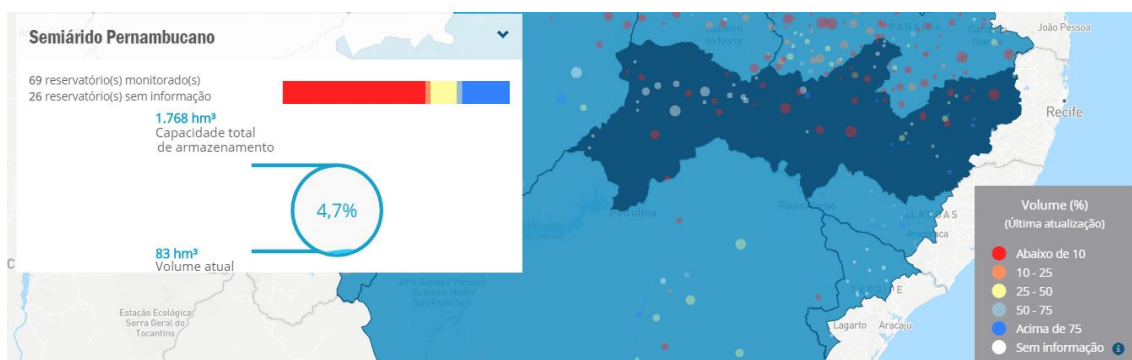
Figura 23 – Volume armazenado no semiárido nordestino, em novembro de 2017



Fonte: Portal Olho n'água, INSA³⁴

Na ocasião de consulta, a situação hídrica em Pernambuco era pior que no resto da região. De acordo com o INSA, como pode ser visualizado na Figura 24, o Estado contava com menos de 5% da capacidade total de armazenamento, com a maioria dos reservatórios indicando acumulação menor que 10%.

Figura 24 – Situação das reservas hídricas em Pernambuco, em novembro de 2017



Fonte: Portal Olho n'água, INSA³⁵

³⁴ INSA. PORTAL Olho n'água. Resumo. Disponível em: <<<https://olhonagua.insa.gov.br/>>>. Acesso em: 23 nov 2017.

³⁵ INSA. PORTAL Olho n'água. *loc. cit.*

Quatro dos cinco maiores reservatórios do estado estão localizados no Agreste e Sertão: Eng. Francisco Saboya, Entremontes, Jucazinho e Serrinha II, conforme pode ser visto na Tabela 10. Eles apresentam quadros recorrentes de baixos volumes acumulados. Se os grandes reservatórios precisam de atenção especial da gestão hídrica, alguns menores mas que apresentam usos intensos carecem ainda mais. Um exemplo é o Prata, localizado na região de transição Agreste-Mata, tem renovada sua acumulação praticamente todos os anos e por isso é importante para o suprimento da região. Contudo, sua vazão regularizada é insuficiente para atender as demandas quando os demais reservatórios entram em colapso.

Tabela 10 – Os maiores reservatórios do Estado

Reservatório	Cap. Máxima (hm ³)	Município	Bacia
Eng. Francisco Saboya	504.000	Ibimirim	Moxotó
Entremontes	339.334	Parnamirim	Brígida
Jucazinho	327.036	Surubim	Capibaribe
Serrinha II	311.080	Serra Talhada	Pajeú
Serro Azul	303.120	Palmares	Una
Carpina	270.000	Lagoa Do Carro	Capibaribe
Chapéu	188.000	Parnamirim	Brígida
Saco II	123.524	Santa Maria Da Boa Vista	Garças

Fonte: APAC³⁶.

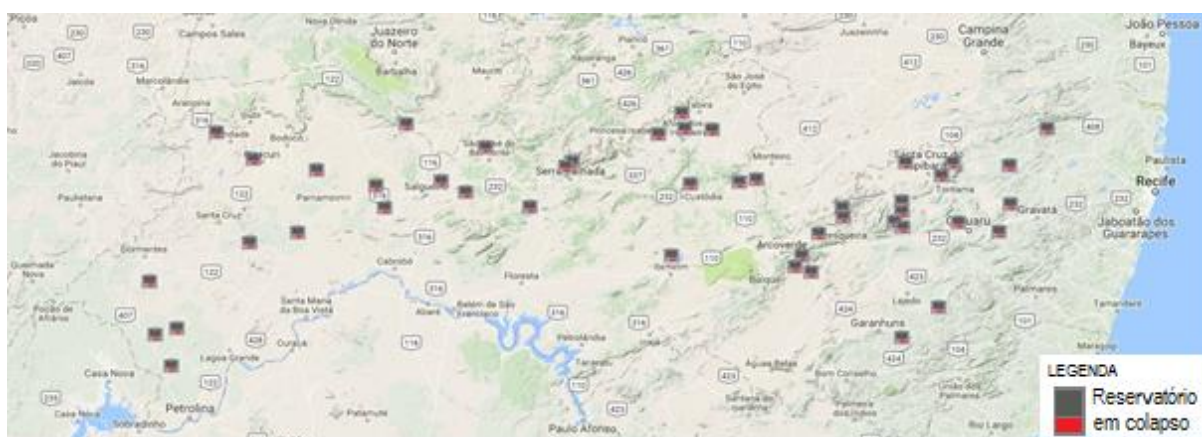
O Agreste Setentrional possui o pior cenário quanto a reserva de água (RAMOS 2017, pág. 49). Segundo Azevedo (2010), além da baixa pluviometria, do relevo desfavorável e da pequena dimensão das bacias hidrográficas, contribui também o fato de os solos no interior do Estado de Pernambuco não armazenarem água suficiente devido a sua granulometria, composição e, principalmente, sua pouca espessura – impactada pela geologia cristalina da região –, descarregando todo o baixo volume acumulado pouco tempo após a chuva cessar, por isso a maioria dos rios da região são intermitentes. Ademais, as taxas de evaporação no Agreste são altas, facilitando a perda para a atmosfera.

A estiagem que se estende desde 2011 trouxe consequências graves aos reservatórios do Estado. Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima, dos reservatórios monitorados aproximadamente 50 estavam, no final de maio de 2017, com volume disponível abaixo dos 10%, o que para a APAC é classificado como em colapso.

³⁶ APAC. Reservatórios por porcentagem de acumulação. Disponível em: <<
<http://www.apac.pe.gov.br/monitoramento/>>>. Acesso em:

Na Figura 25 está retratada a distribuição espacial das barragens e açudes que estavam em colapso em maio de 2017. Como pode ser visualizado, a maior densidade está no Agreste, devido à relação entre a demanda e a disponibilidade da região, como já comentado na seção 3.2.1 .

Figura 25 – Reservatórios em Colapso no Estado, em maio de 2017



Fonte: APAC³⁷, 28 de maio de 2017

No mesmo período, as barragens que se encontravam com reserva entre 10% e 90% estavam concentradas na região da Zona da Mata, região onde há maior pluviosidade, conforme pode-se visualizar na Figura 26. Um destaque é para a microrregião de Garanhuns, que, segundo Ramos (2017), possui fatores climáticos exclusivos e uma situação hídrica favorável, tanto que foi uma das cidades da zona semiárida que teve menos impacto no seu abastecimento nos últimos anos.

Figura 26 – Reservatórios com disponibilidade entre 10% e 90%, em maio de 2017



Fonte: APAC³⁸, 28 de maio de 2017

³⁷ APAC. Sighpe. Disponível em: << <http://www.apac.pe.gov.br/sighpe> >>. Acesso em: 28 mai. 2017.

³⁸ APAC. Sighpe. *loc. cit.*

Mesmo com as chuvas de junho de 2017 a situação da maior parte dos reservatórios pouco se alterou, como Jucazinho. Alguns reservatórios menores acumularam volumes que aliviaram o quadro crítico de abastecimento das cidades que atendem. Um exemplo foi o de Brejão, em Sairé, que voltou a prover Bezerros, findando uma solução paliativa de abastecimento emergencial, através de chafarizes públicos instalados pela COMPESA.

Ao longo da estação chuvosa do primeiro semestre de 2018 a situação foi amenizada com precipitações mais intensas, porém não uniformes espacialmente, que beneficiaram os reservatórios menores. A situação continua crítica para os maiores mananciais que continuam em colapso, como Jucazinho.

Mas, a conjuntura hídrica desta década incitou que houvesse o encontro de soluções que provesses melhor aproveitamento das estruturas e planejamento de obras para abastecimento, todas com grande sucesso. Exemplos são a transposição do Pirangi, na bacia do Una, à bacia do Ipojuca, por intermédio do Prata; e o projeto de envio desta água do Prata até as cidades de Salgadinho, Riacho das Almas, Cumaru e Passira, por inversão do sentido da vazão através da adutora que antes trazia água de Jucazinho, por força de bombas elevatórias instaladas na ETA do Salgado, da COMPESA, em Caruaru.

3.5 RESERVATÓRIOS E SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DO ESTUDO

A análise desenvolvida neste trabalho versa sobre os reservatórios Engenheiro Severino Guerra, conhecido por Bitury, Pedro Moura, Pão de Açúcar, Prata e principalmente Jucazinho, pois são os principais mananciais para a região Agreste. A localização destas barragens está apresentada na Figura 27.

Figura 27 – Localização das barragens de estudo, no Leste do Estado



Fonte: Autor (2017)

3.5.1 Jucazinho

O reservatório Antônio Gouveia Neto, conhecido como Jucazinho, localiza-se no rio Capibaribe, situado no município de Surubim, Agreste pernambucano. Considerado o terceiro maior do Estado em capacidade de armazenamento, é uma barragem de concreto que foi executada pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca, o DNOCS, e inaugurada em 13 de fevereiro de 1998, sendo capaz de acumular 327 035 818 m³ de água, conforme dados da APAC³⁹.

Por estar situada na região que possui o mais desfavorável balanço hídrico do país, o reservatório sucumbiu à estiagem que foi mais intensa no Nordeste, e principalmente na bacia do Capibaribe, desde 2011, quando em setembro do referido ano, houve o mais recente vertimento. Cinco anos depois, em 26 de setembro de 2016, ele secou completamente, pela primeira vez na sua vida útil, quando findou seu volume morto, que já estava sendo captado através de bombas hidráulicas flutuantes desde novembro de 2015, segundo a COMPESA⁴⁰.

De acordo com a COMPESA⁴¹, o reservatório, quando em condições normais, chega a atender catorze municípios. Porém, após uso do volume morto, a captação para abastecimento humano não podia mais ser realizada, afetando a rotina de 800 mil pessoas que recebiam água de Jucazinho. As cidades que dispunham de outros mananciais conseguiram enfrentar o novo cenário com menor criticidade que outras que possuíam apenas Jucazinho, as quais passaram a ser atendidas por caminhões-pipa.

As primeiras cidades a perderem o suprimento de Jucazinho foram as atendidas por outros reservatórios. Segundo a COMPESA, inicialmente Bezerros, Gravatá e Caruaru deixaram de serem atendidas em setembro de 2015. Já o destino das águas para Santa Cruz do Capibaribe foi interrompido em abril de 2016, e, em setembro daquele ano foi cessado o abastecimento das demais cidades que utilizavam Jucazinho, dado o colapso total. Na Figura 28 ilustra-se os municípios da região atendida pelo reservatório, que se estende às microrregiões do Alto e Médio Capibaribe e Vale do Ipojuca.

³⁹ APAC. Ficha técnica dos reservatórios com cota volume. Disponível em: <<http://apacv5/fichareservatorio_web/fichareservatorio_web.php>>. Acesso: 13 nov. 2017.

⁴⁰ COMPESA. Seca prolongada provoca colapso na barragem de Jucazinho. Informativo, 27 set. 2016. Disponível em: <<<http://servicos.compesa.com.br/seca-prolongada-provoca-colapso-na-barragem-de-jucazinho/>>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

⁴¹ COMPESA. Quatro municípios do Agreste voltam a receber água pela rede de distribuição. Informativo, 10 nov. 2016. Disponível em: <<<http://servicos.compesa.com.br/quatro-municipios-do-agreste-voltam-a-receber-agua-pela-rede-de-distribuicao-ate-dezembro/>>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

Figura 28 – Municípios abastecidos parcial ou totalmente pelo reservatório de Jucazinho



Fonte: Autor

No fim de maio de 2017, iniciou-se um período chuvoso no Agreste pernambucano, porém foi mais representativo no sul da região. Como Jucazinho está na zona Setentrional, as precipitações no local não foram capazes de reverter a situação da barragem, que continuou seca. Já outros reservatórios conseguiram acumular volumes suficientes até para verter. Conforme os últimos dados divulgados pela APAC em abril de 2018, Jucazinho se encontra com 6% de sua capacidade máxima.

Segundo a SRH (1998), a área de drenagem de Jucazinho é de cerca de 4200 km², o que favorece a captação de volumes advindos de uma vasta região. Em via contrária, contribui para o colapso o fato de Jucazinho ter uma taxa de evaporação média de 594,30 L/s, conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco⁴². Além da disponibilidade hídrica não ser favorável, problemas de grandes volumes de água perdidos nas redes de abastecimento ainda persistem no Agreste, apesar de a COMPESA vir melhorando seus indicadores.

Na Tabela 11 estão relacionados a média de perda de água por ligação nos municípios atendidos por Jucazinho, para os anos 2013 e 2015, os dados mais recentes disponíveis na série histórica do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) do Ministério das Cidades, e a variação nesse período. Segundo o SNIS⁴³, justamente as cidades que dependiam unicamente da barragem foram as que mais perderam água nas ligações. Salgadinho, por exemplo, apresentava índices de 2.007,07 L/dia/ligação, em 2010, o que era muito alto.

⁴² SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco: Volume 2. Recife, 1998. pág. 39. Disponível em: <<<http://www.srhe.pe.gov.br/attachments/article/458/volume2.pdf>>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

⁴³ MINISTÉRIO das Cidades, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento <<<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>>. Acesso em: 30 nov 2017.

Tabela 11 – Perda de água nas ligações em cidades atendidas por Jucazinho

CIDADE	2013 (litros/dia/ligação)	2015 (litros/dia/ligação)	Variação (%)
Salgadinho	1901,99	866	-54,47
Vertentes	1072,58	142,81	-86,69
Cumaru	824,00	416,77	-49,42
Caruaru	385,94	240,3	-37,74
Surubim	358,42	91,25	-74,54
Gravatá	338,83	237,74	-29,84
Riacho das Almas	322,94	57,88	-82,08
Passira	304,14	66,21	-78,23
Santa Maria do Cambucá	283,78	53,48	-81,15
Toritama	271,13	35,54	-86,89
Bezerros	262,17	281,47	7,36
Frei Miguelinho	184,43	88,14 ⁴⁴	-52,21
Santa Cruz do Capibaribe	92,94	55,92	-39,83
Vertente do Lério	63,25	13,36	-78,88

Fonte: SNIS⁴⁵

No geral, esses valores vêm diminuindo a cada ano, de acordo com a Série histórica devido a investimentos da Companhia de abastecimento do Estado, sobretudo quando houve investimentos maiores dado o estado de emergência que algumas cidades declararam em 2015. Bezerros foi a única cidade da região que apresentou aumento da quota perdida na distribuição em virtude do aumento da quantidade de ligações no período.

3.5.2 Bitury

A barragem Engenheiro Severino Guerra, conhecida como barragem do Bitury, está localizada em Belo Jardim, na bacia do Ipojuca, com uma área de drenagem de 68 km², tendo sido inaugurada em 1961. Com paramento de terra e pertencendo ao DNOCS, pode acumular 17 776 470 m³ de água, segundo dados da APAC⁴⁶, sendo, portanto, o 31º maior do estado em capacidade de armazenamento.

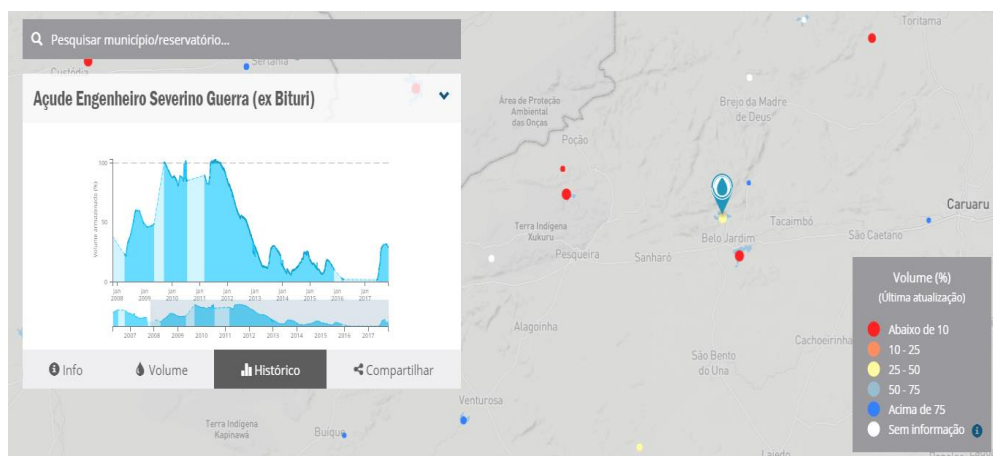
⁴⁴ Dados de 2014.

⁴⁵ MINISTÉRIO das Cidades, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento <<<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>>. Acesso em: 30 nov 2017.

⁴⁶ APAC. Ficha técnica dos reservatórios com cota volume. Disponível em: <<[>>](http://apacv5/fichareservatorio_web/fichareservatorio_web.php). Acesso: 13 nov. 2017.

O histórico de acumulação entre 2008 e 2017, obtido pelo Portal Olho n'Água, pode ser visualizado na Figura 29. Pode-se observar que no fim de 2017, houve um pequeno aumento na acumulação. Em julho de 2018 o manancial acumula 16%, segundo a APAC.

Figura 29 – Histórico do reservatório de Bitury

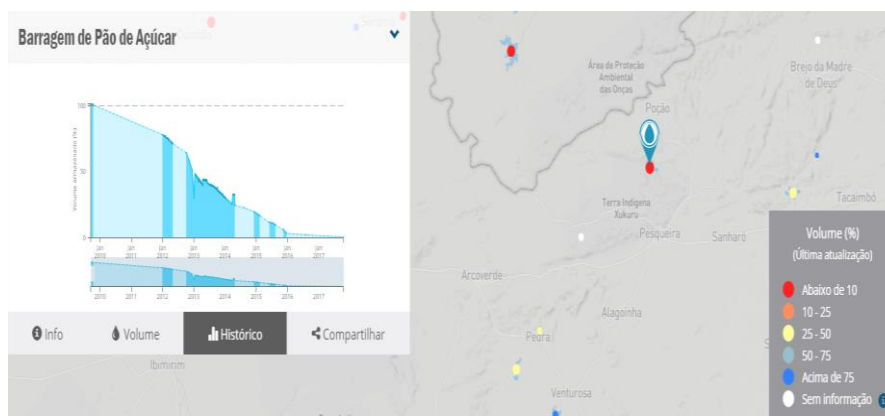


Fonte: Portal Olho n'Água

3.5.3 Pão de açúcar

O reservatório de Pão de Açúcar, pertence à COMPESA, está situado no município de Pesqueira, drenando uma área de 485 km² do Agreste pernambucano, pertencendo a bacia hidrográfica do rio Ipojuca. De acordo com a APAC, é o décimo sétimo maior reservatório do estado em capacidade de armazenamento, apresentando barramento de pedra, responsável pelo acúmulo de até 34 230 600 m³ de água. Na Figura 30 está apresentado o volume acumulado em Pão de Açúcar, entre 2010 e 2017. A última divulgação feita em abril de 2018 pela APAC, o reservatório estava em colapso total.

Figura 30 – Histórico da barragem de Pão de Açúcar



Fonte: Portal Olho n'Água

3.5.4 Pedro Moura Júnior

A barragem Pedro Moura Júnior, apresentada na fotografia da Figura 31, pertence à COMPESA, sendo também chamada de Belo Jardim e está localizada no município homônimo, no leito do rio Ipojuca, também no Agreste pernambucano.

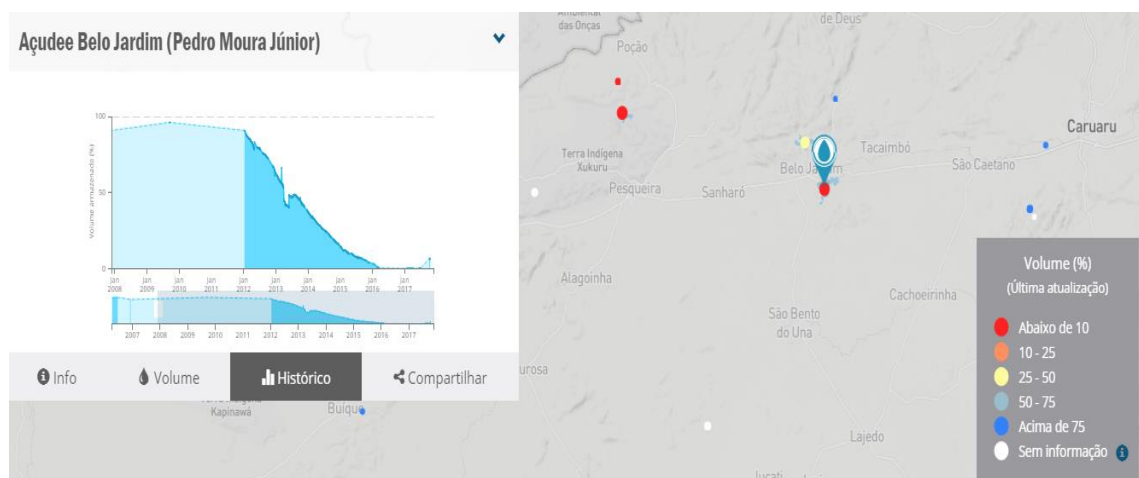
Figura 31 – Barragem de Belo Jardim, Pedro Moura Jr.



Fonte: Autor, 06 de maio de 2018

De acordo com a APAC, é o 19ª maior do Estado em capacidade de armazenamento, podendo reservar 30 740 000 m³ de água, apresentando barramento misto, com uma área de drenagem de 1250 km². Seu histórico de acumulação pode ser visualizado na Figura 32. No fim de abril de 2018, o manancial se encontrava com 6% da capacidade.

Figura 32 – Acumulação em Pedro Moura Jr., entre 2008 e 2017.



Fonte: Portal Olho n' Água

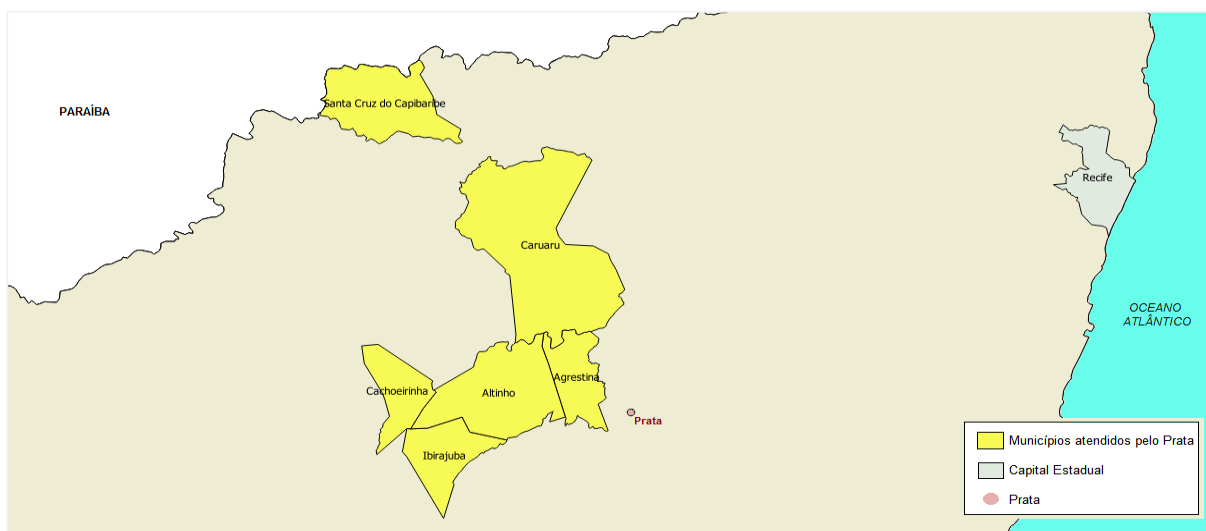
3.5.5 Prata

O reservatório do Prata localiza-se no município de Bonito, na bacia do rio Una, na microrregião do Brejo pernambucano. Segundo a Ficha técnica dos reservatórios, da APAC⁴⁷, é o décimo quarto maior do Estado em capacidade de armazenamento, capaz de acumular 42.147.000 m³ de água, constituindo-se de um barramento de concreto, executado pela COMPESA, e uma área de drenagem de 151 km².

Mesmo com uma pequena área de sua bacia de montante, o reservatório possui uma situação de acúmulo mais favorável que Pão de Açúcar, por motivo de estar em uma localidade com maiores índices pluviométricos que o Alto Ipojuca: o Brejo pernambucano. Tanto que das barragens de estudo, Prata é a única que esteve com volume acima de 30% da capacidade neste ano corrente de 2018, inclusive se encontra vertendo neste mês de julho.

Na Figura 33 ilustra-se os municípios atendidos pelo Prata, demonstrando que enviam-se suas águas tanto para o Brejo Pernambucano, como para o Vale do Ipojuca e o Alto Capibaribe. Mesmo estando localizado no município de Bonito, este não logra dos acúmulos nesse reservatório, mas possui outros mananciais.

Figura 33 – Municípios abastecidos parcialmente pelo reservatório do Prata



Fonte: Autor (2017).

⁴⁷ APAC. Ficha técnica dos reservatórios com cota volume. Disponível em: <<http://apacv5/fichareservatorio_web/fichareservatorio_web.php>>. Acesso: 13 nov. 2017.

4 FERRAMENTAS DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentadas as abordagens para análise da capacidade dos reservatórios e o regime de operação praticado versus desejável. No primeiro caso, discorre-se sobre metodologias de geoprocessamento para avaliar as curvas cota-área-volume. No segundo caso, analisar o regime de operação praticado pela COMPESA e o que ocorreria com a aplicação do Monitor de Secas.

4.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS

Dados sobre a capacidade máxima das barragens e açudes de Pernambuco são disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Climas, a APAC, no seu endereço virtual, através da aba de Monitoramento Hidrológico, seguida pela guia de Ficha Técnica dos Reservatórios. Já são dados consolidados e algumas vezes antigos, obtidos à época de projeto de obra.

Valendo-se de novos procedimentos de geoprocessamento e bases de dados espaciais, a construção de curvas mais atualizadas podem contribuir para a melhor operação dos mananciais.

De acordo com Cirilo *et al.* (2014), um elemento importante para a gestão territorial no estado de Pernambuco é o programa Pernambuco Tridimensional, que, fornecendo uma base de dados de alta resolução espacial de sua superfície, permite o aprimoramento de estudos e projetos. Por isso seus produtos são utilizados neste trabalho, como os modelos digitais de terreno e de elevação.

Pioneiro na América Latina, o PE3D, como também é conhecido, favoreceu o conhecimento do relevo de Pernambuco e com esses dados é possível construir as curvas cota-área-volume para novos reservatórios ou avaliar a geometria daqueles que à época do levantamento apresentavam baixo nível de acumulação (o sinal de laser utilizado não dá bom resultado para superfícies imersas).

4.1.1 *Softwares* de geoprocessamento utilizados

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram utilizados os programas computacionais QuantumGis (QGis) e o ArcGis.

O ArcGis, segundo Machado e Silva (2010), constitui-se como um conjunto de softwares de SIG de uso restrito, que proporciona ferramentas para “realização de análise espacial, armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento”. Para tanto, valeu-se da versão de teste gratuito, ativada com licença por vinte e um dias, que pode ser obtida no sítio de sua desenvolvedora na rede mundial de computadores⁴⁸.

Já o QGis é um *software* de geoprocessamento de código livre, que provê a visualização, edição e análise de dados georreferenciados e “suporta inúmeros formatos de vetores, rasters e bases de dados e funcionalidades”⁴⁹. Foi utilizado o QGis na sua versão 2.18.0, cujo codinome é *Las Palmas de Grand Canaria*, e obteve-se vantagens como a inserção de *plug-ins* – entre os utilizados nesse trabalho está o acesso às imagens de satélite da região de cada reservatório estudado disponibilizados pelo *Google Maps*.

Os dados foram obtidos de quadrículas, as quais se espalham por todo o território estadual, formando uma malha de valores para processamento de dados. Criadas através do PE3D, essas quadrículas estão referenciadas no Sistema de Coordenadas Projetadas UTM SIRGAS 2000, nos fusos 24S e 25S. Os arquivos Raster disponibilizados no PE3D são do tipo MDE, modelo digital de elevação, o modelo digital do terreno, MDT e ortofotos da superfície. Conforme já ressaltado na Seção 2.5, em algumas localidades a escala utilizada no levantamento foi de 1:1000 com resolução espacial de 0,5m para 41 cidades do estado, porém, na região dos reservatórios e na zona rural como um todo as imagens equivalem à escala de 1:5000, com resolução de 1 m e erro altimétrico aceitável da ordem de 25cm.

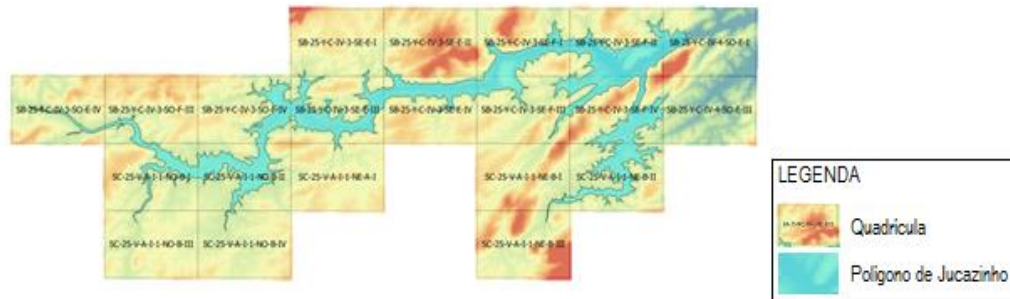
Como já foi comentado, problemas podem ocorrer quando se utiliza dados de fusos diferentes. Logo, deve-se ter atenção, pois em Pernambuco há um meridiano que marca a mudança de fusos, o qual passa no município de Caruaru, estando o fuso 24S localizado a oeste deste meridiano e o fuso 25S, a leste. Dos reservatórios de estudo, Jucazinho e o Prata estão no fuso 25S e Pão de Açúcar, Engenheiro Severino Guerra (Bitury) e Pedro Moura Jr. estão no fuso 24S.

Na Figura 34 ilustra-se o polígono da cota 300 m e a representação das quadrículas na região do reservatório de Jucazinho, delimitando a área utilizada para a composição do relevo até à cota de coroamento da barragem.

⁴⁸ ESRI. Teste o ArcGis: *Free Trial*. Disponível em: <<<https://www.arcgis.com/features/index.html>>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

⁴⁹ QGIS Brasil. Descubra o QGis: *A liderança do SIG de código aberto*. Disponível em: <<https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

Figura 34 – Quadrículas na região do reservatório de Jucazinho



Fonte: Autor

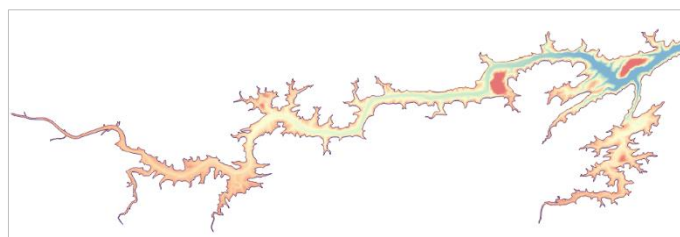
4.1.2 Geoprocessos e metodologias

Cirilo (2017) fornece bases para realizar tarefas nos *softwares* de geoprocessamento. No QGis, houve a seleção das quadrículas de interesse, e então os arquivos MDT foram adicionados – através da sequência de comandos: Raster, Miscelânea, Construir raster virtual (mosaico) – para comporem o mosaico do qual foi extraído o contorno da barragem – valendo-se dos comandos sucessivos: Raster, Extrair, Contorno. Esse contorno é a linha contínua que representa a curva de nível de maior cota que conecta ambas as ombreiras do reservatório.

Com esse contorno, pôde-se criar polígonos – guardando a elevação da cota em sua tabela de atributos – com os quais conseguiu-se determinar as áreas de inundação em cada cota; e recortar o arquivo Raster inicial, selecionando apenas os dados de interesse, neste caso, a parte interna dos reservatórios, para então poder analisar, sem interferências de valores externos à barragem, o volume e as áreas das mesmas.

A Figura 35 é o esboço do recorte do mosaico do reservatório de Jucazinho. Nesse recorte, em arquivo de extensão “.tiff” estão informações sobre a elevação no terreno, consequentemente, as curvas de nível do terreno e o volume interno ao talvegue limitado superiormente pela cota máxima.

Figura 35 – Recorte do mosaico do reservatório de Jucazinho na cota 300 m

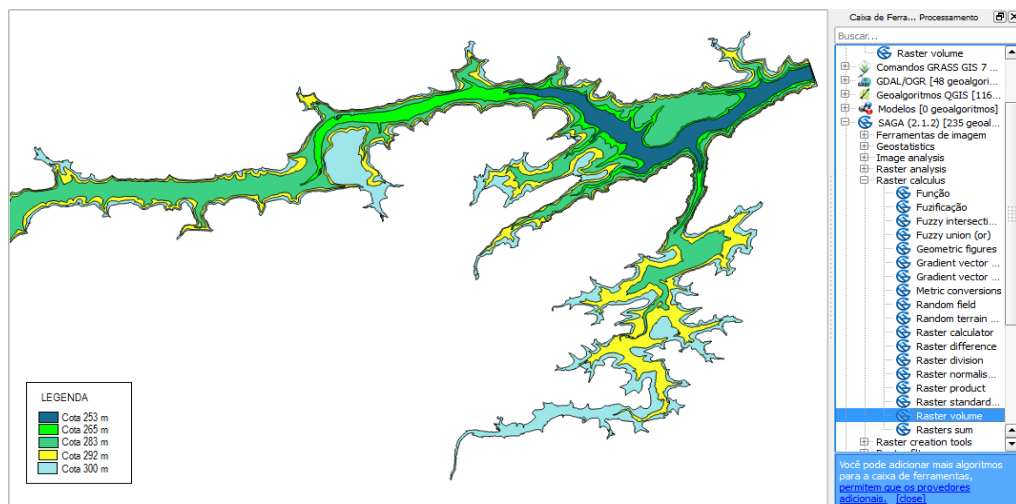


Fonte: Autor (2017)

Na tabela de atributos da camada, adicionou-se um novo campo “Area”. Com a “Calculadora de campo”, a opção “\$area” da tabela de atributos foi utilizada para retornar o valor da área do polígono para ser inserido na célula da coluna recentemente criada na tabela de atributos, em m².

No QGis, para calcular o volume, utilizou-se da guia Processar, depois o item Caixa de ferramentas, seguiu-se nas abas SAGA, Raster *calculus* e Raster volume, conforme exibido na Figura 36. Pôde-se, então, construir as curvas características do reservatório que estão apresentadas na Seção 5.1 .

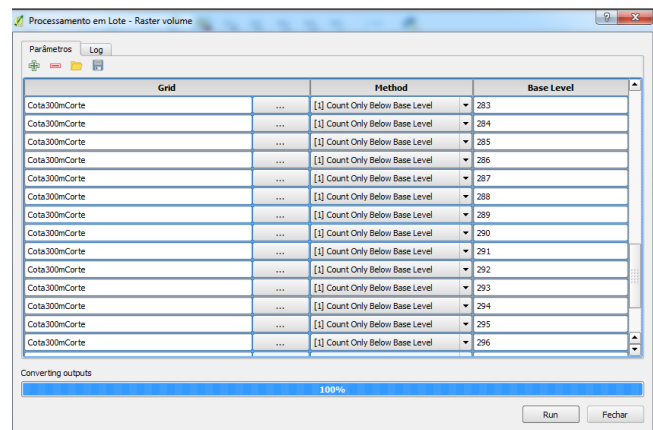
Figura 36 – Cálculo do volume da barragem através da Caixa de ferramentas



Fonte: Autor (2017)

Utilizando o processo em lote, inseriu-se o arquivo raster para o qual se pretendia encontrar o volume, o sentido de análise, nesse caso, o volume abaixo da cota de interesse e a respectiva cota, conforme está representado na Figura 37.

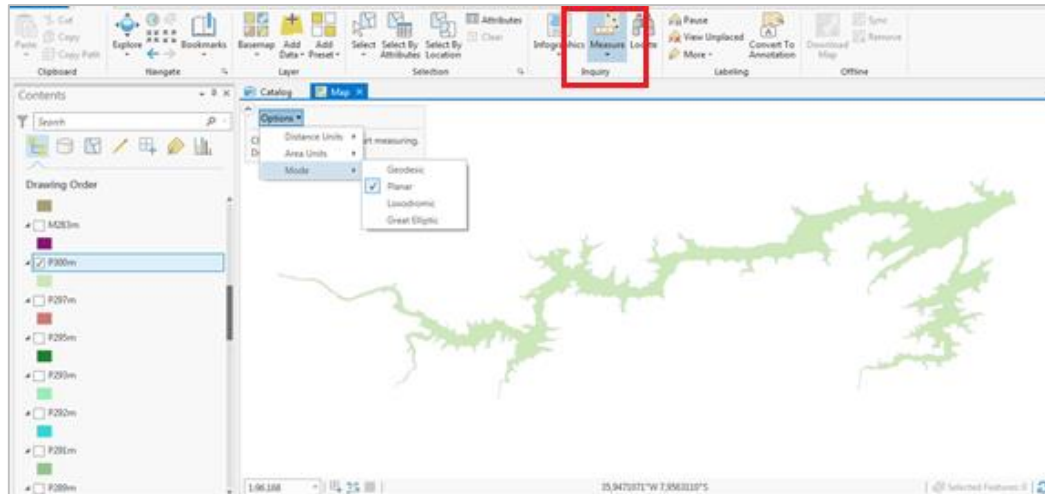
Figura 37 – Processo em lote para cálculo do volume de Jucazinho, no QGis



Fonte: Autor (2017)

No ArcGis, o processo para encontrar a área é relativamente mais simples, pois com a ferramenta “Measure” ativada, clicou-se no polígono que se desejava medir a área. Esta mensuração se processa de alguns modos, como pode ser visto na Figura 39.

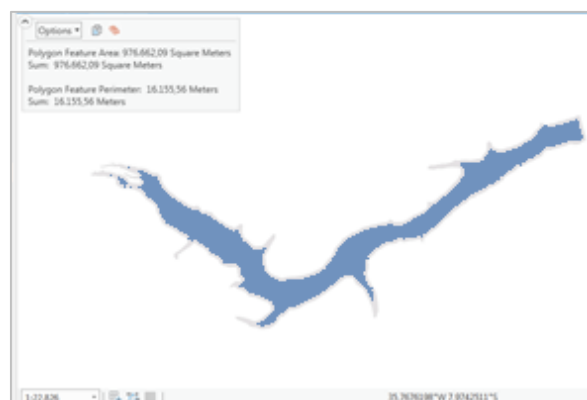
Figura 38 – Modos de análise no ArcGis



Fonte: Autor (2018)

No presente trabalho utilizou-se apenas dos modos Planar e Geodesic, os quais retornam a área da maneira apresentada na Figura 39. Segundo a ESRI⁵⁰, o modo Planar realiza a medição das linhas projetadas em um sistema cartesiano 2D, que algumas vezes ficam distorcidas, podendo apresentar valores maiores que o real. Já no modo Geodesic, faz-se a mensuração considerando a curvatura da Terra, encontrando a menor distância entre dois pontos de interesse.

Figura 39 – Mensuração da área do polígono da cota 251m de Jucazinho, no ArcGis



Fonte: Autor (2018)

⁵⁰ ESRI. ArcMap: Medindo distâncias e área. Disponível em: <<<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/map/working-with-layers/measuring-distances-and-areas.htm>>>. Acesso em: 26 jul. 2018.

O uso de dois programas computacionais se deve ao fato de que o QGis é um software livre de código aberto que utiliza-se de *plug-ins* que são tomados para realizar atividades específicas. Já o ArcGis é um software de uso restrito, mais consolidado e desenvolvido para interação com várias sub-rotinas que atuam de forma interligada ao processamento central. Assim, o segundo, teoricamente, teria menos conflitos entre seus processos e menos erros de abordagens internas, o que pode refletir em um produto com maior acurácia. Portanto, a fim de observar variações entre ambos os programas, faz-se as seguintes análises.

4.1.3 Objetos de análise

Quanto aos objetos a serem analisados, foram realizadas as seguintes levantamentos com o apoio do software QGis e dos procedimentos descritos na Seção anterior:

- Cálculo das áreas dos polígonos para obter a curva cota-área, no sistema geodésico SIRGAS 2000 – 25 S para Jucazinho e no sistema SIRGAS 2000 – 24 S para Pão de Açúcar;
- Cálculo do volume do reservatório para determinação da curva cota-volume, no sistema SIRGAS 2000 – 25 S para Jucazinho e no 24 S para Pão de Açúcar;

De posse dos polígonos extraídos no QGis, foi realizada a importação destes para o software ArcGis, no qual foram feitos os seguintes levantamentos:

- Cálculo das áreas, apenas dos polígonos de Jucazinho, no sistema geodésico SIRGAS 2000, no modo “Geodesic”;
- Cálculo das áreas, apenas dos polígonos de Jucazinho, no sistema geodésico SIRGAS 2000, no modo “Planar”.

Os resultados e curvas plotadas para os dois reservatórios estão expostos na Seção 5.1 onde são feitas as comparações entre os dois *softwares*.

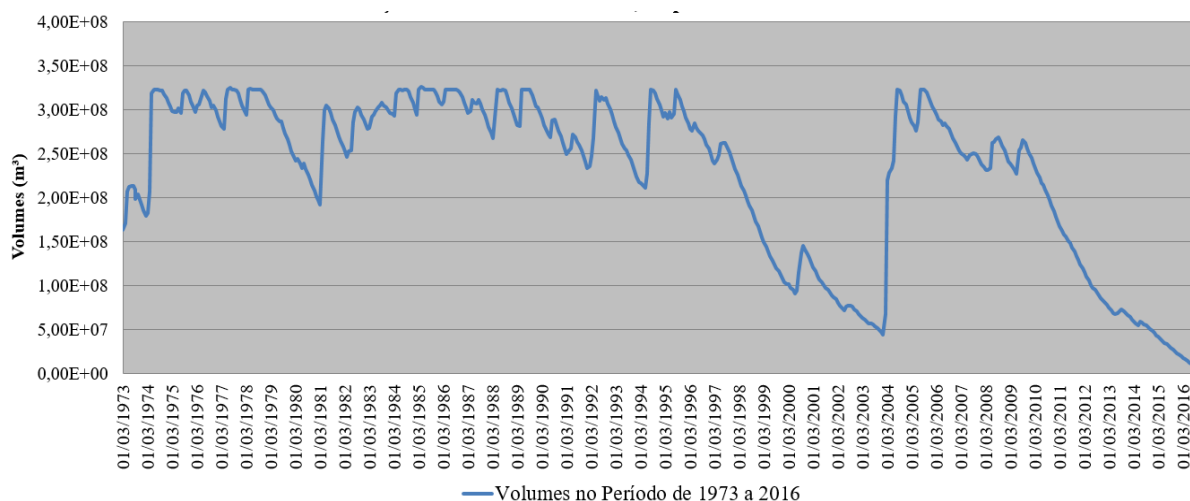
4.2 MONITOR DAS SECAS APLICADO AOS RESERVATÓRIOS

Um método de gestão hídrica para os reservatórios do Agreste pernambucano foi apresentado e discutido por Ramos (2017), o qual consiste na análise de cenários de oferta para as demandas das cidades da região, observados os volumes nas barragens e açudes, a fim de minimizar os estados de secas, realizando simulações de balanço hídrico nos reservatórios.

Ramos (2017) ressalta a escassez de dados para esse intento, como vazões afluentes, precipitações, deflúvios e evaporação em períodos regulares, como, por exemplo, a cada mês. Todavia, registros importantes para realização do estudo foram conseguidos com Gerências da Companhia Pernambucana de Saneamento, a COMPESA.

Cirilo (2017) desenvolveu análise admitindo hipoteticamente que Jucazinho operasse desde 1973. Utilizando as regras de operação do Monitor de Secas, mostrou que haveria ganho superior a 50% da vazão que poderia ser captada do manancial quando comparada com uma retirada constante. A simulação dos volumes no manancial nas condições de operação mediante as regras do Monitor são apresentadas na Figura 40. Observe-se o impacto dos períodos críticos que culminaram no colapso inevitável do manancial em 2016.

Figura 40 – Simulação realizada para Jucazinho no período de 1973 a 2016



Fonte: Cirilo (2017)

Ramos (2017) analisou a operação de Jucazinho de forma inversa: conhecendo as retiradas mensais e a variação do volume, avaliou os volumes afluentes mensais, já descontadas as perdas por evaporação e outras retiradas. A partir desses volumes afluentes, simulou a operação do reservatório nas condições do Monitor das Secas. Em seguida, comparou as duas situações, real e simulada, como discutido adiante. A partir dessa análise, quantificou as necessidades de importação de água de outras bacias para atendimento pleno das demandas até o ano 2037.

O Monitor de Secas considera gatilhos para redução das vazões sempre que estágios de risco de seca são alcançados em um determinado mês. Nessas situações são aplicados redutores de vazão conforme a situação de criticidade. Os gatilhos são definidos para cada reservatório.

Valendo-se, então, de séries históricas de armazenamento no reservatório, fornecidas pelas Agências de Águas Estadual e Nacional, e pela demanda das cidades que são atendidas pelos respectivos mananciais, supridos pela Compesa, Ramos (2017) simulou o impacto de quantidades retiradas dessa barragem nos níveis do Monitor das secas, ensaiando assim, a capacidade desses reservatórios em atender as carências hídricas da região.

Para tal método, foram utilizados limites de estado de armazenagem dos reservatórios para que haja modificação na operação, cuja resposta é a redução da captação. Os limites, também chamados de gatilhos, e as respostas estão relacionados na Tabela 12. Assim, quando o reservatório atingir 30% da capacidade de armazenamento total, haverá redução de 60% no volume disponibilizado, e nesse nível será classificado como de seca extrema.

Tabela 12 – Cenários de Seca, com gatilhos e metas de resposta

Estado	Gatilhos das secas	Metas de resposta
Normal	-	-
Alerta	80%	Redução de 10% do consumo
Seca	60%	Redução de 20% do consumo
Seca Severa	45%	Redução de 30% do consumo
Seca Extrema	30%	Redução de 60% do consumo

Fonte: Assis, (2014, apud Ramos, 2017).

Segundo Ramos (2017), inicialmente, para determinar a Meta 1, foi estabelecido um parâmetro h_1 que corresponde a 80% do volume total, e constrói-se uma curva operacional, na qual será considerada a vazão afluyente nula, e retiradas de 30% da média histórica de vazões afluentes, expandindo-se o cálculo até o décimo segundo mês. Faz-se uma segunda curva na qual será realizado o cálculo regredindo no tempo, ou seja, expandindo o cálculo do 12º mês até o primeiro, sendo considerado o volume no décimo segundo mês igual ao valor h_1 , e as mesmas retiradas operacionais de 30%. Depois, calcula-se uma terceira curva, tomando-se o volume afluyente equivalente a um quantil da série histórica de vazões.

Para a determinação do volume a ser simulado no período é escolhido o maior entre os volumes da curva 1 e 3, e depois esse resultado é comparado com os valores da curva 2, sendo que agora escolhe-se o menor. Está, pois, definido o valor da Meta 1. Ramos (2017) comenta que os outros parâmetros calculados para as Metas 2, 3 e 4, são: h_2 equivalente a 50% do volume máximo, h_3 igual a 40% do volume máximo, h_4 igual a 35% do volume máximo, respectivamente.

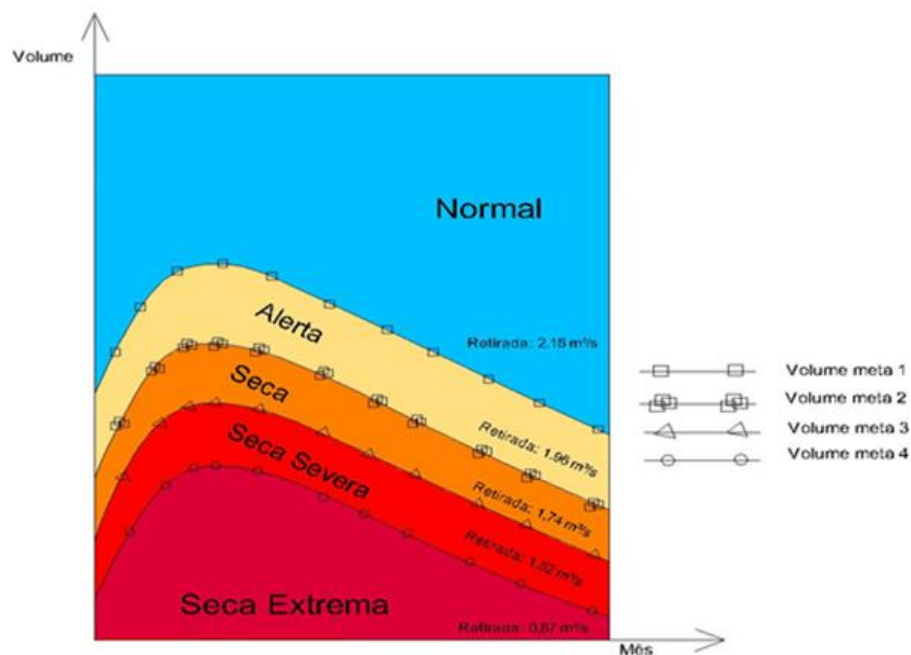
Dado os níveis meta, inicia-se a simulação do armazenamento no reservatório, classificando os estados de seca se o volume simulado no mês for divergente do volume-meta. Os volumes-meta para Jucazinho utilizando o método descrito são apresentados na Figura 50 a seguir.

Como resultado, pode-se determinar a grandeza das vazões que podem ser captadas nos mananciais. Busca-se, então, o valor máximo das retiradas operacionais que não irão comprometer totalmente o reservatório. Estas, por vezes são maiores que as praticadas pela concessionária de abastecimento. Desse modo, as curvas de operação simulada revelam volumes acumulados mais baixos que os volumes históricos do reservatório.

Com os valores passíveis de serem retirados, mês a mês, respeitada a simulação realizada e comparando-se com a demanda das cidades, é possível, também, calcular o déficit de abastecimento para tais municípios, ao longo dos meses, ou seja, a subtração entre o que o ramal necessitaria destinar ao consumidor e o que pode ser ofertado.

Logo, pode-se determinar o déficit médio dos meses simulados e o déficit máximo da simulação. Esses valores servirão para determinar a urgência de melhor gestão das estruturas e reservatórios, para atenuar o problema de escassez futura em cada localidade atendida.

Figura 41 – Volumes-meta e estados de criticidade definidos para Jucazinho.



Fonte: Cirilo (2017)

Alguns valores simulados de vazão captada e de estado de seca dos reservatórios serão discutidos na Seção 5.2 .

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS

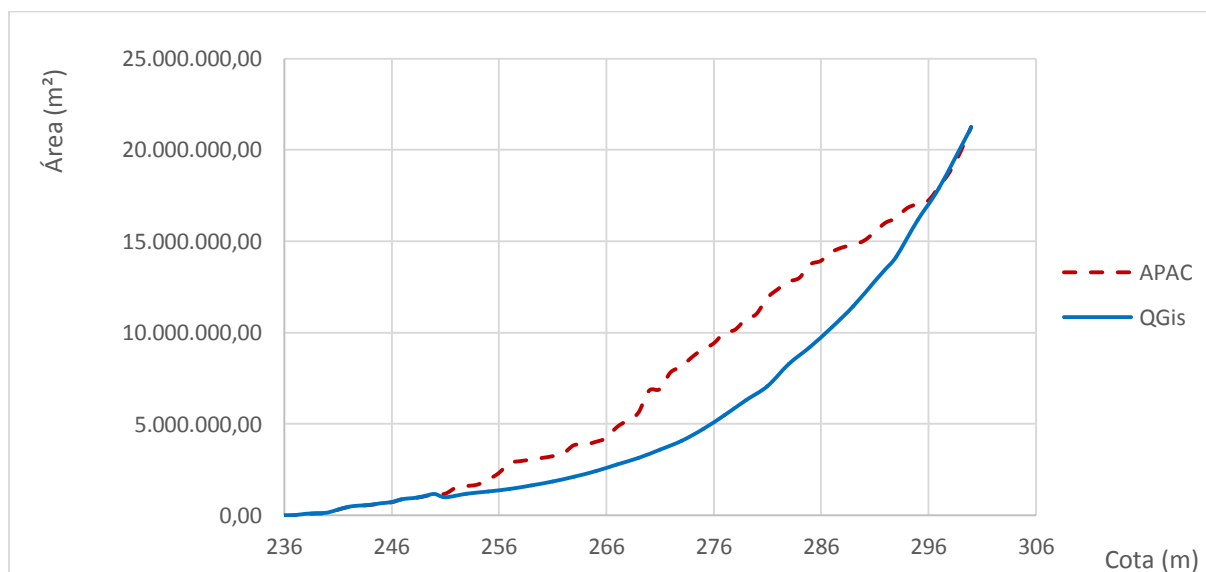
Nesta seção são apresentados resultados obtidos com a aplicação dos *softwares* QGis e ArcGis, de forma já embasada na Seção 4.1. Uma comparação entre os programas pode ser encontrada no Apêndice B – Divergências entre o QGis e o ArcGis. Devido aos reservatórios estarem com uma quota remanescente de água à época do sensoramento realizado pelo programa Pernambuco Tridimensional, não foi possível identificar os dados das curvas abaixo de determinadas cotas que serão especificadas para cada reservatório. Por isso, os valores nas colunas, para área e volume abaixo dessas cotas foram igualados aos da curva da APAC, os quais estão marcados nas tabelas com asterisco ao lado.

5.1.1 Curvas de Jucazinho

Abaixo da cota 251 m não foram obtidos dados digitais devido à presença da água na barragem. Então, a modelagem seguiu da cota 251 m à cota de coroamento, 300 m.

Na obtenção da curva cota-área a partir do QGis, foi utilizado o sistema geodésico Sirgas 2000, no fuso 25 S, ou seja, um novo projeto criado nesse sistema, a fim de não transferir informações de um sistema para outro. As curvas da comparação estão apresentadas na Figura 42, com os respectivos dados na Tabela 13.

Figura 42 – Comparação das curvas cota-área da APAC e a resultante do QGis para Jucazinho



Fonte: APAC e Autor (2017)

Tabela 13 – Valores da comparação das curvas cota-área da APAC e QGis, no sistema SIRGAS 2000 25S, para o reservatório de Jucazinho

Cota (m)	APAC - Área (m²)	QGIS ⁵¹ - Área (m²)	Diferença (%)
236	0,00	0,00*	0,00%
237	12.800,00	12.800,00*	0,00%
239	113.950,00	113.950,00*	0,00%
241	315.250,00	315.250,00*	0,00%
243	532.500,00	532.500,00*	0,00%
245	660.250,00	660.250,00*	0,00%
247	888.750,00	888.750,00*	0,00%
249	1.042.300,00	1.042.300,00*	0,00%
250	1.168.250,00	1.168.250,00*	0,00%
251	1.192.250,00	989.419,30	-17,01%
253	1.613.250,00	1.182.058,83	-26,73%
255	1.961.507,00	1.303.638,58	-33,54%
257	2.868.431,00	1.443.875,88	-49,66%
259	3.057.681,00	1.634.010,75	-46,56%
261	3.242.931,00	1.850.810,11	-42,93%
263	3.845.931,00	2.113.131,81	-45,06%
265	4.023.431,00	2.415.484,82	-39,96%
267	4.832.632,00	2.781.738,67	-42,44%
269	5.613.470,00	3.143.088,98	-44,01%
271	6.912.436,00	3.593.977,27	-48,01%
273	8.138.829,00	4.072.752,78	-49,96%
275	9.093.806,00	4.715.880,38	-48,14%
277	9.977.686,00	5.477.747,87	-45,10%
279	10.716.793,00	6.296.962,74	-41,24%
281	11.890.225,00	7.065.868,32	-40,57%
283	12.787.125,00	8.283.990,52	-35,22%
285	13.721.125,00	9.226.237,44	-32,76%
287	14.400.249,00	10.286.178,03	-28,57%
289	14.808.437,00	11.442.615,88	-22,73%
291	15.476.686,00	12.806.572,55	-17,25%
292	15.996.499,00	13.471.997,52	-15,78%
293	16.252.206,00	14.148.255,20	-12,95%
295	17.037.436,00	16.153.973,96	-5,19%
297	17.964.996,00	17.927.391,21	-0,21%
300	21.239.187,00	21.242.171,34	0,01%
VARIAÇÃO MAIS EXTREMA			-49,96%

Fonte: Autor (2017)

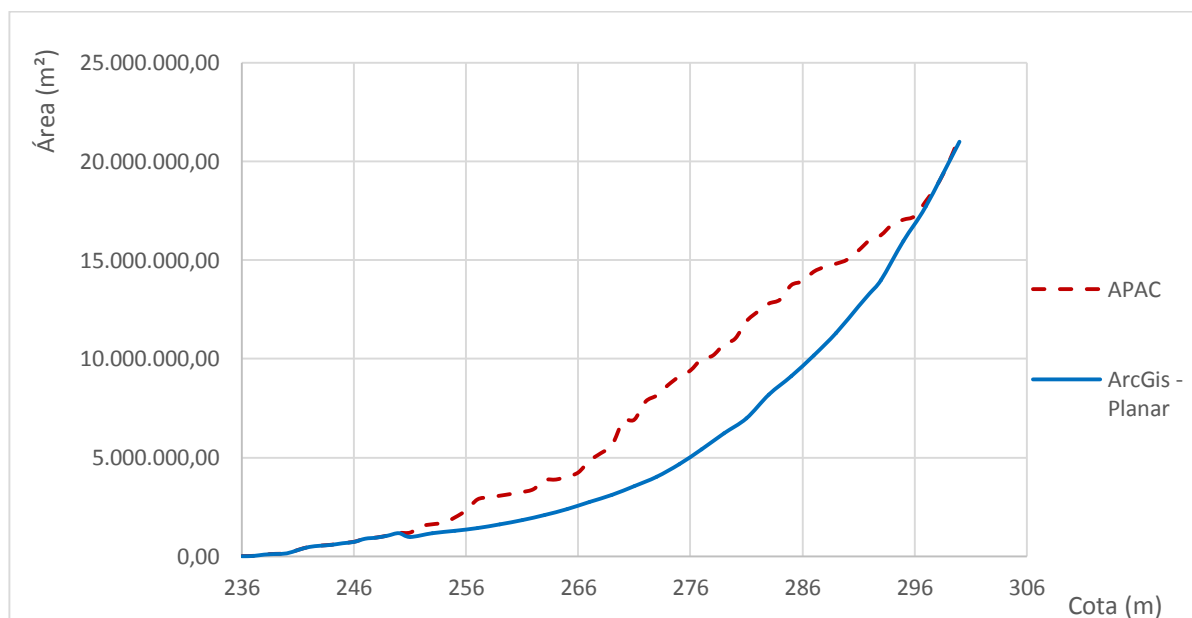
⁵¹ Os asteriscos (*) significam que o valor não foi encontrado pelo software, apenas copiado da APAC.

De posse dos valores de cota-área obtidos na simulação do QGis com o sistema SIRGAS 2000, pode-se fazer a comparação entre os dados da APAC.

Com o resultado, percebe-se que, a cota 257 m foi a mais crítica na análise percentual, apresentando uma diferença de 49,96% entre a área resultante do QGis e a da APAC. Porém em área, à cota 281 m foi atribuída a maior perda, 4,82 milhões de m² na área de lâmina de água, ou seja, 40,57% abaixo do esperado. Os valores simulados só foram se ajustando com os da APAC nas cotas mais altas, principalmente após o nível do vertedouro, a cota 292 m, coincidentemente área com menor chance de erro de levantamento pelo sensor pois é menos impactada pelos volumes acumulados na barragem.

Agora, utilizando os polígonos criados pelo QGis, no sistema SIRGAS 2000, importou-se para o ArcGis a fim de mensurar sua área com esse *software*, de maneira descrita na Seção 4.1 . Na mensuração da área há quatro modos, mas o estudo foi realizado apenas com os modos Planar, destaque desta seção, e o Geodesic, que será objeto da próxima. A comparação entre as curvas cota-área da APAC e do ArcGis no modo Planar é encontrada na Figura 43.

Figura 43 – Comparação das curvas cota-área da APAC e a resultante do ArcGis no modo Planar, para Jucazinho



Fonte: Autor (2017)

Novamente, a curva da área dos polígonos ficou bem ajustada aos valores da APAC apenas nas cotas mais baixas e nas mais altas em que foram feitas a simulação, nas cotas medianas observou-se as mesmas perdas de área vistas no QGis.

Desta vez, a cota mais crítica foi a 273 m, com uma diferença percentual de 50,53%. Já em números absolutos, a cota 281m foi a que teve maior discrepância, com 4,90 milhões de m² a menos, conforme pode-se visualizar na Tabela 14.

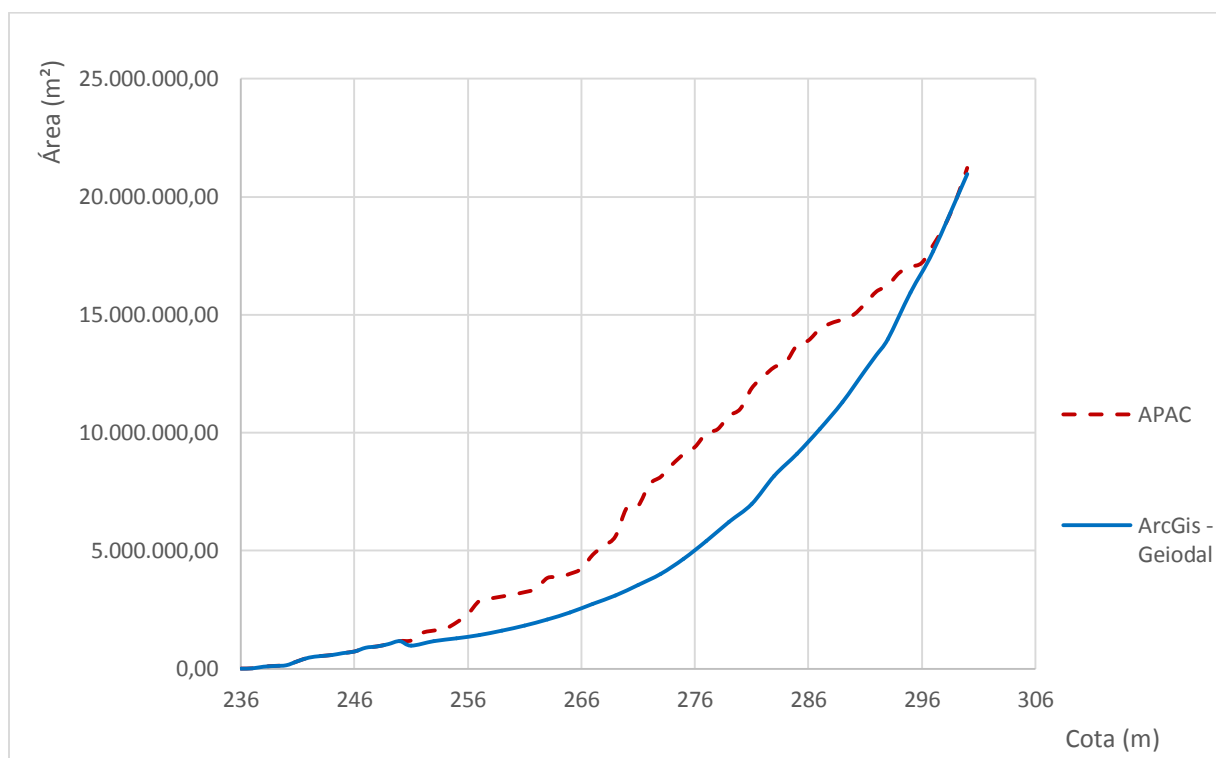
Tabela 14 – Valores da comparação das curvas cota-área da APAC e ArcGis Planar, no sistema SIRGAS 2000 25S, para o reservatório de Jucazinho

Cota (m)	APAC - Área (m ²)	ArcGis - Área Planar (m ²)	Diferença (%)
251	1.192.250,00	978.118,5300	-17,96%
253	1.613.250,00	1.168.549,1700	-27,57%
255	1.961.507,00	1.288.850,8600	-34,29%
257	2.868.431,00	1.426.301,5200	-50,28%
259	3.057.681,00	1.615.406,4200	-47,17%
261	3.242.931,00	1.829.958,3600	-43,57%
263	3.845.931,00	2.088.768,3600	-45,69%
265	4.023.431,00	2.386.895,0800	-40,68%
267	4.832.632,00	2.750.150,7300	-43,09%
269	5.613.470,00	3.107.734,9900	-44,64%
271	6.912.436,00	3.552.742,2600	-48,60%
273	8.138.829,00	4.026.531,1100	-50,53%
275	9.093.806,00	4.661.154,3100	-48,74%
277	9.977.686,00	5.415.738,7600	-45,72%
279	10.716.793,00	6.228.110,7000	-41,88%
281	11.890.225,00	6.986.001,8700	-41,25%
283	12.787.125,00	8.190.303,2200	-35,95%
285	13.721.125,00	9.122.558,0300	-33,51%
287	14.400.249,00	10.169.721,8800	-29,38%
289	14.808.437,00	11.313.054,2700	-23,60%
291	15.476.686,00	12.662.642,1000	-18,18%
292	15.996.499,00	13.322.134,0200	-16,72%
293	16.252.206,00	13.988.966,4300	-13,93%
295	17.037.436,00	15.972.494,2300	-6,25%
297	17.964.996,00	17.726.261,1100	-1,33%
300	21.239.187,00	21.001.163,8400	-1,12%
VARIAÇÃO MAIS EXTREMA			-50,53%

Fonte: Autor (2017)

De maneira análoga à seção anterior, foi calculada a curva cota-área dos polígonos na forma Geodesic. No ArcGis, o modo Geodesic calcula a área considerando o sistema geodésico, ou seja, considerando a curvatura no local de análise, nesse caso, com o sistema geodésico Sirgas 2000. A comparação entre as curvas da APAC e do ArcGis no modo Geodesic é encontrada na Figura 44.

Figura 44 – Comparação das curvas cota-área da APAC e a resultante do ArcGis no modo Planar, para Jucazinho



Fonte: Autor (2017)

Semelhante às outras curvas, a curva da área dos polígonos ficou bem ajustada aos valores da APAC apenas nas cotas mais baixas e nas mais altas em que foram feitas a simulação, nas cotas entre 260 m e 290 m observou-se as mesmas grandes divergências nos valores de área encontradas no QGIS.

Como na forma planar, a cota mais crítica foi a 273 m, com uma diferença percentual de 50,60%. Já em números absolutos, novamente, a cota 281m foi a que teve maior discrepância, com 4,90 milhões de m² a menos, conforme pode-se visualizar na Tabela 15.

Fazendo uma relação entre os valores encontrados no modo planar e geodesic, percebe-se que o modo geodesic apresenta valores entre 0,15% e 0,16% menores que o modo planar. Isso se deve ao ajuste mais rigoroso ao sistema geodésico escolhido para o projeto.

Tabela 15 – Valores da comparação das curvas cota-área da APAC e ArcGis Geodesic para o reservatório de Jucazinho

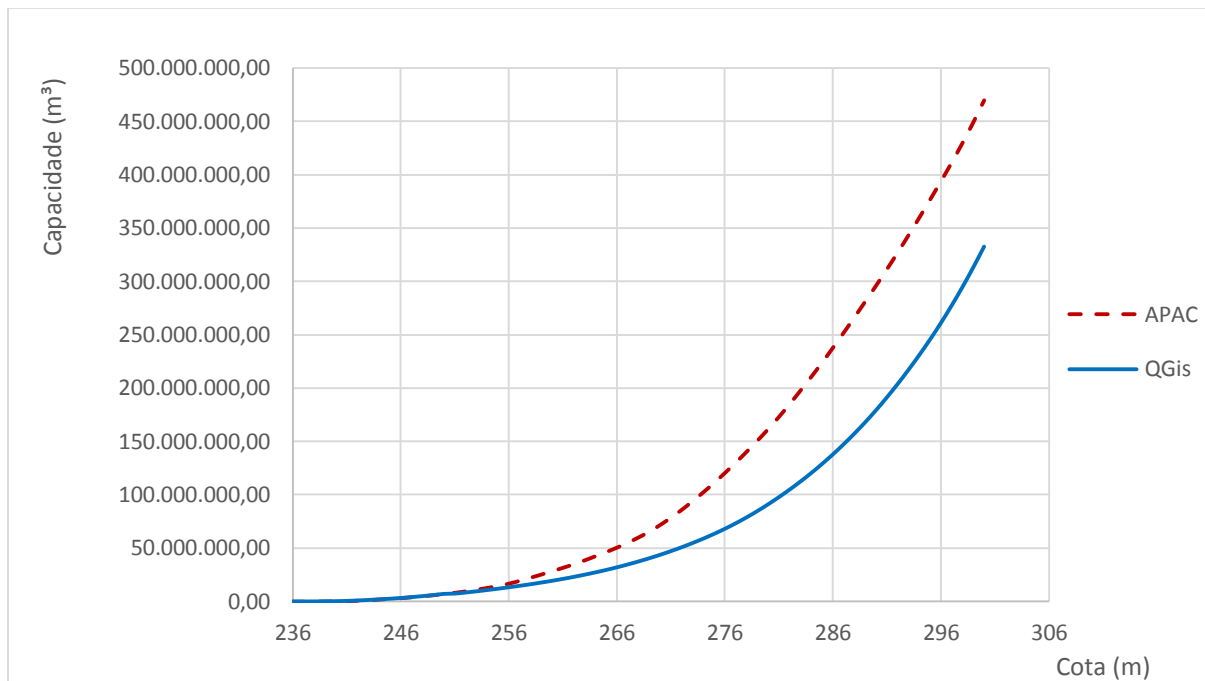
Cota (m)	APAC - Área (m²)	ArcGis - Área Geodesic (m²)	Diferença (%)
251	1.192.250,00	976.662,0900	-18,08%
253	1.613.250,00	1.166.806,0000	-27,67%
255	1.961.507,00	1.286.927,3200	-34,39%
257	2.868.431,00	1.424.171,2400	-50,35%
259	3.057.681,00	1.612.989,9400	-47,25%
261	3.242.931,00	1.827.216,0900	-43,66%
263	3.845.931,00	2.085.631,0900	-45,77%
265	4.023.431,00	2.383.281,1600	-40,76%
267	4.832.632,00	2.745.997,1900	-43,18%
269	5.613.470,00	3.103.028,4500	-44,72%
271	6.912.436,00	3.547.338,7400	-48,68%
273	8.138.829,00	4.020.385,7900	-50,60%
275	9.093.806,00	4.654.003,9300	-48,82%
277	9.977.686,00	5.407.385,7000	-45,81%
279	10.716.793,00	6.218.471,2100	-41,97%
281	11.890.225,00	6.975.163,0200	-41,34%
283	12.787.125,00	8.177.601,8400	-36,05%
285	13.721.125,00	9.108.376,5200	-33,62%
287	14.400.249,00	10.153.889,5600	-29,49%
289	14.808.437,00	11.295.395,4300	-23,72%
291	15.476.686,00	12.642.815,3300	-18,31%
292	15.996.499,00	13.301.227,1900	-16,85%
293	16.252.206,00	13.966.966,6600	-14,06%
295	17.037.436,00	15.947.309,2400	-6,40%
297	17.964.996,00	17.698.226,3500	-1,48%
300	21.239.187,00	20.967.770,0800	-1,28%
VARIAÇÃO MAIS EXTREMA			-50,60%

Fonte: Autor (2017)

Analogamente ao que foi realizado na análise da área, foi obtida a relação para as curvas cota-volume que foram modeladas no QGis e a fornecida pela APAC, expressa na Figura 45. Para tanto, o volume foi obtido em cada cota, e como os arquivos só puderam fornecer valores acima da cota 250 m, os valores desta cota da curva da APAC serviram como parâmetro de partida sendo somadas para as cotas seguintes.

Portanto, este volume desconsiderado passa a entrar nos cálculos com a soma do valor da cota 250 m da APAC e a partir de então constrói-se uma nova curva.

Figura 45 – Comparação das curvas cota-volume da APAC e a resultante do QGis para Jucazinho



Fonte: Autor (2017)

Partindo-se de um ponto comum, pode-se observar que o simulado no QGis, linha contínua azul, possui valores muito inferiores aos da APAC, linha tracejada vermelha. Isso indica que a taxa de crescimento da curva QGis é menor que a da APAC, ou seja, que o volume acrescido em cada variação de cota é menor na curva simulada no *software*.

Seguindo a tendência das áreas, o volume se comportou de maneira parecida. Pelo Princípio de Cavalieri, já se deduziria que o volume encontrado seria menor, o que foi confirmado com a análise do volume os quais foram menores que os consolidados pelos gestores.

Para algumas cotas, a diferença é de aproximadamente 44%, como pode ser constatado na Tabela 21, que por ser longa preferiu-se alocar no Apêndice.

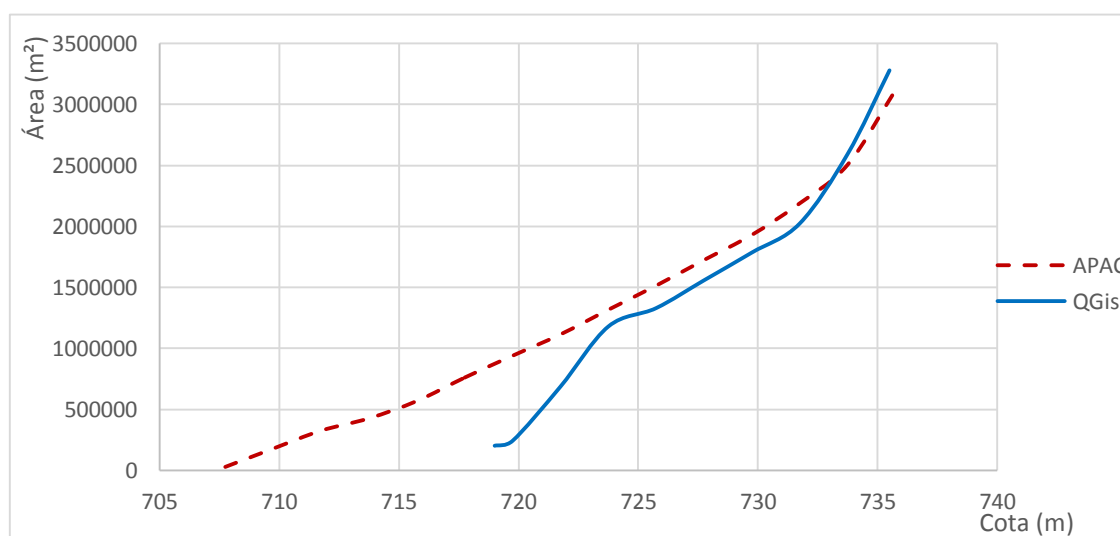
Um dos motivos para tais diferenças pode ser atribuído à resolução com que se foi feito levantamento na região de Jucazinho, com escala 1:5000 e resolução espacial de 1m. Pode-se comparar com a análise do reservatório de Pão de Açúcar, em Pesqueira, município cuja escala é 1:1000 e resolução de 0,5m, gerando, assim, dados ainda mais confiáveis.

5.1.2 Curvas Pão de Açúcar

Do mesmo modo ao que foi feito com Jucazinho, expressa-se nas seções seguintes, os resultados da modelagem apenas no QGis, no sistema Sirgas 2000 24S, para o reservatório Pão de Açúcar, comparando-os com os valores da APAC. Similar ao problema para a modelagem de Jucazinho, não pôde ser feita simulação para cotas abaixo de 718,5 m, pois este foi o limite captado no perfilamento a laser.

Produto da simulação, a curva cota-área está apresentada na Figura 46, onde foi feita a comparação com os valores da APAC. A modelagem pode ser realizada apenas a partir cota 719,75 m. Os valores obtidos na simulação estão na Tabela 16.

Figura 46 – Comparação das curvas cota-área da APAC e a resultante do QGis para Pão de Açúcar



Fonte: Autor (2017)

Pela simulação, houve um acréscimo de mais de 1 milhão de m² na área da lâmina de água na cota 735,75m em relação aos dados consolidados. Já as curvas de nível de cota 719,75 m e 721,75 m resultaram em valores de área da lâmina de água muito abaixo da curva original da APAC, voltando a se aproximar para as cotas maiores que 723 m. Isso pode ter ocorrido, devido a processos de sedimentação, do tipo de deposição em delta, que comprometeram as curvas da barragem para esses níveis de operação. Inclusive, na cota 733,75 m já se observa valores maiores que o da curva consolidada, o que pode indicar um desgaste no talude em cotas mais altas e assoreamento nas cotas mais baixas. Se isso ocorreu, houve, então, uma perda de capacidade de captação. Não necessariamente, a propensão de acumulação foi reduzida, mas os sedimentos criaram um ressalto no leito da barragem que impede que o volume chegue próximo ao paramento para ser utilizado.

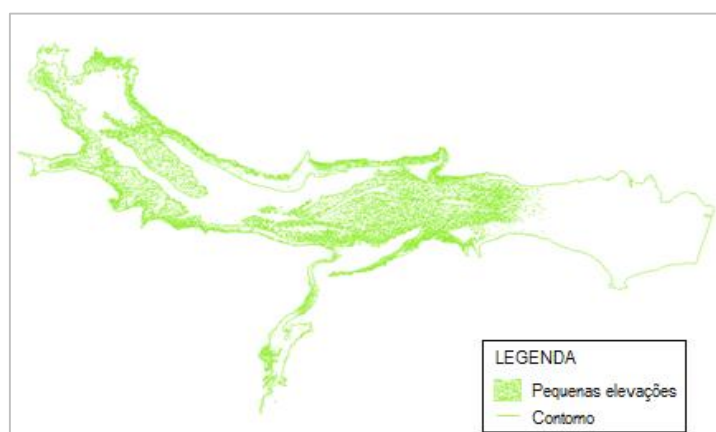
Tabela 16 – Valores da comparação das curvas cota-área da APAC e QGis, no sistema SIRGAS 2000 24S, para o reservatório de Pão de Açúcar

APAC		QGIS - SIRGAS 2000 24 S		
Cota (m)	Área (m ²)	Cota (m)	Área (m ²)	Diferença ⁵² (%)
707,75	28000	-	-	-
711,75	325000	-	-	-
715,75	568000	-	-	-
-	-	719	201544,6073	*
719,75	939000	719,75	242036,6543	-74,22%
721,75	1114000	721,75	686030,5086	-38,42%
723,75	1316000	723,75	1178974,608	-10,41%
725,75	1514000	725,75	1330054,469	-12,15%
727,75	1724000	727,75	1557974,335	-9,63%
729,75	1930000	729,75	1785694,796	-7,48%
731,75	2189000	731,75	2023863,753	-7,54%
733,75	2506000	733,75	2593563,128	3,49%
735,75	3118000	735,75	3279467,078	5,18%

Fonte: Autor (2017)

Como pode ser identificado na Figura 47, há uma região mais lacustre próximo ao barramento e no outro sentido, há várias elevações, que foram identificadas como de cota mais alta.

Figura 47 – Elevações nas regiões mais distantes do barramento do reservatório de Pão de Açúcar

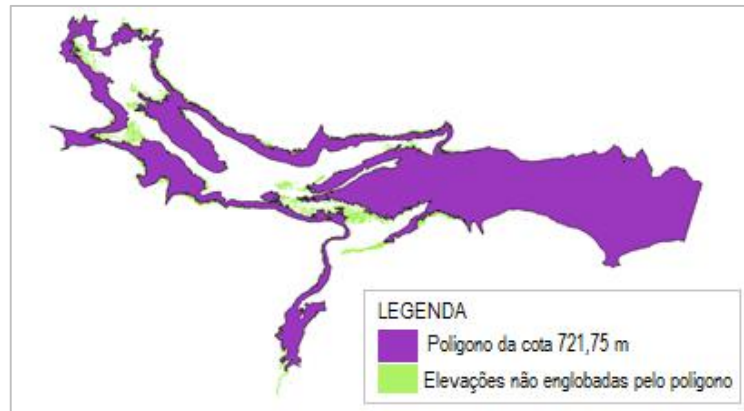


Fonte: Autor (2017)

Na Figura 48, pode-se ver o polígono encontrado para simulação, o qual refletiu as elevações internas, apontando que nas porções mais centrais há bancos de depósito ou outras ascensões naturais do solo que já existiam à época da construção da barragem, visto que as áreas que compõem o polígono estão nas bordas.

⁵² (*) Não houve correspondente na curva da APAC para calcular a diferença percentual.

Figura 48 – Polígono obtido na simulação da cota 721,75 m do reservatório Pão de Açúcar

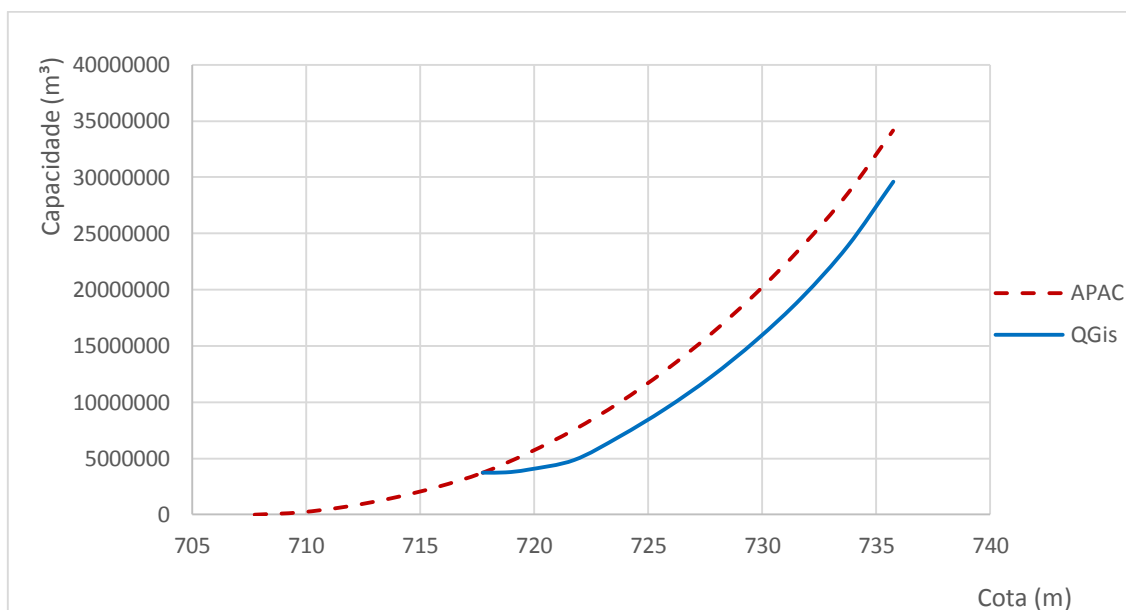


Fonte: Autor (2017)

Outro ponto a ser ressaltado é que ao se delimitar o contorno da barragem para retirar o polígono, nestas cotas mais baixas em que essas elevações se fizeram presentes, ficaram pequenas áreas sem ser contabilizadas, porém, mesmo se fossem contadas não supririam a diferença encontrada.

Construindo a curva cota-volume do reservatório de Pão de Açúcar, obteve-se a comparação apresentada na Figura 49, feita acima da cota 719 m, por motivos já comentados. Os dados estão expressos de maneira mais completa na Tabela 17. Da mesma forma com que foi feita em Jucazinho, o volume da cota 717,75 m da curva da APAC foi tomado como parâmetro, sobre o qual os valores calculados foram adicionados.

Figura 49 – Comparação das curvas cota-volume da APAC e a resultante do QGis para Pão de Açúcar



Fonte: Autor (2017)

Houve relação entre as curvas de área e volume, visto que a perda de área nas cotas mais baixas está associada ao baixo volume sob essas cotas, quando contabilizado pelo software. Assim, num processo de acúmulo de volumes, o volume foi se distanciando da curva da Agência estadual de águas.

A maior diferença encontrada entre as curvas foi 35,62%, na cota 721,75m, conforme pode ser visualizado na Tabela 17. À medida em que as cotas são maiores, aumenta-se também a área da lâmina de água no reservatório e a diferença vai diminuindo gradativamente.

Tabela 17 – Valores da comparação das curvas cota-volume da APAC e QGIS, no sistema SIRGAS 2000 24S, para o reservatório de Pão de Açúcar

APAC		QGIS SIRGAS 2000 24S			Diferença
Cota (m)	Volume (m³)	Cota (m)	Calculado (m³)	Acumulado (m³)	(%)
707,75	0	-	-	-	-
709,75	206000	-	-	-	-
711,75	709000	-	-	-	-
713,75	1460000	-	-	-	-
715,75	2454000	-	-	-	-
717,75	3728000	717,75	475,254211	3728475,254	0,01%
719,75	5481000	719,75	272406,4123	4000406,412	-27,01%
721,75	7534000	721,75	1122308,805	4850308,805	-35,62%
723,75	9962000	723,75	3220509,312	6948509,312	-30,25%
725,75	12794000	725,75	5677265,14	9405265,14	-26,49%
727,75	16032000	727,75	8510754,456	12238754,46	-23,66%
729,75	19686000	729,75	11799177,69	15527177,69	-21,13%
731,75	23805000	731,75	15590272,27	19318272,27	-18,85%
733,75	28500000	733,75	20152871,22	23880871,22	-16,21%
735,75	34124000	735,75	25871281,82	29599281,82	-13,26%

Fonte: Autor (2017)

No mais, percebeu-se um melhor ajuste nas curvas quando se analisou o reservatório de Pão de Açúcar, o que pode indiciar que a resolução espacial dos dados produziram dados mais significativos em termos de concordância com a realidade.

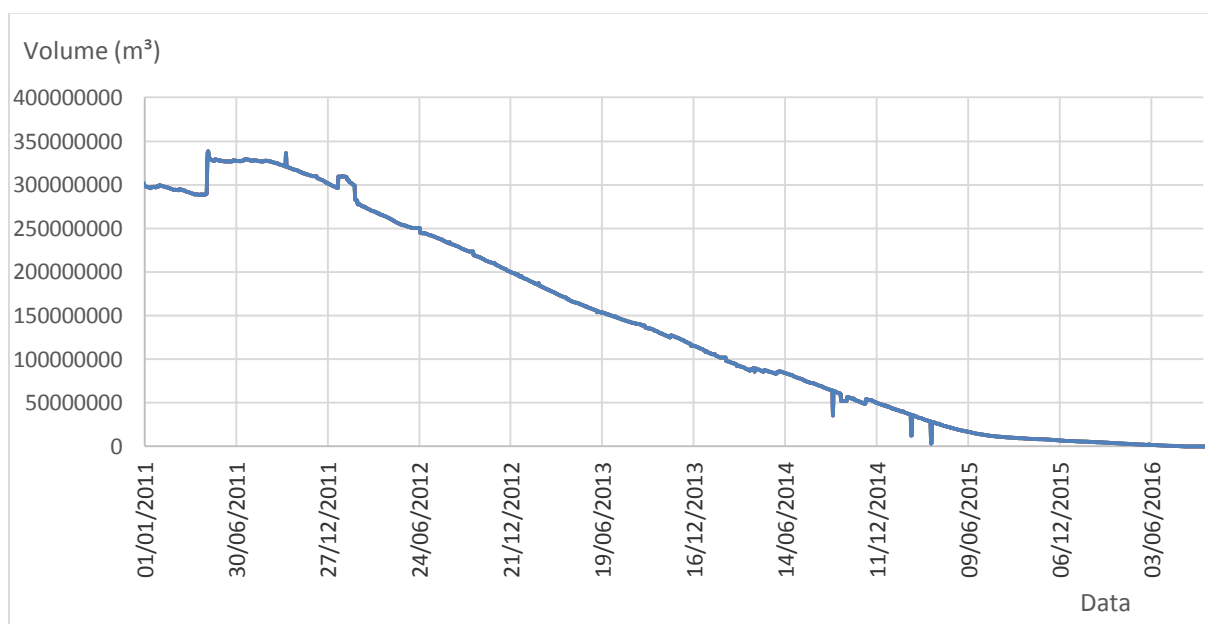
5.2 MONITOR DE SECAS

Esta seção retoma a discussão da Seção 4.2 com a finalidade de expor os resultados da aplicação do Monitor de Secas aos reservatórios de estudo, exceto Pão de Açúcar, pois este tem dados reais de monitoramento falhos, isto é, faltam valores de muitos meses em determinados anos, o que não construiria uma sequência contínua suficiente para o estudo.

5.2.1 Jucazinho

Jucazinho é um dos reservatórios que mais foram acompanhados nos últimos anos, dada sua importância para o Agreste, o que resultou numa série de dados sobre sua capacidade ao longo do tempo. Na Figura 50, evidencia-se a decaída dos volumes disponíveis no reservatório de Jucazinho, desde o início de 2011 ao colapso em 2016, com dados obtidos na série histórica de acumulação fornecida pela Agência Pernambucana de Água e Climas.

Figura 50 – Volume observado em Jucazinho no período de 2011 a 2016



Fonte: APAC, adaptado

Os dados de operação de Jucazinho indicaram que ele supria 1250 L/s durante os anos de 2011 e 2012, a simulação realizada por Ramos (2017) expôs que esse volume não impactava no cenário de seca do reservatório, que continuou normal nesse período, como pode ser visualizado no Quadro 4.

Quadro 4 – Cenário Real - Histórico da barragem de Jucazinho

DATA	COTA(m)	VOLUME (m³)	VOLUME (hm³)	%	CAPTAÇÃO (L/s)	Volume Retirado mensal (m³)	Volumes Metas					Cenário Seca	
							Ano	Mês	Meta1	Meta2	Meta3		Meta4
jan-11	290,24	297.399.929,67	297,40	90,94	1.250	3.240.000	2011	1	137,4488881	118,5971657	99,78908349	81,03439098	Normal
fev-11	289,89	291.910.928,24	291,91	89,26	1.250	3.240.000		2	130,4746345	111,7387488	93,05351765	74,43055005	Normal
mar-11	289,68	288.649.792,78	288,65	88,26	1.250	3.240.000		3	127,6305244	107,9495081	88,26849186	68,58747661	Normal
abr-11	289,52	286.181.294,52	286,18	87,51	1.250	3.240.000		4	156,1992829	136,5957082	116,3963361	97,40213068	Normal
mai-11	292,11	327.881.503,62	327,88	100,26	1.250	3.240.000		5	168,617164	149,0907689	129,5723827	110,06375	Normal
jun-11	292,07	328.233.217,63	328,23	100,37	1.250	3.240.000		6	169,6259011	150,1870087	130,7603692	111,3495815	Normal
jul-11	292,08	328.401.857,50	328,40	100,42	1.250	3.240.000		7	165,5996336	146,2595243	126,9365364	107,6342683	Normal
ago-11	292,07	328.233.217,63	328,23	100,37	1.250	3.240.000		8	159,0370813	139,8140386	120,6140795	101,4420766	Normal
set-11	291,73	322.533.357,77	322,53	98,62	1.250	3.240.000		9	151,8333615	132,7295849	113,6552104	94,61652733	Normal
out-11	291,31	315.582.892,67	315,58	96,50	1.250	3.240.000		10	144,6028629	125,6254977	106,6845173	87,78785992	Normal
nov-11	290,88	308.569.935,32	308,57	94,35	1.250	3.240.000		11	137,4488881	118,5971657	99,78908349	81,03439098	Normal
dez-11	290,32	299.591.791,84	299,59	91,61	1.250	3.240.000		12	130,4746345	111,7387488	93,05351765	74,43055005	Normal
jan-12	290,88	308.569.935,32	308,57	94,35	1.250	3.240.000	2012	1	123,4872215	104,8739819	86,3192139	67,83673322	Normal
fev-12	288,70	274.532.397,62	274,53	83,96	1.250	3.240.000		2	116,7227488	98,21706644	79,77709354	61,41894837	Normal
mar-12	288,18	266.869.840,18	266,87	81,60	1.250	3.240.000		3	127,6305244	107,9495081	88,26849186	68,58747661	Normal
abr-12	287,58	258.138.661,85	258,14	78,93	1.250	3.240.000		4	156,1992829	136,5957082	116,3963361	97,40213068	Normal
mai-12	287,06	250.725.685,99	250,73	76,67	1.250	3.240.000		5	168,617164	149,0907689	129,5723827	110,06375	Normal
jun-12	286,52	243.177.511,89	243,18	74,36	1.250	3.240.000		6	169,6259011	150,1870087	130,7603692	111,3495815	Normal
jul-12	286,11	237.547.609,08	237,55	72,64	1.250	3.240.000		7	165,5996336	146,2595243	126,9365364	107,6342683	Normal
ago-12	285,55	229.997.723,22	230,00	70,33	1.250	3.240.000		8	159,0370813	139,8140386	120,6140795	101,4420766	Normal
set-12	285,01	222.868.878,03	222,87	68,15	1.250	3.240.000		9	151,8333615	132,7295849	113,6552104	94,61652733	Normal
out-12	284,28	213.465.382,17	213,47	65,27	1.250	3.240.000		10	144,6028629	125,6254977	106,6845173	87,78785992	Normal
nov-12	283,70	206.183.391,94	206,18	63,05	1.250	3.240.000		11	137,4488881	118,5971657	99,78908349	81,03439098	Normal
dez-12	283,02	197.856.655,91	197,86	60,50	1.250	3.240.000		12	130,4746345	111,7387488	93,05351765	74,43055005	Normal
jan-13	282,34	189.754.599,78	189,75	58,02	1.250	3.240.000	2013	1	123,4872215	104,8739819	86,3192139	67,83673322	Normal
fev-13	281,70	182.331.723,19	182,33	55,75	1.250	3.240.000		2	116,7227488	98,21706644	79,77709354	61,41894837	Normal
mar-13	280,98	174.212.661,82	174,21	53,27	1.250	3.240.000		3	127,6305244	107,9495081	88,26849186	68,58747661	Normal
abr-13	280,31	166.874.788,34	166,87	51,03	1.250	3.240.000		4	156,1992829	136,5957082	116,3963361	97,40213068	Normal
mai-13	279,68	160.163.542,12	160,16	48,97	1.250	3.240.000		5	168,617164	149,0907689	129,5723827	110,06375	Alerta
jun-13	279,14	154.554.659,97	154,55	47,26	1.250	3.240.000		6	169,6259011	150,1870087	130,7603692	111,3495815	Alerta
jul-13	279,14	154.554.659,97	154,55	47,26	1.250	3.240.000		7	165,5996336	146,2595243	126,9365364	107,6342683	Alerta
ago-13	278,08	143.924.175,07	143,92	44,01	1.250	3.240.000		8	159,0370813	139,8140386	120,6140795	101,4420766	Alerta
set-13	277,36	136.985.571,16	136,99	41,88	1.000	2.592.000		9	151,8333615	132,7295849	113,6552104	94,61652733	Alerta
out-13	276,55	129.447.350,46	129,45	39,58	1.200	3.110.400		10	116,7227488	98,21706644	79,77709354	61,41894837	Normal
nov-13	276,74	131.190.378,60	131,19	40,11	1.000	2.592.000		11	127,6305244	107,9495081	88,26849186	68,58747661	Normal
dez-13	274,73	113.518.163,17	113,52	34,71	1.250	3.240.000		12	156,1992829	136,5957082	116,3963361	97,40213068	Seca Severa
jan-14	273,63	104.548.362,84	104,55	31,97	1.250	3.240.000	2014	1	168,617164	149,0907689	129,5723827	110,06375	Seca Extrema
fev-14	273,28	101.795.615,43	101,80	31,12	1.250	3.240.000		2	151,8333615	132,7295849	113,6552104	94,61652733	Seca Severa
mar-14	272,80	98.098.700,01	98,10	29,99	1.250	3.240.000		3	144,6028629	125,6254977	106,6845173	87,78785992	Seca Severa
abr-14	271,98	91.989.784,41	91,99	28,13	1.250	3.240.000		4	123,4872215	104,8739819	86,3192139	67,83673322	Seca
mai-14	271,86	91.117.407,51	91,12	27,86	1.250	3.240.000		5	116,7227488	98,21706644	79,77709354	61,41894837	Seca
jun-14	271,97	91.916.877,05	91,92	28,10	1.250	3.240.000		6	127,6305244	107,9495081	88,26849186	68,58747661	Seca
jul-14	270,17	79.404.596,91	79,40	24,28	1.250	3.240.000		7	156,1992829	136,5957082	116,3963361	97,40213068	Seca Extrema
ago-14	269,17	72.965.863,40	72,97	22,31	1.250	3.240.000		8	168,617164	149,0907689	129,5723827	110,06375	Seca Extrema
set-14	268,12	66.585.894,17	66,59	20,36	1.200	3.110.400		9	165,5996336	146,2595243	126,9365364	107,6342683	Seca Extrema
out-14	266,59	57.964.766,35	57,96	17,72	1.200	3.110.400		10	159,0370813	139,8140386	120,6140795	101,4420766	Seca Extrema
nov-14	266,49	57.428.478,40	57,43	17,56	1.100	2.851.200		11	151,8333615	132,7295849	113,6552104	94,61652733	Seca Extrema
dez-14	265,09	50.260.388,20	50,26	15,37	1.100	2.851.200		12	144,6028629	125,6254977	106,6845173	87,78785992	Seca Extrema
jan-15	263,79	44.156.562,97	44,16	13,50	1.100	2.851.200	2015	1	137,4488881	118,5971657	99,78908349	81,03439098	Seca Extrema
fev-15	262,14	37.140.841,20	37,14	11,36	1.110	2.877.120		2	130,4746345	111,7387488	93,05351765	74,43055005	Seca Extrema
mar-15	260,39	29.691.415,34	29,69	9,08	1.000	2.592.000		3	123,4872215	104,8739819	86,3192139	67,83673322	Seca Extrema
abr-15	258,40	23.533.701,40	23,53	7,20	900	2.332.800		4	116,7227488	98,21706644	79,77709354	61,41894837	Seca Extrema
mai-15	256,53	18.186.741,48	18,19	5,56	800	2.073.600		5	127,6305244	107,9495081	88,26849186	68,58747661	Seca Extrema
jun-15	254,69	14.105.031,51	14,11	4,31	800	2.073.600		6	156,1992829	136,5957082	116,3963361	97,40213068	Seca Extrema
jul-15	254,69	14.105.031,51	14,11	4,31	800	2.073.600		7	168,617164	149,0907689	129,5723827	110,06375	Seca Extrema
ago-15	252,24	10.003.835,00	10,00	3,06	150	388.800		8	169,6259011	150,1870087	130,7603692	111,3495815	Seca Extrema

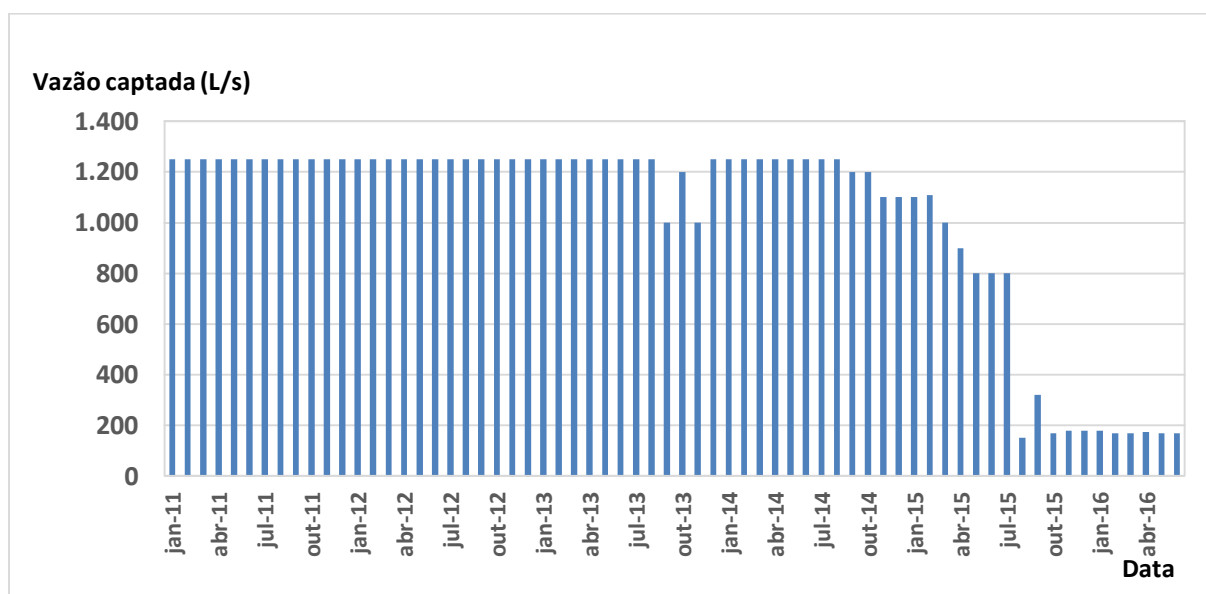
Fonte: Ramos (2017)

Porém, a partir de maio de 2013, a simulação indicou que o volume não superava o esperado para a Meta 1, de normalidade, ficando superior ao nível da Meta 2, que seria de Alerta.

Com os autoajustes da simulação, o nível de seca foi normalizado posteriormente, por dois meses seguintes, mas depois instaurou-se apenas cenários de seca. A indicação de seca vinha desde julho de 2014, quando o reservatório ainda possuía 40% do armazenamento máximo, e apenas quando atingiu os 20% de volume disponível é que a vazão de captação foi reduzida.

As vazões médias reais captadas em Jucazinho, entre 2011 e 2016, ano do colapso, estão apresentadas na Figura 51. Percebe-se que desde a última vez que o reservatório esteve cheio, a vazão retirada média foi em torno 1250 L/s, só diminuindo um pouco em meados de 2013, quando o nível ficou em 50%.

Figura 51 – Vazões captadas em Jucazinho, entre 2011 e 2016



Fonte: Ramos (2017)

Com o nível na metade da capacidade e as chuvas que não eram suficientes para mitigar os efeitos da estiagem, a vazão retirada, a partir do segundo semestre de 2014, foi diminuindo com o passar dos meses, estabilizando por um tempo em apenas 200 L/s, até ser impossibilitada com o total esvaziamento do reservatório, tendo sido utilizado até o volume morto.

Durante as operações normais, as vazões destinadas aos municípios que eram atendidos por Jucazinho, estão relacionadas na Tabela 18. Caruaru, a cidade mais populosa da região de influência da barragem, com mais de 350 mil habitantes, era o destino de aproximadamente 56% do volume captado no reservatório, o qual chegava à Estação de Tratamento de Água do Salgado. Porém, com os baixos níveis, o abastecimento da cidade ficou assistido apenas pelo Sistema Prata, que há tempos já enviava parcelas de água para a Estação do Petrópolis, porém agora recebendo, também, auxílio das águas do rio Pirangi.

Na Figura 52, está o resultado da simulação dos volumes do reservatório desde 2008. A série de coloração azul foi a disponibilizada nos monitoramentos reais pela APAC, já a série vermelha foi a obtida com a simulação com as regras do Monitor de Secas.

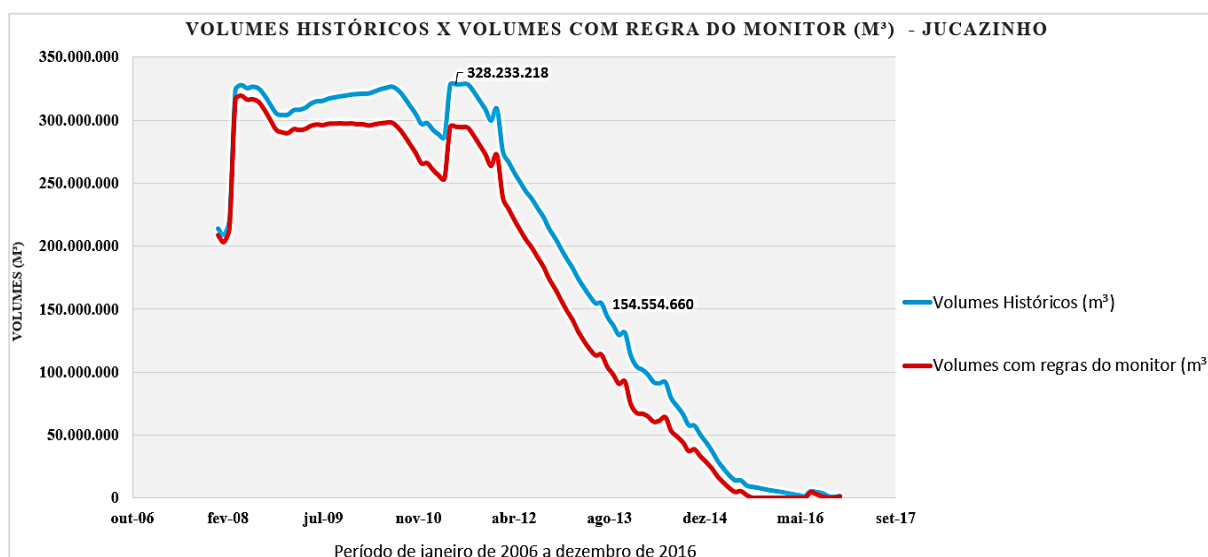
Tabela 18 – Vazões médias disponibilizadas pela barragem de Jucazinho

Cidade/Localidade	Vazão (L/s)
Caruaru	700
Surubim	120
Vertentes	20
Vertente do Lério	5
Santa Maria do Cambucá	5
Salgadinho	5
Toritama	50
Santa Cruz do Capibaribe	100
Cumarú (Sede)	60
Ameixas (Distrito de Cumarú)	5
Passira	40
Riacho das Almas	30
Bezerros	30
Gravatá	60
Frei Miguelinho	15
TOTAL	1245

Fonte: Ramos, 2017, pág. 81.

Como já havia sido discutido, as captações planejadas podem ser maiores que as reais, por isso o nível do volume, na simulação, está abaixo do nível do volume real a cada período observado, na Figura 52.

Figura 52 – Volumes históricos versus volumes com a regra do monitor – Jucazinho



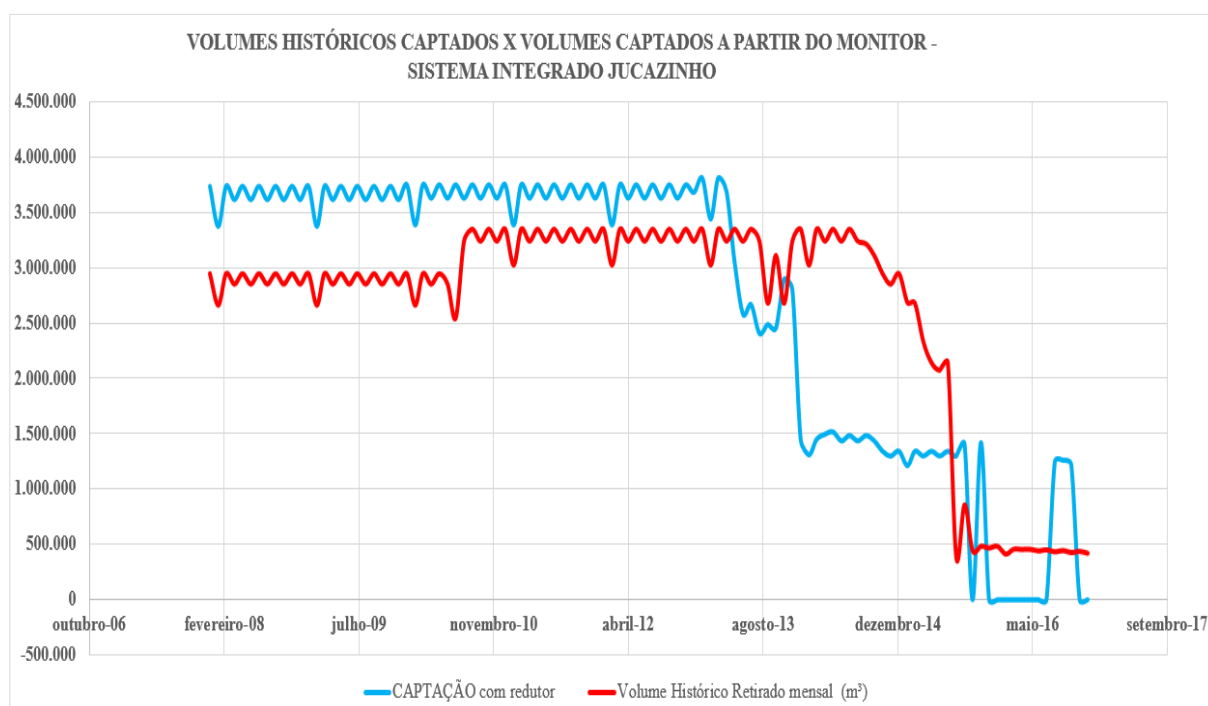
Fonte: Ramos (2017, pág. 91)

Ramos (2017) comenta que o Monitor das Secas forneceu resultados que puderam retardar o colapso em um ano, demonstrando os benefícios da gestão de uso baseada no planejamento, tendo sido Jucazinho o piloto do programa de monitoramento em Pernambuco, em 2014, já em meio a estiagem.

O resultado da simulação dos volumes do reservatório desde 2008 está na Figura 53. Nele, a série de coloração vermelha foi a disponibilizada pela concessionária de abastecimento e a série azul foi a obtida com a simulação com as regras do Monitor de Secas.

Observa-se que, com a gestão à luz do Monitor, se conseguiria uma longevidade no abastecimento mesmo em situação de seca extrema.

Figura 53 – Captações históricas *versus* captações com a regra do monitor – Jucazinho



Fonte: Ramos (2017, pág. 91)

Com a simulação de Ramos (2017), foi mensurado o déficit ou superávit de abastecimento para as cidades no período simulado, que foi entre 2008 e 2016, ou seja, a subtração entre a demanda e a oferta. Constatou-se que todas as cidades atendidas por Jucazinho ficaram com déficit, pois a demanda era maior que a disponibilidade.

Na Tabela 19, expressam-se os valores de déficit máximo e médio no período analisado. Os valores máximos ocorreram quando as captações foram reduzidas ou anuladas em 2016.

Tabela 19 – Déficit analisado nas cidades atendidas por Jucazinho, no período de 2008 a 2016

Cidade	Déficit Máximo (L/s)	Déficit Médio (L/s)
Bezerros	23,09	22,25
Caruaru	650,00	211,48
Cumaru	15,00	15,00
Frei Miguelinho	3,50	3,50
Gravatá	174,02	167,71
Passira	10,32	10,10
Riacho das Almas	3,76	3,35
Salgadinho	3,00	3,00
Santa Cruz do Capibaribe	42,91	41,99
Santa Maria do Cambucá	15,00	15,00
Surubim	27,10	26,10
Toritama	16,75	16,75
Vertente do Lério	2,00	2,00
Vertentes	14,39	14,39
TOTAL	1000,84	552,62

Fonte: Ramos (2017)

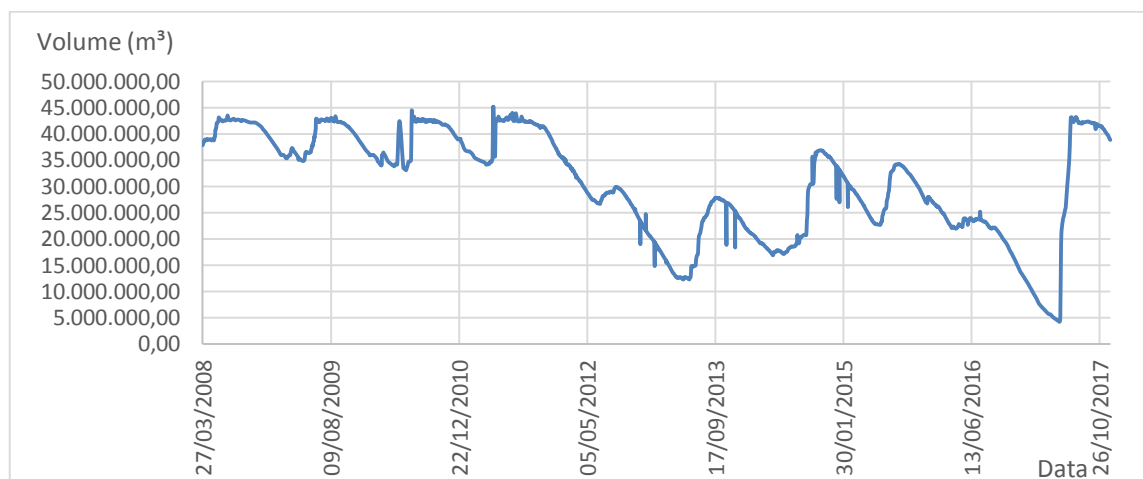
Como esperado, Caruaru foi o município que apresentou o maior déficit, pois tem a maior demanda da região, e também foi a cidade que apresentou a maior diferença entre o máximo e o médio, o que indica que a cidade é muito influenciada pela situação do reservatório.

5.2.2 Prata

Segundo Ramos (2017), o Prata foi um dos poucos reservatórios do Agreste que resistiu a estiagem e não entrou em colapso, devido a condições da bacia onde está inserido e de obras de transposição de águas que foram realizadas, garantindo um maior volume acumulado. Analogamente às observações que foram realizadas no reservatório de Jucazinho, fez-se estudos das captações no Sistema Prata, considerando o Monitor de Secas. Entenda-se que as regras do Monitor foram definidas para Jucazinho. Por simplificação, o estudo citado replicou os parâmetros para os demais reservatórios.

Inicialmente, exibe-se, na Figura 54, dados da APAC de como o reservatório se portou no recente período de estiagem, através do histórico dos volumes acumulados.

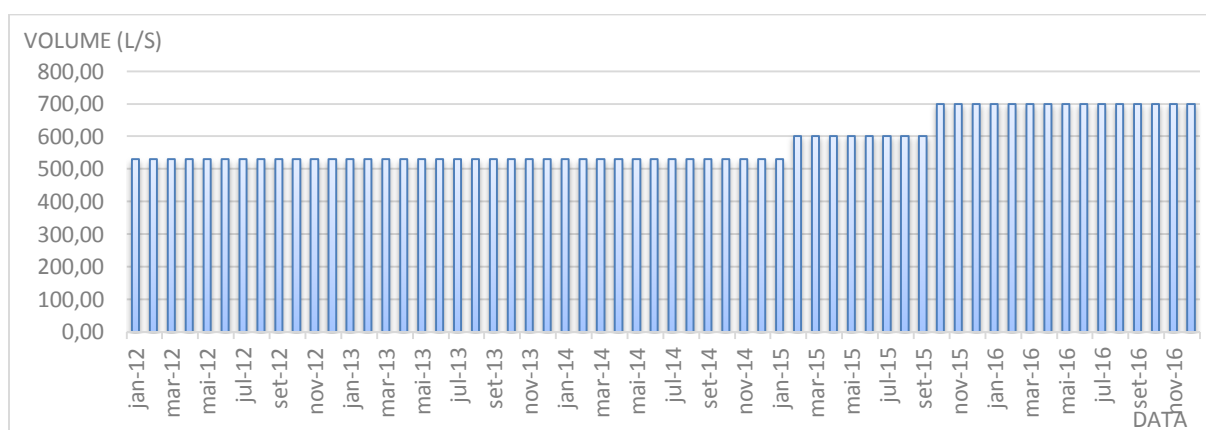
Figura 54 – Volume disponível na barragem do Prata, no período de 2008 a 2017



Fonte: APAC, adaptado.

Os dados de operação do reservatório indicam que ele supria em torno de 530 L/s durante os anos de 2012 a 2015, conforme pode ser visto na Figura 55. A simulação realizada por Ramos (2017) expôs que essas retiradas começaram a comprometer o manancial quando o volume acumulado no reservatório chegou a cerca de 30%, em meados de 2013, porém a vazão captada não foi diminuída.

Figura 55 – Vazões médias mensais, em L/s, captados no Prata



Fonte: Ramos (2017)

Com o período chuvoso, o armazenamento aumentou e não foi preciso reduzir as vazões destinadas para abastecimento, pelo contrário, um ano e meio depois, no início de 2015, foi elevada a quantia retirada para 600 L/s.

Esse aumento da captação também se deve aos sinais de declínio de Jucazinho, o que forçou a maior utilização do Prata que estava em melhores condições. Já no final deste mesmo ano, a retirada foi elevada para 700 L/s.

A grande utilização desse manancial comprometeu o armazenamento, o qual chegou a operar com 10,23% da capacidade máxima, em maio de 2017, segundo a APAC, conforme pode ser visto no ponto mínimo da série apresentada na Figura 54. Posteriormente, a acumulação aumentou devido a chuvas. Além do mais, a chegada das águas do rio Pirangi contribuiu para a melhoria do abastecimento no Sistema Prata, desde março de 2017.

A simulação realizada por Ramos (2017), apresentada no Quadro 5, não contemplou o período mais brusco de quedas no armazenamento no Sistema do Prata, mas já indicava que ações deviam ser implementadas senão essa situação ocorreria, visto o nível de seca já no final de 2016.

Quadro 5 – Cenário Real - Histórico da barragem do Prata

DATA	COTA(m)	VOLUME (m³)	Volume (hm³)	%	CAPTAÇÃO (l/s)	Volume Retirado mensal (m³) Histórico	Volumen Metas - Monitor Secas					Monitor	
							Ano	Mês	Meta1	Meta2	Meta3		Meta4
jan-12	392,6	36.460.447,62	36,46	86,51	531,00	1.376.352	2012	1	18.57284477	16.13538502	13.70259855	11.27550494	Normal
fev-12	392,2	34.350.504,08	34,35	81,50	531,00	1.376.352		2	17.65398562	15.23266348	12.8169465	10.40808691	Normal
mar-12	391,8	32.142.673,69	32,14	76,26	531,00	1.376.352		3	16.75820394	14.3517653	11.95182795	9.553887163	Normal
abr-12	391,4	29.865.767,99	29,87	70,86	530,00	1.373.760		4	15.86074405	13.47005272	11.06867132	8.712974908	Normal
mai-12	391,0	28.048.589,99	28,05	66,55	531,00	1.376.352		5	14.99191269	12.61503606	10.24659317	7.888659423	Normal
jun-12	391,0	28.048.589,99	28,05	66,55	531,00	1.376.352		6	16.39291139	13.86507444	11.33723749	8.809400666	Normal
jul-12	391,3	29.506.143,94	29,51	70,01	531,00	1.376.352		7	20.06229321	17.54440288	15.02705234	12.51036541	Normal
ago-12	391,5	30.437.088,07	30,44	72,22	531,00	1.376.352		8	21.78681298	19.29007451	16.7949098	14.30165267	Normal
set-12	391,2	28.947.175,34	28,95	68,68	530,00	1.373.760		9	21.26967771	18.78562698	16.30377531	13.82458492	Normal
out-12	390,8	26.689.962,90	26,69	63,33	531,00	1.376.352		10	20.42678109	17.95776642	15.49171663	13.02325755	Normal
nov-12	390,2	24.156.756,90	24,16	57,32	530,00	1.373.760		11	19.50153267	17.04783659	14.53791693	12.15258149	Normal
dez-12	389,6	21.550.012,17	21,55	51,13	531,00	1.376.352		12	18.57284477	16.13538502	13.70259855	11.27550494	Normal
jan-13	282,3	19.260.816,79	19,26	45,70	531,00	1.376.352	2013	1	17.65398562	15.23266348	12.8169465	10.40808691	Normal
fev-13	281,7	16.904.415,05	16,90	40,11	531,00	1.376.352		2	16.75820394	14.3517653	11.95182795	9.553887163	Alerta
mar-13	281,0	14.414.798,43	14,41	34,20	531,00	1.376.352		3	15.86074405	13.47005272	11.06867132	8.712974908	Alerta
abr-13	280,3	12.924.848,96	12,92	30,67	531,00	1.376.352		4	14.99191269	12.61503606	10.24659317	7.888659423	Seca
mai-13	279,7	12.782.070,52	12,78	30,33	531,00	1.376.352		5	16.39291139	13.86507444	11.33723749	8.809400666	Seca
jun-13	279,1	15.235.312,26	15,24	36,15	531,00	1.376.352		6	20.06229321	17.54440288	15.02705234	12.51036541	Seca Severa
jul-13	279,1	15.235.312,26	15,24	36,15	531,00	1.376.352		7	21.65725042	19.14927308	16.64232439	14.13662844	Normal
ago-13	278,1	27.266.439,32	27,27	64,69	531,00	1.376.352		8	21.78681298	19.29007451	16.7949098	14.30165267	Normal
set-13	277,4	28.345.911,03	28,35	67,25	531,00	1.376.352		9	21.26967771	18.78562698	16.30377531	13.82458492	Normal
out-13	276,6	27.411.911,79	27,41	65,04	531,00	1.376.352		10	20.42678109	17.95776642	15.49171663	13.02325755	Normal
nov-13	276,7	24.424.540,21	24,42	57,95	531,00	1.376.352		11	19.50153267	17.04783659	14.53791693	12.15258149	Normal
dez-13	274,7	24.112.327,52	24,11	57,21	531,00	1.376.352		12	18.57284477	16.13538502	13.70259855	11.27550494	Normal
jan-14	273,6	24.067.955,50	24,07	57,10	531,00	1.376.352	2014	1	17.65398562	15.23266348	12.8169465	10.40808691	Normal
fev-14	273,3	21.921.554,67	21,92	52,01	531,00	1.376.352		2	16.75820394	14.3517653	11.95182795	9.553887163	Normal
mar-14	272,8	18.884.169,58	18,88	44,81	531,00	1.376.352		3	15.86074405	13.47005272	11.06867132	8.712974908	Normal
abr-14	272,0	18.884.169,58	18,88	44,81	531,00	1.376.352		4	14.99191269	12.61503606	10.24659317	7.888659423	Normal
mai-14	271,9	17.252.984,97	17,25	40,94	531,00	1.376.352		5	16.39291139	13.86507444	11.33723749	8.809400666	Alerta
jun-14	272,0	17.857.078,67	17,86	42,37	531,00	1.376.352		6	20.06229321	17.54440288	15.02705234	12.51036541	Seca
jul-14	270,2	18.512.720,41	18,51	43,92	531,00	1.376.352		7	21.65725042	19.14927308	16.64232439	14.13662844	Alerta
ago-14	269,2	19.604.277,95	19,60	46,51	531,00	1.376.352		8	21.78681298	19.29007451	16.7949098	14.30165267	Normal
set-14	268,1	21.509.004,34	21,51	51,03	531,00	1.376.352		9	21.26967771	18.78562698	16.30377531	13.82458492	Normal
out-14	266,6	31.122.119,12	31,12	73,84	531,00	1.376.352		10	20.42678109	17.95776642	15.49171663	13.02325755	Normal
nov-14	266,5	37.660.971,00	37,66	89,36	531,00	1.376.352		11	19.50153267	17.04783659	14.53791693	12.15258149	Normal
dez-14	265,1	36.638.789,23	36,64	86,93	531,00	1.376.352		12	18.57284477	16.13538502	13.70259855	11.27550494	Normal
jan-15	263,8	34.940.242,03	34,94	82,90	531,00	1.376.352	2015	1	17.65398562	15.23266348	12.8169465	10.40808691	Normal
fev-15	262,1	32.634.192,01	32,63	77,43	600,00	1.555.200		2	16.75820394	14.3517653	11.95182795	9.553887163	Normal
mar-15	260,4	30.332.646,27	30,33	71,97	600,00	1.555.200		3	15.86074405	13.47005272	11.06867132	8.712974908	Normal
abr-15	258,4	28.395.678,59	28,40	67,37	600,00	1.555.200		4	14.99191269	12.61503606	10.24659317	7.888659423	Normal
mai-15	256,5	26.028.278,54	26,03	61,76	600,00	1.555.200		5	16.39291139	13.86507444	11.33723749	8.809400666	Normal
jun-15	254,7	23.935.183,21	23,94	56,79	600,00	1.555.200		6	20.06229321	17.54440288	15.02705234	12.51036541	Normal
jul-15	254,7	24.201.243,69	24,20	57,42	600,00	1.555.200		7	21.65725042	19.14927308	16.64232439	14.13662844	Normal
ago-15	252,2	35.113.337,25	35,11	83,31	600,00	1.555.200		8	21.78681298	19.29007451	16.7949098	14.30165267	Normal
set-15	251,5	34.140.372,59	34,14	81,00	600,00	1.555.200		9	21.26967771	18.78562698	16.30377531	13.82458492	Normal
out-15	250,9	31.979.995,29	31,98	75,88	700,00	1.814.400		10	20.42678109	17.95776642	15.49171663	13.02325755	Normal
nov-15	250,0	29.455.018,33	29,46	69,89	700,00	1.814.400		11	19.50153267	17.04783659	14.53791693	12.15258149	Normal
dez-15	249,2	28.495.397,57	28,50	67,61	700,00	1.814.400		12	18.57284477	16.13538502	13.70259855	11.27550494	Normal
jan-16	248,5	26.881.161,84	26,88	63,78	700,00	1.814.400	2016	1	17.65398562	15.23266348	12.8169465	10.40808691	Normal
fev-16	247,7	23.279.019,92	23,28	55,23	700,00	1.814.400		2	16.75820394	14.3517653	11.95182795	9.553887163	Normal
mar-16	246,7	25.286.259,43	25,29	60,00	700,00	1.814.400		3	15.86074405	13.47005272	11.06867132	8.712974908	Normal
abr-16	245,6	23.627.380,98	23,63	56,06	700,00	1.814.400		4	14.99191269	12.61503606	10.24659317	7.888659423	Normal
mai-16	244,4	24.379.765,75	24,38	57,84	700,00	1.814.400		5	16.39291139	13.86507444	11.33723749	8.809400666	Normal
jun-16	243,4	24.514.262,16	24,51	58,00	700,00	1.814.400		6	20.06229321	17.54440288	15.02705234	12.51036541	Normal
jul-16	243,3	24.201.243,29	24,20	55,00	700,00	1.814.400		7	21.65725042	19.14927308	16.64232439	14.13662844	Normal
ago-16	242,1	22.977.173,93	22,98	52,00	700,00	1.814.400		8	21.78681298	19.29007451	16.7949098	14.30165267	Alerta
set-16	243,4	21.514.263,16	20,00	49,00	700,00	1.814.400		9	21.26967771	18.78562698	16.30377531	13.82458492	Alerta
out-16	241,0	20.655.444,00	18,00	45,00	700,00	1.814.400		10	20.42678109	17.95776642	15.49171663	13.02325755	Seca
nov-16	239,9	19.147.274,36	18,00	39,00	700,00	1.814.400		11	19.50153267	17.04783659	14.53791693	12.15258149	Seca
dez-16	238,7	17.639.104,72	14,00	33,00	700,00	1.814.400		12	18.5728424	16.13790677	13.70411724	11.27530544	Seca

Fonte: Ramos (2017)

Tal como Jucazinho, os municípios desse reservatório também acumulam déficit. Vale ressaltar que estes valores são referentes ao estudo integrado do abastecimento do município pelos seus vários mananciais, quando no fim do estudo, obteve-se um valor de déficit que demonstra a vazão que ainda é necessária para aquela cidade e que os seus reservatórios precisariam atender. Os déficits dos municípios atendidos pela barragem são relacionados na Tabela 20.

Tabela 20 – Déficits nos municípios atendidos pelo Prata

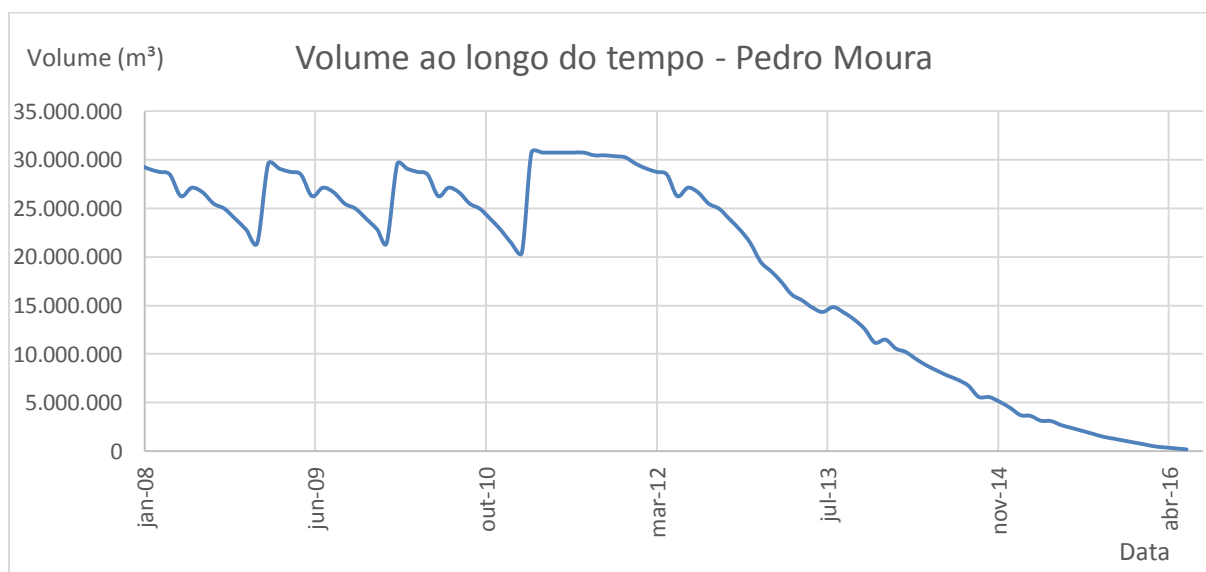
Cidade	Déficit Máximo (L/s)	Déficit Médio (L/s)
Agrestina	44,27	41,94
Altinho	39,73	39,73
Cachoeirinha	0,02	0,02
Caruaru	650,00	211,48
Ibirajuba	2,00	0,50
Santa Cruz do Capibaribe	42,91	41,99

Fonte: Ramos (2017)

5.2.3 Pedro Moura Jr.

Da mesma forma como foi feito nas outras seções, inicia-se expondo a curva de acúmulo do reservatório, no período estudado. O volume ao longo do tempo, está representado na Figura 56, indicando decréscimos a partir de abril de 2011.

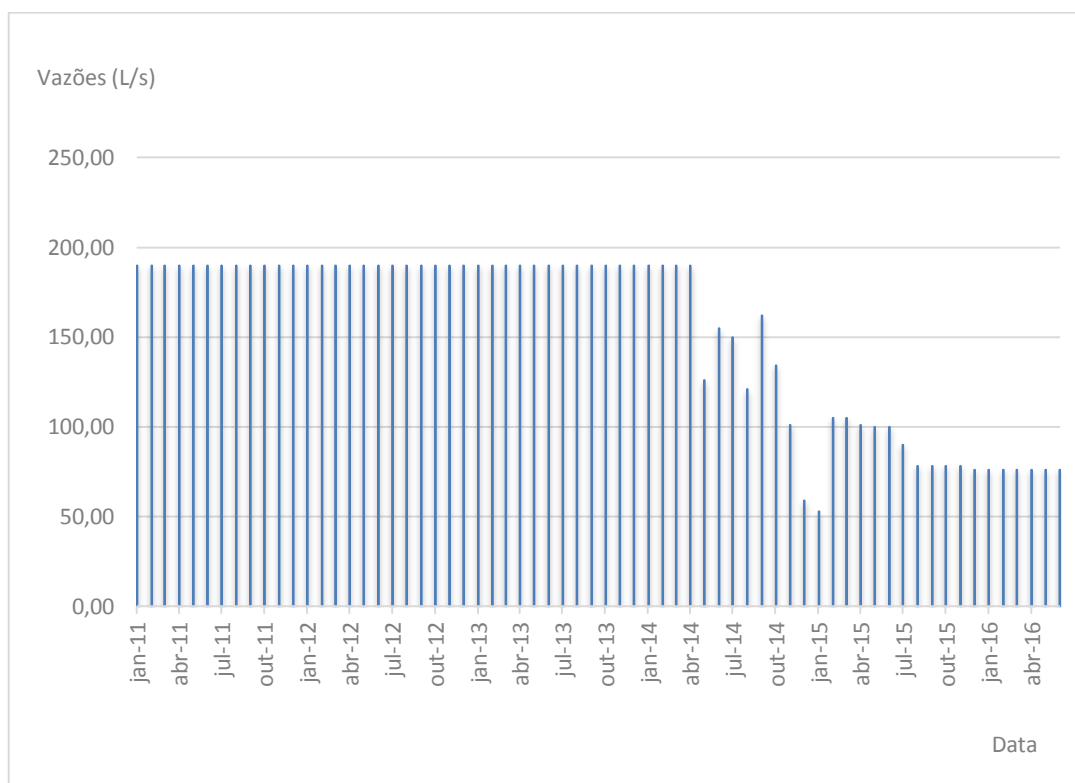
Figura 56 – Histórico do reservatório de Pedro Moura Jr., no período de 2008 a 2016



Fonte: APAC

As vazões captadas pela COMPESA estão indicadas na Figura 57. Entre 2011 e 2014 captava-se 190 L/s, porém houve decréscimo da retirada a partir de maio de 2014, quando o volume no reservatório ficou abaixo dos 30% do volume máximo. Em agosto de 2015, quando a barragem estava com menos de 8% da capacidade, reduziu-se as retiradas para 76 L/s, até que houve o colapso total, em junho de 2016.

Figura 57 – Vazões captadas em Pedro Moura Jr., entre 2011 e 2016



Fonte: Ramos (2017)

A modelagem com Monitor de Secas, apresentada no Quadro 6, indica que o cenário de seca extrema ocorria desde fevereiro de 2014, quando foram tomadas medidas de redução de captação para 126 L/s. Com uma melhora na pluviosidade da região, houve um aumento da vazão captada em junho.

Porém, foi em setembro de 2014, com aproximadamente 20% da capacidade e o Monitor indicando seca extrema, que foram tomadas medidas de diminuir a captação.

Quadro 6 – Cenário Real - Histórico da barragem de Pedro Moura

DATA	VOLUME (m³)	VOLUME (hm³)	%	CAPTAÇÃO	Volume Retirado mensal (m³)	Ano	Volumes Metas					Estado (seca)
							Mês	Meta1	Meta2	Meta3	Meta4	
jan-12	29.584.107	2,96	96,23	190,00	492.480	2012	12	1,07	0,94	0,80	0,67	Normal
fev-12	29.087.507	2,91	94,62	190,00	492.480		1	2,00	1,74	1,48	1,21	Normal
mar-12	28.756.441	2,88	93,54	190,00	492.480		2	1,91	1,65	1,39	1,13	Normal
abr-12	28.472.670	2,85	92,62	190,00	492.480		3	1,70	1,45	1,21	0,97	Normal
mai-12	26.257.519	2,63	85,41	190,00	492.480		4	1,09	0,92	0,76	0,60	Normal
jun-12	27.125.021	2,71	88,23	190,00	492.480		5	0,94	0,79	0,64	0,49	Normal
jul-12	26.643.075	2,66	86,66	190,00	492.480		6	1,06	0,90	0,74	0,57	Normal
ago-12	25.486.406	2,55	82,90	190,00	492.480		7	1,28	1,12	0,96	0,80	Normal
set-12	24.956.266	2,50	81,18	190,00	492.480		8	1,32	1,17	1,02	0,86	Normal
out-12	23.895.986	2,39	77,73	190,00	492.480		9	1,33	1,17	1,02	0,87	Normal
nov-12	22.787.511	2,28	74,12	190,00	492.480		10	1,27	1,12	0,97	0,82	Normal
dez-12	21.438.064	2,14	69,73	190,00	492.480		11	1,19	1,04	0,90	0,76	Normal
jan-13	19.462.087	1,95	63,31	190,00	492.480	2013	12	1,07	0,94	0,80	0,67	Normal
fev-13	18.484.477	1,85	60,13	190,00	492.480		1	2,00	1,74	1,48	1,21	Alerta
mar-13	17.468.709	1,75	56,82	190,00	492.480		2	1,91	1,65	1,39	1,13	Alerta
abr-13	16.135.650	1,61	52,49	190,00	492.480		3	1,70	1,45	1,21	0,97	Alerta
mai-13	15.541.368	1,55	50,55	190,00	492.480		4	1,09	0,92	0,76	0,60	Normal
jun-13	14.777.292	1,48	48,07	190,00	492.480		5	0,94	0,79	0,64	0,49	Normal
jul-13	14.324.506	1,43	46,59	190,00	492.480		6	1,06	0,90	0,74	0,57	Normal
ago-13	14.833.890	1,48	48,25	190,00	492.480		7	1,28	1,12	0,96	0,80	Normal
set-13	14.267.907	1,43	46,41	190,00	492.480		8	1,32	1,17	1,02	0,86	Normal
out-13	13.560.429	1,36	44,11	190,00	492.480		9	1,33	1,17	1,02	0,87	Normal
nov-13	12.577.710	1,26	40,91	190,00	492.480		10	1,27	1,12	0,97	0,82	Alerta
dez-13	11.168.355	1,12	36,33	190,00	492.480		11	1,19	1,04	0,90	0,76	Alerta
jan-14	11.478.891	1,15	37,34	190,00	492.480	2014	12	1,07	0,94	0,80	0,67	Normal
fev-14	10.547.284	1,05	34,31	190,00	492.480		1	2,00	1,74	1,48	1,21	Seca Extrema
mar-14	10.212.861	1,02	33,22	190,00	492.480		2	1,91	1,65	1,39	1,13	Seca Extrema
abr-14	9.472.353	0,95	30,81	190,00	492.480		3	1,70	1,45	1,21	0,97	Seca Extrema
mai-14	8.827.394	0,88	28,71	126,00	326.592		4	1,09	0,92	0,76	0,60	Seca
jun-14	8.282.727	0,83	26,94	155,00	401.760		5	0,94	0,79	0,64	0,49	Alerta
jul-14	7.784.965	0,78	25,32	150,00	388.800		6	1,06	0,90	0,74	0,57	Seca
ago-14	7.344.636	0,73	23,89	121,00	313.632		7	1,28	1,12	0,96	0,80	Seca Extrema
set-14	6.732.005	0,67	21,90	162,00	419.904		8	1,32	1,17	1,02	0,86	Seca Extrema
out-14	5.583.322	0,56	18,16	134,00	347.328		9	1,33	1,17	1,02	0,87	Seca Extrema
nov-14	5.564.177	0,56	18,10	101,00	261.792		10	1,27	1,12	0,97	0,82	Seca Extrema
dez-14	5.085.559	0,51	16,54	59,00	152.928		11	1,19	1,04	0,90	0,76	Seca Extrema
jan-15	4.459.893	0,45	14,51	52,70	136.598	2015	12	1,07	0,94	0,80	0,67	Seca Extrema
fev-15	3.690.847	0,37	12,01	105,00	272.160		1	2,00	1,74	1,48	1,21	Seca Extrema
mar-15	3.638.708	0,36	11,34	105,00	272.160		2	1,91	1,65	1,39	1,13	Seca Extrema
abr-15	3.130.356	0,31	10,18	101,00	261.792		3	1,70	1,45	1,21	0,97	Seca Extrema
mai-15	3.091.252	0,31	10,06	100,00	259.200		4	1,09	0,92	0,76	0,60	Seca Extrema
jun-15	2.661.107	0,27	8,86	100,00	259.200		5	0,94	0,79	0,64	0,49	Seca Extrema
jul-15	2.374.345	0,24	7,72	90,00	233.280		6	1,06	0,90	0,74	0,57	Seca Extrema
ago-15	2.074.345	0,21	6,75	78,00	202.176		7	1,28	1,12	0,96	0,80	Seca Extrema
set-15	1.774.345	0,18	5,77	78,00	202.176		8	1,32	1,17	1,02	0,86	Seca Extrema
out-15	1.474.345	0,15	4,80	78,00	202.176		9	1,33	1,17	1,02	0,87	Seca Extrema
nov-15	1.274.345	0,13	4,15	78,00	202.176		10	1,27	1,12	0,97	0,82	Seca Extrema
dez-15	1.074.345	0,11	3,49	76,00	196.992		11	1,19	1,04	0,90	0,76	Seca Extrema
jan-16	874.345	0,09	2,84	76,00	196.992	2016	12	1,07	0,94	0,80	0,67	Seca Extrema
fev-16	674.345	0,07	2,19	76,00	196.992		1	2,00	1,74	1,48	1,21	Seca Extrema
mar-16	474.345	0,05	1,54	76,00	196.992		2	1,91	1,65	1,39	1,13	Seca Extrema
abr-16	374.345	0,04	1,22	76,00	196.992		3	1,70	1,45	1,21	0,97	Seca Extrema
mai-16	274.345	0,03	0,89	76,00	196.992		4	1,09	0,92	0,76	0,60	Seca Extrema
jun-16	174.345	0,02	0,57	76,00	196.992		5	0,94	0,79	0,64	0,49	Seca Extrema

Fonte: Ramos (2017)

5.2.4 Bitury

Na Figura 58 é exibido o comportamento da acumulação no manancial para o período de estudo da implementação do Monitor de Secas, realizado por Ramos (2017). Sua capacidade máxima de acumulação é de menos de 18 milhões de m³, ou seja, tem baixa acumulação, sendo facilmente impactada pela demanda dele requerida.

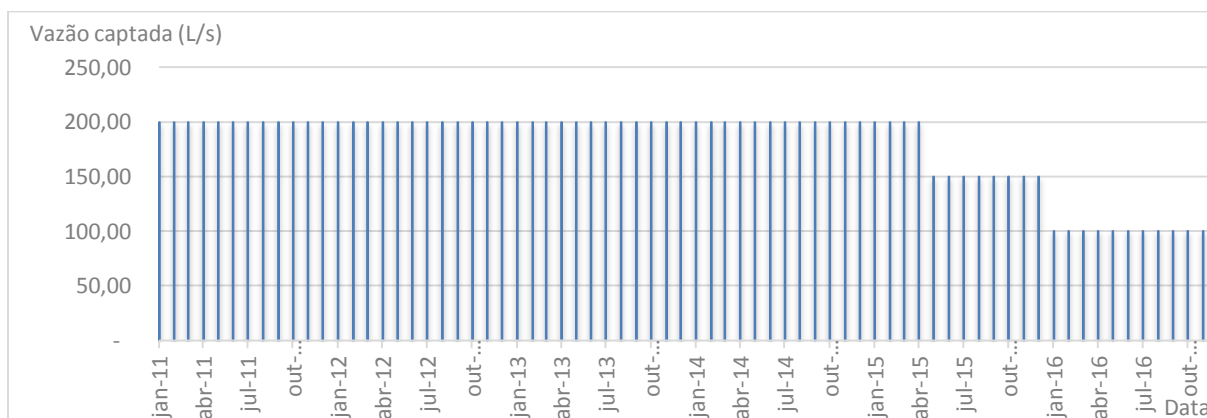
Figura 58 – Volume disponível em Bitury, no período de 2008 a 2016



Fonte: APAC

As vazões captadas pela concessionária de abastecimento para atendimento da demanda estão mostradas na Figura 59. No gráfico, percebe-se que essa retirada permanece constante em 200 L/s durante vários anos, até o reservatório chegar a 1,8% da capacidade máxima, em 2015, ou seja, apenas quando em colapso é que houve redução. Os volumes findaram um ano depois, secando totalmente em junho de 2016.

Figura 59 – Vazões captadas em Bitury, entre 2011 e 2016



Fonte: Ramos (2017)

A modelagem realizada por Ramos (2017), retratada no Quadro 7, utilizando o Monitor, indicava a mudança do estado de normalidade para o de alerta, já em setembro de 2012, quando Bitury ainda contava com metade do volume máximo que pode comportar. O quadro de seca extrema classificou as operações de gestão hídrica do reservatório desde o início de 2013, época em que o nível estava em pouco menos de 30% da capacidade.

Quadro 7 – Cenário Real - Histórico da barragem de Bitury

DATA	VOLUME (m³)	VOLUME (hm³)	%	CAPTAÇÃO	Volume Retirado mensal (m³)	Ano	Volumes Metas					Estado (seca)
							Mês	Meta1	Meta2	Meta3	Meta4	
jan-11	15.241.978	15,24	84,68	200,00	518.400	2011	12	8,99	7,86	6,73	5,60	Normal
fev-11	14.378.380	14,38	79,88	200,00	518.400		1	10,31	8,95	7,60	6,26	Normal
mar-11	13.465.270	13,47	74,81	200,00	518.400		2	9,47	8,17	6,87	5,58	Normal
abr-11	14.994.450	14,99	83,30	200,00	518.400		3	7,94	6,80	5,67	4,53	Normal
mai-11	14.253.865	14,25	79,19	200,00	518.400		4	5,72	4,86	4,00	3,14	Normal
jun-11	18.000.000	18,00	100,00	200,00	518.400		5	5,08	4,27	3,47	2,67	Normal
jul-11	18.000.000	18,00	100,00	200,00	518.400		6	7,06	5,98	4,89	3,80	Normal
ago-11	18.000.000	18,00	100,00	200,00	518.400		7	8,61	7,53	6,45	5,37	Normal
set-11	17.776.470	17,78	98,76	200,00	518.400		8	9,34	8,26	7,18	6,10	Normal
out-11	18.000.000	18,00	100,00	200,00	518.400		9	9,44	8,36	7,28	6,20	Normal
nov-11	18.000.000	18,00	100,00	200,00	518.400		10	9,55	8,43	7,32	6,21	Normal
dez-11	18.000.000	18,00	100,00	200,00	518.400		11	9,38	8,25	7,11	5,98	Normal
jan-12	15.241.978	15,24	84,68	200,00	518.400	2012	12	8,99	7,86	6,73	5,60	Normal
fev-12	14.378.380	14,38	79,88	200,00	518.400		1	10,31	8,95	7,60	6,26	Normal
mar-12	13.465.270	13,47	74,81	200,00	518.400		2	9,47	8,17	6,87	5,58	Normal
abr-12	12.202.765	12,20	67,79	200,00	518.400		3	7,94	6,80	5,67	4,53	Normal
mai-12	10.985.005	10,99	61,03	200,00	518.400		4	5,72	4,86	4,00	3,14	Normal
jun-12	10.083.115	10,08	56,02	200,00	518.400		5	5,08	4,27	3,47	2,67	Normal
jul-12	9.866.470	9,87	54,81	200,00	518.400		6	7,06	5,98	4,89	3,80	Normal
ago-12	9.599.830	9,60	53,33	200,00	518.400		7	8,61	7,53	6,45	5,37	Normal
set-12	9.283.195	9,28	51,57	200,00	518.400		8	9,34	8,26	7,18	6,10	Alerta
out-12	8.338.144	8,34	46,32	200,00	518.400		9	9,44	8,36	7,28	6,20	Seca
nov-12	7.240.876	7,24	40,23	200,00	518.400		10	9,55	8,43	7,32	6,21	Seca Severa
dez-12	6.212.056	6,21	34,51	200,00	518.400		11	9,38	8,25	7,11	5,98	Seca Severa
jan-13	5.330.972,50	5,33	29,62	200,00	518.400	2013	12	8,99	7,86	6,73	5,60	Seca Extrema
fev-13	4.397.998,75	4,40	24,43	200,00	518.400		1	10,31	8,95	7,60	6,26	Seca Extrema
mar-13	3.235.779,00	3,24	17,98	200,00	518.400		2	9,47	8,17	6,87	5,58	Seca Extrema
abr-13	2.521.900,00	2,52	14,01	200,00	518.400		3	7,94	6,80	5,67	4,53	Seca Extrema
mai-13	2.331.050,00	2,33	12,95	200,00	518.400		4	5,72	4,86	4,00	3,14	Seca Extrema
jun-13	2.114.175,00	2,11	11,75	200,00	518.400		5	5,08	4,27	3,47	2,67	Seca Extrema
jul-13	2.539.250,00	2,54	14,11	200,00	518.400		6	7,06	5,98	4,89	3,80	Seca Extrema
ago-13	4.835.335,00	4,84	26,86	200,00	518.400		7	8,61	7,53	6,45	5,37	Seca Extrema
set-13	5.403.187,00	5,40	30,02	200,00	518.400		8	9,34	8,26	7,18	6,10	Seca Extrema
out-13	5.162.472,00	5,16	28,68	200,00	518.400		9	9,44	8,36	7,28	6,20	Seca Extrema
nov-13	4.611.060,00	4,61	25,62	200,00	518.400		10	9,55	8,43	7,32	6,21	Seca Extrema
dez-13	4.611.060,00	4,61	25,62	200,00	518.400		11	9,38	8,25	7,11	5,98	Seca Extrema
jan-14	2.487.200,00	2,49	13,82	200,00	518.400	2014	12	8,99	7,86	6,73	5,60	Seca Extrema
fev-14	1.819.241,75	1,82	10,11	200,00	518.400		1	10,31	8,95	7,60	6,26	Seca Extrema
mar-14	1.261.078,25	1,26	7,01	200,00	518.400		2	9,47	8,17	6,87	5,58	Seca Extrema
abr-14	1.396.847,75	1,40	7,76	200,00	518.400		3	7,94	6,80	5,67	4,53	Seca Extrema
mai-14	1.291.249,25	1,29	7,17	200,00	518.400		4	5,72	4,86	4,00	3,14	Seca Extrema
jun-14	1.291.249,25	1,29	7,17	200,00	518.400		5	5,08	4,27	3,47	2,67	Seca Extrema
jul-14	2.079.475,00	2,08	11,55	200,00	518.400		6	7,06	5,98	4,89	3,80	Seca Extrema
ago-14	2.443.825,00	2,44	13,58	200,00	518.400		7	8,61	7,53	6,45	5,37	Seca Extrema
set-14	2.939.289,00	2,94	16,33	200,00	518.400		8	9,34	8,26	7,18	6,10	Seca Extrema
out-14	3.453.205,00	3,45	19,18	200,00	518.400		9	9,44	8,36	7,28	6,20	Seca Extrema
nov-14	4.330.716,25	4,33	24,06	200,00	518.400		10	9,55	8,43	7,32	6,21	Seca Extrema
dez-14	4.454.067,50	4,45	24,74	200,00	518.400		11	9,38	8,25	7,11	5,98	Seca Extrema
jan-15	3.255.545,00	3,26	18,09	200,00	518.400	2015	12	8,99	7,86	6,73	5,60	Seca Extrema
fev-15	2.721.425,00	2,72	15,12	200,00	518.400		1	10,31	8,95	7,60	6,26	Seca Extrema
mar-15	2.608.650,00	2,61	14,49	200,00	518.400		2	9,47	8,17	6,87	5,58	Seca Extrema
abr-15	2.036.100,00	2,04	11,31	200,00	518.400		3	7,94	6,80	5,67	4,53	Seca Extrema
mai-15	1.796.613,50	1,80	9,98	150,00	388.800		4	5,72	4,86	4,00	3,14	Seca Extrema
jun-15	1.195.632,00	1,20	6,64	150,00	388.800		5	5,08	4,27	3,47	2,67	Seca Extrema
jul-15	1.389.305,00	1,39	7,72	150,00	388.800		6	7,06	5,98	4,89	3,80	Seca Extrema
ago-15	1.427.018,75	1,43	7,93	150,00	388.800		7	8,61	7,53	6,45	5,37	Seca Extrema
set-15	1.464.732,50	1,46	8,14	150,00	388.800		8	9,34	8,26	7,18	6,10	Seca Extrema
out-15	1.532.617,25	1,53	8,51	150,00	388.800		9	9,44	8,36	7,28	6,20	Seca Extrema
nov-15	1.547.702,75	1,55	8,60	150,00	388.800		10	9,55	8,43	7,32	6,21	Seca Extrema
dez-15	1.592.959,25	1,59	8,85	150,00	388.800		11	9,38	8,25	7,11	5,98	Seca Extrema
jan-16	852.959,25	0,85	4,74	100,00	259.200	2016	12	8,99	7,86	6,73	5,60	Seca Extrema
fev-16	552.959,25	0,55	3,07	100,00	259.200		1	10,31	8,95	7,60	6,26	Seca Extrema
mar-16	402.959,25	0,40	2,24	100,00	259.200		2	9,47	8,17	6,87	5,58	Seca Extrema
abr-16	302.959,25	0,30	1,68	100,00	259.200		3	7,94	6,80	5,67	4,53	Seca Extrema
mai-16	202.959,25	0,20	1,13	100,00	259.200		4	5,72	4,86	4,00	3,14	Seca Extrema
jun-16	52.959,25	0,05	0,29	100,00	259.200		5	5,08	4,27	3,47	2,67	Seca Extrema

Fonte: Ramos (2017)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Conviver com a seca é o desafio de milhões de habitantes do semiárido brasileiro. É nesse ambiente que fazem prosperar sua família, sua economia e sua cultura. Garantir a manutenção das necessidades hídricas dessa sociedade é ampliar os índices de desenvolvimento humano. Logo, a gestão dos recursos deve ser eficiente, aplicando os preceitos da Política Nacional dos Recursos Hídricos, entre eles o de garantir as demandas atuais sem comprometer as futuras. Nesse cenário, o Monitor de Secas do Nordeste contribui para tornar mais efetivas as decisões relativas ao uso das águas. Ele não é um método de previsão de secas, mas dá uma ideia dos efeitos a curto e longo prazo da situação que se vive hoje, a fim de buscar contorná-la em prol de uma segurança hídrica que há séculos se busca na região.

É a busca de seguridade que leva a grandes obras, como as transposições, que são custosas, burocráticas e interferem no cenário em várias localidades, necessitando de uma equipe que saiba abordar a implementação do projeto com vários pontos de vista, tomando cuidado com a influência que certas decisões adotadas podem acarretar no resultado final, que é o bem dos cidadãos. No mais, grandes programas de melhora da conjuntura hídrica no estado vêm sendo implantados nos últimos anos, como a Transposição do rio São Francisco e suas estruturas auxiliares, a captação das águas dos rios Pirangi e Una, destinando uma maior oferta de água para o Agreste, através de adutoras que complementarão os sistemas Prata e Jucazinho, aproveitando os trechos já concluídos da Adutora do Agreste. Quando a transferência de água do São Francisco acontecer será possível atender as demandas da região.

Com esse recente período de estiagem, comprovou-se a necessidade das transposições entre bacias. Os dados obtidos indicam que essas transferências de água serão suficientes para atender as demandas projetadas até 2037. Há que se considerar, porém, que quando a oferta hídrica se normaliza ocorre aumento das atividades produtivas e consequentemente aumento da demanda. Além disso, a variabilidade climática e as tendências de mudança de clima são preocupantes, podendo indicar ainda maior redução na disponibilidade hídrica.

Visto que, com a demanda aumentando, devido ao crescimento da população e os eventos climáticos se tornando mais comuns e intensos, projetar metodologias de manipulação dos volumes armazenados nos reservatórios para continuar subsistindo aos sistemas de abastecimento humano não é mais um ideal que pode esperar, é uma urgência que deve implementada ou aperfeiçoada. A observação da capacidade dos reservatórios em suprir as demandas dele requeridas, a aferição seu estado de conservação estrutural e o quanto da sua vida útil já está comprometido pelo assoreamento causado pela má utilização dos solos na bacia, são pontos cruciais na gestão dos mananciais.

Os estudos realizados apontam déficits no abastecimento das cidades atendidas pelos reservatórios da região. Algumas vezes, o porte dos reservatórios é pequeno demais para a demanda que irá atender, ou então o porte é relativamente adequado, mas as características da bacia ou da demanda não são favoráveis para os volumes ali acumulados. Métodos como a *hedging rule* são essenciais no semiárido, controlando-se os volumes retirados para vencer o período de baixa restituição dos volumes. Com o Monitor de Secas pode-se definir quais as retiradas seguras para determinados períodos, evitando o desarranjo hídrico nos reservatórios e em outros sistemas adjacentes.

Além disso, com um quadro de segurança de abastecimento desfavorável, não faz sentido que, na região, o índice de perdas nos sistemas de abastecimento seja alto. Reduzir os desperdícios ajuda a poupar investimentos e aumentar a oferta para o usuário final. Ações de melhoria dos mananciais também estão sendo aplicadas, norteadas pelos Planos Diretores de Recursos Hídricos. Em muitos Planos Hidroambientais já estão citados programas de saneamento para melhorar a qualidade dos rios e torná-los mais uma fonte segura de captação.

Em muitos destes propósitos de gestão o uso do geoprocessamento é ferramenta essencial. Baseados em dados de entrada georreferenciados, pode-se fazer simulações de cenários e análises da implementação de novas estruturas ou ações na bacia.—Para tanto, ao se realizar levantamentos, é importante atentar para o padrão de exatidão, empregando uma resolução espacial compatível com os estudos que serão realizados e em condições de apurar o máximo de informações, e isto foi um dos problemas encontrados no desenvolvimento deste trabalho.

O presente estudo foi afetado pelo fato de o perfilamento a laser não ter conseguido modelar digitalmente todo o interior dos reservatórios de estudo, posto que o volume de água remanescente nessas barragens prejudicou a varredura, embora tenha-se utilizado de dados do PE3D, os quais têm padrão classe A.

As diferenças observadas foram de maneira geral bastante significativas. Os valores das curvas cota-área, obtidos na simulação, são entre 20% a 50% menores que o esperado. Quanto ao volume, a tendência se segue. Em números absolutos, com os dados de Pão de Açúcar, a capacidade da barragem teria 5 milhões de m³ a menos disponível. Porém a maior diferença é a de Jucazinho, no qual, segundo a simulação, o volume útil da barragem seria de 203,5 milhões de m³, e não 327 milhões de m³.

Os resultados, então, não são conclusivos pela dimensão das diferenças observadas no cálculo de áreas e volumes que foram bastante significativas, requerendo aprimoramento. Para tal, algumas situações possíveis: erro de levantamento na época do projeto; assoreamento no reservatório; erro da avaliação feita neste trabalho.

Outra proposta deste estudo era a de comparar os programas computacionais simulando os mesmos dados. Como resultado, as diferenças foram pequenas. O ArcGis, nos dois modos de análise de área demonstrou valores menores que os valores do QGis, em média 1,15% no modo Planar e de 1,31% no modo Geodesic.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Nesse trabalho, foi realizada a modelagem dos reservatórios com apoio de softwares para identificação da capacidade de acumulação dos mesmos, visando identificar discordâncias entre curvas características das barragens obtidas na simulação com as fornecidas pela APAC. Valendo-se de dados de geoprocessamento mais modernos, como o PE3D, buscou-se essa comparação, a fim, também, de acompanhar perdas de capacidade pelo assoreamento.

Nesse sentido, uma das recomendações é aprimorar o processo de cálculo, para se chegar a maior nível de segurança sobre a existência de erros nos levantamentos anteriores ou se ocorreu assoreamento significativo nos mananciais. Recomenda-se assim o aprofundamento da análise feita a partir do geoprocessamento, como por exemplo o cálculo de áreas e volumes pelo menos a cada metro.

Já no âmbito da gestão hídrica realizada no Agreste que foi comentada neste texto, ressalta-se que as regras do Monitor de Secas foram definidas somente para Jucazinho. Os estudos analisados no desenvolvimento do presente trabalho já recomendavam que os parâmetros do Monitor fossem identificados para os demais reservatórios.

REFERÊNCIAS

ACERVO da Presidência da República. **Discurso da inauguração de Jucazinho**. Disponível em: <<<http://www.biblioteca.presidencia.gov.br/presidencia/ex-presidentes/fernando-henrique-cardoso/discursos/10-mandato/1998-1o-semester/13-de-fevereiro-de-1998-discurso-na-cerimonia-de-inauguracao-da-barragem-antonio-gouveia-neto-jucazinho-1/view>>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

ALVAREZ, G. A. GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. 2ª ed. rev. e ampl. – São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Agência de água: O que é, o que faz e como funciona**. Agência Nacional de Águas / Capacitação Unesp – Educação a distância, 2014a. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/7>>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Água e Floresta: uso sustentável na Caatinga**. Agência Nacional de Águas / Capacitação Unesp – Educação a distância, 2014b. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/114>>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas / Capacitação Unesp – Educação a distância, 2014c. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/10>>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Disponibilidades e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: 2005. Disponível em: <<<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>>. Acesso em:

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos no Nordeste**. Agência Nacional de Águas / Capacitação Unesp – Educação a distância, 2014d. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/115>>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Gestão Territorial para Recursos Hídricos com Softwares livres de código aberto**. Agência Nacional de Águas / Capacitação Unesp – Educação a distância, 2012a. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/100>>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. AGENCIA Nacional de Águas. **Hidroweb**. Disponível em: <<<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Lei das águas**. Agência Nacional de Águas/Capacitação Unesp – Educação a distância, 2013. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/121>>>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Medindo as águas: Noções de Fluviometria e Pluviometria**. Agência Nacional de Águas/Capacitação Unesp – Educação a distância, 2014e. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/122>>>. Acesso 22 jul. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Monitor das Secas do Nordeste**. Disponível em: <<<http://monitordesecas.ana.gov.br/>>>. Acesso em: 01 jul. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **O Comitê de bacia hidrográfica: o que é e o que faz.** Agência Nacional de Águas/Capacitação Unesp – Educação a distância, 2011a. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/57>>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **O Comitê de bacia hidrográfica: práticas e procedimentos.** Agência Nacional de Águas/Capacitação Unesp – Educação a distância, 2011b. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/58>>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das Águas.** Disponível em: <<<http://www3.ana.gov.br/>>>. Acesso em: 11 de nov. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das Águas: Bacia do Atlântico Nordeste Oriental.** Disponível em: <<<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/atlantico-nordeste-oriental>>>. Acesso em: 11 de nov. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das Águas: Bacia do Atlântico Nordeste Oriental - Mapa.** Disponível em: <<<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/todos-os-documentos-do-portal/documentos-spr/mapas-regioes-hidrograficas/atlantico-nordeste-oriental-para-site-ana-a0.pdf>>>. Acesso em: 11 de nov. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das Águas: Região Hidrográfica São Francisco.** Disponível em: <<<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/sao-francisco>>>. Acesso em: 11 de nov. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das Águas: Região Hidrográfica São Francisco -Mapa.** Disponível em: <<<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/todos-os-documentos-do-portal/documentos-spr/mapas-regioes-hidrograficas/sao-francisco-para-site-ana-a0.pdf>>>. Acesso em: 11 de nov. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Práticas mecânicas de conservação de água e solo.** Agência Nacional de Águas/Capacitação Unesp – Educação a distância, 2015. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/62>>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Qualidade das águas em reservatórios.** Agência Nacional de Águas/Capacitação Unesp – Educação a distância, 2012b. Disponível em: <<<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/74>>>.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.** ANEEL / SEIH: Brasília-DF, 2000. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/Guia_avaliacao_assoreamento_2000.pdf/d90d6de5-ba75-4610-9a46-8f49287e03a6>>. Acesso em: 21 nov 2017.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias hidrográficas.** Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias Hidrográficas: Bacia do rio Capibaribe.** Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=14>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias Hidrográficas: Bacia do rio Ipojuca.** Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=17>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias Hidrográficas: Bacia do rio Una.** Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=23>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Ficha técnica dos reservatórios com cota volume.** Disponível em: <<http://apacv5/fichareservatorio_web/fichareservatorio_web.php>>. Acesso: 13 nov. 2017.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Histórico dos volumes dos reservatórios: Jucazinho.** Disponível em: <<http://apacv5/cons_monitora_web/cons_monitora_web.php>>. Acesso: 03 nov. 2017.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos.** Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=3&subpage_id=82>>. Acesso 21 jul 2017.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Reservatórios por porcentagem de acumulação.** Disponível em: <<<http://www.apac.pe.gov.br/monitoramento/>>>. Acesso em:

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Sistema de Geoinformação Hidrometeorológico de Pernambuco.** Disponível em: <<<http://www.apac.pe.gov.br/sighpe>>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

ARAÚJO FILHO, J. C. [et.al.]. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco.** – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/zape/Boletim_de_Pesquisa_Final.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2017.

AZEVEDO, J. R. G. (Org.). **Hidrometria aplicada à gestão de recursos hídricos.** – Recife-PE. Editora da UFPE, 2010.

BAPTISTA, M. COELHO, M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica.** 3ª ed. rev. e ampl. – Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2010.

BRASIL. **Lei Federal nº 9433: Política Nacional dos Recursos Hídricos.** Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério da Integração (MI). **Análise de recursos: Grupo de trabalho para a delimitação do semiárido.** Brasília, Ministério da Integração Nacional 2017. Disponível em: <<<http://sudene.gov.br/images/arquivos/conselhodeliberativo/documentos/analise-recursos-semiarido-GTsemiario-nov2017.pdf>>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento** <<<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>>. Acesso em: 30 nov 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biomass: Caatinga.** Disponível em: <<<http://www.mma.gov.br/biomass/caatinga>>>. Acesso em 19 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biomass: Mata Atlântica**. Disponível em: <<<http://www.mma.gov.br/biomass/mata-atlantica>>>. Acesso em 21 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Desmatamento na Caatinga**. Disponível em: <<<http://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-preven%C3%A7%C3%A3o-do-desmatamento/plano-de-a%C3%A7%C3%A3o-para-caatinga-%E2%80%93ppcaatinga>>>. Acesso em: 08 jul. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Subsídios para a elaboração do plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Caatinga**. – Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/estruturas/168/_arquivos/diagnostico_do_desmatamento_na_caatinga_168.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 222, de 2016: Instituição da Política de Desenvolvimento Sustentável da Caatinga**. Disponível em: <<<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/125968>>>. Acesso: 22 ago. 2017.

BRAVO, J. M. **Subsídios à operação de reservatórios baseada na previsão de variáveis hidrológicas. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010.

CABRAL, J. B. P. **Estudo do processo de assoreamento em reservatórios**. Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Revista on-line Caminhos de Geografia, 62-69. fev/2005.

CARRERA-FERNANDES, J. GARRIDO, R. **Economia dos recursos hídricos**. – Salvador/BA: Editora da UFBA, 2002.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. **Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial**. Revista Brasileira de Geografia Física, v.7, p.755 - 763, 2014.

CIRILO, J.A. **Notas de aula da disciplina Recursos Hídricos**. UFPE, Campus Agreste, 2017.

COLLISCHONN, Walter. DORNELLES, Fernando. **Hidrologia: para Engenharia e Ciências Ambientais**. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2013.

DNPM. **Mineração no semiárido brasileiro**. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (Ministério de Minas e Energia). 2009. Disponível em: <<<https://pt.scribd.com/document/104722723/mineracao-no-semiarido-brasileiro>>>. Acesso em:

DNOCS. **História**. Disponível em: <<<http://www2.dnocs.gov.br/historia>>>. Acesso em:

FORTES, L. P. S. **SIRGAS: O Sistema de Referência Para o Novo Milênio**. IBGE, 2000. Disponível em: <<http://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/outros_documentos_tecnicos/apresentacoes_artigos/2000/seminario_2000_sirgas_d.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

FUNCEME. **Comparação dos mapas do Monitor das Secas do Nordeste**. Disponível em: <<<http://msne.funceme.br/map/mapa-monitor/comparacao>>>. Acesso: 04 nov 2017.

FUNCEME. **Histórico dos dados tabulares de seca.** Disponível em: << <http://msne.funceme.br/map/mapa-monitor/area>>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

FUNCEME. **Tabela de classificação de severidade de seca.** Disponível em: <<<http://msne.funceme.br/pg/pagina/show/214>>>. Acesso em: 05 dez. 2017.

INSA. **Resumo do Semiárido.** Portal Olho n'água. Disponível em: <<<https://olhonagua.insa.gov.br/>>>. Acesso em: 23 nov 2017.

JATOBÁ, L. SILVA, A. GOMES, A. **A abordagem interdisciplinar do tema o domínio morfoclimático dos "mares de morros" em Pernambuco.** Revista Equador (UFPI), Vol.3, nº2, p. 02 - 18 (Julho/Dezembro, 2014). Disponível em: << <http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador/article/viewFile/2777/1790>>>. Acesso em: 22 de set. 2017.

LIOPART, Marta. **Sistemas Meteorológicos Atuantes na América do Sul.** DCA/IAG/USP, 2012. Disponível em: << <http://www.dca.iag.usp.br/www/material/hallak/ACA-0422/Monografia2015/EsbocoApostilaSinotica3.pdf>>>. Acesso em: 23 nov 2017.

MARENGO, J. CUNHA, A. ALVES, L. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico.** INPE/Cemaden, pág. 49-54. – São Paulo, 2016 Disponível em: << <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

MACHADO, P. S. SILVA, V. C. B. **Iniciando no ArcGis: Apostila.** Centro Universitário de Belo Horizonte. – Belo Horizonte/MG: Uni-BH, 2010. Disponível em: << <https://unibhgeografia.files.wordpress.com/2011/04/apostila-arcgis-prof-patricia.pdf>>>. Acesso: 18 nov. 2018.

MASSAD, Façal. **Obras de terra: Curso básico de Geotecnia.** 2ª ed. – São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos hídricos Princípios, integração e Aplicação** 2a Edição Revista e Ampliada. Porto Alegre : ABRH, 2013, v.1. p.572.

MORAES NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações.** 3ª ed. – São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

PAIVA, J. B. D. PAIVA, E. M. C. D. (Org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** ABRH; Porto Alegre - 2003.

PINTO, N. L. S. *et al.* **Hidrologia básica.** – São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

PORTAL Brasil. Disponível em: << <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2014/08/caatinga-abriga-27-milhoes-de-pessoas-e-ocupa-11-do-pais>>>. Acesso em: 08 jul. 2017.

QGIS Brasil. **Descubra o QGIS: A liderança do SIG de código aberto.** Disponível em: << https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

PROBIO. **Levantamento da cobertura vegetal nativa do bioma Mata Atlântica: Relatório Final**. Rio de Janeiro, 2007.

RAMOS, N. M. R. **Modelagem na gestão de sistemas hídrico integrados no semiárido brasileiro: Estudo de caso do Agreste pernambucano**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. – Recife, UFPE, 2017.

SERAFIM JUNIOR, M., et al. Zooplâncton. In: CUNHA, C.L.N., CARNEIRO, C. GOBBI, E.F., ANDREOLI, C.V. Eutrofização em Reservatórios: Gestão Preventiva. Estudo Interdisciplinar na Bacia do Rio Verde, PR. Editora: UFPR, Curitiba, PR, 2011. Cap. 14, p. 307-322.

SFB. SERVIÇO Florestal Brasileiro. **Recursos Florestais: Os biomas e suas florestas**. Disponível em: <<<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas>>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco**. Recife, 1998. Disponível em: <<http://www.srhe.pe.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=458:perh-plano-estadual-de-recursos-hidricos-1998&catid=42:documentos&Itemid=75>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco: Volume 2**. Recife, 1998. Disponível em: <<<http://www.srhe.pe.gov.br/attachments/article/458/volume2.pdf>>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Capibaribe**. Disponível em: <<http://www.srh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/bacia_capibaribe/index.php/download>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Capibaribe: Tomo I. Diagnóstico ambiental. Vol 1**. Recife, 2010a. Disponível em: <<<http://www.srh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/files/capibaribe/TOMO%20I%20-%20VOL.%20I%20-%20Diagnostico-21.07.11.pdf>>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Capibaribe: Tomo IV. Resumo Executivo**. Recife, 2010a. Disponível em: <<http://www.srh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/files/capibaribe/TOMO%20IV%20-%20REX_PHACapibaribe_Final.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Ipojuca**. Disponível em: <<http://www.srh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/bacia_ipojuca/index.php/download>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Plano Hidroambiental da Bacia do Ipojuca: Tomo I. Diagnóstico ambiental. Vol 1**. Recife, 2010b. Disponível em: <<<http://www.srh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/files/ipojuca/TOMO%20I%20-%20VOL.%20I%20-%20Diagnostico-2010.09.11.pdf>>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SRH. SECRETARIA de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Plano Hidroambiental da Bacia do Ipojuca: Tomo IV. Resumo Executivo**. Recife, 2010d. Disponível em: <<http://www.srh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/files/ipojuca/TOMO%20IV-REX_PHAipojuca_260711.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SOARES, E. **Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco**. Geografias: Artigos científicos. 01/07/13-31/12/13. Vol 9, nº 2, 76-86. – Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geografias/article/viewFile/593/463>>>. Acesso em: .

SPERLING, M. **Tratamento de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFMG, 2002.

TEIXEIRA, W *et. al.* **Decifrando a Terra**. – São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.

TERRA, L. COELHO, M. A. **Geografia geral: O espaço natural e socioeconômico**. 5ª ed. rev. e ampl. – São Paulo: Editora Moderna, 2005.

TORRES, F. T. P. MACHADO, P. J. O. **Introdução à hidrogeografia**. – São Paulo: Cengage Learning, 2012.

TORRES, F. T. P. MARQUES NETO, R. MENEZES, S. O. **Introdução à geomorfologia**. – São Paulo: Cengage Learning, 2012.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. – 4. Ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

TUCCI, Carlos E. M. **Modelos hidrológicos**. – 2. Ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

GLOSSÁRIO

Assoreamento: é a obstrução por material sedimentar, sendo mais comum nos corpos e cursos hídricos que apresentam baixa turbulência águas (TUCCI, 2004; pág. 918).

Barlavento: É a face de uma elevação natural voltada para o sentido dos deslocamentos das massas de ar, ou seja, é o lado da montanha que resiste aos ventos (TERRA; COELHO, 2005, pág. 217).

Coordenadas geográficas: São um sistema de linhas imaginárias (paralelos e meridianos) que servem para localizar um ponto ou acidente geográfico na superfície terrestre. (TERRA; COELHO, 2005, pág. 37)

Datum: “Ponto fixo fundamentado e solidamente materializado, conhecido e que seja utilizado como referência para o estabelecimento de qualquer outro ponto” na concepção de um novo sistema geodésico. (ANA, 2012a, pág. 31).

Estação Telemétrica: diz respeito a estrutura que coleta e transmite dados ambientais à longa distância em tempo real, para uma central de coleta das informações, dispensando também a intervenção humana (Azevedo, 2010, pág. 186).

Linígrafo: Aparelho que registra continuamente variações no nível de água, podendo ser instalado em pilares de pontes ou poços escavados na margem. (ALVAREZ; GARCEZ, 1988, p. 217 e AZEVEDO, 2010, p. 285).

PCD - Plataforma de Coleta de Dados: é uma estação telemétrica que incorpora, além do módulo de armazenamento e coleta, o sistema de transmissão composto de transmissores e antenas. (ANA, 2014e).

Porosidade: Medida relativa do volume de vazios pelo volume total de solo analisado (PINTO, 1978, pág. 24).

Sedimentologia: É o estudo dos corpúsculos de sedimentos passíveis de ser carreados por um fluido, levando em conta os processos climatológicos, ou outros aspectos geológicos (AZEVEDO, 2010, pág. 213).

Sotavento: Está relacionado a influência do relevo sobre o clima. Sendo considerado o lado por onde se desloca o vento após transpor uma montanha, já sem umidade. (ANA, 2014b, pág. 9).

APÊNDICE A - TABELA QGIS - JUCAZINHO

Baseando a discussão desenvolvida na Seção 5.1.1 , expressa-se a Tabela 21.

Tabela 21 – Valores da comparação das curvas cota-volume da APAC e QGis, no sistema SIRGAS 2000 25S, para o reservatório de Jucazinho

Cota (m)	Volume (m³)			
	APAC (m³)	QGis – Calculado (m³)	QGis ⁵³ - Acumulado (m³)	Diferença (%)
236	0,00	-	0,00*	0,00%
237	6.400,00	-	6.400,00*	0,00%
238	55.050,00	-	55.050,00*	0,00%
239	154.275,00	-	154.275,00*	0,00%
240	283.750,00	-	283.750,00*	0,00%
241	513.875,00	-	513.875,00*	0,00%
242	906.375,00	-	906.375,00*	0,00%
243	1.407.500,00	-	1.407.500,00*	0,00%
244	1.961.875,00	-	1.961.875,00*	0,00%
245	2.580.125,00	-	2.580.125,00*	0,00%
246	3.273.000,00	-	3.273.000,00*	0,00%
247	4.080.125,00	-	4.080.125,00*	0,00%
248	4.995.625,00	-	4.995.625,00*	0,00%
249	5.987.900,00	-	5.987.900,00*	0,00%
250	7.093.175,00	-	7.093.175,00*	0,00%
251	8.273.425,00	264.542,2301	7.357.717,2301	-11,07%
252	9.628.175,00	1.286.436,6069	8.379.611,6069	-12,97%
253	11.193.425,00	2.400.687,2938	9.493.862,2938	-15,18%
254	12.845.175,00	3.595.779,8215	10.688.954,8215	-16,79%
255	14.671.054,00	4.852.577,8996	11.945.752,8996	-18,58%
256	16.811.807,00	6.170.937,6197	13.264.112,6197	-21,10%
257	19.406.023,00	7.556.557,7403	14.649.732,7403	-24,51%
258	22.327.329,00	9.024.574,2156	16.117.749,2156	-27,81%
259	25.343.260,00	10.593.602,2066	17.686.777,2066	-30,21%
260	28.445.441,00	12.257.473,2258	19.350.648,2258	-31,97%
261	31.640.247,00	14.025.617,6944	21.118.792,6944	-33,25%
262	34.955.803,00	15.917.856,0792	23.011.031,0792	-34,17%
263	38.572.859,00	17.950.366,9238	25.043.541,9238	-35,07%
264	42.434.040,00	20.106.845,1880	27.200.020,1880	-35,90%
265	46.383.971,00	22.408.605,5169	29.501.780,5169	-36,40%

Continua...

Tabela 21 - Valores da comparação das curvas cota-volume da APAC e QGis, no sistema SIRGAS 2000 25S, para o reservatório de Jucazinho (Continuação)

Cota (m)	APAC (m³)	QGis – Calculado (m³)	QGis - Acumulado (m³)	Diferença (%)
----------	-----------	-----------------------	-----------------------	---------------

⁵³ Os asteriscos (*) indicam que o valor não foi calculado, apenas copiado da curva da APAC.

266	50.514.277,00	24.877.806,2858	31.970.981,2858	-36,71%
267	55.049.183,00	27.528.802,8836	34.621.977,8836	-37,11%
268	60.069.429,00	30.362.062,7077	37.455.237,7077	-37,65%
269	65.480.093,00	33.379.554,4190	40.472.729,4190	-38,19%
270	71.698.526,00	36.594.430,4393	43.687.605,4393	-39,07%
271	78.566.441,00	40.022.420,1583	47.115.595,1583	-40,03%
272	85.934.128,00	43.690.272,3536	50.783.447,3536	-40,90%
273	93.915.011,00	47.601.145,7363	54.694.320,7363	-41,76%
274	102.313.400,00	51.764.580,1173	58.857.755,1173	-42,47%
275	111.189.277,00	56.212.649,5548	63.305.824,5548	-43,06%
276	120.436.274,00	60.979.149,1864	68.072.324,1864	-43,48%
277	130.125.210,00	66.103.120,4093	73.196.295,4093	-43,75%
278	140.191.019,00	71.624.543,1788	78.717.718,1788	-43,85%
279	150.626.381,00	77.562.787,4981	84.655.962,4981	-43,80%
280	161.493.524,00	83.902.995,8725	90.996.170,8725	-43,65%
281	172.947.383,00	90.629.215,8211	97.722.390,8211	-43,50%
282	185.079.124,00	97.752.868,1355	104.846.043,1355	-43,35%
283	197.659.316,00	105.297.673,8778	112.390.848,8778	-43,14%
284	210.548.128,00	113.292.447,8054	120.385.622,8054	-42,82%
285	223.903.941,00	121.771.158,9881	128.864.333,9881	-42,45%
286	237.724.253,00	130.740.798,1987	137.833.973,1987	-42,02%
287	251.884.128,00	140.230.479,6750	147.323.654,6750	-41,51%
288	266.410.533,00	150.274.323,0093	157.367.498,0093	-40,93%
289	281.141.033,00	160.913.716,5271	168.006.891,5271	-40,24%
290	296.053.064,00	172.187.047,3546	179.280.222,3546	-39,44%
291	311.299.219,00	184.128.063,6550	191.221.238,6550	-38,57%
292	327.035.812,00	196.745.167,2344	203.838.342,2344	-37,67%
293	343.160.164,00	209.967.863,4256	217.061.038,4256	-36,75%
294	359.679.985,00	223.847.019,2056	230.940.194,2056	-35,79%
295	376.592.421,00	238.452.307,0351	245.545.482,0351	-34,80%
296	393.718.670,00	253.894.710,0082	260.987.885,0082	-33,71%
297	411.308.699,00	270.272.816,8965	277.365.991,8965	-32,57%
298	429.679.197,00	287.626.747,2615	294.719.922,2615	-31,41%
299	448.998.447,00	306.001.440,3414	313.094.615,3414	-30,27%
300	469.549.290,00	325.433.455,2194	332.526.630,2194	-29,18%
VARIAÇÃO MAIS EXTREMA				-43,85%

Fonte: Autor (2017)

APÊNDICE B - DIVERGÊNCIAS ENTRE O QGIS E O ARCGIS

Nesta seção, foram comparadas apenas as curvas de cota-área do reservatório de Jucazinho encontradas pelo QGIS, no sistema SIRGAS 2000, e pelo ArcGis, na modalidade Planar e Geoidal, também no mesmo sistema geodésico.

Os valores estão dispostos na Tabela 22, onde observa-se que em relação a QGIS, os dados do ArcGis foram, em média, 1,15% menores para a análise Planar, e 1,31% menores na análise geoidal.

Tabela 22 – Comparação entre o QGIS e o ArcGis no tratamento dos dados de Jucazinho

Cota (m)	QGIS Sirgas 2000 (m ²)	ArcGis Planar (m ²)	Diferença (%)	ArcGis Geoidal (m ²)	Diferença (%)
251	989.419,30	978.118,5300	-1,16%	976.662,0900	-1,31%
253	1.182.058,83	1.168.549,1700	-1,16%	1.166.806,0000	-1,31%
255	1.303.638,58	1.288.850,8600	-1,15%	1.286.927,3200	-1,30%
257	1.443.875,88	1.426.301,5200	-1,23%	1.424.171,2400	-1,38%
259	1.634.010,75	1.615.406,4200	-1,15%	1.612.989,9400	-1,30%
261	1.850.810,11	1.829.958,3600	-1,14%	1.827.216,0900	-1,29%
263	2.113.131,81	2.088.768,3600	-1,17%	2.085.631,0900	-1,32%
265	2.415.484,82	2.386.895,0800	-1,20%	2.383.281,1600	-1,35%
267	2.781.738,67	2.750.150,7300	-1,15%	2.745.997,1900	-1,30%
269	3.143.088,98	3.107.734,9900	-1,14%	3.103.028,4500	-1,29%
271	3.593.977,27	3.552.742,2600	-1,16%	3.547.338,7400	-1,31%
273	4.072.752,78	4.026.531,1100	-1,15%	4.020.385,7900	-1,30%
275	4.715.880,38	4.661.154,3100	-1,17%	4.654.003,9300	-1,33%
277	5.477.747,87	5.415.738,7600	-1,14%	5.407.385,7000	-1,30%
279	6.296.962,74	6.228.110,7000	-1,11%	6.218.471,2100	-1,26%
281	7.065.868,32	6.986.001,8700	-1,14%	6.975.163,0200	-1,30%
283	8.283.990,52	8.190.303,2200	-1,14%	8.177.601,8400	-1,30%
285	9.226.237,44	9.122.558,0300	-1,14%	9.108.376,5200	-1,29%
287	10.286.178,03	10.169.721,8800	-1,15%	10.153.889,5600	-1,30%
289	11.442.615,88	11.313.054,2700	-1,15%	11.295.395,4300	-1,30%
291	12.806.572,55	12.662.642,1000	-1,14%	12.642.815,3300	-1,30%
292	13.471.997,52	13.322.134,0200	-1,12%	13.301.227,1900	-1,28%
293	14.148.255,20	13.988.966,4300	-1,14%	13.966.966,6600	-1,30%
295	16.153.973,96	15.972.494,2300	-1,14%	15.947.309,2400	-1,30%
297	17.927.391,21	17.726.261,1100	-1,13%	17.698.226,3500	-1,29%
300	21.242.171,34	21.001.163,8400	-1,15%	20.967.770,0800	-1,31%
VARIAÇÃO MAIS EXTREMA			-1,23%		-1,38%

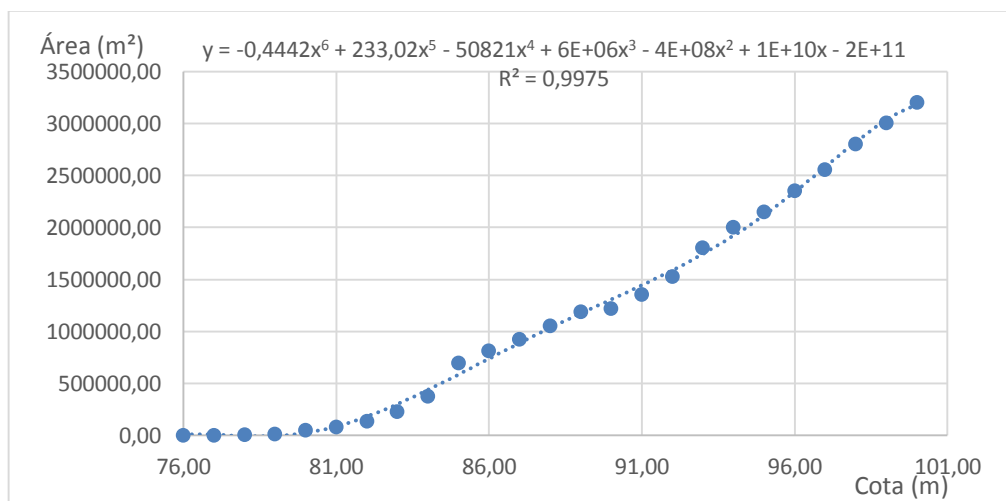
Fonte: Autor (2017)

ANEXO A - CURVAS APAC

Nessa seção, há uma miscelânea de gráficos com as curvas cota-área e cota-volume foram obtidas com dados da Agência Pernambucana de Águas e Climas. Plotando-se os pontos, com auxílio do *Microsoft Excel*, foi possível construir regressões polinomiais para as curvas, com as Linhas de tendência, cuja equação e o coeficiente de correlação associado estão apresentados na área de plotagem.

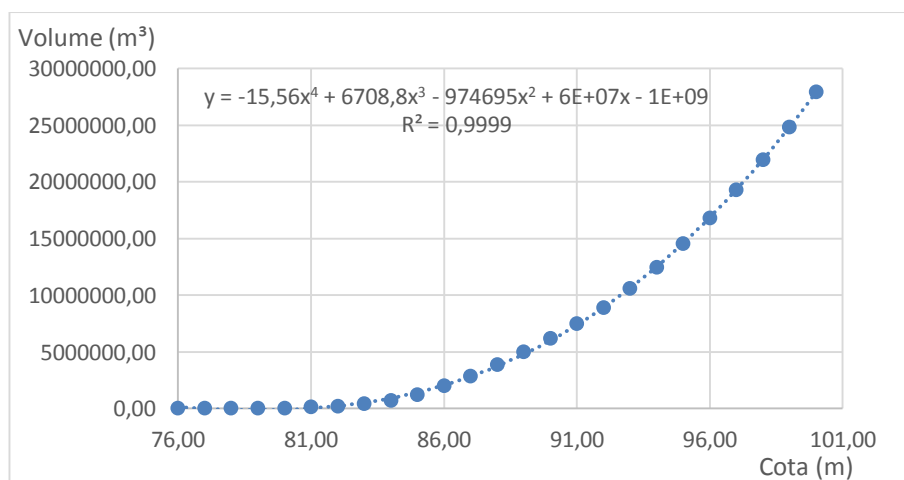
A.A. Bitury

Figura 60 – Curva cota-área do reservatório Bitury



Fonte: APAC

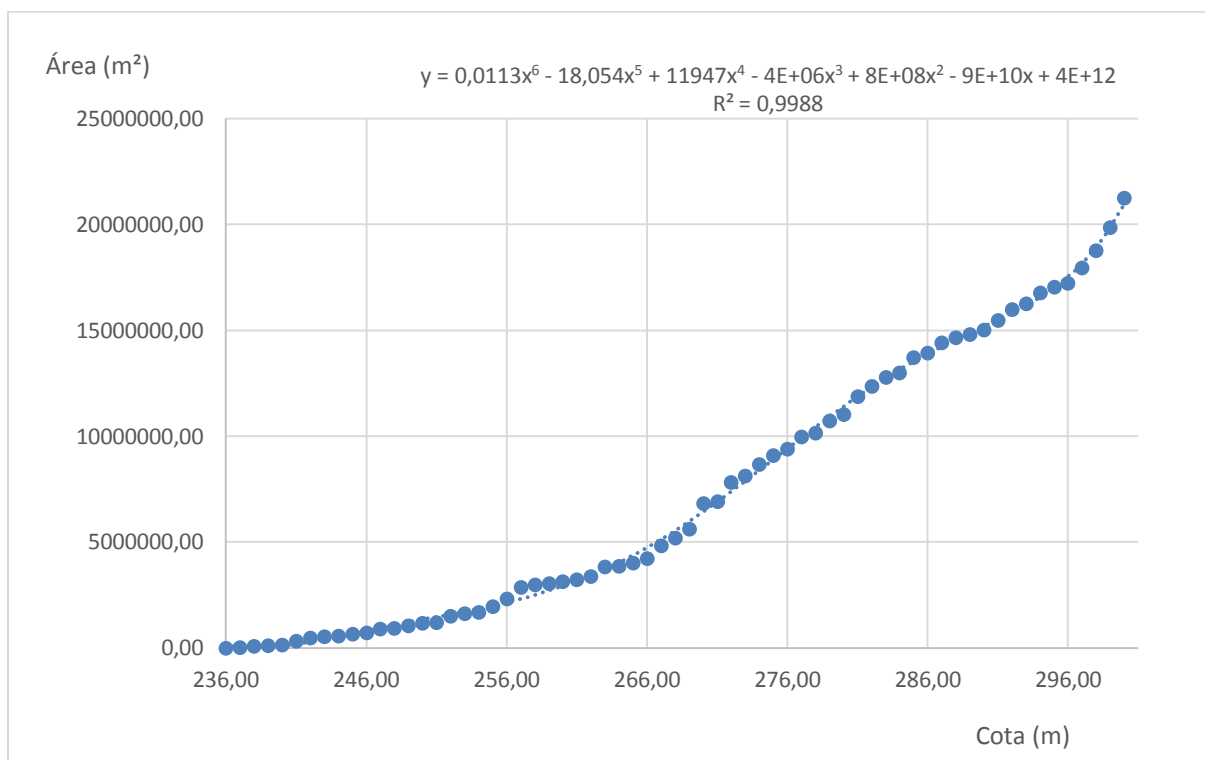
Figura 61 – Curva cota-volume, Bitury



Fonte: APAC

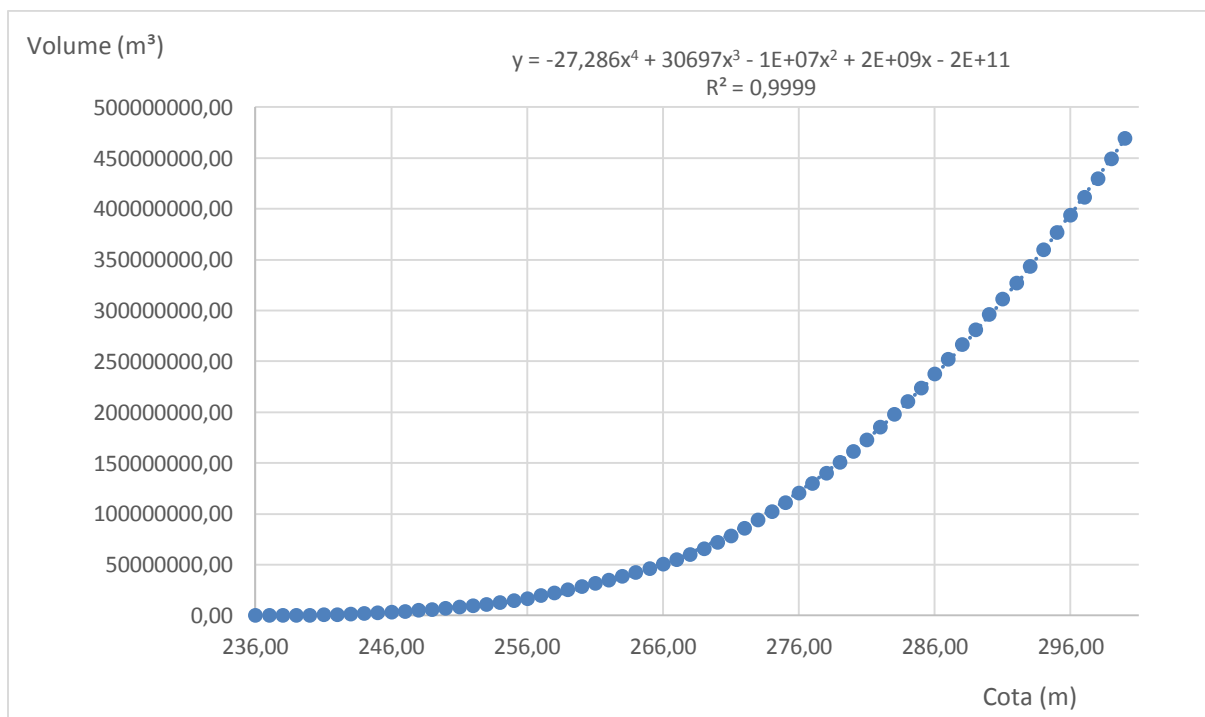
A.B. Jucazinho

Figura 62 – Curva cota-área - Jucazinho



Fonte: APAC

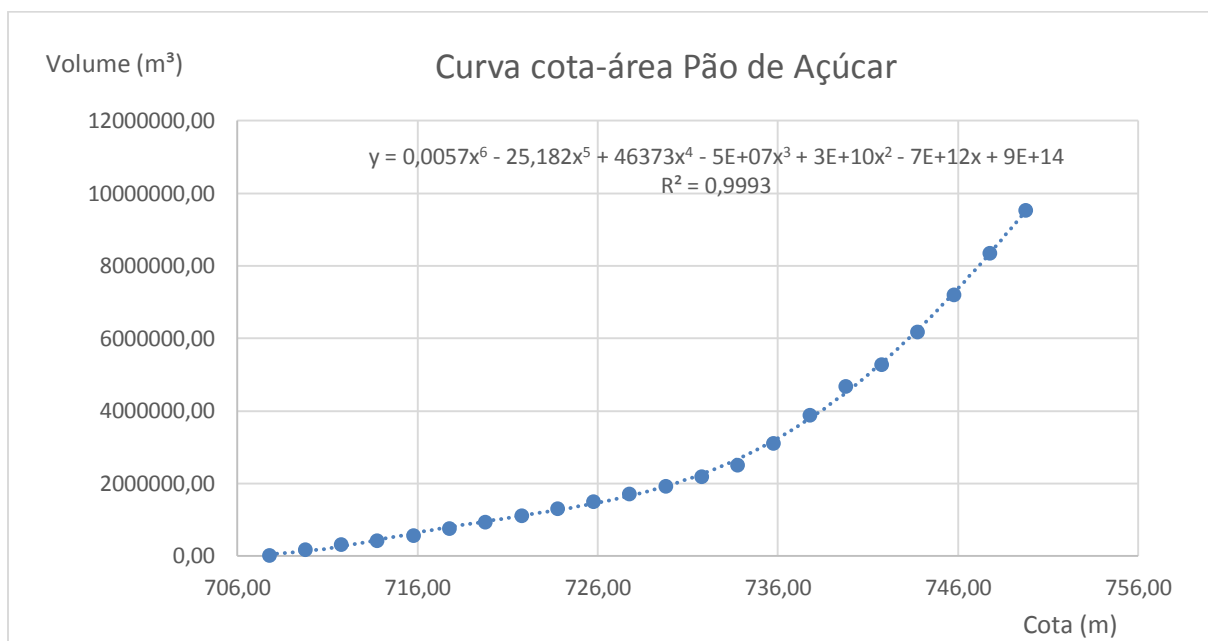
Figura 63 – Gráfico cota-volume, Jucazinho



Fonte: APAC

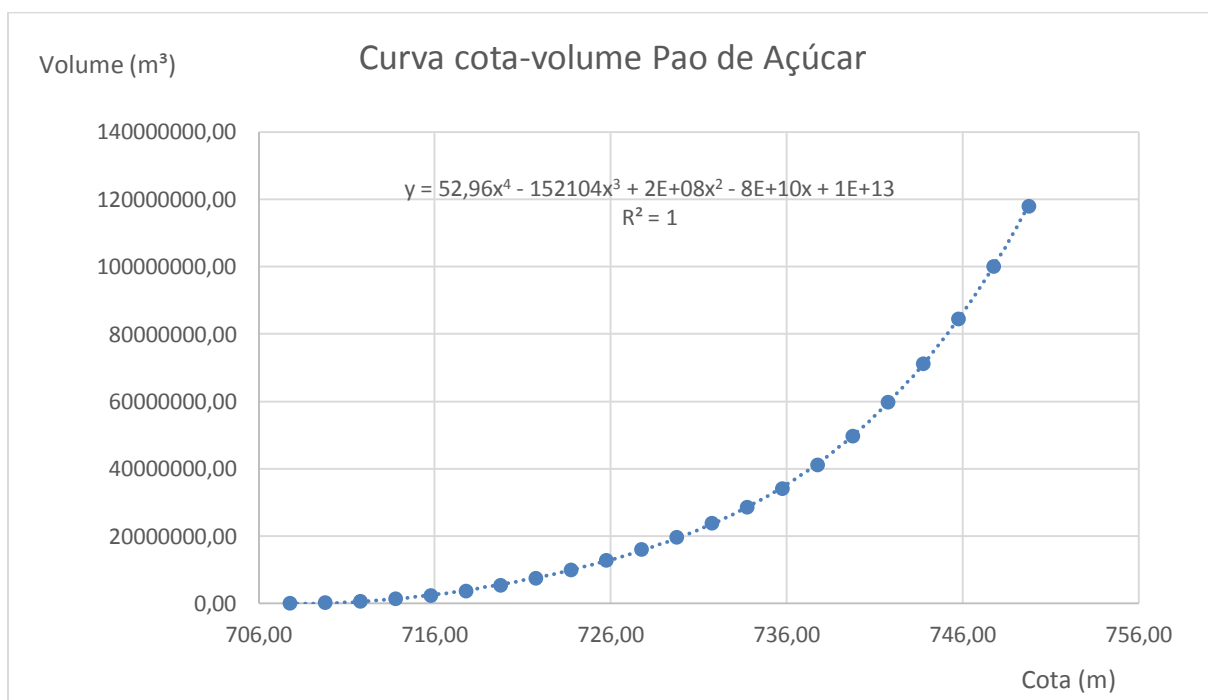
A.C. Pão de Açúcar

Figura 64 – Curva cota-área - Pão de Açúcar



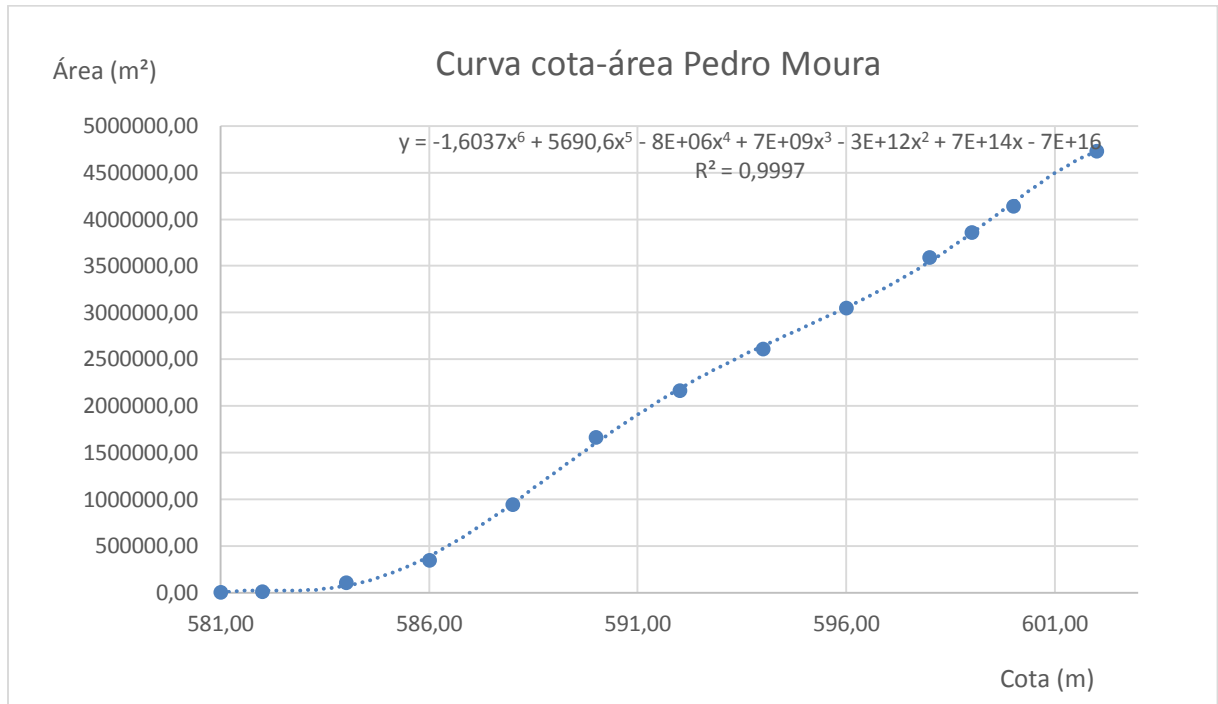
Fonte: APAC

Figura 65 – Curva cota-volume, Pão de Açúcar



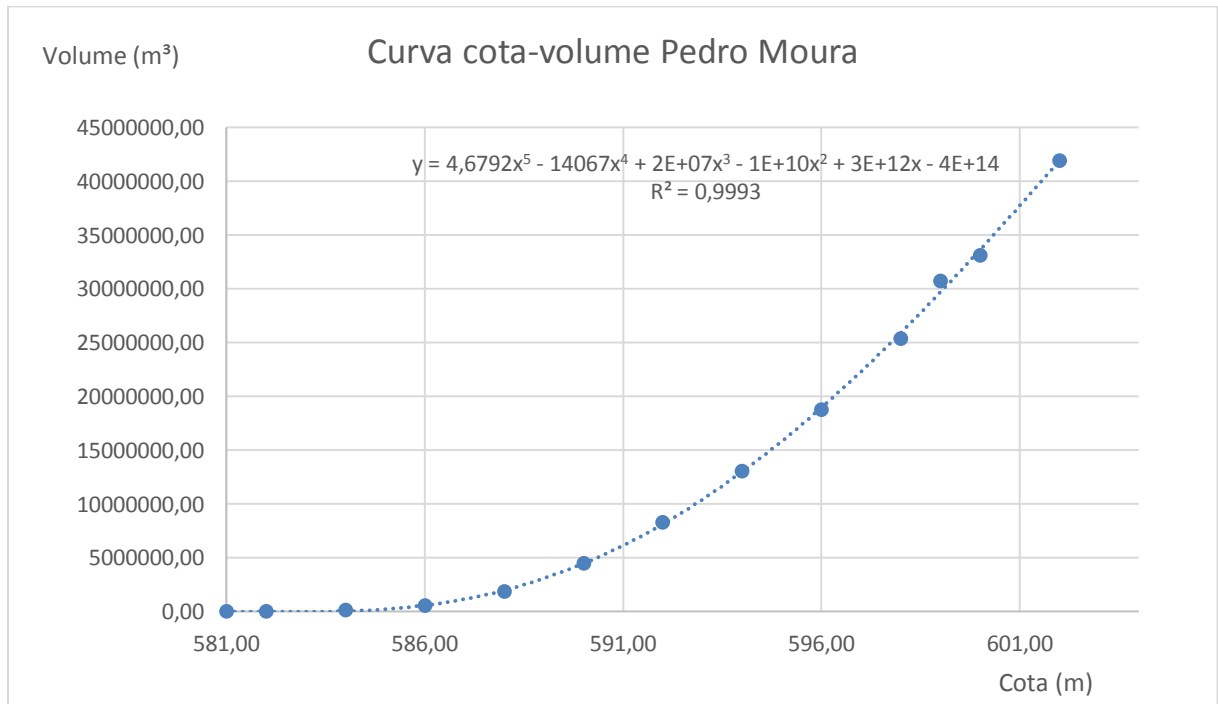
Fonte: APAC

Figura 66 – Curva cota-área – Pedro Moura Jr.



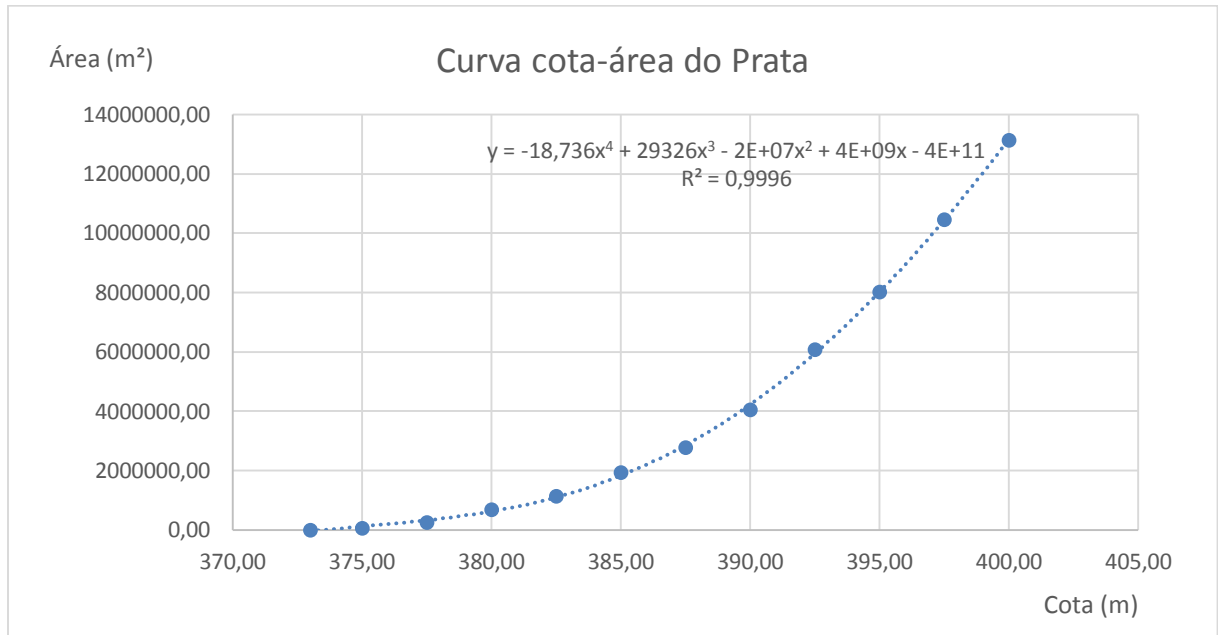
Fonte: APAC

Figura 67 – Curva cota-volume, Pedro Moura Jr



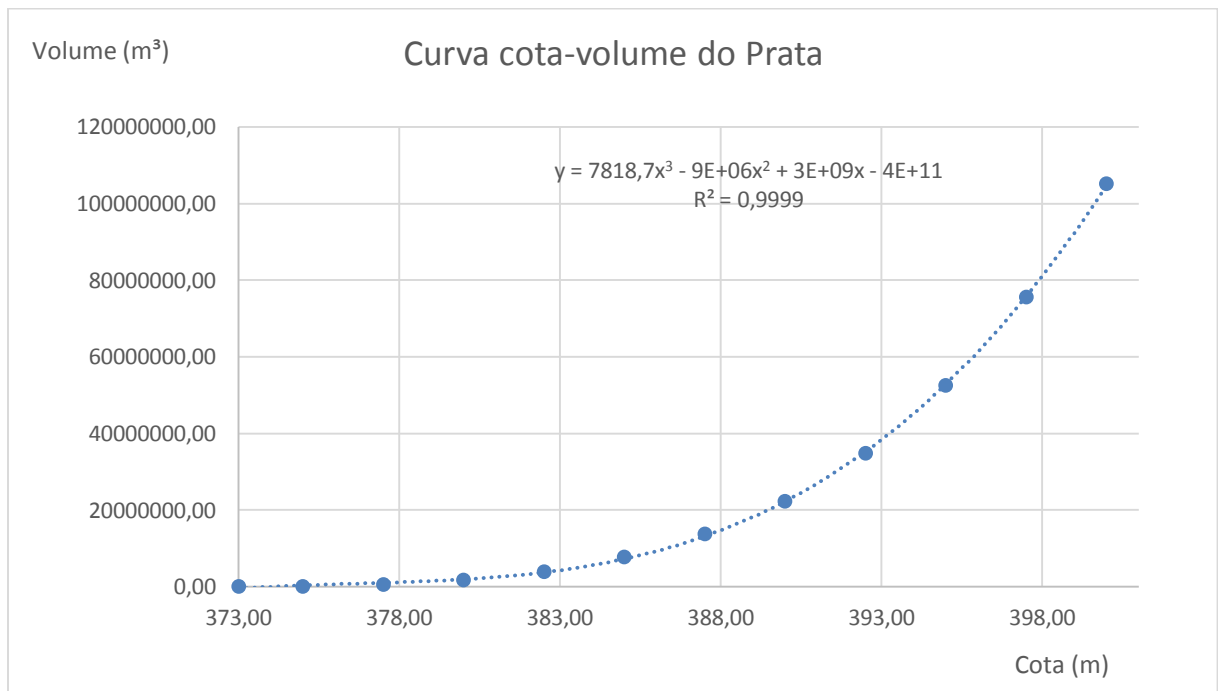
Fonte: APAC

Figura 68 – Curva cota-área - Prata



Fonte: APAC

Figura 69 – Curva cota-volume, Prata



Fonte: APAC

ANEXO B - 50 MAIORES RESERVATÓRIOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Tabela 23 – 50 maiores reservatórios de Pernambuco

	Reservatório	Capacidade Máxima (hm ³)	Município	Bacia Hidrográfica
1	Eng. Francisco Saboia	504.000,00	Ibimirim	Moxotó
2	Entremontes	339.333,70	Parnamirim	Brígida
3	Jucazinho	327.035,82	Surubim	Capibaribe
4	Serrinha II	311.080,00	Serra Talhada	Pajeú
5	Serro Azul	303.120,00	Palmares	Una
6	Carpina	270.000,00	Lagoa do Carro	Capibaribe
7	Chapéu	188.000,00	Parnamirim	Brígida
8	Saco II	123.523,51	Santa Maria da Boa Vista	Garças
9	Tapacurá	94.200,00	São Lourenço da Mata	Capibaribe
10	Barra Do Juá	71.474,00	Floresta	Pajeú
11	Pirapama	60.937,00	Cabo De Santo Agostinho	Gl2
12	Algoões	58.481,87	Ouricuri	Brígida
13	Goitá	52.535,58	São Lourenço da Mata	Capibaribe
14	Prata	42.147,00	Bonito	Una
15	Saco I	36.000,00	Serra Talhada	Pajeú
16	Rosário	34.990,00	Igaraci	Pajeú
17	Pão De Açúcar	34.230,60	Pesqueira	Ipojuca
18	Cachimbo	31.207,01	Parnamirim	Brígida
19	Pedro Moura Jr. (Belo Jardim)	30.740,00	Belo Jardim	Ipojuca
20	Poço Fundo	27.750,00	Santa Cruz do Capibaribe	Capibaribe
21	Botafogo	27.689,50	Igarassu	Gl1
22	Eng. Camacho	27.664,50	Ouricuri	Brígida
23	Lopes II	23.935,36	Bodocó	Brígida
24	Duas Unas	23.548,50	Jaboatão dos Guararapes	Gl2
25	Lagoa Do Barro	22.947,85	Araripina	Brígida
26	Nilo Coelho (Terra Nova)	22.710,91	Terra Nova	Terra Nova
27	Marrecas	21.623,10	Custodia	Moxotó
28	Cachoeira II	21.031,15	Serra Talhada	Pajeú
29	Brotas	19.639,58	Afogados da Ingazeira	Pajeú

Continua...

Tabela 23 – 50 maiores reservatórios de Pernambuco (Continuação)

	Reservatório	Capacidade Máxima (hm ³)	Município	Bacia Hidrográfica
30	Mundaú II (Cajueiro)	19.283,20	Garanhuns	Mundaú
31	Eng. Severino Guerra (Bitury)	17.776,47	Belo Jardim	Ipojuca
32	Guararema (Aliança)	17.762,09	Aliança	Goiana
33	Sirigi	17.260,00	Vicência	Goiana
34	Boa Vista (Salgueiro)	16.448,45	Salgueiro	Terra Nova
35	Jazigo	15.543,30	Serra Talhada	Pajeú
36	Salgueiro	14.698,20	Verdejante	Terra Nova
37	Arrodeio	14.522,10	São Jose do Belmonte	Pajeú
38	Arcoverde/Riacho do Pau	14.454,60	Pedra	Ipanema
39	Aboboras	14.350,00	Parnamirim	Terra Nova
40	Eng. Gercino Pontes	13.600,00	Caruaru	Capibaribe
41	Cursai	13.033,99	Paudalho	Capibaribe
42	Pau Ferro (Una)	12.174,95	Quipapá	Una
43	Vira Beiju	11.800,00	Petrolina	Pontal
44	Várzea do Una	11.568,01	São Lourenco da Mata	Capibaribe
45	Caiçara	10.500,00	Parnamirim	Brígida
46	Utinga/Tabatinga	10.270,00	Ipojuca	Gl2
47	Inhumas	7.872,86	Palmeirina	Mundaú
48	São José II	7.152,88	São Jose do Egito	Pajeú
49	Palmeirinha/Pedrafina	6.500,00	Bom Jardim	Goiana
50	Tiuma	6.109,16	Timbaúba	Goiana

Fonte: APAC

ANEXO C - DÉFICITS NO ABASTECIMENTO NO AGRESTE

Tabela 24 – Déficit máximos e médios observados em cidades do Agreste, no estudo de Ramos (2017)

Cidade	Déficit Máximo (L/s)	Déficit Médio (L/s)
Agrestina	44,27	41,94
Águas belas	65,10	56,60
Alagoinha	49,80	29,00
Altinho	39,73	39,73
Angelim	6,00	4,50
Barra de Guabiraba	5,00	4,10
Belo Jardim	169,90	65,60
Bezerros	23,09	22,25
Bom Conselho	90,20	69,32
Bonito	4,00	2,00
Brejão	8,00	7,80
Brejo da Madre de Deus	9,90	9,40
Cachoeirinha	0,02	0,02
Caetes	5,70	4,00
Calçado	6,00	4,50
Camocim de São Félix	37,59	0,47
Canhotinho	10,00	7,50
Capoeiras	5,00	3,57
Caruaru	650,00	211,48
Correntes	5,30	3,10
Cumaru	15,00	15,00
Cupira	48,39	47,80
Frei Miguelinho	3,50	3,50
Garanhuns	110,00	33,82
Gravatá	174,02	167,71
Ibirjuba	2,00	0,50
Jataúba	7,91	5,00
João Alfredo	4,10	3,10
Jucati	48,40	47,80
Jupi	3,27	2,50

Continua...

Tabela 24 – Déficit máximos e médios observados em cidades do Agreste, no estudo

de Ramos (2017) (Continuação)

Cidade	Déficit Máximo (L/s)	Déficit Médio (L/s)
Jurema	6,00	4,50
Lagoa do Ouro	5,30	4,00
Lagoa dos Gatos	20,00	19,60
Lajedo	60,00	53,10
Machados	7,80	6,30
Palmeirina	4,00	3,50
Panaratama	3,00	2,30
Panelas	10,70	8,70
Passira	10,32	10,10
Pesqueira	20,54	16,54
Poção	3,99	2,99
Riacho das Almas	3,76	3,35
Sairé	4,60	2,60
Salgadinho	3,00	3,00
Saloá	10,33	8,33
Sanharó	9,00	8,47
Santa Cruz do Capibaribe	42,91	41,99
Santa Maria do Cambucá	15,00	15,00
São Bento do Una	42,00	38,41
São Caetano	69,09	21,48
São Joaquim do Monte	18,00	16,00
Surubim	27,10	2,10
Surubim	27,10	26,10
Tacaimbó	9,00	7,32
Taquaritinga do Norte	28,00	11,14
Terezinha	5,00	4,30
Toritama	16,75	16,75
Tupanatinga	9,00	7,50
Venturosa	9,50	7,40
Vertente do Lério	2,00	2,00
Vertentes	14,39	14,39
TOTAL	2168,37	1302,87

Fonte: Ramos (2017, pág. 88).

ÍNDICE

- Açudagem, 49
- Adutora
 - Pirangi, 64
- Agência de água, 33
- Agreste, 63
- Agricultura
 - Irigada, 56
 - Sequeiro, 56
- Altitude relativa
 - Elipsoidal, 41
 - Geoidal, 41
 - Ortométrica, 41
- ANA, 51
- ArcGis, 81
- Assoreamento, 26, 30
- Atributos
 - Especiais, 45
 - Temáticos, 45
 - Temporais, 45
- Balanço hídrico, 24
- Banco de dados, 35, 39
- Barragem, 24
 - Bitury, 76, 110
 - Jucazinho, 66, 74, 81, 91
 - Pão de Açúcar, 67, 77, 96
 - Pedro Moura Jr., 78, 108
 - Prata, 69, 79, 105
 - Serro Azul, 47, 69
 - Zoneamento, 28
- Batimetria, 25
- Capacidade hídrica, 30
- Capibaribe
 - Bacia, 65
 - Rio, 65
- Cartografia, 38, 41
- Chesf, 50
- Ciclo
 - Hidrosedimentológico, 26
- Cobrança pelo uso, 35
- Comitê de bacia hidrográfica, 33, 34
- Contorno, 82
- Coordenadas geográficas, 42, 123
- Curva
 - Cota-área, 25
 - Cota-volume, 25
- Curva-guia, 37
- Datum, 41, 123
- Déficit hídrico, 88
- Demanda hídrica, 53
- Disponibilidade hídrica, 50, 53

- DNOCS, 50
- Elipsoide, 41
- Epilímnio, 30
- Escoamento
 - Superficial, 24
- Estação
 - Pluviométrica, 50
 - Telemétrica, 123
- Estrutura de dados
 - de atributos, 45
 - Geométrico Matricial (Raster), 44
 - Geométrico Vetorial, 44
- Fluviometria, 25
- Gatilho, 87
- Geoide, 41
- Geoprocessamento, 38, 39
- Gestão de informação, 38
- GIS, 39
- Hedging rule, 37
- Hidrometria, 25
- Hidrosedimentologia, 26
- Hipolímnio, 30
- Índice
 - Evapotranspiração, 26
- Ipojuca
 - Bacia, 67
 - Rio, 67
- Lei das Águas, 33, 51
- Linígrafo, 25
- Metalímnio, 30
- Modelagem
 - de dados, 39
 - Hidrológica, 35
 - Hídrológica, 24
- Monitor das Secas, 57
- Mosaico, 82
- Níveis de seca, 58
- Pack rule, 37
- PCD
 - Ver Plataforma de Coleta de Dados, 123
- Perenização, 53
- Pernambuco Tridimensional, 46
- Pirangi
 - Adutora, 64
 - Rio, 102
- Pixel, 45
- Plano de Recursos Hídricos, 33
- Plataforma de Coleta de Dados, 123
- Pluviometria, 25
- Polígono das secas, 55
- Política Nacional de Recursos Hídricos, 33
- Projeção cartográfica, 42
- Projeção de Mercator, 42
- QGis, 81

- Quadrícula, 81
- Racionamento, 37
- Radar, 40
- Raster, 45
 - Ver Estrutura de dados, 44
- Regime Hídrico
 - Intermitente, 52
- Regime hidrodinâmico, 28
- Régua linimétrica, 25
- Regularização de vazões, 37, 53
- Reservatório
 - Nível de operação, 36
 - Volume característico, 36
- Resolução espacial, 40
- Secas, 48
- Sedimentação, 26
 - Tipos de deposição, 31
- Sedimentologia, 26
- Sedimentos, 30
- Semiárido, 50, 52, 55
- Sensores, 40
 - Ativos, 40
 - Passivos, 40
- Sensoriamento Remoto, 39
- Sertão, 55
- SIG, 39, 44
- SINGREH, 51
- SIRGAS 2000, 43
- Sistema
 - Prata, 102
- Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, 35
- Sistema Geodésico, 43
- Sistemas de Coordenadas, 42
- SUDENE, 50
- Tempo de residência, 27
- Termoclina, 30
- Transposição hídrica, 63
 - São Francisco, 63
- Una
 - Bacia, 68
 - Rio, 69
- UTM, 42
- Vazão regularizada
 - Ver Regularização de vazões, 37
- Vida útil, 32