UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MESTRADO

GESTÃO DA ÁGUA, GESTÃO DA SECA: A CENTRALIDADE DO AÇUDE NO GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO

JOSÉ CARLOS DANTAS

João Pessoa – PB
Fevereiro de 2018

JOSÉ CARLOS DANTAS

GESTÃO DA ÁGUA, GESTÃO DA SECA: A CENTRALIDADE DO AÇUDE NO GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentadaao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos obrigatórios exigidos pelo referido programa para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Território, Trabalho e Ambiente.

Linha de pesquisa: Gestão do Território e Análise Geoambiental.

Orientador: Prof.Dr. Richarde Marques da Silva

João Pessoa – PB
Fevereiro de 2018

D192g Dantas, José Carlos.
Gestão da água, gestão da seca: a centralidade do açude no gerenciamento dos recursos hidrícos do semiárido / José Carlos Dantas. - João Pessoa, 2018.
135 f. : il.

Orientação: Richarde Marques da Silva.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Geografia. 2. Gestão das águas. 3. Seca - açudagem. 4. Semiárido brasileiro. 5. Modelo SWAT. I. Silva, Richarde Marques da. II. Título.

UFPB/BC

"Gestão da Água, Gestão da Seca: A Centralidade do Açude no Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Semiárido"

por

José Carlos Dantas

Dissertação apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do CCEN-UFPB, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Território, Trabalho e Ambiente

Aprovada por:

Prof. Dr. **Richarde Marques da Silva**
Orientador

Prof. Dr. **Pedro Costa Guedes Vianna**
Examinador interno

Prof. Dr. **Celso Augusto Guimarães Santos**
Examinador interno

Prof. Dr. **José Yure Gomes dos Santos**
Examinador externo

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Curso de Mestrado em Geografia

Fevereiro/2018

Dedico este trabalho ao povo do semiárido, ao meu povo: povo forte, sonhador e humano.

AGRADECIMENTOS

Ao fim de mais uma jornada escrevo esses agradecimentos como forma de manifestar o mais sincero sentimento de gratidão para todas as pessoas que contribuíram com o caminho percorrido desde o início da pesquisa até o momento final. Ao longo dos dois anos de trabalho na elaboração da dissertação pude ter mais certeza naquilo que já acreditava: a construção do conhecimento não pode ser realizada se não coletivamente. Os agradecimentos que se seguem refletem esse sentimento.

Inicio agradecendo ao ser vivente ao qual chamo de Deus, mas que também chamam de Alá, Oxalá, Jah, por me ajudar a tentar cada vez mais amar as pessoas, por mais difícil que possa ser as vezes, e por me proporcionar sabedoria para lhe dar com as dificuldades e desigualdades existentes.

Agradeço a minha família por todo o apoio e carinho de sempre, pela ajuda e apoio de todos esses anos e por me ensinarem diversas lições que contribuíram para me fazer ser a pessoa que sou hoje. À minha mãe Lucenira, meu pai Iranildo, meu irmão Vinicius e a todo o resto da família, tanto os de casa quanto os de longe.

Em seguida agradeço aos professores com os quais eu tive aula durante o mestrado e que contribuíram diretamente para a elaboração desse trabalho, são eles: Marco Mitidiero, Jonas Souza, Celso Santos, Marcelo Moura, Pedro Vianna e Bartolomeu Israel. Sem dúvida as discussões por nós realizadas durante as aulas estão, de alguma forma, contidas nessa dissertação.

Agora tenho dois agradecimentos especiais a fazer. Primeiro, ao meu orientador, Richarde Marques, pela oportunidade e confiança durante esses quase cinco anos de trabalho (desde o terceiro semestre da graduação), por sempre incentivar o trabalho coletivo no grupo de pesquisa, pela paciência, mas principalmente pela liberdade que me deu para que eu pudesse dialogar com vários outros grupos de pesquisa e várias outras áreas da Geografia. Acho que essa é a coisa mais importante a agradecer por ser uma das principais que foram responsáveis pelo geógrafo que me tornei e que ainda estou me tornando.

Em seguida, agradeço a minha orientadora extraoficial, Emilia Moreira, por todas as oportunidades e por me ensinar que a prática acadêmica deve estar, acima de tudo, comprometida com a busca pela superação de todas as formas de desigualdade existentes. O trabalho desenvolvido em todos esses anos que esteve, e está, na

universidade certamente contribuiu para que uma fração dessas desigualdades fossem superadas.

Agradeço aos membros da banca que avaliaram essa pesquisa na fase da qualificação: Celso Santos e Pedro Vianna (já mencionados), bem como José Yure e Hugo Morais. As sugestões e discussões realizadas no momento da defesa do exame de qualificação foram fundamentais para o prosseguimento da dissertação.

Também agradeço a todos os membros do LEPPAN por todos esses anos de companheirismo, de trabalho e de momentos especiais vividos tanto no dia-a-dia quanto em nossas confraternizações. Em especial agradeço às pessoas com quem tive mais proximidade: Alexandro, Jorge, Glauciene, Isabella, Ana Paula, Janilci, Nadja, Irla, Jennifer e Leo.

Agradeço às pessoas da minha turma de mestrado por esses dois anos juntos e por todas as vivências e ideias compartilhadas. Foi muito bom dividir os momentos que dividimos nesse pouco tempo juntos. Em especial agradeço a Cecillia e Mariá por todos esses seis anos de convivência, desde a graduação até o fim do mestrado, pela força nos momentos de dificuldades (dos três) e pela união que tivemos nesses anos.

Também agradeço à coordenação do PPGG, nas pessoas dos professores Eduardo Viana e Bartolomeu Souza, pelo auxílio e orientações nos trâmites burocráticos do programa, além de Sônia Maria pelo importante papel que desempenha na secretaria do PPGG para nós estudantes.

Ao meu grupo de pesquisa extraoficial, coincidentemente também coordenado pela minha orientadora extraoficial, o GETEC, por todas as discussões teóricas e políticas realizadas nesses anos e pelos momentos de tentativa de efetivação da práxis de transformação social. Agradeço aqui a Raisa, Nielson, Rayssa, Diego, Noemi, Zinho, Pablo, Ericson e Elton.

Agradeço às pessoas que participam do LEGAT pelas horas de troca de ideias, de informações e de descontrações. De certa forma acabei criando raízes aí. Agradeço aos que acabaram ficando mais próximos: Franklin, Camila, Francisco, João, Thiago e Raoni.

Às pessoas que compõem o GEAFS, coordenado por Jonas Souza, pelas parcerias e trabalhos realizados nesses anos e pela troca de experiências efetivadas. Agradeço, sobretudo, à Camilla, Rachel, André e Rony por terem sido os mais próximos.

Agradeço também aos meus amigos mais próximos aqui em João Pessoa, os quais tive a oportunidade de compartilhar vários momentos, dos mais felizes até os mais

tristes. À vocês pela força que sempre me deram, pelas madrugadas de festa e pelas polêmicas discussões no RU (a imensa maioria delas com Humberto) e no Contorno: Diego, Lucas, Caio, Kio, Lawdson, Humberto e Hugo.

Pelos momentos e pelas pessoas que conheci e que me aproximei graças a AGB, principalmente Akene, Marina, Theo, Pedrinho e Danilo, eu agradeço. Após entrar para a AGB percebi que é possível a construção de uma organização de maneira coletiva e horizontal (por mais difícil que possa ser algumas vezes) e que podemos utilizar a entidade como um importante espaço para desempenhar uma práxis geográfica voltada para a transformação social.

Não poderia deixar de agradecer, é claro, às amigas e amigos prudentinos pela ajuda em todas essas idas à Presidente Prudente, pela hospitalidade de sempre, pela força que atribuíram a mim durante a seleção do doutorado e aos memoráveis momentos que passamos. Às pessoas mais próximas dali, Lucas, Carol, Lorena, Tamires, Bruna, Renan, Colombo, Ruan, Diógenes, Sidney, Ana B., Tássio, Nayara, Ritiele, Fredi, Victória, Ivy e Bianca.

Agradeço, imensamente, às trabalhadoras e trabalhadores do DNOCS, da CAGEPA e da AESA, nas pessoas de Maria do Socorro, Jackson e Marle Bandeira, respectivamente, pelos esclarecimentos e questões levantas durante os trabalhos de campo. Percebi que essas pessoas têm instiga e comprometimento em desempenhar suas funções no serviço público, só precisam de infraestrutura e estímulo para isso.

Por fim, agradeço às amigas e amigos da minha terra Frei Martinho pelos momentos vividos durante os dias que voltava quando tinha uma folga da universidade ou momentos de festa. O reencontro com as pessoas que gostamos é um momento sempre marcante e especial. Sem dúvida todos esses momentos são marcantes para mim, por mais rápidos que possam ter sido. Não poderei citar o nome de vocês por motivos de: iria somar mais páginas do que a própria pesquisa.

Encerro estes agradecimentos da mesma forma que fiz em outro momento: afirmando que essa dissertação não é resultado apenas do meu esforço individual, mas sim de um conjunto de fatores e pessoas que contribuíram para que ela fosse desenvolvida e finalizada. Dizer isso é afirmar explicitamente que este trabalho não tem nada a ver com princípios ligados à meritocracia. É afirmar, enfim, que as coisas são construídas não pelo esforço individual, mas pelo trabalho coletivo entre pessoas.

À todas e todos, meus sinceros agradecimentos.

“A vida aqui só é ruim quando não chove no chão
Se chover dá de tudo, fartura tem de porção
Tomara que chova logo
Tomara, meu Deus, tomara
Só deixo o meu Cariri no último pau-de-arara”

(Último pau-de-arara – Venâncio/Corumba/José Guimarães)

RESUMO

O semiárido brasileiro é submetido ao longo de sua história a recorrentes períodos de seca, os quais promovem diversos efeitos sobre a população e sobre as atividades econômicas existentes na região. Com o intuito de solucionar, ou pelo menos amenizar, os problemas decorrentes da estiagem no semiárido o Estado implementou diversas políticas para o enfrentamento do fenômeno, que possuem determinadas características de acordo com o momento histórico. Dentre as principais políticas desenvolvidas pelo Estado visando a atenuação dos efeitos prejudiciais das secas para a região destaca-se a açudagem devido sua presença na maior parte da história do semiárido e pelo fato de ter sido executada em toda a região. Tamanha é a importância dos açudes para o semiárido que estes reservatórios passaram a desempenhar papel fundamental na gestão dos recursos hídricos da região por consequência de suas propriedades de armazenamento e distribuição de água articuladas a outras políticas hídricas que existem neste espaço. Portanto, este trabalho objetiva compreender as características da gestão das águas no semiárido tendo como foco a análise da açudagem na região e as repercussões que este processo promove para a dinâmica hidrológica e para a organização social do semiárido. Para o desenvolvimento da pesquisa adotamos procedimentos pautados: levantamento de informações na literatura, em documentos públicos e na legislação brasileira; aquisição e tratamento de dados hidrológicos (precipitação e vazão); realização de modelagem hidrológica; visita de campo; coleta e análise de dados sobre variação de volume de um açude. Foi possível identificar que a intervenção estatal no semiárido segue uma tendência orientada através das características de cada momento histórico e dos interesses dos grupos que compõem o setor estatal. Também observou-se que a existência de açudes promove alterações significativas no comportamento do escoamento superficial no semiárido. Estas alterações apresentam intensidades diferentes a depender das características hidrológicas de cada período (conjunto de anos), sendo ele seco, normal ou chuvoso. Por fim, identificou-se a centralidade exercida pelo açude para a gestão das águas no semiárido, por suas propriedades de armazenamento e distribuição de água e sua articulação com outras políticas hídricas. Verificou-se que o gerenciamento dos recursos hídricos na região é influenciado pela ocorrência de períodos secos e períodos chuvosos devido à influência que estes períodos provocam na variação do volume dos açudes do semiárido, promovendo dificuldades para a própria gestão da água e prejuízos para as demandas de usos existentes. Manter a água do açude em condição contínua para atender as diversas demandas que existem é fundamental para uma eficiente gestão dos recursos hídricos no semiárido.

Palavras-chave:açudagem; semiárido brasileiro; seca; modelo SWAT; gestão das águas.

ABSTRACT

The Brazilian semiarid region has undergone recurrent periods of drought throughout its history, which promote diverse effects on the population and economic activities in the region. In order to solve or at least alleviate the problems caused by the drought in the semiarid region, the State implemented several policies to deal with such phenomenon, which have certain characteristics according to the historical moment. Among the main policies developed by the State aiming to mitigate the damaging effects of droughts for the region, it is worth highlighting the dams due to their presence in most of the history of the semiarid region and the fact that it has been carried out throughout the region. Those reservoirs are so important to the semiarid region that they have played a fundamental role in the management of the region's water resources, due to its storage and distribution properties of water articulated to other water policies that exist in this space. Therefore, this work aims to understand the characteristics of water management in the semiarid region, focusing on the analysis of dams in the region and the repercussions that this process promotes for the hydrological dynamics and for the social organization of the semiarid region. The following procedures were adopted: information collection in the literature, in public documents and in Brazilian legislation; acquisition and treatment of hydrological data (precipitation and discharge); hydrological modeling; field visit; collecting and analyzing data on the variation of the dam volume. It was possible to identify that state intervention in the semiarid region follows a tendency oriented through the characteristics of each historical moment and the interests of the groups that make up the state sector. It was also observed that the existence of dams promotes significant changes in the behavior of surface runoff in the semiarid region. These changes present different intensities depending on the hydrological characteristics of each period (set of years), i.e., dry, normal or rainy. Finally, the centrality exercised by the dam for water management in the semiarid region was identified, due to its water storage and distribution properties and its articulation with other water policies. It was verified that the management of the water resources in the region is influenced by the occurrence of dry and rainy periods due to the influence that these periods cause in the volume variation of the dams in semiarid regions, causing difficulties for the water management and damages to the demands of existing uses. Keeping the water of the dam in continuous condition to meet the diverse demands that exist is fundamental for an efficient management of water resources in the semiarid region.

Keywords: dams; semiarid region; Brazil; dry; SWAT model; management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidade hídrica do semiárido, conforme o volume dos principais açudes da região..... 19
Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, localização das sedes municipais e rodovias..... 22
Figura 3. Etapas para a realização da modelagem com o SWAT..... 27
Figura 4. Discretização da BHARP utilizada neste estudo..... 29
Figura 5. Exemplificação da geração de uma HRU..... 30
Figura 6. Mapas utilizados na criação das HRU na BHARP..... 33
Figura 7. Comportamento espacial das secas no Nordeste do Brasil em março de 2015 e março de 2016..... 49
Figura 8. Anomalia da TSM do oceano Pacífico (região El Niño 3.4) e as secas no Nordeste brasileiro..... 51
Figura 9. Anomalia do Dipolo do Atlântico Tropical e as secas no Nordeste do Brasil53
Figura 10. Comportamento do volume de água armazenado em açudes do Cariri Paraibano entre 2007 e 2016: (a) Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão); (b) Açude Cordeiro; (c) Açude Poções; e (d) Açude Sumé. A linha tracejada em cada gráfico indica o início da seca no ano de 2012..... 55
Figura 11. Número de municípios do Nordeste que declararam SE e/ou ECP entre 2007 e 2016..... 56
Figura 12. Linha do tempo da intervenção estatal no semiárido a respeito das políticas voltadas para a atenuação dos efeitos das secas..... 70
Figura 13. Distribuição espacial dos açudes existentes na porção semiárida do estado da Paraíba até o ano de 2014..... 77
Figura 14. Relação entre a chuva na BHARP e a vazão na escala diária para o posto Caraúbas para o período de 1994 a 2016..... 79
Figura 15. Distribuição da chuva média mensal na BHARP para o período entre 1994 e 2016..... 80
Figura 16. Cenários propostos para as simulações hidrológicas na BHARP: (a) cenário 1 e (b) cenário 2..... 85
Figura 17. (a) Vazões observadas e calculadas para os cenários 1 e 2 entre os anos de 1994 e 2016 e (b) a precipitação média anual considerando os períodos da relação chuva-vazão-volume dos açudes BHARP..... 87

Figura 18. Comportamento das vazões observada e simulada no ano de 1997 88
Figura 19. Comportamento das vazões observada e simuladas no ano de 2004..... 89
Figura 20. Comportamento das vazões observada e simuladas no ano de 2012..... 90
Figura 21. Volumes observados (a) e calculados (b) para o açude Sumé entre os anos de 1994 e 2016 92
Figura 22. Articulação do açude com outras políticas hídricas no semiárido..... 104
Figura 23. Variações de volume do açude Sumé entre 1994 e 2016..... 109
Figura 24. Precipitação da área de drenagem do açude Sumé e consequente volume de água recebido pelo reservatório entre os anos de 1994 e 2016 111
Figura 25. Ocorrências de suspensão de uso da água para irrigação nos estados da Paraíba (a), em uma bacia hidrográfica que compreende os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (b), Ceará (c) e Pernambuco (d) 114
Figura 26. Evaporação média mensal do açude Sumé 115
Figura 27. Volume médio mensal evaporado no açude Sumé nos períodos de 1994 a 2016 (a), 1994 a 2003 (b), 2004 a 2011 (c) e 2012 a 2016 (d)..... 116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais características das imagens de satélite utilizadas para a geração das HRU 30
Tabela 2. Classes de uso e ocupação do solo da BHARP e do banco de dados do SWAT 31
Tabela 3. Tipos de solo existentes na BHARP e suas características básicas 32
Tabela 4. Postos pluviométricos utilizados na modelagem 35
Tabela 5. Valores utilizados nos parâmetros do gerador climático para a modelagem. 37
Tabela 6. Parâmetros de entrada relacionados à dinâmica subsuperficial e subterrânea que foram modificados 38
Tabela 7. Açudes inseridos na modelagem e suas características básicas 39
Tabela 8. Parâmetros exigidos pelo modelo para a simulação dos reservatórios na bacia 39
Tabela 9. Informações do posto fluviométrico Caraúbas 41
Tabela 10. Secas registradas no semiárido brasileiro entre os séculos XVI e XXI 48
Tabela 11. Programas especiais de desenvolvimento implantados no semiárido 65
Tabela 12. Registros diários de chuva e vazão na BHARP entre os dias 11/01/2004 e 11/02/2004 82
Tabela 13. Comparação do desempenho do SWAT entre as escalas diária e mensal na simulação da vazão do posto fluviométrico Caraúbas para os anos de 1994 a 2016 94
Tabela 14. Resumo dos principais pontos da lei 9.433/97 100
Tabela 15. Precipitação, variação de volume (entrada e saída de água) e evaporação no açude Sumé por período 110

LISTA DE SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba

ASA – Articulação Semiárido Brasileiro

BHARP – Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraíba

BNB – Banco do Nordeste do Brasil

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

CCM – Complexos Convectivos de Mesoescala

CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CVSF – Comissão do Vale do São Francisco

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

GTDN – Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste

HRU – HydrologicRepostUnits

IFOCS – Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas

IOCS – Inspetoria de Obras Contra as Secas

LI – Linhas de Instabilidade

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário

MDE – Modelo Digital de Elevação

NSE–Índice de Eficiência Nash-Sutcliffe

ONU – Organização das Nações Unidas

PADFIN–Programa de Apoio e Desenvolvimento da Fruticultura Irrigada do Nordeste

PERH-PB – Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba

PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

R^2 – Coeficiente de Determinação de Pearson

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

SWAT – Soil and Water Assessment Tool

VCAS – Vórtices Ciclônicos de Ar Superior

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 18

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 24

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE A SECA, A AÇÃO DO ESTADO E A AÇUDAGEM 24

VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA AÇUDAGEM PARA O ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SEMIÁRIDO 25

ANÁLISE DA GESTÃO DAS ÁGUAS NO SEMIÁRIDO A PARTIR DO AÇUDE 43

CAPÍTULO I: SECA E ESTADO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO 46

SECAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO 47

A SECA E O ESTADO 57

CAPÍTULO II: AÇUDAGEM E DINÂMICA HIDROLÓGICA DO SEMIÁRIDO 72

O AÇUDE NO SEMIÁRIDO 74

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SEMIÁRIDO 78

AÇUDAGEM E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SEMIÁRIDO 84

CAPÍTULO III: GESTÃO DA ÁGUA, GESTÃO DA SECA 96

LEGISLAÇÃO E APONTAMENTOS TEÓRICOS SOBRE GESTÃO DAS ÁGUAS 98

O AÇUDE: ELEMENTO-CHAVE DA GESTÃO DAS ÁGUAS NO SEMIÁRIDO 103

CONSIDERAÇÕES FINAIS 119

REFERÊNCIAS 121

APÊNDICES 127

ANEXOS 133

INTRODUÇÃO

A água se constitui enquanto um elemento que pode ser compreendido através de duas óticas: (a) a natural, quando cumpre sua função no ciclo hidrológico e é responsável pelo desenvolvimento dos seres vivos no planeta, e (b) a social, quando passa a ser apropriada pelas atividades humanas com o objetivo de satisfazer as mais variadas necessidades demandadas pela sociedade, desde o uso industrial, doméstico até a produção de alimentos.

A forma como a sociedade utiliza a água em suas diversas atividades diárias é orientada através da gestão das águas. Esse gerenciamento diz respeito aos mecanismos utilizados pelos grupos e sujeitos voltados ao planejamento e execução de medidas relacionadas aos recursos hídricos que têm a finalidade de regular o uso, o controle, a proteção, a gerência e o monitoramento das águas de uma determinada área (CAMPOS e FRACALANZA, 2010).

No semiárido brasileiro, devido a sua complexa dinâmica natural (clima, solos, geologia, vegetação), a água se apresenta como um elemento ainda mais decisivo para o desenvolvimento social e econômico da população residente nessa região, consequência das limitações da disponibilidade hídrica existentes (SOUZA, 2008).

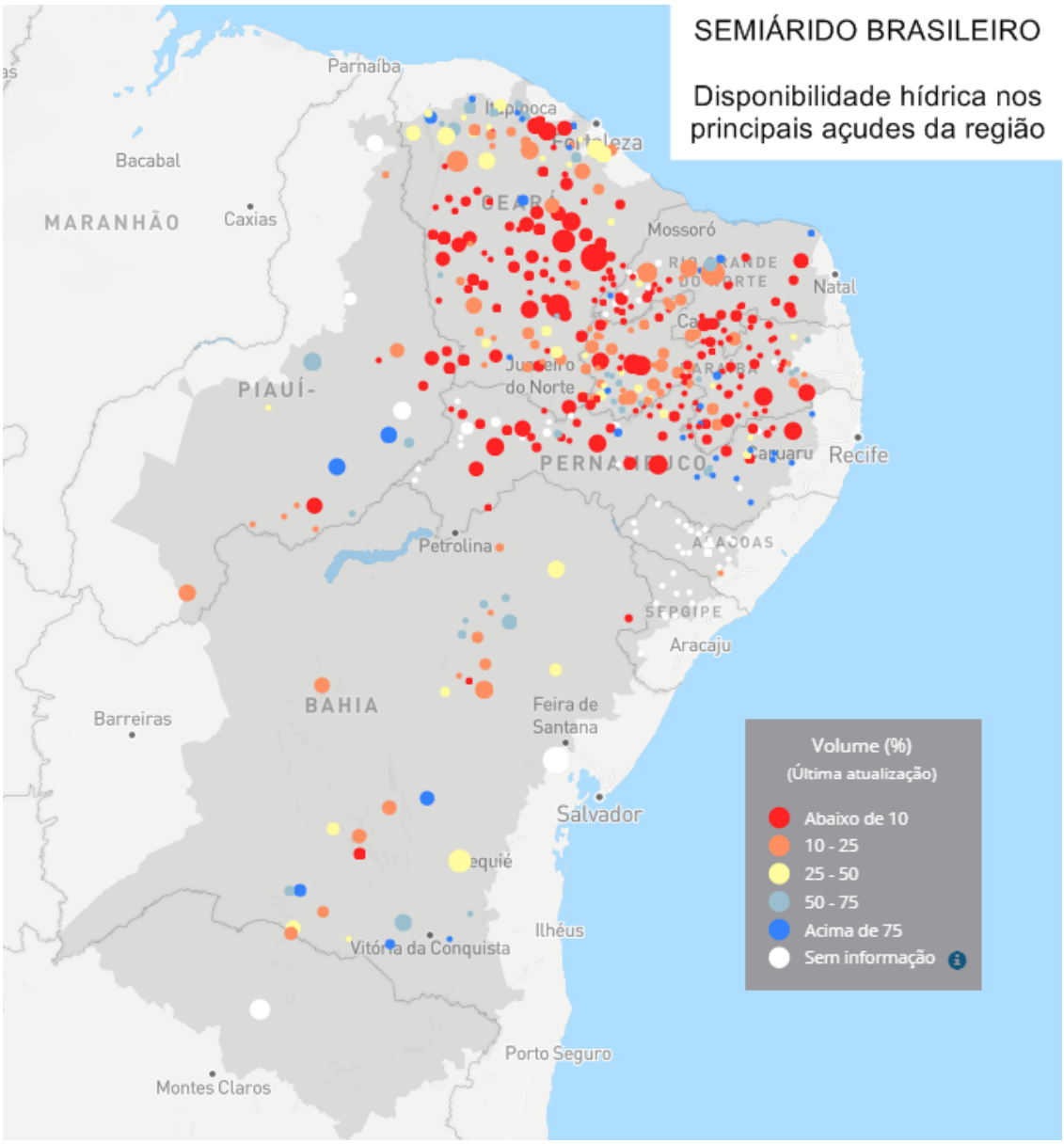
A região semiárida do Brasil corresponde à área localizada majoritariamente no interior da região Nordeste(somados os municípios da porção norte do estado de Minas Gerais e sem contar com o estado do Maranhão), e possui as seguintes características: a) precipitação pluviométrica média anual ou inferior a 800 mm; b) Índice de aridez de até 0,5, calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e c) risco de seca maior que 60%, sendo este calculado para o período entre 1970 e 1990 (BRASIL, 2005).

Esta porção do território brasileiro ocupa uma área de 969.589 km², com uma população de aproximadamente 24 milhões de habitantes[1], a qual historicamente está submetida aos efeitos dos períodos de seca e às dificuldades de acesso à água que a região proporciona, resultando na construção de diversas obras hídricas que têm o objetivo de amenizar as consequências provocadas pelas limitações da disponibilidade de água, como é o caso dos açudes. A Figura 1 mostra a situação atual da disponibilidade hídrica no semiárido através dos principais açudes da região.A variação

[1] Informação obtida em: https://olhonagua.insa.gov.br/#!/sobre.

dos círculos representa a o valor da capacidade máxima de armazenamento de cada açude e a área com tonalidade mais escura indica a delimitação do semiárido.

Figura 1. Disponibilidade hídrica do semiárido, conforme o volume dos principais açudes da região.



Fonte: Sistema Olho N'Água[2].

Em 2017, os açudes do semiárido enfrentaram situação de colapso na disponibilidade de água em função da demanda social e econômica a qual

[2] O Sistema Olho N'Água é um projeto desenvolvido em parceria entre o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) que tem como objetivo o compartilhamento de informações atualizadas acerca da situação da disponibilidade hídrica nos principais açudes do semiárido, os quais totalizam 452 reservatórios com uma capacidade de armazenamento total acima de 40 bilhões de m^3.

estãosubmetidos, principalmente nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, como explicita a Figura 1. O açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), que abastece uma população superior a 400 mil habitantes, incluindo a cidade de Campina Grande - PB, registrou em abril de 2017 um volume armazenado de pouco mais de 3% da sua capacidade máxima de armazenamento[3].

Essa situação reflete, em partes, uma política de combate à seca orientada através da busca pela maximização da oferta de água, sobretudo, através da açudagem, que objetiva oarmazenamento de água pela retenção do escoamento superficial originado tanto na estação chuvosa quanto nos anos chuvosos. Daí o investimento público elevado em obras hídricas que tiveram o objetivo de sanar os problemas advindos dos períodos de estiagem na região, processo que marca grande parte da história das ações estatais no semiárido (MOLLE, 1994; MOREIRA e TARGINO, 2006; SILVA, 2006; SOUZA, 2008).

Além dos problemas de disponibilidade hídrica que os açudes enfrentam em 2017, motivados substancialmente pelo período de seca de 2012 a 2016, estas obras também se apresentam como mecanismos que aumentam a irregularidade do escoamento superficial nas bacias hidrográficas do semiárido, podendo ocasionar mudanças na dinâmica hidrológica nas referidas bacias. Nesse caso não estamos nos referindo apenas aos principais açudes do semiárido, mas sim a todos aqueles existentes na região, com os mais variados tamanhos de espelho d'água e capacidade máxima de armazenamento.

A diminuição da quantidade de água disponível à jusante, as altas taxas de evaporação, a crescente demanda hídrica motivada pelo crescimento populacional e produtivoe a disponibilidade hídrica são alguns dos elementos que caracterizam o estado atual da açudagem no Nordeste semiárido. Este panorama reforça as considerações feitas por Souza (2008) quando se referiuao grau de complexidade que essa região detém quando tratamos da relação entre os processos naturais e sociais.

Assim, o objetivo deste estudo é compreender as características da gestão das águas no semiárido, tendo como centralidade a análise da açudagem na região, entendendo que osaçudes estão submetidos à influência da dinâmica tanto hidrológica quanto socioeconômica do semiárido, ao passo que podem desempenhar, também, alterações significativas nos processos hidrológicos e na organização social da região.

[3] Informação disponibilizada pela Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESA) em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-diario/?tipo=atual.

Salientamos que quando nos referimos ao termo centralidade estamos nos remetendo à ideia de que o açude ocupa uma posição central no âmbito da gestão das águas no semiárido, tanto em termos de planejamento quanto de execução. Estamos utilizando este termo no sentido de afirmar que o açude é um elemento fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos na região, assim como os geógrafos urbanos usam a ideia de centralidade para representar a área da cidade que desempenha grande importância para a dinâmica econômica (comércio e/ou setor produtivo), atribuindo ao termo uma conotação espacial (GLUSZEVICZ e MARTINS, 2013).

Não atribuímos ao termo centralidade, neste estudo, uma concepção necessariamente espacial (ainda que em alguns casos o açude possa apresentar centralidade também do ponto de vista espacial), mas sim para designar a importância dos açudes para as práticas de gestão das águas no semiárido, sobretudodevido à capacidade de articulação destes reservatórios com outras políticas hídricas implementadas pelo Estado ao longo da história da região.

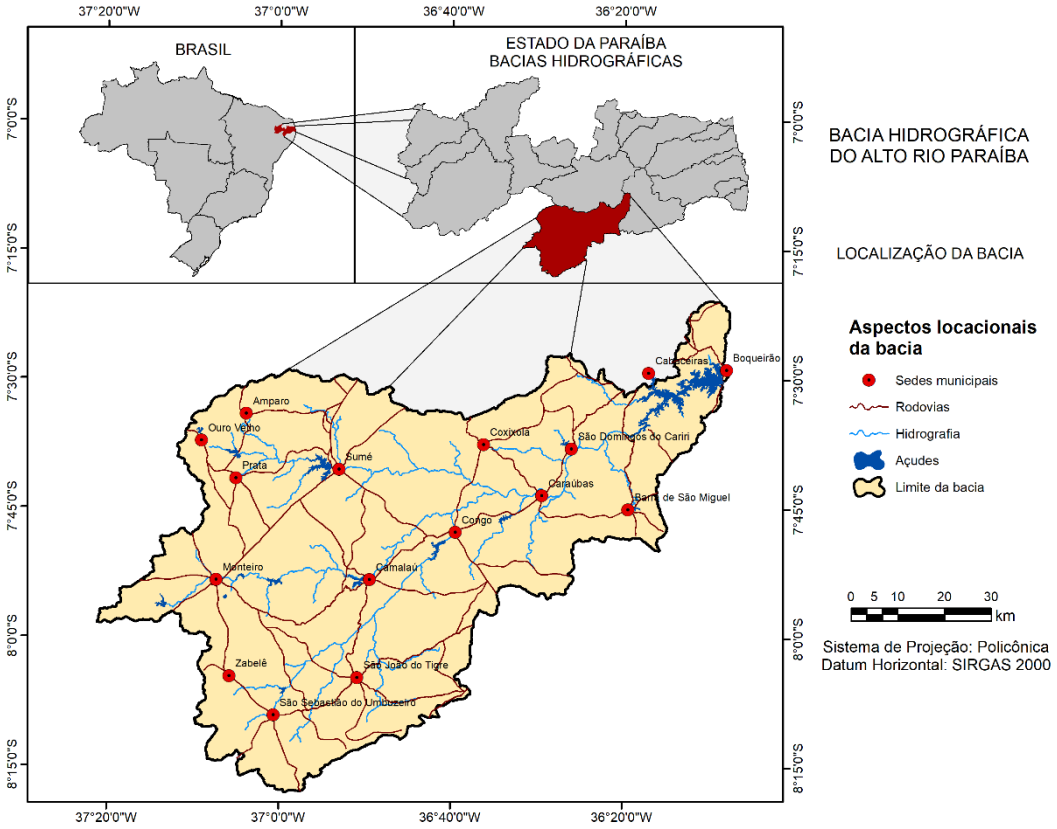
Para entender como os açudes se inserem nessa complexa teia de processos existentes no semiárido, este estudo está pautadoem uma análise interescalar: ora discutindo a açudagem no semiárido como um todo, em outros momentos a determinadas regiões ou Unidades da Federação presentes no interior desta área, e também analisando esses reservatórios a nível de bacia hidrográfica. Assim, este trabalho está estruturado da seguinte forma: Introdução, Procedimentos metodológicos, Capítulo I, Capítulo II,Capítulo III e Considerações Finais.

No primeiro capítulo discutimos com maior profundidade as características do semiárido tendo a seca e seus rebatimentos como o principal foco de análise. A seguir apresentamos uma reconstrução histórica das políticas estatais relacionadas ao combate à seca e a convivência com o semiárido desde o período colonial até os dias atuais, identificando os interesses e as causas da adoção destas medidas. Finalizando o capítulo trazemos a discussão da açudagem como uma das principais políticas do Estado brasileiro, bem como apresentamos algumas características que contribuem com o entendimento destes reservatórios.

O segundo capítulo tem como foco compreender a influência dos açudes para a dinâmica hidrológica, substancialmente para o escoamento superficial, a nível de bacia hidrográfica. Para tanto analisamos esse panorama tendo como base a bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba (BHARP).

A BHARP, localizada entre as coordenadas 36°10'0"W, 37°20'0"W e 7°20'0"S, 8°20'0"S e com área de aproximadamente 6.700 km^{2}está inserida na região do Cariri Paraibano (Figura 2) e se constitui enquanto uma área com características típicas do semiárido: irregularidades na distribuição espaço-temporal das chuvas, altas taxas de evapotranspiração, solos rasos, substrato rochoso cristalino, vegetação do tipo Caatinga, rios intermitentes e efêmeros, entre outros aspectos próprios da região semiárida do Nordeste.

Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, localização das sedes municipais e rodovias



Fonte: Autor (2017).

A escolha da BHARP para investigar aaçudagem se deve, além da disponibilidade de dados para a realização da análise em questão, ao fato dessa bacia apresentar grande quantidade de açudes, muitos deles com grande importância para o abastecimento público da região. Assim, essas informações permitem avaliar com propriedade os processos relacionados a estes reservatórios em uma área semiárida.

Iniciamos o segundo capítulo apresentando algumas características gerais dos açudes no semiárido. Logo após passamos afazer algumas considerações sobre o escoamento superficial na região, tanto a nível regional quanto na BHARP, levando em

conta aspectos climáticos, pedológicos, geológicos e do uso e ocupação do solo. A terceira parte do capítulo dedica-se a elucidar como os açudes podem influenciar no funcionamento do escoamento superficial no semiárido através dos diferentes regimes pluviométricos que ocorrem na região: anos secos, normais e chuvosos. Nesse momento fazemos uso da modelagem hidrológica como ferramenta que nos possibilita entender melhor as relações e processos envolvidos nessa dinâmica.

No terceiro e último capítulo trataremos da gestão das águas no semiárido a partir da centralidade exercida pelo açude nesse processo. Para a realização dessa investigação trataremos de questões como a base legal e alguns pressupostos teóricos do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil e as especificidades da região semiárida, bem como analisaremos as variações no volume de um açude, também localizado na BHARP, considerando características como precipitação, escoamento superficial, uso da água e evaporação do reservatório.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos utilizados na construção deste trabalho compreendem um extenso levantamento de dados a respeito da problemática que envolve a açudagem no semiárido.

Após o levantamento de informações passamos para a etapa de processamento e análise dos dados obtidos. Esse momento consistiu na organização dos dados tabulares, na aplicação de operações estatísticas e na utilização de Sistema de Informações Geográficas (SIG), o que resultou na elaboração de tabelas, gráficos e mapas a serem analisados.

Devido a parte da metodologia referente à modelagem hidrológica ser ao mesmo tempo densa e extensa decidimos apresentar os procedimentos utilizados na pesquisa ao longo dos capítulos que compõem o trabalho. Desse modo, inicialmente mostraremos como se deu a construção da pesquisa no primeiro capítulo, posteriormente no segundo e, por fim, no terceiro capítulo.

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE A SECA, A AÇÃO DO ESTADO E A AÇUDAGEM

No Capítulo Idiscutimos os principais fatores que dão origem às secas no Nordeste, suas consequências para a região e a intervenção estatal como forma de atenuar os efeitos da estiagem.

Para entender a seca que ocorre de maneira recorrente no Nordeste brasileiro, nos pautamos no levantamento de informações, tanto na literatura, quanto nas instituições que coletam, organizam e disponibilizam dados sobre fenômenos atmosféricos em diferentes escalas espaço-temporais. Entre estas instituições podemos citar a Agência Nacional de Águas (ANA), *Golden Gate Weather Service*[4], Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESA) e Ministério da Integração Nacional (MI). Com os dados disponibilizados por estes órgãos, e com base na literatura consultada, foi possível explicitar as principais características da seca no Nordeste.

Quando avaliamos as ações adotadas pelo Estado brasileiro, na tentativa de amenizar os efeitos promovidos pelos períodos de estiagem, nos fundamentamos, principalmente, na literatura sobre esse tema. Como discutimos as ações estatais a partir de suas políticas, projetos e programas, a literatura foi a principal fonte de informações.

[4] http://www.ggweather.com/

Além disso,foram obtidos documentos que serviram de base para a implantação de órgãos ou de projetos/programas, tais como o regimento da criação da Inspetoria de Obras Contra as Secas(IOCS), a Constituição da República de 1934, o Programa Bolsa Estiagem e o Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA), do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF).

O resultado desse levantamento de informações foi uma reconstrução histórica das políticas adotadas pelo Estado brasileiro, que tinham como objetivo a solução, ou pelo menos a diminuição, dos problemas ocasionados pela ocorrência de secas no semiárido.

VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA AÇUDAGEM PARA O ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SEMIÁRIDO

Como já mencionamos anteriormente, os procedimentos utilizados para a construção doCapítulo II possuem um grau de complexidade maior do que a metodologia empregada no primeiro.

Na primeira parte do capítulo, a qual se refere aos atributos dos açudes, bem como sua distribuição espacial no semiárido, novamente nos baseamos na literatura, para entender como surgiram na região e quais são as suas propriedades básicas. No que tange a verificação da quantidade de açudes existentes no semiárido e sua distribuição, tivemos duas fontes principais: a primeira é o Sistema Olho N'Água (já mencionado na introdução), o qual nos permitiu ter uma noção da quantidade dos grandes açudes públicos existentes na região; a segunda fonte foi o levantamento realizado por Souza et al. (2015) no âmbito do projeto "Governança das Águas - Construção do Atlas das Tecnologias Sociais Hídricas – TSH na Paraíba", desenvolvido no Laboratório de Estudos e Gestão em Água e Território (LEGAT), que mapeou a quantidade de cisternas de placa, cisternas calçadão, poços e corpos hídricos existentes no semiárido paraibano.

A segunda parte deste capítulo destina-se a investigar, de maneira geral, o escoamento superficial no semiárido através de elementos como: (a)a dinâmica climática; (b)os aspectos geológicos e pedológicos; e (c) a influência do uso e ocupação do solo da região tendo em vista as características do próprio terreno e da vegetação do bioma Caatinga.

Já nesse momento passamos a introduzir a BHARP, como exemplo dos processos e fenômenos existentes no semiárido que estão relacionados ao escoamento superficial. Utilizamos dados de pluviometria, vazão e propriedades físicas dos solos da BHARP nessa primeira parte do capítulo. Esses dados serão descritos logo a seguir, além do

referencial bibliográfico que permitiu compreender melhor as relações existentes entre os atributos da paisagem que influenciam no funcionamento do escoamento superficial na região.

Na terceira parte do capítulo discutimos a influência da açudagem para o comportamento do escoamento superficial no semiárido. Na busca de entender esse processo nos pautamos na aplicação do modelo hidrossedimentológico*SoilandWaterAssessmentTool* (SWAT) (ARNOLD et al., 1998), para identificar a relação entre a existência de açudes e o escoamento superficial na BHARP.

O SWAT é um modelo hidrossedimentológico, de base semi-física, que possui a capacidade de simular o escoamento superficial, produção de sedimentos, transporte de nutrientes no canal, evapotranspiração, infiltração, entre diversos outros em escala de bacia hidrográfica para longas séries temporais (ARNOLD et al., 1998; GASSSMAN et al., 2007).

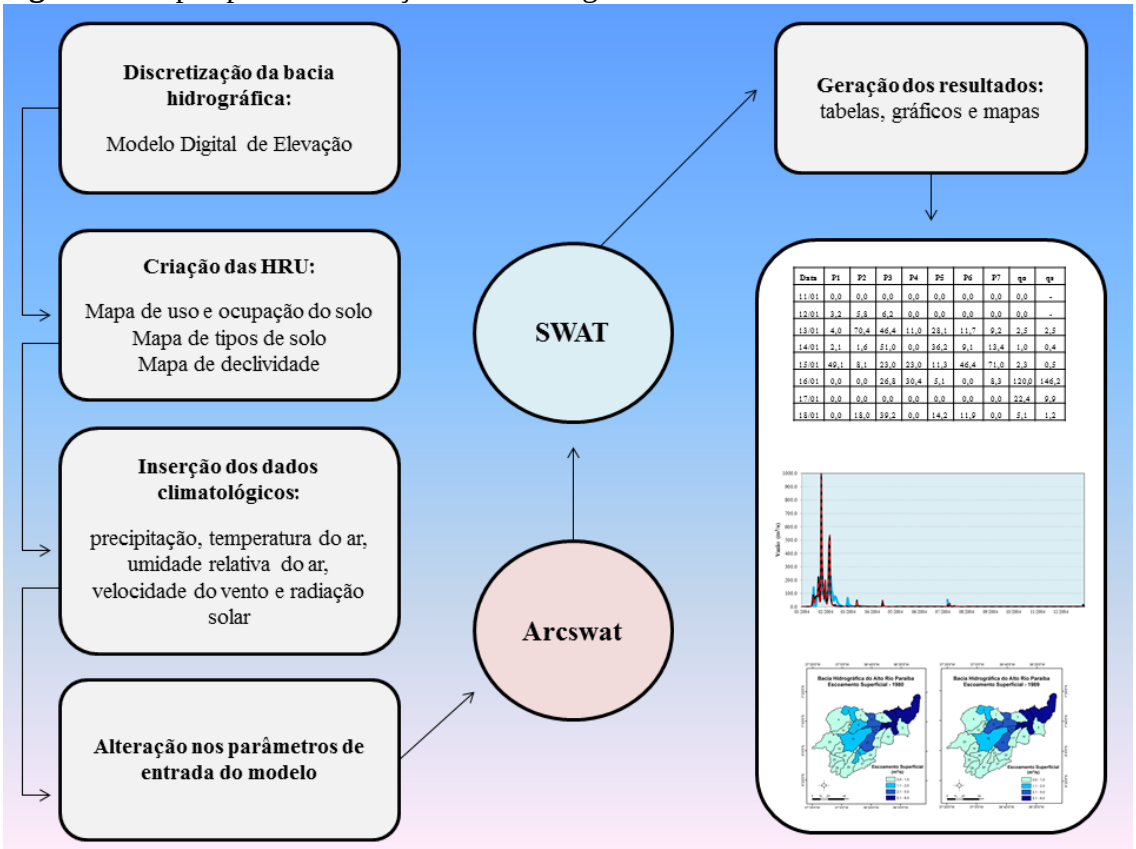
Uma das vantagens de se utilizar o SWAT como uma ferramenta na modelagem hidrológica é o fato de que este modelo permite a obtenção de resultados distribuídos espacialmente, além de possibilitar a análise em espaços de tempo sub-diário, diário, mensal e anual. Esse modelo vem sendo utilizado em todo o mundo (GASSMAN et al., 2007) por se constituir, também, como uma ferramenta empregada na gestão dos recursos naturais, sobretudo, para a agricultura e para os recursos hídricos. Inclusive, esse modelo foi desenvolvido nos Estados Unidos (fruto da evolução de outros modelos), com o objetivo principal de contribuir para o gerenciamento das práticas agrícolas que vinham sendo desenvolvidas no país no tocante à conservação do solo e da água (ARNOLD et al., 1998.

Maiores detalhes sobre o desenvolvimento e o funcionamento do SWAT podem ser obtidos em Arnold et al. (1998), Arnold et al. (2011), Gassman et al. (2007) e Neitsch et al. (2011). Já para trabalhos que utilizaram o SWAT no semiárido brasileiro, pode-se citarcomo exemplos, Carvalho Neto (2011), Dantas (2016), Fernandes (2015) e Medeiros (2017).

Neste trabalho, a utilização do SWAT teve como foco principal a simulação do escoamento superficial na BHARP, levando em consideração a existência dos açudes existentes na bacia. Para a obtenção dos resultados, o modelo cumpriu uma sequência de etapas complementares (Figura 3), a saber: a) discretização da bacia hidrográfica e das sub-bacias e geração da rede de drenagem; b) criação das Unidades de Resposta

Hidrológica; c) inserção dos dados climatológicos; d) alteração nos parâmetros de entrada do modelo; e e) geração dos resultados.

Figura 3. Etapas para a realização da modelagem com o SWAT



Fonte: Autor (2017).

A inserção de dados para a realização da modelagem com o SWAT é facilitada pela possibilidade de utilização da interface ArcSWAT, integrado ao SIG através do *software*ArcGIS. Essa integração entre o SWAT e o ArcGIS, permite a preparação e organização dos dados de entrada do modelo, e, consequentemente, a obtenção dos resultados espacialmente.

A seguir serão explicitadas as características de cada etapa, bem como os dados necessários (e que foram utilizados) para a modelagem:

a) Discretização da bacia hidrográfica emsub-bacias e geração da rede de drenagem

A primeira etapa estabelecida pelo modelo para a modelagem consiste em discretizar a bacia hidrográfica a qual será analisada. Nesse momento, o ArcSWAT requer como dado de entrada apenas o Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia. Em

seguida são delineadas a bacia hidrográfica e a rede de drenagem, bem como são delimitadas assub-bacias.

O MDE utilizado neste estudo foi obtido através do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA)[5], projeto coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este produto é resultado da missão *Shuttle Radar TopographyMission*(SRTM) e possui uma resolução espacial de 30 m.

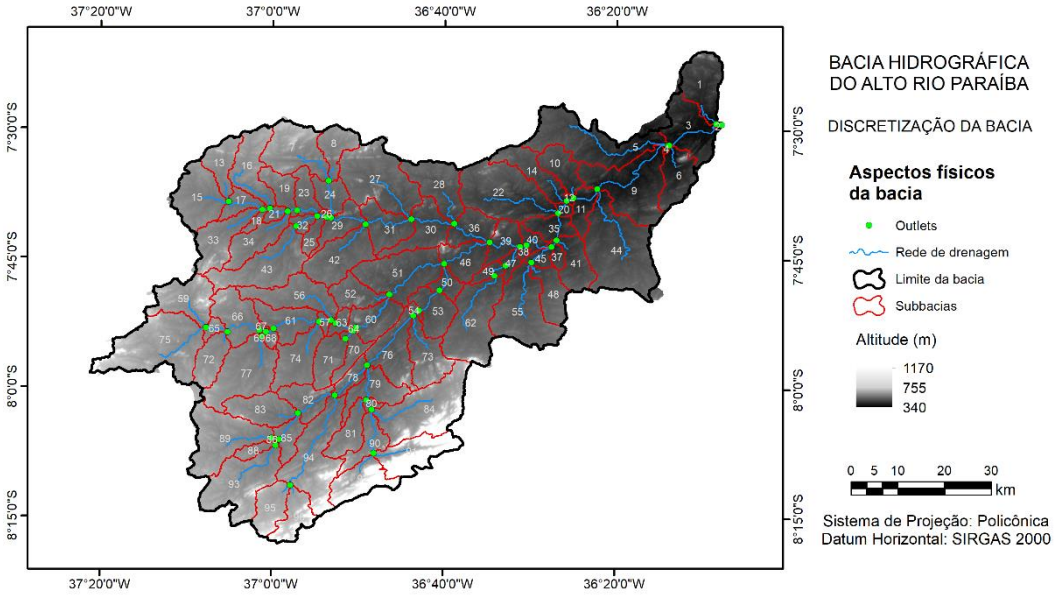
Em seguidasão definidas a direção de fluxo,área de acumulação de água e sedimentos com base na topografia do terreno. Nesse momento é necessário indicar a área mínima de fluxo e acumulação para a geração da rede de drenagem na bacia e dosexutórios(*outlets*[6]). Quanto menor for o valor da área mínima maior será o nível de detalhe da rede de drenagem. Adotamos para a BHARP o valor de 5.000haa partir de vários testes com diferentes valores para a área mínima de fluxo e acumulação. Realizamos estes testesaté chegarmos a um valor em que o escoamento superficial pudesse ser melhor representado em relação à localização dos açudes na bacia e a modelagem apresentasse bons resultados. Procedimento semelhante também foi realizado por Castro (2013) ao simular o escoamento superficial em uma bacia intensamente monitorada em área do bioma Cerrado no Distrito Federal.

Com a rede de drenagem e os exutórioscriados o próximo passo é indicar a localização do exutório da bacia. Com o exutório selecionado, o *software* é capaz de delinear a bacia hidrográfica e delimitar as subbacias. Após essa etapa são calculados os parâmetros topográficos em cada sub-bacia. A Figura 4 mostra o resultado da discretização da BHARP.

[5] Ressaltamos que utilizamos MDE disponibilizado pelo TOPODATA pelo fato de que este produto já estava sendo usado desde o início da pesquisa e vinha mostrando bons resultados para a modelagem. Contudo, existem outros produtos com um grau maior de acurácia em relação à representação do relevo, altimetria e topografia do terreno, os quais podem ser vistos nos trabalhos de Castro (2013), Pinto (2011) e Silva (2016). Os dados disponibilizados pelo TOPODATA podem ser acessados em: http://www.dsr.inpe.br/topodata.

[6] Os *outlets* funcionam como uma espécie de exutório de cada sub-bacia. É a partir deles que o SWAT registra os resultados da modelagem relacionados aos processos e fenômenos hidrossedimentológicos existentes no canal fluvial.

Figura 4. Discretização da BHARP utilizada neste estudo



Fonte: Autor (2017).

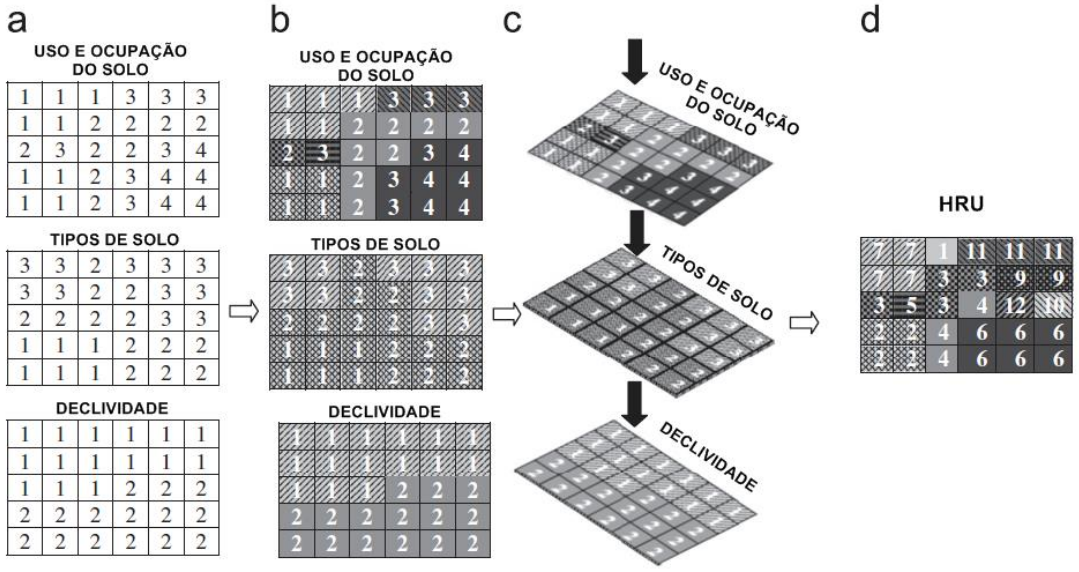
Foram então criadas 96sub-bacias para a BHARP, cada qual com suas respectivas características topográficas. Salientamos que foram inseridos exutóriosnos pontos de entrada de água (através dos rios) dos açudes utilizados na modelagem e no ponto correspondente à localização do posto fluviométrico existente na bacia. Utilizamos esse procedimento com o objetivo de obter os resultados da modelagem nestes pontos para comparar os valores de vazão calculados pelo modelo com os dados observados de vazão que dispomos.

Como última parte da etapa de discretização da bacia hidrográfica, o ArcSWAT permite a definição da localização dos reservatórios existentes na bacia, caso eles existam e o usuário deseje inserir estas informações. Desse modo, inserimos quatorze reservatórios existentes na BHARP, os quais serão descritos com mais detalhes no ponto que trata da alteração dos parâmetros de entrada.

b) Criação das Unidades de Resposta Hidrológica

As Unidades de Resposta Hidrológica, do inglês *Hydrologic Response Units* (HRU), são áreas com características homogêneas de uso e ocupação do solo, tipos de solo e declividade existentes na bacia. Essas áreas são resultado da combinação desses três elementos da paisagem (Figura 5) e são as menores unidades para as quais o SWAT fornece os resultados da modelagem (ARNOLD et al, 2011).

Figura 5. Exemplificação da geração de uma HRU



Fonte: adaptado de Pai et al. (2012).

Se uma área possui um uso com Solo Exposto, com solo do tipo NeossoloLitólico e uma declividade plana (0% a 3%) ela irá dar origem a uma HRU. Caso uma outra área possua o mesmo tipo de uso do solo e declividade, porém com um solo do tipo Vertissolo ela irá originar uma outra HRU e assim por diante. São os atributos de cada HRU, distribuídas por todas as subbacias, que irão controlar todos os processos da modelagem levados em conta pelo SWAT.

As HRU são formadas a partir dos mapas de uso e ocupação do solo, tipos de solo e declividade da bacia. Passaremos a descrever os dados, com suas respectivas fontes, utilizados para a geração das HRU na BHARP.

Primeiramente foi fornecido ao ArcSWAT o mapa de uso e ocupação do solo da BHARP. Este mapa foi elaborado a partir de duas imagens de satélite que compreendem toda a área da bacia. Através do processamento das imagens foram estabelecidas as classes de uso e ocupação do solo na BHARP. As principais características das imagens utilizadas podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características das imagens de satélite utilizadas para a geração das HRU

Data da Imagem	Satélite	Sensor	Órbita	Ponto	Bandas	Resolução Espacial
29/07/2005	LANDSAT 5	TM	215	65	3-4-7 (RGB)	30 m
29/07/2005	LANDSAT 5	TM	215	66	3-4-7 (RGB)	30 m

Fonte: INPE (2017).

As duas imagens foram adquiridas junto ao INPE, na seção Catálogo de Imagens da Divisão de Geração de Imagens (DGI)[7], e tratadas em ambiente SIG. Para o estabelecimento das classes de uso e ocupação do solo da bacia, com base nas imagens, utilizamos o método de classificação não-supervisionada[8], o qual pautou-se na ferramenta *Iso Cluster* do ArcGIS. Após a geração das classes através do *Iso Cluster*, submetemos essa classificação a um pós-processamento com o uso da ferramenta *MaximumLikelihoodClassification*, com o intuito de gerar o mapa de uso e ocupação do solo da bacia.

Posteriormente à geração do mapa de uso e ocupação do solo da BHARP, fornecemos este produto ao ArcSWAT como primeira etapa para criação das HRU. Porém, além de fornecer o mapa de uso e ocupação do solo, também é preciso inserir valores para os parâmetros relacionados ao uso do solo da bacia, como, por exemplo, potencial máximo do índice de área foliar (BLAI), altura máxima do dossel (CHTMX), profundidade máxima da raiz (RDMX) e taxa de energia da biomassa (BIO_E). Como não possuímos valores de referência para estes e os demais parâmetros do uso do solo, realizamos a associação das classes de uso identificadas na BHARP[9] com as classes de uso existentes no próprio banco de dados do SWAT (Tabela 2).

Tabela 2. Classes de uso e ocupação do solo da BHARP e do banco de dados do SWAT

Classe de uso do solo na bacia	Classe de uso do solo no SWAT	Área ocupada (km^2)	Área ocupada (%)
Açudes	*Water – WATR*	82,50	1,23
Caatinga Arbórea-Arbustiva	*ForestedMixed - FRST*	2365,68	35,17
Caatinga Arbustiva	*Range-Brush – RNGB*	2252,88	33,49
Caatinga Herbácea	*Range-Grass – RNGE*	1601,40	23,80
Solo Exposto	*Barren - BARR*	424,69	6,31

Fonte: Autor (2017).

Realizamos a associação das classes de uso da BHARP com as classes existentes no banco de dados do modelo tendo como fator determinante o porte da vegetação (excetuando-se as classes de Açudes e Solo Exposto). Vemos que a BHARP possui uma distribuição do uso e ocupação do solo com grande presença das classes de Caatinga

[7] Estas imagens podem ser acessadas em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/.

[8] Optamos por utilizar este procedimento após testes realizados com ambos os métodos de classificação (supervisionada e não-supervisionada) e verificarmos que a classificação não-supervisionada apresentou menor grau de incerteza para a representação do uso e ocupação do solo da bacia uma vez que os trabalhos de campo realizados na área de estudo eram insuficientes para permitir a constatação das áreas de uso do solo da imagem com as vistas em campo.

[9] Salientamos que usos do solo relacionados às atividades agropecuárias estão contidos nas classes de Caatinga Herbácea e Solo Exposto devido à resolução espacial das imagens de satélite utilizadas para a classificação do uso do solo na BHARP não permitirem a identificação das referidas classes com precisão nas imagens. Além disso, a extensão da bacia (área com aproximadamente 6.700 km^2) dificultou a identificação destas áreas que compreendem as atividades agropecuárias.

Arbórea-Arbustiva e Caatinga Arbustiva, seguidas da classe de Caatinga Herbácea, o que indica uma boa cobertura do terreno pela vegetação. Contudo, essa distribuição do uso e ocupação do solo identificada para a BHARP pode estar sendo influenciada pela data de coleta da imagem de satélite. O período da obtenção das imagens utilizadas corresponde ao fim da estação chuvosa na bacia, momento em que a vegetação possui uma condição favorável de biomassa para ser detectada pelos sensores dos satélites.

Com a inserção do mapa de uso e ocupação do solo no ArcSWAT passamos ao fornecimento do mapa de tipos de solo da bacia. Este mapa foi gerado com base no Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba[10] (PERH-PB), o qual apresenta a distribuição dos tipos de solos existentes na Paraíba na escala 1:250.000. A Tabela 3 apresenta os tipos de solos da BHARP e algumas de suas características básicas.

Tabela 3. Tipos de solo existentes na BHARP e suas características básicas

Tipo de solo	Área (km^2)	Área (%)	Características
NeossoloLitólico	2644,12	39,24	solo formado a partir de qualquer tipo de rocha, normalmente associado a relevo movimentado, com sequência de horizontes A-C-R ou A-R; normalmente não ultrapassam 50 cm de profundidade
Luvissolo	2848,42	42,28	solo típico do semiárido, variando de raso a pouco profundo, caracterizado pelo horizonte B textural com argilas de alta atividade
Planossolo	50,54	0,75	solo apresentando horizonte A ou E seguidos de horizonte B plânico (pouco permeável), imperfeitamente a mal drenado, ocorrendo, comumente, em relevo ondulado e plano
NeossoloRegolítico	111,78	1,66	solo apresentando textura arenosa a média, que ocorre em relevo pouco movimentado, possuindo, normalmente, boa reserva de nutrientes para as plantas; possui sequência de horizontes A-C-R ou A-C
NeossoloFlúvico	232,40	3,45	solo profundo, que ocorre em relevo plano, com fertilidade natural média a alta, originário de material fluvial
Vertissolo	688,89	10,22	solo com horizonte vértico, variando de argiloso a muito argiloso, com alto teor de argilas expansivas e alta fertilidade natural
Argissolo Vermelho-Amarelo	69,71	1,03	solo mineral bem desenvolvido e drenado, com boa capacidade de armazenamento de água, porém baixa fertilidade natural, caracterizado por horizonte B textural

Fonte: Cartilha dos solos do Nordeste[11].

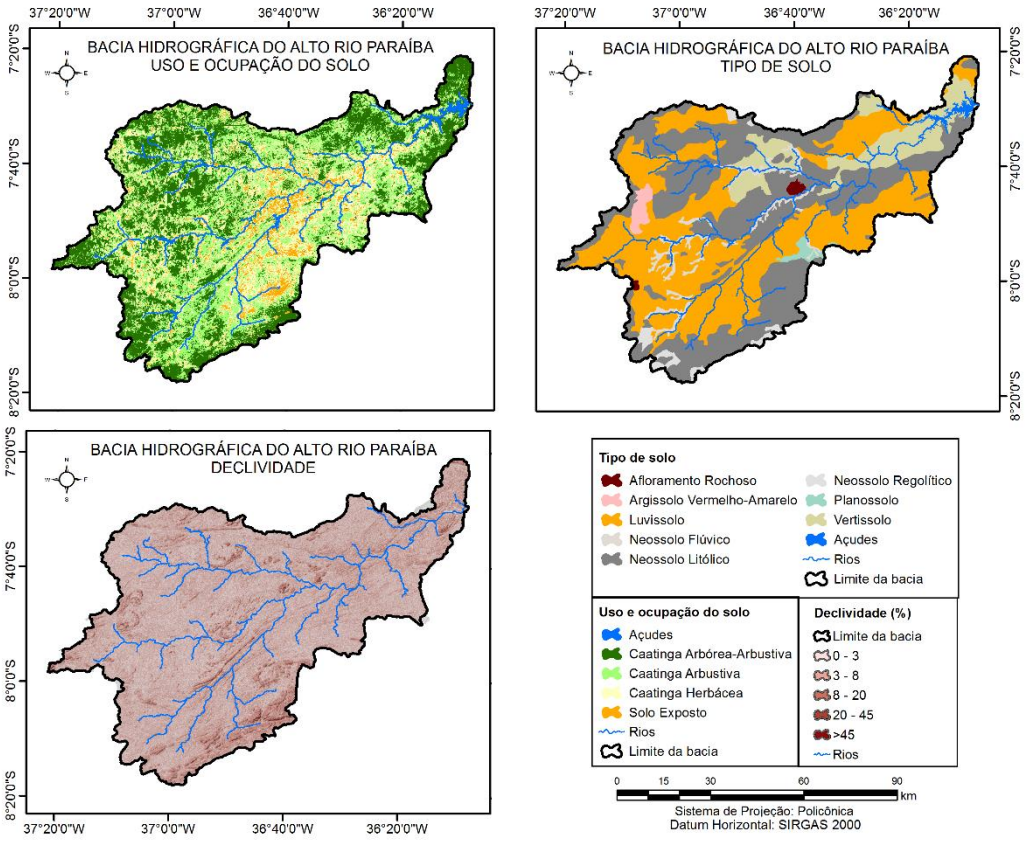
[10] O PERH-PB pode ser acessado em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/plano-estadual/resumo-estendido.

[11] A Cartilha dos solos do Nordeste foi elaborada pela Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento de Recife (UEP Recife) e a Embrapa Solos (Rio de Janeiro-RJ) e pode ser acessada em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114582/1/FOLDER-SOLOS-DO-NE-versao-final.pdf.

Além da inserção do mapa de tipos de solo da bacia, o ArcSWAT requer o fornecimento dos parâmetros físicos do solo que influenciam nos processos de escoamento superficial e subsuperfical, erosão, infiltração, evaporação da água no solo, entre outros. Os dados necessários para os parâmetros dos solos da BHARP foram obtidos em Dantas (2016), que construiu um banco de dados com os parâmetros dos solos exigidos pelo SWAT para a bacia hidrográfica do rio Taperoá, área hidrologicamente e pedologicamentesemelhante à BHARP e também inserida na região do Cariri Paraibano.

Na última parte da etapa de criação das HRU, o ArcSWAT solicita o estabelecimento das classes de declividade que compõem a bacia. As classes de declividade informadas ao *software* seguiram a classificação de declividade do terreno sugerida por EMBRAPA (1979) e foram geradas a partir do MDE utilizado na etapa de discretização da bacia, sendo: a) Plana: 0% a 3%; b) Suave ondulado: 3% a 8%; c) Ondulado: 8% a 20%; d) 20% a 45%; e e) Montanhoso/Escarpado: >45%. A Figura 5 mostra os mapas de uso e ocupação do solo, tipos de solo e declividade utilizados para a criação das HRU na BHARP.

Figura 6. Mapas utilizados na criação das HRU na BHARP



Fonte: Autor (2017).

Por fim,informamos ao ArcSWAT as áreas mínimas de cada mapa inserido que devem ser levadas em consideração para o estabelecimento do número de HRU na bacia. Como aponta Santos (2015):

> No processo de definição das URH, o usuário pode generalizar a modelagem da bacia, a partir da definição de níveis mínimos de sensibilidade na formação das URH para execução do modelo. Como por exemplo: se o usuário limitar em 10% a área para cada tipo do solo, solos que possuam área inferior a 10% serão eliminados e haverá uma redistribuição da área. A indicação de zero por cento permite que todos os tipos de ocupação e tipo de solo, bem como intervalos de declive, sejam considerados na criação das URH, favorecendo, assim, uma maior precisão (SANTOS, 2015, p. 110).

As áreas mínimas selecionadas para os mapas de uso e ocupação do solo, tipos de solo e declividade foram, respectivamente, 15%, 15% e 15%, o que deu origem a 756 HRU após o término desse processamento. Optamos por estes percentuais com o intuito de obtermos uma melhor representação para o uso e ocupação do solo, os tipos de solo e a declividade nas áreas mais significativas destas classes em relação à extensão da bacia.

c) Inserção dos dados climatológicos

Outra etapa exigida pelo SWAT, antes do início da modelagem, é o fornecimento das informações climáticas. Os dados climatológicos necessários para o cumprimento dessa etapa podem ser divididos em dois grupos: os dados diários e as médias mensais. No primeiro caso tratam-se de dados de precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar, todos a nível diário.

Os dados diários são os responsáveis pelo funcionamento dos processos hidrossedimentológicos da bacia diariamente e podem ser descritos como a entrada de energia no sistema (a bacia hidrográfica). No caso do escoamento superficial, por exemplo, a chuva é uma informação imprescindível para a simulação desse processo a cada dia ao longo da série histórica.

Já as médias mensais possuem a função de constituir o chamado gerador climático, ou seja, uma espécie de estação meteorológica virtual localizada dentro da bacia ou nas suas áreas circunvizinhas. Esse gerador é capaz de estimar os dados diários de precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar quando estes não são fornecidos ao ArcSWAT (NEITSCH et al., 2011).

Neste estudo utilizamos dados diários apenas da precipitação, sendoos demais parâmetros climatológicos estimados com base no gerador climático da BHARP. O fato de só dispormos dos dados de chuva se deve à inconsistência dos dados dos demais

parâmetros coletados e disponibilizados pela estação climatológica de Monteiro, na escala diária. Estudos como os de Carvalho Neto (2011) e Silva et al. (2018) apresentaram resultados satisfatórios para a simulação do escoamento superficial utilizando o gerador climático. A Tabela 4 apresenta os postos pluviométricos utilizados na modelagem.

Tabela 4. Postos pluviométricos utilizados na modelagem

Nome do Posto	Latitude(°)	Longitude(°)	Altitude (m)
Barra de São Miguel	-7,75	-36,32	520
Boqueirão	-7,49	-36,14	455
Cabaceiras	-7,49	-36,29	392
Camalaú	-7,89	-36,83	665
Caraúbas	-7,73	-36,49	460
Congo	-7,80	-36,66	524
Coxixola	-7,63	-36,61	498
Monteiro/Aç. Poções	-7,80	-37,11	603
Prata	-7,69	-37,08	600
São João do Tigre	-7,08	-36,85	800
São Sebastião do Umbuzeiro	-7,15	-37,01	645
Serra Branca	-7,48	-36,66	450
Sumé	-7,67	-36,90	700

Fonte: ANA (2017).

Os dados de todos os postos pluviométricos utilizados são de responsabilidade da AESA, a qual realiza a coleta e a organização destas informações em todo o estado da Paraíba. Tivemos acesso aos dados após a disponibilização destes por técnicos do órgão através de sua solicitação para a pesquisa. O período dos dados de chuva que foram utilizados na modelagem variaram de 1994 a 2016, período em que existe dados fluviométricos mensurados.

Para a elaboração do gerador climático nos baseamos, fundamentalmente, nos dados disponíveis na Estação Climatológica de Monteiro (Código OMM: 82792). Estes dados também compreendem o período estabelecido para a modelagem (1994 a 2016) e são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os parâmetros que compõem o gerador climático podem ser divididos em cinco grupos: temperatura do ar, precipitação, radiação solar, umidade relativa do ar e vento.Os dados organizados correspondem à média mensal para cada parâmetro.

Os parâmetros de temperatura do ar são: Média da temperatura máximamensal (TMPMX), Média da temperatura mínimamensal (TMPMN), Desvio padrão da temperatura máxima mensal (TMPSTDMX) e Desvio padrão da temperatura mínima

mensal (TMPSTDMN). Todos estes parâmetros foram obtidos a partir dos dados diários das temperaturas máxima e mínima da Estação Climatológica de Monteiro.

Os parâmetros de precipitação também foram adquiridos através dos dados diários disponíveis na Estação Climatológica de Monteiro. No entanto, para o cálculo de cada parâmetro utilizamos o *software*pcpSTAT (LIERSCH, 2003a), que permitiu a obtenção da Média da precipitação mensal (PCPMM), Desvio padrão da precipitação mensal (PCPSTD), Coeficiente de assimetria da precipitação mensal (PCPSKW), Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias secos no mês (PR_W1), Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos no mês (PR_W2) e Média de dias com precipitação no mês (PCPD).

No entanto, o parâmetro Precipitação máxima em meia hora de chuva no mês (RAINHHMX) não pode ser calculado pelo pcpSTAT. Assim, esse parâmetro foi obtido a partir de debates realizados no fórum de discussões SWAT-user[12], ambiente em que diversos pesquisadores apresentam questões sobre a aplicação do SWAT em suas respectivas áreas. Assim, o valor utilizado para esse parâmetro resultou do cálculo de 1/3 da precipitação máxima em cada mês. No gerador climático, a radiação solar é representada apenas pelo parâmetro média da radiação solar mensal (SOLARAV). Pelo fato de não dispormos de dados observados de radiação solar na Estação Climatológica de Monteiro este parâmetro foi obtido com base emBristow e Campbell (1984), que estimaram a radiação solar tendo como principal fator a temperatura do ar. Os dados necessários para a estimativa da radiação solarforam adquiridos em Silva et al. (2012) e no métodoutilizado para calcular a radiação solar do topo da atmosfera[13].

A umidade relativa do ar também é outro elemento existente no gerador climático, representado pelo parâmetro Média mensal da temperatura do ponto de orvalho (DEWPT). Este parâmetro foi obtido através dos *softwares*Dew e Dew02 (LIERSCH, 2003b),que estimam a temperatura média do ponto de orvalho em cada mês com base nos dados de temperatura máxima, temperatura mínima e umidade relativa do ar.

Por fim, o gerador climático do SWAT requer a inserção da Média da velocidade do vento mensal (WINDAV), que foi obtida com base nos dados diários de velocidade

[12] A discussão acerca do parâmetro RAINHHMX realizada no fórum SWAT-user pode ser vista em: https://groups.google.com/forum/#!searchin/swatuser/rainhhmx%7Csort:relevance/swatuser/kpZMCke3BvU/f3m0AlOJ7eEJ.

[13] Este método consiste em estimar a radiação solar do topo da atmosfera com base em parâmetros como declinação solar, latitude local, ângulo horário, entre outros. Calculamos os valores da radiação do topo da atmosfera através de uma planilha disponibilizada pelo Prof. Dr. Emerson Galvani, a qual pode ser acessada pelo link denominado "Radiação solar estimativa" no endereço: http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Emerson/flg0253/2014/.

do vento disponíveis na Estação Climatológica de Monteiro. A Tabela 5 mostra os valores de cada parâmetro do Gerador Climático utilizado na modelagem.

Tabela 5. Valores utilizados nos parâmetros do gerador climático para a modelagem

Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMPMX	29,4	29,4	30,4	29,4	26,8	25,7	25,7	28,3	30,1	31,1	31,6	31,4
TMPMN	18,3	19,3	19,4	19,1	18,3	17,0	16,4	15,8	16,5	16,5	18,0	19,2
TMPSTDMX	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
TMPSTDMN	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
PCPMM	67,1	62,1	101,0	87,0	72,4	41,0	27,6	12,8	4,6	6,9	7,9	40,3
PCPSTD	8,6	7,8	9,3	7,9	5,1	3,8	2,0	2,6	2,0	2,8	14,5	8,1
PCPSKW	5,2	4,9	5,3	5,1	4,9	6,1	7,9	6,5	24,6	10,6	14,5	8,1
PR_W1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
PR_W2	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,0	0,2	0,1	0,2
PCPD	4,1	4,6	6,7	6,5	5,4	4,7	3,9	2,2	0,8	0,6	0,7	1,9
RAINHHMX	7,1	7,8	12,8	12,0	11,0	7,9	7,5	6,2	1,9	2,4	1,1	4,1
SOLARAV	23,3	24,7	25,0	23,0	19,4	18,1	18,3	21,3	23,6	25,4	25,7	25,5
DEWPT	19,6	15,1	18,6	12,1	10,4	9,4	10,7	10,0	13,7	15,9	17,0	16,8
WNDAV	3,8	3,4	3,9	3,7	3,2	3,0	2,5	2,4	2,4	2,5	2,5	2,9

Fonte: Autor, com base nos dados de INMET (2017).

Com o gerador climático criado, inserimos os dados de precipitação diária dos postos existentes na BHARP e o modelo SWAT ficou encarregado de estimar os valores diários para a temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar.

d) Alteração nos parâmetros de entrada do modelo

Com a inserção dos dados climatológicos, o SWAT já é capaz de iniciar a modelagem e gerar os primeiros resultados. Contudo, objetivando um melhor grau de precisão nas simulações propomos alterações em alguns parâmetros de entrada do modelo. Os parâmetros modificados estão relacionados aos processos hidrológicos que ocorrem em ambiente subsuperficial e subterrâneo (Tabela 6).

Tabela 6. Parâmetros de entrada relacionados à dinâmica subsuperficial e subterrânea que foram modificados

Parâmetro	Descrição	Valor do Default	Valor Modificado
SHALLST (mm)	Profundidade inicial de água no aquífero raso	1000	0
DEEPST (mm)	Profundidade inicial de água no aquífero profundo	2000	0
GW_DELAY (dias)	Tempo de recarga do aquífero	31	0
ALPHA_BF (dias)	Fator de recessão do escoamento de base	0,48	0
GWQMN (mm)	Limite da profundidade de água no aquífero raso necessário para que ocorre fluxo de retorno	1000	0
GW_REVAP	Coeficiente de retorno da água subterrânea por evaporação	0,02	0,02
REVAPMN (mm)	Limite da profundidade de água no aquífero raso para que ocorra de ascensão à zona não saturada	750	0
RCHRG_DP (fração)	Fração de percolação para o aquífero profundo	0,05	0,05

Fonte: Autor (2017).

Modificamos os valores padrão dos parâmetros descritos acima devido às características geológicas e pedológicas da BHARP não serem bem representadas através destes valores. Portanto, selecionamos os valores mínimos de cada parâmetro como forma de adequá-los aos aspectos físicos da bacia: solos rasos em contato com o substrato rochoso cristalino, que não permite a formação de aquíferos e que determina um fluxo subterrâneo bastante limitado (SIQUEIRA, 1964).

Também é nessa etapa que fornecemos ao ArcSWAT os dados referentes aos açudes que inserimos na etapa da discretização da bacia. Os dados requeridos pelo modelo para a modelagem levando em conta a existência de reservatórios estão relacionados à área de espelho d'água, volume armazenado, sedimentos, infiltração no fundo do reservatório, evaporação e uso da água.

Inserimos, dessa forma, quatorze açudes existentes na BHARP e que são monitorados pela AESA (Tabela 7). A escolha desses açudes deveu-se ao fato da disponibilidade de dados existentes que são exigidos pelo modelo (Tabela 8). Assim, sabem-se que existem inúmeros outros açudes na bacia, principalmente,aqueles com pequenas áreas de espelho d'água, mas estes não foram considerados pelo fato de não oferecer os dados necessários para a modelagem. Também ressaltamos que não inserimos o açude Epitácio Pessoa (o maior da bacia) pelo fato de que ele recebe

contribuição, além da BHARP, a da bacia do rio Taperoá, o que pode gerar algum grau de incerteza para as simulações.

Tabela 7. Açudes inseridos na modelagem e suas características básicas

Açude	Município	Latitude (°)	Longitude (°)	Área de espelho d'água (ha)	Capacidade máxima de armazenamento (m³)
Bichinho	Barra de São Miguel	-7,748	-36,312	12,4	4.574.375
Camalaú	Camalaú	-7,890	-36,840	194,6	46.437.520
Campos	Caraúbas	-7,771	-36,568	142,5	6.594.392
Cordeiro	Camalaú	-7,831	-36,692	243,7	69.965.945
Ouro Velho	Ouro Velho	-7,605	-37,154	5,1	1.675.800
Pocinhos	Monteiro	-7,937	-37,221	162,2	6.789.305
Poções	Monteiro	-7,894	-37,008	190,1	29.861.562
Prata II	Prata	-7,696	-37,086	24,2	1.308.433
Santo Antônio	São Sebastião do Umbuzeiro	-8,104	-36,990	68,1	24.424.130
São Domingos	São Domingos do Cariri	-7,625	-36,447	31,4	7.340.440
São José II	Monteiro	-7,881	-37,072	37,1	1.311.540
São Paulo	Prata	-7,650	-37,081	52,7	8.455.500
Serrote	Monteiro	-7,923	-37,105	38,0	5.709.000
Sumé	Sumé	-7,672	-36,924	851,8	44.864.100

Fonte: SIGAESA-WEB (2017).

Tabela 8. Parâmetros exigidos pelo modelo para a simulação dos reservatórios na bacia

Parâmetro	Descrição
MORES	Mês de início da operação do reservatório
IYRES	Ano de início da operação do reservatório
RES_ESA(ha)	Área de espelho d'água no vertedouro de emergência
RES_EVOL ($10^4 m^3$)	Volume de água do reservatório no vertedouro de emergência
RES_PSA(ha)	Área de espelho d'água do reservatório no vertedouro principal
RES_PVOL ($10^4 m^3$)	Volume de água do reservatório no vertedouro principal
RES_VOL ($10^4 m^3$)	Volume de água no reservatório no início da modelagem
RES_SED (mg/l)	Concentração inicial de sedimentos em suspensão no reservatório
RES_NSED (mg/l)	Equilíbrio da concentração de sedimentos no reservatório
RES_D50 (µm)	Diâmetro médio das partículas de sedimento
RES_K (mm/h)	Condutividade hidráulica no fundo do reservatório
EVRSV	Fator de evaporação do reservatório
IRESCO	Opção da simulação de retirada de água do reservatório
OFLOWMN_FPS	Saída mínima de água do reservatório como uma fração do volume do vertedouro principal

Fonte: Autor (2017).

Para os parâmetros relacionados à área de espelho d'água e volume de água armazenada são necessários valores para ambos os parâmetros tendo em vista o

vertedouro principal e o vertedouro de emergência do açude. No entanto, como os açudes da BHARP não possuem essa diferenciação fornecemos os mesmos valores para os parâmetros de área de espelho d'água (RES_ESA e RES_PSA) e capacidade máxima de armazenamento (RES_EVOL e RES_PVOL) nos dois tipos de vertedouro.

Outro parâmetro necessário é a quantidade inicial de água existente no açude no início de sua inserção nas simulações. No caso dos açudes que já existiam no início da modelagem adotamos o volume de 0,00 m^3. Primeiro por que não possuíamos esse dado exato e segundo por que a modelagem inicia após um período de seca de quatro anos, o que indica que os açudes da bacia ou estavam secos ou estavam com seus volumes muito baixos. Os açudes inseridos após o início da modelagem também receberam o valor de 0,00 m^3 pelo fato de que no momento do início de sua operação o reservatório ainda encontra-se vazio.

O último parâmetro que teve seus dados fornecidos foi o relacionado ao uso da água do açude. Esse parâmetro indica a quantidade de água que é retirada do reservatório. O modelo fornece quatro opções para simular a retirada de água do açude: a) Descarga média anual; b) Simulação da descarga; c) Retirada de água medida diariamente; e d) Retirada de água medida mensalmente.

Optamos pela opção da retirada de água medida diariamente por possuirmos os dados a serem inseridos no ArcSWAT. Estes dados correspondem aos volumes anuais das outorgas existentes em cada açude da BHARP e são disponibilizados pela AESA. Com base nas informações contidas nas outorgas foi possível se aproximar da quantidade de água que é retirada de cada açude diariamente. Os dados utilizados para esse parâmetro constam no Apêndice 1.

Portanto, após essa etapa o SWAT já está devidamente habilitado a gerar os primeiros resultados referentes à modelagem.

e) Geração dos resultados

Cumpridas todas as etapas anteriores fomos capazes de efetuar a modelagem e obter os primeiros resultados. Para avaliar a qualidade das simulações comparamos os resultados calculados pelo SWAT com os dados observados de vazão do posto fluviométrico Caraúbas (Tabela 9), já que o nosso objetivo principal com a modelagem é verificar a influência da açudagem para o escoamento superficial na BHARP.

Tabela 9. Informações do posto fluviométrico Caraúbas

Nome do Posto	Código	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Caraúbas	38830000	-7,73	-36,50	493

Fonte: ANA (2017).

Os valores de vazão foram então calculados pelo SWAT e comparados com os valores observados do posto fluviométrico Caraúbas no período compreendido entre 1994 e 2016[14]. Para identificar o grau de ajuste que o modelo obteve nas simulações frente os dados observados, além de uma análise visual do hidrograma gerado, aplicamos dois índices estatísticos que indicam o desempenho do modelo no que tange à qualidade da modelagem:

a) coeficiente de determinação de Pearson (R^2), que correlaciona os dados observados e simulados a partir de uma relação linear entre eles e varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 mais correlação possuem os dados;

b) índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), o qual exprime a proximidade dos valores absolutos entre os dados observados e simulados, variando de -∞ a 1, sendo que os valores negativos indicam que os dados calculados podem ser substituídos pela média histórica e quanto mais próximos de 1 melhor é o ajuste.

Após a aplicação dos índices estatísticos e verificação do desempenho do modelo passamos a elaborar os produtos a serem analisados no estudo (tabelas, gráficos e mapas).

Salientamos que no segundo capítulo discutimos o funcionamento do escoamento superficial no semiárido e as possíveis influências desempenhadas pela açudagem nessa dinâmica. Desse modo, posteriormente a uma análise dos resultados da modelagem, identificamos que a relação entre o escoamento e a existência de açudes ao longo dos rios possuía uma espécie de padrão na série que investigamos (1994 a 2016) em relação aos anos chuvosos e os anos secos. Dividimos, então, a série em três períodos, os quais denominamos de períodos da relação chuva-vazão-volume dos açudes da BHARP.Estes períodos são resultado da análise da relação entre a chuva, a vazão e o volume dos açudes na bacia e estão distribuídos ao longo da série de dados da seguinte forma: a) período de anos secos e normais, variando ente 1994 e 2003; b) período de anos

[14] Ressaltamos que os anos de 1991 a 1993 foram usados para a realização do chamado aquecimento da modelagem. Sendo assim, esses anos não são considerados pelo modelo na geração dos resultados das simulações. Daí apresentarmos o período da modelagem como sendo entre 1994 e 2016.

chuvosos e normais, variando entre 2004 e 2011; e c) período de anos secos, variando entre 2012 e 2016.

A nomenclatura para estes períodos está baseada nas características dos totais anuais de chuva, ou seja, os anos em que as chuvas foram muito abaixo da média histórica (anos secos), próximos da média (anos normais) e muito acima da média (anos chuvosos). Ressaltamos que tentamos adaptar essa concepção de classificação em relação aos totais pluviométricos anuais da proposta da Análise Rítmica[15] idealizada por Monteiro (1971).

Assim, para a classificação de cada ano ao longo da série adotamos o seguinte critério: a) ano seco: possui total anual de chuva 25% abaixo da média histórica; b) ano normal: possui total anual de chuva variando entre 25% abaixo e 25% acima da média histórica; e c) ano chuvoso: possui total anual de chuva 25% acima da média histórica. Estes intervalos de classe estão baseados em Sant'anna Neto (1990).

Salientamos, também, que foram realizados dois trabalhos de campo exploratórios com o intuito de perceber com maior profundidade como se dão os processos que envolvem a açudagem no semiárido. Portanto, nos dias18 e 19 de março de 2017 visitamos os açudesCampos e Poções, além de trechos do rio Paraíba, objetivando iniciar uma proximidade com o objeto da pesquisa. O segundo trabalho de campo ocorreu nos dias 24 e 25 de maio de 2017 e foram visitadas as sedes da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) existentes nos municípios de Monteiro e Sumé, e os açudes São José II, Poções e Sumé, além da sede do DNOCS localizada no município de Sumé. Este segundo campo consistiu em diálogos com técnicos dos referidos órgãos a respeito da situação das chuvas e do abastecimento público na região a partir da disponibilidade hídrica dos açudes citados.

A última ressalva para este capítulo foi o fato de que realizamos a modelagem na BHARP através de dois cenários: a) **Primeiro cenário:**inexistência de açudes na bacia semintercepção do escoamento ao longo dos canais fluviais por origem humana; e b) **Segundo cenário:** existência de açudes ao longo da rede de drenagem na bacia.

[15]Essa técnica propõe a classificação dos anos existentes na série de dados com características climáticas próprias, sobretudo de acordo com a pluviometria. Esses anos podem possuir a característica de seco, habitual ou chuvoso. Devido a existência de séries longas de dados (a normal climatológica estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) é de 30 anos) e as dificuldades existentes para a análise da dinâmica climática ano a ano, Monteiro (1971) propôs o estabelecimento do que denominou de anos padrão, que são anos representativos das características de seco, habitual e chuvoso de toda a série. Assim, de toda a série de dados podem ser escolhidos três anos padrão (um ano seco, um ano habitual e um ano chuvoso) para se fazer uma investigação da dinâmica climática com maior profundidade.

ANÁLISE DA GESTÃO DAS ÁGUAS NO SEMIÁRIDO A PARTIR DO AÇUDE

No Capítulo III tratamos da gestão das águas no semiárido com base na investigação dos açudes, compreendendo-o como um componente central para o gerenciamento dos recursos hídricos na região.Aqui analisamos algumas disposições legais e pressupostos teóricos sobre a gestão da água, sobretudo no semiárido, além de avaliarmos o comportamento no volume de um açude localizado na BHARP em termos de variação (entradas e saídas de água) e a relação deste movimento com o gerenciamento dos recursos hídricos.

Inicialmente, discutimos a gestão das águas a partir da legislação e de referenciais teóricos sobre o tema. Utilizamos diversas leis existentes no Brasil que regulamentam o uso da água ao longo da história do país, a exemplo do Código das Águas (1934), da Constituição da República (1988) e da Lei das Águas (1997). Logo após, apresentamos alguns referenciais teóricos acerca do tema da gestão da água e como podemos utiliza-los para compreender o gerenciamento dos recursos hídricos no semiárido.

Posteriormente, passamos a discutir propriamente como o açude se constitui como um elemento central para a gestão das águas no semiárido. Nesse momento novamente utilizamos a bibliografia para fundamentar as considerações acerca da importância do açude para o gerenciamento dos recursos hídricos na região devido a sua capacidade de armazenamento e distribuição em articulação com outras políticas hídricas.

Na ultima parte deste capítulo apresentamos uma discussão acerca da variação de volume de um açude localizado na BHARP, o açude Sumé, e a relação deste processo com o planejamento e a gestão das águas. Para isso utilizamos dados referentes à precipitação, área do espelho d'água e volume do açude, entradas e saídas de volume de água no açude, uso da água do reservatório e evaporação deste.

Para os dados de precipitação usamos a série de dados dos postos pluviométricos Prata e Sumé (descritos na Tabela 4) para o período de 1994 a 2016. Efetuamos a média da chuva anual de ambos os postos para verificar a relação entre a chuva e a entrada de água no açude Sumé. Utilizamos apenas estes dois postos por serem os únicos compreendidos na área de drenagem do reservatório.

Para a área de espelho d'água e volume do açude usamos os dados disponibilizados pela AESA, que compreendem o período de maio de 1994 a maio de 2015. Não foi possível analisar o período completo de 1994 a 2016 devido a AESA dispor apenas da série que vai de maio de 1994 a maio de 2015.

Quanto aos dados referentes às entradas e saídas de água do açude Sumé utilizamos os dados obtidos junto ao DNOCS, mais especificamente ao setor que administra o Perímetro Irrigado Sumé, localizado na cidade de Sumé, Paraíba. Estes dados correspondem ao monitoramento do volume do reservatório pelos técnicos do DNOCS, os quais registram os montantes de água que entram e que saem do açude diariamente. O Anexo 1 demonstra uma planilha utilizada pelos técnicos do DNOCS para o registro dos valores de entrada e saída de água no açude.

No uso da água do açude Sumé usamos os dados também disponibilizados pela AESA para o reservatório. Estes dados correspondem às outorgas de uso da água existentes no açude e controladas pela AESA. Os respectivos dados estão presentes também no Apêndice 1.

Por fim, para analisar a evaporação do açude Sumé utilizamos os dados novamente disponibilizados pelo DNOCS em seu setor de administração do Perímetro Irrigado Sumé. Esses dados foram coletados através de um Tanque Classe A (Anexo 2), aparelho utilizado para a coleta de dados sobre evaporação.Nesse momento devemos fazer algumas ressalvas quanto ao uso destes dados.

Os dados de evaporação do açude Sumé disponibilizados pelo DNOCS compreende apenas os anos de 1981 a 1999, período que não se encaixa no mesmo período que estamos analisando os dados de precipitação, escoamento superficial, volume dos açudes, entre outros para discutir nosso objeto. Portanto, em busca de solucionar essa diferença entre períodos optamos por calcular a média mensal da evaporação do açude Sumé e utilizar estes valores para calcular os volumes de água do reservatório perdidos através da evaporação.

O cálculo dos volumes perdidos por evaporação consistiu em utilizar a evaporação média de cada mês e a área de espelho d'água do último dia de cada mês. Por exemplo, para calcular o volume perdido via evaporação em fevereiro de 2001 multiplicamos a evaporação média do mês de fevereiro, que é de 0,153 m (153,7 mm), pela área de espelho d'água do último dia do mês de fevereiro de 2001, que é igual a 1.266.628 m^2, e chegamos ao valor de 194.754 m^3 de volume evaporado no açude.

Salientamos que os dados obtidos junto ao DNOCS (variação de volume e evaporação do açude Sumé) foram coletados em visita de campo realizada na data de 13 de dezembro de 2017 na administração do Perímetro Irrigado Sumé, município de Sumé – PB.

Por fim, ao longoda apresentação dos resultados relacionados à variação de volume do açude Sumé debatemosas características da gestão da água no semiárido pautada nautilização do açude como elemento-chaveneste tipo de gerenciamento e como este elemento está articulado a outras políticas hídricasna região, como as cisternas, as adutoras, a irrigação, a integração de bacias hidrográficas, os carros-pipa, entre outros.

CAPÍTULO I:
SECA E ESTADO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O semiárido brasileiro pode ser entendido como a região que apresenta características de clima seco, possuindo considerável grau de aridez, com deficiência hídrica, irregularidades espaço-temporais das precipitações, predominância da vegetação do bioma Caatinga e solos pouco desenvolvidos, além de recorrentes períodos de estiagem (CORREIA et al., 2011; SILVA, 2006; SRINIVASAN e PAIVA, 2009; TARGINO e MOREIRA, 2006). Dentre os aspectos que caracterizam o semiárido brasileiro, a seca apresenta destaque por se tratar de um fenômeno que promove efeitos danosos aos sujeitos que vivem na região.

Ao longo do texto veremos que a seca provoca implicações distintas na região semiárida pelo fato de influir sobre sujeitos e territórios com características também distintas, sejam elas sociais, econômicas ou políticas, deixando de ser um fenômeno meramente físico para se constituir enquanto um fenômeno que unifica questões da natureza e da sociedade.

É possível observar também que a ocorrência das secas no semiárido é condicionada pela ação de diversos sistemas atmosféricos, com diferentes níveis escalares, tanto espaciais quanto temporais. Essa condição climática em que se encontra a região semiárida brasileira é determinada por sua posição geográfica em relação ao resto do país.

As consequências promovidas pelas secas no semiárido irão direcionar o estabelecimento de determinadas medidas promovidas pelo Estado brasileiro ao longo de sua existência, as quais se caracterizam pelos interesses dos grupos políticos que compõem o quadro administrativo em determinados momentos da história do país, bem como pelas necessidades de sobrevivência demandadas pelas classes de menor renda econômica.

Notaremos, portanto, que a história da região semiárida é marcada, do ponto de vista da intervenção estatal, por uma periodização das políticas públicas relacionadas à diminuição dos efeitos provocados pela ocorrência dos recorrentes períodos de seca.

SECAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O semiárido brasileiro se caracteriza por ser a região de condição semiárida com os maiores totais de chuvas registrados ao longo de sua extensão em relação às demais porções do planeta que compartilham dessa condição climática. Também é a região que possui o maior contingente populacional, quando comparada com as demais áreas semiáridas no mundo (CORREIA, 2016)

As secas acompanham toda a história da região semiárida brasileira, desde o início da formação territorial do Brasil até os dias atuais. No entanto, observamos que a ocorrência das secas no semiárido varia a cada momento em que é registrada. Isso nos autoriza a afirmar que nenhuma seca é igual à outra, pois a organização socioeconômica e territorial está em constante processo de transformação, e, desta forma, os efeitos da estiagem também não serão os mesmos. A Tabela 10 apresenta as secas registradas em toda a história do semiárido brasileiro.

Tabela 10. Secas registradas no semiárido brasileiro entre os séculos XVI e XXI

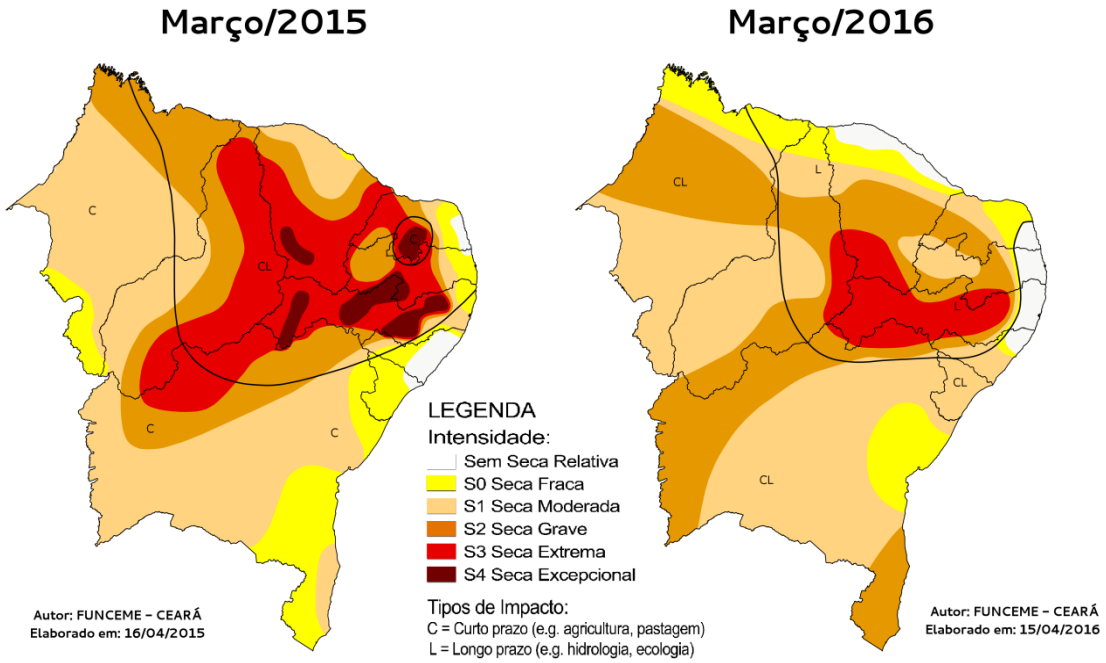
	Século XVI	**Século XVII**	**Século XVIII**	**Século XIX**	**Século XX**	**Século XXI**
Década 00		1603; 1608.	1707	1804; 1808-1809.	1900; 1903.	2001; 2003.
Década 10		1614	1710-1711	1814	1915; 1919.	2012-2016.
Década 20			1721-1727	1824-1825; 1829.		
Década 30			1730; 1736-1737.	1830; 1833.	1932	
Década 40		1645	1744-1747	1844-1845	1942	
Década 50		1652	1751; 1754.		1951-1953; 1958.	
Década 60			1760; 1766.		1962; 1966.	
Década 70			1771-1772; 1777-1778.	1870; 1877-1879.	1970; 1976; 1979.	
Década 80	1583; 1587.		1783-1784	1888-1889	1980-1983	
Década 90		1692	1791-1793	1898	1990-1993; 1998-1999.	

Fonte: Adaptado de Correia et al. (2011).

Podemos ver que o comportamento temporal das secas no semiárido não possui um padrão bem definido, apesar de seu alto grau de recorrência. Existem secas que podem durar mais de um ano e outras que podem durar apenas um único ano. Essa variabilidade irá depender da atuação dos sistemas atmosféricos que incidem sobre a região e que promovem a estiagem.

Em seu caráter espacial, as secas também não possuem um padrão bem definido quando de sua ocorrência: ora são mais intensas em determinadas áreas do semiárido ora em outras. A Figura 7 demonstra o comportamento espacial das secas registradas no mês de março para os anos de 2015 e 2016.

Figura 7. Comportamento espacial das secas no Nordeste do Brasil em março de 2015 e março de 2016



Fonte: Monitor de Secas[16].

Percebe-se uma grande heterogeneidade no comportamento da seca ao longo da extensão territorial do Nordeste do Brasil, sendo mais atingidos pelo fenômeno os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Estes estados fazem parte da porção do Nordeste denominada de norte do Nordeste (LUCENA et al., 2010) e historicamente são os que apresentam ocorrência do fenômeno com maior intensidade, o que representa, também, danos de maiores magnitudes para estas áreas (TARGINO e MOREIRA, 2006).

Os efeitos das secas podem ser diferenciados de acordo com sua intensidade (grau de redução das chuvas em relação à média histórica), seu tempo de duração, sua abrangência espacial e a organização territorial[17] no momento da ocorrência do fenômeno, variando desde a perda na produção agropecuária ou escassez de água nos reservatórios da região até intensas migrações ou mesmo a morte de milhares de vidas humanas e animais (FERREIRA, 1993; MOLLE, 1994; TARGINO e MOREIRA,

[16] O Monitor de Secas é uma ferramenta desenvolvida para o acompanhamento periódico das secas no Nordeste do Brasil, disponibilizando mapas em escala mensal do comportamento das secas na região. Os mapas elaborados e fornecidos pelo Monitor de Secas estão disponíveis em: http://www.monitordesecas.ana.gov.br/.

[17] Quando mencionamos o termo organização territorial estamos nos referindo à forma como a sociedade se institui no território, estabelecendo relações sociais, econômicas, políticas, culturais, entre outras, e determinando e sendo determinada pelas diversas instituições (compostas por determinados grupos e sujeitos) que a compõem, sejam elas estatais ou privadas.

2006). As consequências provocadas pelas secas no semiárido são melhores discutidas mais adiante.

Até o momento nos referimos à seca sem, no entanto, apresentar qual a significação que estamos atribuindo a este termo. Afinal, o que estamos entendendo por seca?

A seca se caracteriza pela diminuição dos totais pluviométricos de uma área por um período de duração de, no mínimo, um ano e provoca a ocorrência de efeitos diversos para o ambiente que está submetido a este fenômeno. Suas consequências impactam tanto os aspectos físicos quanto os aspectos sociais da área em questão: desde a diminuição da biomassa da vegetação até o comprometimento da produção agropecuária ou do abastecimento público (MOLLE, 1994; SILVA, 2006;FERNANDES et al., 2009).

Observa-se que ao delimitarmos o nosso entendimento do que é a seca, estamos distinguindo o período de seca (de duração mínima de um ano) da estação seca, sendo esta última uma estação sazonal do clima definida para o semiárido brasileiro que varia de oito a nove meses anualmente, de acordo com Nimer (1972) e Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

Outro aspecto importante sobre a definição do que se entende por seca é a de autores que tentam criar uma tipologia para a ocorrência de secas, levando à compreensão de que existe mais de um tipo de seca. Como exemplo podemos verificar que em Fernandes et al. (2009) e Campos e Studart(2001) são apresentados quatro tipos de seca, cada uma com uma característica específica:

a) **seca meteorológica** – diminuição dos totais anuais de precipitação em relação à normal climatológica da área;
b) **seca hidrológica** – redução dos volumes de água existentes em rios e reservatórios superficiais e subsuperficiais por determinado período de tempo;
c) **seca agrícola** – diminuição da disponibilidade de água para o suprimento das necessidades de crescimento das plantas;
d) **seca socioeconômica** – redução da disponibilidade de bens e serviços por efeito da diminuição dos totais anuais de precipitação.

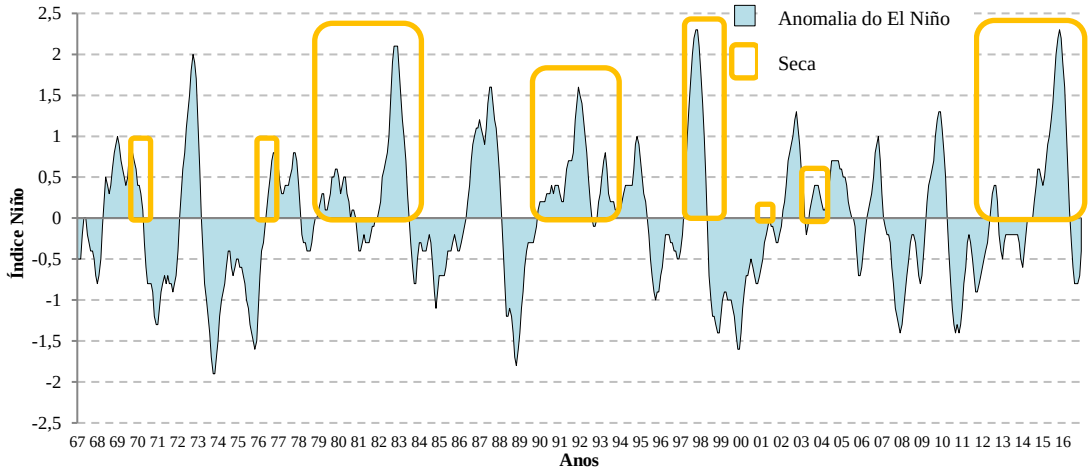
O que se vê a partir da proposta destes autores para classificar os tipos de seca é que a seca meteorológica é sempre a principal causa para a ocorrência dos demais tipos de seca e, desse ponto de vista, se constituem enquanto consequências da primeira e não enquanto outro tipo de seca. O que queremos afirmar com isso é que não entendemos que existam vários tipos de seca, mas sim que existe um fenômeno caracterizado pela

diminuição das chuvas em relação à normal climatológica para um determinado período de tempo e que promove efeitos diversos tanto sob a ótica física quanto sob a ótica social. É este fenômeno que denominamos de seca.

Os períodos de seca no semiárido estão intimamente ligados às alterações no comportamento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos Atlântico e Pacífico e sua relação com a dinâmica da circulação atmosférica em escala zonal. A literatura destinada ao estudo das secas no Nordeste apresenta uma série de indagações a respeito da ocorrência deste fenômeno na região. Contudo, a discussão sobre a relação Oceano-Atmosfera para a definição das chuvas (ou da sua redução) nesta porção do território brasileiro é a mais aceita atualmente (KAYANO e ANDREOLI, 2009; LUCENA et al., 2010; XAVIER, 2001).

A influência do oceano Pacífico nos períodos de seca no semiárido brasileiro ocorre através do fenômeno denominado El Niño. Este fenômeno se caracteriza pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial Central e Leste, promovendo o deslocamento da circulação de Walker, a qual passa a possuir seu ramo ascendente nesta região do oceano Pacífico e seu ramo descendente sobre a região Nordeste do Brasil, dificultando a formação de nuvens e a ocorrência de chuvas na estação chuvosa (KAYANO e ANDREOLI, 2009). A Figura 8 relaciona as anomalias da TSM do oceano Pacífico (região El Niño 3.4) e a ocorrência das secas no Nordeste brasileiro.

Figura 8. Anomalia da TSM do oceano Pacífico (região El Niño 3.4) e as secas no Nordeste brasileiro



Fonte: Correia et al. (2016); Índice Niño[18].

[18] Este índice indica a intensidade de ocorrência de fenômenos de El Niño e La Niña a partir da média de três meses consecutivos para os valores de TSM da região El Niño 3.4 no Oceano Pacífico. Os dados utilizados para a elaboração da figura estão disponíveis em: http://ggweather.com/enso/oni.htm.

O Índice Niño possui uma variação ao longo de sua série histórica que indica maior ou menos intensidade sobre a redução das chuvas no Nordeste do Brasil. Os valores para cada classe de intensidade são: a) Fraco: 0,5 a 0,9; b) Moderado: 1,0 a 1,4; c) Forte: 1,5 a 1,9; e d) Muito Forte: ≥ 2,0. As secas registradas em 1979-1983 e 1998-1999, por exemplo, coincidem com os períodos em que foram registrados El Niño Muito Forte: 1982-1983 e 1997-1998, respectivamente.

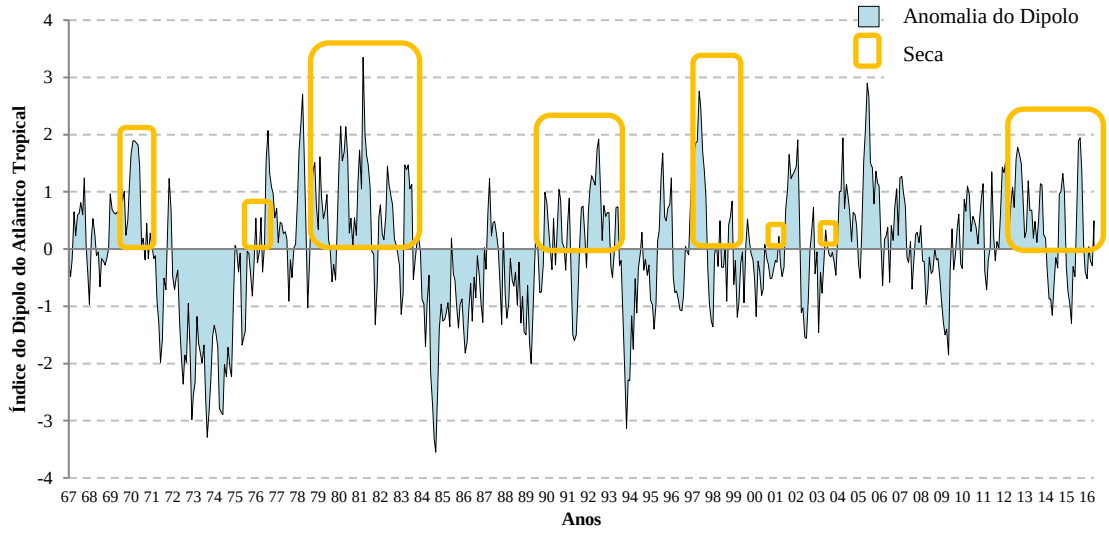
Contudo, mesmo havendo relação entre as anomalias da TSM do oceano Pacífico e a ocorrência de seca no semiárido brasileiro a literatura aponta para o oceano Atlântico como principal fator de influência na diminuição dos totais pluviométricos para o Nordeste do Brasil (ANDREOLI e KAYANO, 2007; KAYANO e ANDREOLI, 2009; LUCENA et al., 2010; SERVAIN, 1991; XAVIER, 2001).

A ação do oceano Atlântico para o condicionamento da redução das chuvas no semiárido se dá através do fenômeno chamado Dipolo do Atlântico Tropical[19]. Este fenômeno corresponde a uma dinâmica semelhante a qual ocorre no oceano Pacífico: oscilação dos valores da TSM no Atlântico Tropical. O trabalho de Servain (1991) aparece como um dos mais notáveis em se tratando da relação entre o oceano Atlântico Tropical e o regime de chuvas no Nordeste do Brasil. Este autor propôs um índice que objetiva a identificação de padrões de ocorrência simultânea de anomalias positivas e negativasnos oceanos Atlântico Tropical Norte e Atlântico Tropical Sul. A este fenômeno de anomalia simultânea da TSM do Atlântico Tropical entre os dois hemisférios Servain denominou Dipolo do Atlântico Tropical.

Nos períodos em que o Dipolo do Atlântico Tropical registra valores positivos a estação chuvosa do semiárido brasileiro (sobretudo sua porção norte) pode estar submetida à redução dos totais pluviométricos em relação à média histórica. Quanto maior for o valor positivo para o dipolo maior será sua intensidade e, consequentemente, maior a possibilidade de diminuição das chuvas no Nordeste do Brasil. A Figura 9 relaciona as anomalias do Dipolo do Atlântico Tropical e a ocorrência de secas na região nordestina.

[19] Este fenômeno também pode ser encontrado na literatura pelos termos Gradiente Meridional da Temperatura da Superfície do Mar no Atlântico Tropical (GRADM) ou Gradiente Inter-hemisférico (GRADT). Utilizaremos o termo Dipolo do Atlântico Tropical em referência à Servain (1991).

Figura 9. Anomalia do Dipolo do Atlântico Tropical e as secas no Nordeste do Brasil



Fonte: Correia et al. (2016); Índice do Dipolo do Atlântico Tropical[20].

As anomalias positivas do Dipolo do Atlântico Tropical quando ocorrem no mesmo período que os fenômenos de El Niño podem provocar uma intensificação ainda maior da seca no semiárido brasileiro (LUCENA et al., 2010). Novamente destacam-se as secas de 1979–1983 e 1998–1999 como exemplos de períodos em que ocorreram anomalias positivas do dipolo. Estas duas secas ocorreram na mesma época em que foi registrado El Niño Muito Forte e Dipolo do Atlântico Tropical positivo com valores altos quando comparados com outros anos. O resultado dessa combinação é o deslocamento da posição normal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema atmosférico gerador de chuvas no semiárido brasileiro, na primeira metade do ano para regiões mais ao norte da linha do equador. Com isso, as chuvas no Nordeste do Brasil são reduzidas e os períodos de seca afloram na região (MOURA e SHUKLA, 1981).

Ressaltamos, no entanto, que as anomalias do Dipolo Tropical Atlântico e a ocorrência de El Niño não possuem uma relação direta com o registro de secas no semiárido brasileiro, mas sim favorecem a diminuição das chuvas na região em comparação à média histórica. Essa relação se exprime com maior nitidez quando estes fenômenos ocorrem de maneira conjunta e com alto grau de intensidade, provocando efeitos danosos à organização territorial nordestina.

As consequências das secas no semiárido brasileiro ao longo de toda a sua história variam de acordo com sua intensidade, seu tempo de duração, sua abrangência espacial

[20] Os dados utilizados para a elaboração da figura estão disponíveis em: http://www.funceme.br/produtos/manual/oceanografia/Campos_TSM/campos_atlantico.php.

e a organização territorial da região. Como vimos, os períodos de seca são registrados no Nordeste desde o século XVI, destacando-se àquelas ocorridas a partir do século XVIII, quando ocorre um aumento nos registros (Tabela 1).

Targino e Moreira (2006) realizaram um retrospecto das principais secas que incidiram sobre o Nordeste do Brasil. Com base nesses autores, é possível verificar que à medida em que a população passa a ocupar com maior ênfase o interior do Nordeste, estabelecendo atividades agropecuárias e aumentando o contingente populacional da região, maior serão os danos causados pelas secas na região, pois maior será o número de sujeitos submetidos a ela.

A seca de 1877–1879 ilustra essa afirmação.A estiagem registradanesse período promoveu uma série de danos à região Nordeste do Brasil. O resultado mais impactante desta seca foi a morte de centenas de milhares de pessoas em toda a região, motivadas pela falta de água e comida e pela contração de doenças. Outra consequência desta seca foi a perda de grande parte do rebanho do semiárido, além da produção agrícola, o que forçou a migração de milhares de pessoas para regiões com maior disponibilidade de água, a exemplo do litoral e das áreas de brejo úmido (TARGINO e MOREIRA, 2006).

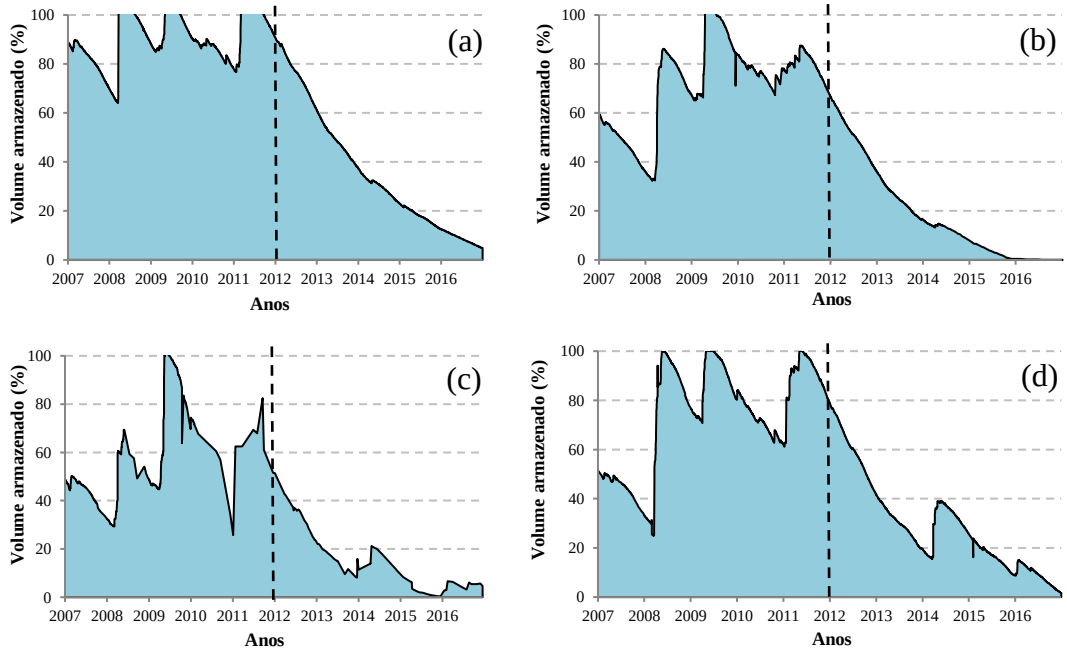
Um século depois, a região Nordeste experimenta a ocorrência de outra seca, dessa vez com um tempo de duração maior: 1979 a 1983. Esta seca abrangeu todos os estados do semiárido nordestino, possuindo variação desua área de abrangência espacial de acordo com cada ano de estiagem, chegando a compreender 67% do semiárido brasileiro. Entre as principais consequências estão a perda da produção agrícola, sobretudo de pequenos produtores, altamente significativa e afetando não só os pequenos proprietários, mas também os trabalhadores assalariados e os arrendatários, bem como a diminuição dos volumes de água armazenados nos açudes da região (TARGINO e MOREIRA, 2006).

No ano de 1998, assim como no período de 1979 a 1983, as anomalias registradas nos oceanos Atlântico e Pacífico alteram a circulação da atmosfera em sua dinâmica normal e o Nordeste passa a se submeter a um novo período de estiagem. Os principais danos provocados por esta seca dizem respeito não mais à produção agropecuária da região, mas sim ao sistema de abastecimento público de águas nas cidades (TARGINO e MOREIRA, 2006). Contudo, esta seca promoveu perdas na produção agrícola da região Nordeste de aproximadamente R$ 1,8 bilhão para o ano de 1998 em relação ao ano de 1997, o equivalente a 23,5% de redução na produção. A Paraíba apresentou uma

queda de 58,6% de produção, ficando atrás apenas do Piauí, o qual registrou 61,3% de decréscimo (TERACINES, 2000).

O período de seca mais recente registrado no Nordeste do Brasil compreendeu os anos de 2012 a 2016 (CORREIA et al., 2016). O principal efeito promovido por esta seca na região foi a crise no abastecimento público de águas nas cidades pela redução constante dos volumes armazenados nos açudes após o início da estiagem[21]. A Figura 10 apresenta o comportamento do volume de água armazenado em quatro grandes açudes localizados na região do Cariri Paraibano nos últimos dez anos (2007 a 2016).

Figura 10. Comportamento do volume de água armazenado em açudes do Cariri Paraibano entre 2007 e 2016: (a) Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão); (b) Açude Cordeiro; (c) Açude Poções; e (d) Açude Sumé. A linha tracejada em cada gráfico indica o início da seca no ano de 2012.



Fonte: AESA[22].

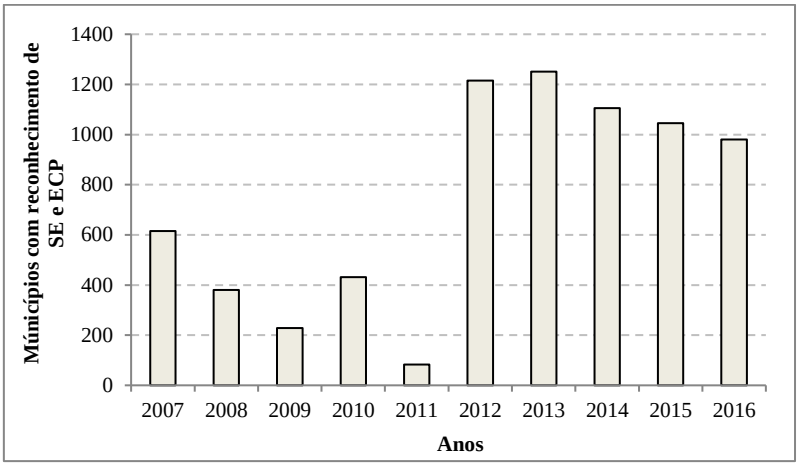
O comportamento da água armazenada nestes açudes reflete uma tendência experimentada pelos açudes existentes no semiárido brasileiro: contínua diminuição dos volumes de água armazenada. O açude Epitácio Pessoa, por exemplo, chegou ao final de 2016 com um volume armazenado de 4,9% em relação à sua capacidade máxima de armazenamento, causando impactos diretos a centenas de milhares de pessoas que utilizam esta água, incluindo a cidade de Campina Grande, que além de possuir uma população de aproximadamente 400 mil habitantes também possui dezenas de indústrias

[21] Informação obtida através do Sistema Olho N'Água.
[22] Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-diario/?tipo=atual.

instaladas em seu território, estando, assim, submetidas aos danos causados pela estiagem na região.

Outra característica que se destaca com esta seca é a quantidade de municípios da região Nordeste que passaram a declarar Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) em decorrência dos efeitos provocados pela estiagem. Durante os cinco anos de estiagem na região pelo menos 1.100 municípios, em média, declararam SE e/ou ECP a cada ano. A Figura 10 demonstra o número de municípios da região Nordeste reconhecidos pela Defesa Civil do Brasil (Ministério da Integração Nacional) como em Situação de Emergência e/ou Estado de Calamidade Pública por consequência de seca/estiagem nos últimos dez anos (2007 a 2016).

Figura 11. Número de municípios do Nordeste que declararam SE e/ou ECP entre 2007 e 2016



Fonte: Ministério da Integração Nacional[23].

A quantidade de municípios do Nordeste em SE e/ou ECP durante a seca de 2012–2016 além de indicar a intensidade da estiagem e os danos gerados à economia dos municípios nordestinos também podem alertar para a abrangência espacial que o fenômeno possuiu, atingindo todos os estados da região. Os estados com maior quantidade de municípios em SE e/ou ECP, em números absolutos e em ordem decrescente foram: Piauí, Bahia e Paraíba. A declaração de SE e/ou ECP pelos municípios tem o objetivo de solicitar auxílio financeiro do Governo Federal para tratar dos problemas relacionados ao desastre ocorrido. No caso da seca/estiagem os municípios aplicam o montante financeiro em medidas de ampliação de acesso a água para a população local, por exemplo.

[23] Os dados utilizados para a elaboração do gráfico estão disponíveis em: http://www.mi.gov.br/web/guest/reconhecimentos-realizados.

Após a análise desta última seca registrada no semiárido brasileiro podemos ver, ao longo do texto[24], que os efeitos promovidos pela estiagem são diversos e variam de acordo com a época e sua organização territorial vigente. As secas registradas nos séculos passados causam consequências diferentes em relação às secas experimentadas pelo Nordeste nas últimas décadas. Esta diferença está associada às mudanças ocorridas tanto na organização territorial da região quanto às ações do Estado brasileiro ao longo da história do país, protagonizada por determinados sujeitos e seus respectivos interesses. A seguir veremos como se deu esse processo de atuação estatal na região nordestina do Brasil.

A SECA E O ESTADO

A história do Brasil é caracterizada pela existência dos chamados ciclos econômicos, os quais foram responsáveis pela geração de riqueza ao longo de toda a formação territorial do país.

Estes ciclos ocorreram em determinadas regiões do território brasileiro e tiveram participação na economia nacional ora de maneira mais intensa ora de maneira mais branda. Podemos citar o ciclo da cana-de-açúcar e do algodão no Nordeste, da mineração e do café no Centro-Sul e da borracha na Amazônia. A intervenção estatal no semiárido nordestino também pode ser analisada a partir de uma concepção de periodização.

Veremos que em determinados momentos da história do Nordeste o Estado brasileiro estabeleceu determinadas medidas com o objetivo de amenizar os efeitos das secas na região, de acordo com as características governamentais (sujeitos e respectivos interesses) de cada momento histórico.

Estas medidas podem ser analisadas em quatro tipos: a) ações emergenciais; b) solução hídrica; c) política desenvolvimentista; e d) fortalecimento da pequena produção. A seguir veremos as características de cada uma destas ações promovidas pelo Estado a fim de atenuar os danos causados pelas secas no semiárido.

Ações emergenciais

Os primeiros três séculos da história do Nordeste brasileiro não possuem registros de políticas sistemáticas promovidas pelo Estado com vistas a diminuir os efeitos

[24]Ressaltamos que não é objetivo deste trabalho realizar uma análise detalhada sobre as secas as quais o Nordeste do Brasil foi submetido durante sua história, mas sim trazer exemplos que elucidam as discussões desenvolvidas sobre as secas e seus efeitos para a região.

prejudiciais provocados pelos períodos de estiagem no semiárido. Isso porque, como já havíamos mencionado, os danos promovidos pelas secas no Nordeste só passaram a se tornar um problema nítido quando da intensificação da ocupação do semiárido, com o aumento do contingente populacional e do estabelecimento das fazendas de gado.

As medidas adotadas pelo Estado nesse período se constituíam, basicamente, ao suprimento de gêneros alimentícios que fossem capazes de satisfazer a necessidade dos sujeitos atingidos pela estiagem (FERREIRA, 1993; MOLLE, 1994; SILVA, 2006; TARGINO e MOREIRA, 2006). Estas ações ocorriam apenas nos períodos de seca e se constituíam como medidas emergenciais e imediatistas, com caráter simplesmente minorar os efeitos do fenômeno.

A população residente do semiárido não possuía uma política permanente de ações que tivessem o objetivo de preparar a região para os períodos de seca. Pelo contrário. Estes sujeitos eram atendidos apenas nos momentos de estiagem, após a morte de pessoas e do gado.

Uma das ações representativas desse período foi a Carta Régia expedida por D. João IV obrigando o plantio de mandioca nos engenhos com o intuito de minimizar os danos causados pela seca de 1721/27 para a população (SILVA, 2006). Esta medida ilustra o que foi a intervenção governamental no semiárido brasileiro em relação aos problemas causados pelas secas: ações emergenciais limitadas aos períodos de estiagem.

Essa lógica adotada pelo Estado brasileiro em relação aos efeitos das secas no Nordeste irá ser reproduzida até meados do século XIX, quando do início da construção de obras sistemáticas que objetivavam superar os problemas da estiagem no semiárido. Contudo, é de se ressaltar que as ações emergenciais nos períodos de seca irão fazer parte de toda a história do Nordeste brasileiro em se tratando do modo como a intervenção estatal é realizada.

Solução hídrica

Durante o século XIX foi estabelecida uma outra concepção de promoção de ações desempenhadas pelo Estado quando dos problemas relacionados às secas no semiárido. Percebeu-se que as ações emergenciais nos períodos de estiagem não mais eram capazes de atenuar os efeitos causados pela seca; havia a necessidade de buscar formas de minorar estes efeitos antes que a estiagem ocorresse. É quando, em meados deste século, o Estado passa a instituir o que ficou conhecido como a solução hídrica (SOUZA, 2008).

Esta nova maneira de promover políticas estatais se baseia na ideia de que o problema do semiárido é a escassez hídrica, a qual é acentuada nos períodos de estiagem. A solução hídrica representa um conjunto de obras de infraestrutura, de estudos sobre a região e de práticas de manejo da produção agropecuária implementadas pelo Estado com o objetivo de superar os danos advindos das secas.

Podemos afirmar que o início dessa política estatal ocorre durante a década de 1830, quando o governo do estado do Ceará institui uma lei (entre 1832 e 1833) para a concessão de gratificações aos proprietários rurais que se destinassem à construção de um açude[25] de determinadas dimensões em suas terras. Essa medida incentivou a criação desses reservatórios na região e contribuiu para o crescimento do número de açudes em poucos anos no estado (MOLLE, 1994; SILVA, 2006). Contudo, dadas as características da estrutura agrária daquele período (alta concentração fundiária) podemos indagar que os principais sujeitos beneficiados com esta medida foram os grandes proprietários rurais da região.

Mesmo se constituindo enquanto uma ação sistemática do Estado (nesse caso o governo do Ceará) com o intuito de combater os efeitos das secas essa medida ainda é considerada simplória quando se compara com o complexo panorama dos efeitos da estiagem no semiárido.

Uma ação de caráter mais sistemático e elaborado ocorre no ano de 1856 quando é criada uma comissão científica para o estudo das secas e da região semiárida. O objetivo dessa comissão era o de estudar a região e propor medidas que solucionassem os problemas das secas no Nordeste (FERREIRA, 1993; SILVA, 2006; TARGINO e MOREIRA, 2006). Entre as recomendações da comissão para resolver os efeitos das secas estão:

1) Instalação de estações meteorológicas;
2) Construção de rodovias e ferrovias;
3) Reflorestamento intensivo;
4) Incentivo à piscicultura;
5) Construção de canais que ligassem o rio São Francisco a rios intermitentes do semiárido;
6) Transferência de parte da população para regiões úmidas;
7) Práticas de lavoura seca (dry-farming);

[25] Reservatório utilizado para o armazenamento de água na região do semiárido brasileiro.

8) Práticas conservacionistas na agricultura;
9) Lavouras resistentes às secas (vegetação nativa de interesse comercial);
10) Irrigação;
11) Incentivo à ovinocultura e caprinocultura.

Estas ações relacionadas ao melhoramento da infraestrutura da região se constituíam enquanto medidas diretas ou indiretas no combate aos efeitos da seca. As ações diretas dizem respeito àquelas que objetivam suprir as necessidades básicas da população nos períodos de estiagem, como a disponibilidade de água e o fornecimento de alimento, e são representadas pelos açudes, pela irrigação, reflorestamento, práticas agrícolas adaptadas às secas, entre outras políticas de caráter voltado a atenuar os danos causados pela estiagem. Já a construção de rodovias e ferrovias, instalação de estações meteorológicas, transferência de parte da população para regiões úmidas podem ser entendidas enquanto ações complementares visando o amortecimento dos efeitos da seca.

Além destas medidas a construção de açudes se constituía como a principal quando comparada com as ações de combate à seca no Nordeste. Após a seca que ocorreu em 1877/1879 houve uma disseminação exponencial no número de açudes construídos no semiárido, no período que marca as últimas décadas do século XIX e o início do século XX (MOLLE, 1994). A discussão sobre o processo de construção de açudes na região será realizada mais adiante com maior detalhe.

O período após a seca de 1877/1879 também marca o aparecimento de um segmento específico da classe política do Nordeste. Segundo Ferreira (1993) esse é o momento em que a chamada indústria da seca ganha destaque no contexto regional. Foi o período em que a União passou a destinar maiores quantidades de recursos financeiros para o atendimento da população nordestina nos anos de seca, sobretudo após a Constituição de 1891, a qual "previa o socorro às vítimas de flagelos naturais, incluindo os retirantes das secas do Nordeste" (TARGINO e MOREIRA, 2006, p. 102-103).

De acordo com Ferreira (1993) a indústria da seca nasce a partir das ações assistencialistas (emergenciais) pautadas pelo Estado brasileiro em relação aos efeitos danosos causados pela seca apenas durante a sua ocorrência; eram os chamados socorros públicos, que visavam atender a milhares de pessoas que sofriam com este problema através das ações emergenciais.

A constituição desse movimento se deu a partir de duas dimensões: a) a dimensão local, com desvios de verbas e alimentos por parte de membros das comissões (a nível municipal) criadas para executar estas ações, por tropeiros e por comerciantes da região; e b) a dimensão regional/nacional, a qual era composta pelos representantes políticos do Nordeste que se utilizavam dos problemas gerados pela seca na região para justificar o requerimento de verbas do Governo Federal (FERREIRA, 1993).

A indústria da seca possuía uma forte organização devido à articulação existente entre as representações políticas locais, que comandavam as comissões locais, e as representações políticas regionais, que disputavam a disponibilidade de verbas para a região nordestina no cenário nacional. Estas duas formas de representação constituíam as oligarquias locais e regionais do Nordeste, caracterizadas, principalmente, pelo controle da terra e da água na região.

A crescente ascensão da elite agrária nordestina no cenário político nacional (resultado da importância da produção algodoeira para o país ao longo do século XIX) e com ela a consolidação da indústria da seca irão promover, de acordo com Silva (2006), a institucionalização definitiva da solução hídrica em relação às ações de combate à seca no semiárido: é criada, em 1909, a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS).

A IOCS surge após o acúmulo de experiências de comissões e órgãos estatais criados nos primeiros anos do século XX para lidar a problemática advinda das secas. O novo órgão tem o objetivo de desenvolver ações permanentes sobre os efeitos da estiagem no Nordeste. Pode-se dizer que a visão adotada pelo Estado republicano passa a estar voltada para ações de prevenção contra este fenômeno, mesmo que as medidas emergenciais continuem ocorrendo nos períodos de seca (MOLLE, 1994).

Com a criação da IOCS o Estado passou a desempenhar ações cada vez mais articuladas em relação a obras de infraestrutura na região: açudes, barragens, estradas de rodagem, ferrovias, etc. Estas obras apresentaram um crescimento exponencial após a posse do paraibano Epitácio Pessoa à presidência da república[26] (FERREIRA, 1993), em 1919, ano que também marca a transformação da IOCS em Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS).

A IFOCS seguia os mesmos princípios estabelecidos pela IOCS e logo durante os primeiros anos experimentou a destinação de considerável montante de recursos para a implementação de suas ações no governo de Epitácio Pessoa. Contudo, o governo

[26] Para maiores detalhes da gestão de Epitácio Pessoa sob o comando da presidência da república do Brasil consultar Ferreira (1993).

seguinte não deu continuidade aos esforços movidos pelo paraibano quando das medidas de combate à seca e a IFOCS praticamente paralisou suas atividades, resultando na paralização em cerca de 90% de suas obras em curso (FERREIRA, 1993).

Apenas na década de 1930 é que se vê uma retomada das ações promovidas pela IFOCS no combate à seca no Nordeste. Durante a seca de 1932 a IFOCS passou por um período de grandes investimentos e de renovação em suas ações, ganhando força as atividades relacionadas à irrigação, reflorestamento e agricultura (MOLLE, 1993).

No ano de 1934 é promulgada uma nova Constituição da República que traz atribuições diretas da obrigatoriedade do Estado brasileiro em lidar com os problemas causados pela estiagem no Nordeste. De acordo com Art. 5º Inciso XV compete à União "organizar defesa permanente contra os efeitos da seca nos Estados do Norte". E ainda no Art. 177 estabelece que:

> A defesa contra os efeitos das secas nos Estados do Norte obedecerá a um plano sistemático e será permanente, ficando a cargo da União, que dependerá, com as obras e os serviços de assistência, quantia nunca inferior a quatro por cento da sua receita tributária sem aplicação especial (BRASIL, 1934).

Esta é uma importante medida promovida pelo Estado brasileiro em relação ao combate à seca, pois estabelece uma quantidade mínima de recursos a serem destinados para tratar dos problemas associados a este fenômeno, apresentando uma ação de caráter permanente quando do combate aos efeitos da estiagem na região semiárida.

As ações do Estado brasileiro pautadas na solução hídrica se desenvolvem durante a década de 1930 e encontraram na década seguinte uma renovação com a transformação da IFOCS em Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) em 1945. O órgão passa agora a desempenhar ações sistemáticas no combate à seca através de suas obras e serviços permanentes, dando continuidade à construção de açudes e barragens, perfuração de poços, mas também pautando com maior ênfase a utilização das águas represadas nos açudes para o desempenho de atividades agrícolas, com foco no uso de práticas de irrigação (SILVA, 2006).

No entanto, mesmo com a reformulação da IFOCS (transformação em DNOCS) a década de 1940 também registra o início de uma mudança na concepção da intervenção estatal no Nordeste. Começa-se a questionar se as secas são o real problema da região. A solução hídrica começa a perder o protagonismo em relação às medidas de combate à seca adotadas pelo Estado brasileiro.

A política desenvolvimentista

É na década de 1940 que os primeiros indícios de mudança na compreensão de combate aos efeitos da seca no Nordeste. No mesmo ano em que a IFCOS é transformada em DNOCS, 1945, também é criada a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) com o objetivo de "produzir e distribuir energia elétrica para os estados nordestinos, eliminando um dos pontos críticos para o desenvolvimento industrial da região" (TARGINO e MOREIRA, 2006). Em 1948 surge a Comissão do Vale do São Francisco (CVSF) que tinha o intuito de promover o desenvolvimento da agricultura irrigada ao longo do rio São Francisco, além de auxiliar na utilização do seu potencial hidrelétrico (SILVA, 2006).

Esses podem ser considerados os primeiros sinais de modificação da atuação estatal no semiárido quando das políticas de combate à seca. No entanto, ainda apresentam um caráter pontual em relação à ação do Estado na região, pois a sua área de implementação está limitada ao vale do rio São Francisco, negligenciando as demais porções da região nordestina.

Uma ação com características mais abrangentes para o Nordeste ocorre no ano de 1952 com a fundação do Banco do Nordeste do Brasil (BNB), o primeiro banco estatal criado no país para o desenvolvimento regional. Entre os principais objetivos do BNB podem-se destacar: a) financiamento para instalação de indústrias e empreendimentos agropecuários; b) fornecimento de crédito para o estabelecimento de infraestrutura que viabilizasse a implementação de atividades produtivas na região; c) realização de estudos sobre o Nordeste; e d) capacitação de mão-de-obra para ocupar os novos postos de trabalho criados na região (SILVA, 2006; TARGINO e MOREIRA, 2006).

A criação do BNB demonstra uma ação efetiva do Estado com vistas a incentivar o desenvolvimento econômico do Nordeste já que busca promover a instalação de empreendimentos industriais e agropecuários com foco no setor produtivo, além de possibilitar o fornecimento de crédito para os produtores rurais da região. Via-se que a solução hídrica entrava em um período onde não possuía mais o protagonismo no que tange à intervenção estatal no Nordeste. É o momento em que a solução hídrica dá lugar à chamada política desenvolvimentista.

A política desenvolvimentista se constitui enquanto uma concepção do Estado em relação à sua forma de intervenção sobre o Nordeste de maneira a promover o

desenvolvimento econômico da região através da criação de órgãos estatais que contribuam com o melhoramento da sua infraestrutura produtiva e que promovam o financiamento a empreendimentos industriais e agropecuários e o fornecimento de crédito para produtores rurais.

Sem dúvidas essa nova visão de intervenção do Estado em relação aos problemas da estiagem no Nordeste ganha força durante as décadas de 1940 e 1950. Contudo, sua consolidação ocorre, de fato, no ano de 1959 com a criação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

O estabelecimento da SUDENE, enquanto um órgão que propusesse ações para o desenvolvimento econômico do Nordeste, ocorreu após a realização e publicação do estudo *Uma política de desenvolvimento econômico para o Nordeste*, elaborado pelo Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste (GTDN). A principal contribuição desta publicação foi a de evidenciar que o problema maior do Nordeste não é a seca, mas sim o seu nível de desenvolvimento econômico em relação à região Centro-Sul do Brasil.

Esta concepção de desenvolvimento econômico para a região nordestina foi levada a cabo por Celso Furtado, primeiro superintendente da SUDENE e membro do GTDN durante sua primeira publicação, que nos primeiros anos de atuação a frente da superintendência traçou uma série de projetos e programas que dessem materialidade às suas percepções.

As ações da SUDENE pautavam-se nas principais noções: a) desenvolvimento do processo de industrialização no Nordeste; b) intensificação das práticas de agricultura irrigada; c) promover o acesso a terra para pequenos produtores; d) estimular o plantio de culturas adaptadas ao semiárido; e e) fortalecimento da infraestrutura regional (sistema viário, distribuição de energia, etc.) (FURTADO, 1998).

A partir da década de 1970 o semiárido passa a experimentar os efeitos dos chamados programas especiais de desenvolvimento, um conjunto de ações desempenhadas pelo Governo Federal com vistas a promover o desenvolvimento econômico da região. Era o momento em que, segundo Silva (2006), o Regime da Ditadura Militar no Brasil exercia forte centralização nas ações do Estado, ao passo que negligenciava órgãos e programas de cunho regional com atuação no país.

A década de 1970 marca o período do início do processo de modernização da agricultura do país, momento em que ocorreu a implementação de novas tecnologias na produção agrícola (maquinário, agrotóxicos, fertilizantes químicos, etc.), motivada pela

articulação entre o Estado e o setor privado, tanto interno quanto externo (MOREIRA, 1988).

A região Nordeste também foi submetida por esse novo modelo de produção agrícola. Os programas especiais de desenvolvimento implantados no semiárido (Tabela 10) se caracterizam por políticas que visavam o desenvolvimento através das atividades industriais e agropecuárias, muitas vezes de maneira articulada entre si. Estes programas:

> tinham perspectivas de forte incidência no Semi-árido. Esses programas capitaneavam as ações de investimento, dando ênfase ao setor agrícola com estímulo à modernização da produção, impulsionando a implantação de agroindústrias e fomentando projetos de irrigação (SILVA, 2006, p. 63).

Tabela 11. Programas especiais de desenvolvimento implantados no semiárido

Ano	Programa/Projeto	Objetivo e características
1971	PIN-Proterra	Promover a colonização na Amazônia e no Nordeste
1971	Provale	Incentivo a Irrigação no Vale do São Francisco
1974	Polnordeste	Apoiar polos de desenvolvimento integrado no Nordeste
1974	Pdan	Programa ligado ao Polonordeste com o objetivo de desenvolver a agroindústria no Nordeste
1976	Projeto Sertanejo	Apoiar pequenos e médios produtores rurais no Nordeste
1979	Prohidro	Fornecer água para atividades agrícolas irrigadas
1981	Provárzeas	Apoiar a produção de alimentos básicos em áreas de várzeas
1983	Projeto Nordeste	Reestruturar e integrar os projetos de desenvolvimento do Nordeste
1983	Papp	Apoiar o pequeno produtor rural por meio de infraestrutura, irrigação, crédito rural, comercialização, assistência técnica e extensão, pesquisa e acesso à terra
1986	Projeto São Vicente	Oferecer suporte técnico e financeiro a pequenos produtores rurais nordestinos
1986	Proine	Promover a irrigação no Nordeste
1988	Projeto Padre Cícero	Ampliar o número de reservatórios de água no interior do Nordeste, incentivando a convivência com a seca

Fonte: Silva (2006, p. 63).

Estas ações se seguiram até chegar à década de 1990 após a implementação de inúmeras indústrias, sistemas de distribuição de energia, barragens, rodovias, perímetros irrigados, entre diversas outras medidas que materializavam a política desenvolvimentista no semiárido, pautada na articulação entre o Estado e o setor privado. Ainda no ano de 1996 houve a criação do Programa de Apoio e Desenvolvimento da Fruticultura Irrigada do Nordeste (PADFIN), o qual objetivava o fortalecimento das atividades privadas de irrigação, bem como de fruticultura irrigada,

entendendo que estas atividades constituíam grande potencial para o desenvolvimento da região (SILVA, 2006).

No entanto, no final da década de 1990 e primeiros anos do século XXI parece haver uma nova tendência na proposição de políticas de combate aos efeitos da seca no semiárido. Essa nova forma de enxergar a estiagem na região pode ter sido influenciada pelos debates internacionais sobre bem-estar social desempenhado pela Organização das Nações Unidas (ONU), ao longo da segunda metade do século XX, ganhando maior destaque na década de 1990, com a publicação da Agenda 21 (SILVA, 2006; SOUZA, 2008). O combate à seca no Nordeste se transfigura no combate à pobreza.

Fortalecimento da pequena produção

Influenciado pelos debates relativos à noção de desenvolvimento sustentável defendida pela ONU o Estado brasileiro passa a modificar também sua perspectiva de intervenção sobre o semiárido: a visão de combate à seca passou a ser vista como a possibilidade de convivência com o semiárido. As políticas estatais de combate aos efeitos da estiagem vão aos poucos sendo substituídas por políticas de convivência com as condições ambientais da região.

Para o semiárido esta concepção tinha o objetivo de mostrar que os sujeitos que vivem na região podem conviver com as condições naturais existentes através de medidas alternativas de utilização dos recursos naturais. O foco passou a ser o desenvolvimento socioeconômico local (SILVA, 2006).

Logo durante a seca de 1998, além das ações emergenciais de atenuação dos efeitos da estiagem, foram implementadas medidas voltadas para os trabalhadores e pequenos produtores rurais do Nordeste, como o emprego desses sujeitos nas chamadas frentes de emergência[27], alfabetização/capacitação da população, ações relacionadas à saúde preventiva e a construção de pequenas obras hídricas (TARGINO e MOREIRA, 2006).

Todavia, o ano de 1996 pode ser entendido ao mesmo tempo como transição e marco da concepção de intervenção estatal no semiárido baseada no fortalecimento da pequena produção rural. É o ano em que se implementa o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), que objetiva promover o financiamento da produção rural de pequenos produtores através de crédito com baixas

[27] As frentes de emergência era uma das medidas adotadas pelo Estado com o objetivo de disponibilizar postos de trabalho para a população do semiárido que estava submetida aos efeitos das secas na região.

taxas de juros, bem como proporcionar o desenvolvimento rural de maneira sustentável, conforme aponta o Ministério do Desenvolvimento Agrário[28] (MDA).

Mesmo não sendo uma política exclusiva do semiárido brasileiro o PRONAF foi uma importante ação do Governo Federal no que diz respeito ao fortalecimento da pequena produção rural da região, o que resultou na criação de outros projetos e programas relacionados a esta concepção anos mais tarde. Salientamos que o estabelecimento do PRONAF, e de diversas outras políticas que se seguiram, decorre, também, da reivindicação de parte da sociedade civil organizada e de movimentos sociais com atuação no campo (FERNANDES, 2013).

Já nos primeiros anos do século XXI é possível identificar a intensificação de políticas voltadas para o fortalecimento da pequena produção rural no semiárido. Em 2002 é instituído o Fundo Garantia-Safra[29] com o intuito de assistir os pequenos produtores rurais que apresentaram 50% ou mais de perda na sua produção durante o ano por consequência da estiagem, se constituindo em uma das primeiras medidas assistencialistas permanentes sob a visão de convivência com o semiárido que passava a ser adotada.

Semelhante ao Garantia Safra foi criada em 2004 o Auxílio Emergencial Financeiro[30], conhecido também como Bolsa Estiagem, que visava beneficiar os pequenos produtores rurais residentes nos municípios que declararam SE ou ECP em decorrência de desastres naturais. No caso dos municípios do semiárido estes desastres estavam ligados, predominantemente, à seca/estiagem.

Além das políticas de assistência social aos trabalhadores rurais do semiárido o Estado também promoveu a criação de projetos e programas relacionados à construção de obras hídricas na região. Diferentemente do que ocorria durante o período de protagonismo da solução hídrica no Nordeste, obras pontuais que favoreciam, em primeiro lugar, os grandes proprietários rurais, agora instituía-se uma política de construção de pequenas obras hídricas que contribuíssem com o desenvolvimento socioeconômico local. É o caso do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC).

O P1MC foi um programa desenvolvido por organizações e grupos sem fins lucrativos ligados a políticas de convivência com o semiárido, sendo, a principal representação destes, a Articulação Semiárido Brasileiro (ASA). O objetivo principal do

[28]http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-creditorural/sobre-o-programa
[29] Lei 10.420, de 10 de abril de 2002.
[30] Lei 10.954, de 29 de setembro de 2004.

programa é a garantia de disponibilidade de água para as famílias que residem no semiárido através do armazenamento deste recurso durante a estação chuvosa em cisternas de placa construídas nas pequenas propriedades da região. Até o ano de 2017 já foram construídas mais de 600.000 cisternas em todo o semiárido (ASA, 2017).

No ano de 2005, porém, é estabelecida uma ação que viria a se constituir como a maior obra hídrica já executada no Nordeste. Após anos de intensos debates 2005 marca o ano de surgimento do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), uma obra de grande magnitude executada pelo Governo Federal. O objetivo do projeto era o de integrar as águas do rio São Francisco a partir da construção de um canal artificial que levasse estas águas a rios intermitentes existentes no semiárido, bem como a açudes e barragens de maior porte presentes na região (RIMA, 2004).

Ao contrário do que se destinava o P1MC o PISF visava sanar os problemas relacionados ao abastecimento público nas cidades do semiárido durante os períodos de escassez hídrica com o armazenamento de água em açudes e barragens de determinadas áreas da região. No entanto, mesmo tendo iniciado em 2005 o projeto chega ao ano de 2017 apenas com uma parte da obra concluída.

Ainda no ano de 2012 foi publicada a Portaria Interministerial nº 1, de 25 de julho de 2012, sob articulação dos ministérios da Integração Nacional e da Defesa, que estabelecia a Operação Carro-Pipa, uma política voltada para a distribuição de água potável na região semiárida.

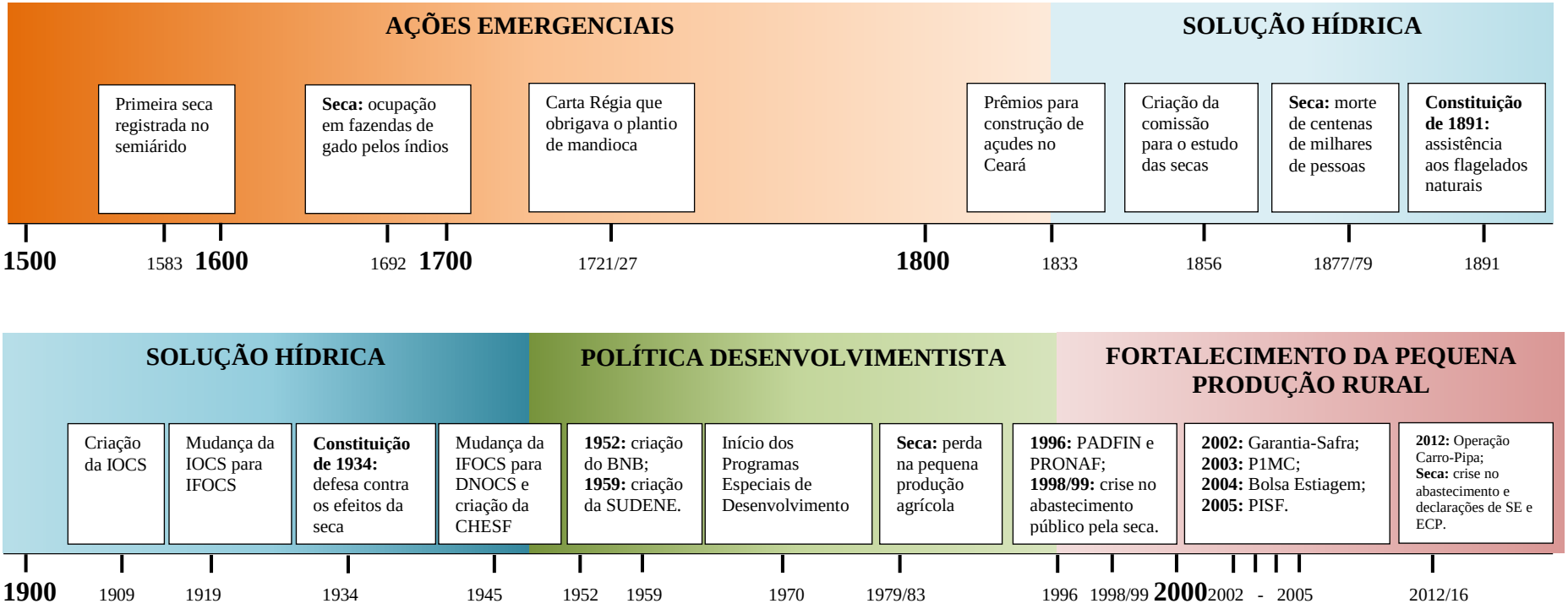
A Operação Carro-Pipa objetiva o abastecimento de água potável prioritariamente às populações rurais da região submetidas aos efeitos da seca através da utilização dos chamados carros-pipa. A distribuição de água é realizada, sobretudo, em cisternas de placa (a maioria delas do P1MC) e outros tipos de pequenos reservatórios. Ressaltamos que esta política já vinha sendo implementada pelo Estado desde a Portaria Interministerial nº 7, de 10 de agosto de 2005, porém não com a denominação de Operação Carro-Pipa.

Podemos observar que estas políticas de fortalecimento da pequena produção rural no semiárido parecem ter sido aquelas que, de fato, promoveram um real desenvolvimento para a região, não apenas do ponto de vista econômico, mas também sob seu aspecto social, com a inclusão de milhares de famílias em programas de assistência social e de produção agrícola.

Na busca de sintetizar e tornar mais claras as discussões realizadas até o momento acerca da intervenção do Estado em relação aos efeitos das secas no Nordeste a

Figura 12 apresenta a evolução das ações estatais no tocante às políticas de atenuação dos problemas da estiagem na região nordestina.

Figura 12. Linha do tempo da intervenção estatal no semiárido a respeito das políticas voltadas para a atenuação dos efeitos das secas



Fonte: Autor (2017).

Podemos perceber que ao longo da história de ocupação do Nordeste, o semiárido experimentou diversas formas de atuação estatal em relação aos problemas advindos dos efeitos das secas. A ocorrência, com maior ênfase, de uma determinada concepção de intervenção do Estado em um determinado momento da história não exclui, no entanto, a continuação de outra forma de intervenção. As ações emergenciais, por exemplo, foram efetuadas durante toda a história do semiárido nos períodos de estiagem, desde o Brasil colonial até os dias de hoje.

O que se vê, em realidade, é que há uma reformulação das ações do Estado para tratar do problema das secas no semiárido ao longo da história da região. Quando a política desenvolvimentista tomou o protagonismo da atuação estatal a solução hídrica não foi totalmente abandonada, mas sim passou por um processo de modificação. A construção de açudes e o incentivo as atividades de irrigação não deixaram de existir. Porém, passaram a ser definidas no âmbito de um processo de desenvolvimento econômico pelo qual estava sendo submetido o Nordeste.

O mesmo ocorreu quando a política desenvolvimentista deu lugar à noção de fortalecimento da pequena produção rural em relação às ações de atenuação dos efeitos da seca. A visão de desenvolvimento econômico regional transformou-se na ideia de desenvolvimento socioeconômico a nível local, sendo os trabalhadores e pequenos produtores rurais os principais atingidos com essa política.

Programas de assistência social, perfuração de poços, incentivo à fruticultura irrigada, grandes obras hídricas, práticas de reflorestamento, construção de cisternas, construção de açudes, todas estas ações do Estado brasileiro são implementadas atualmente de maneira simultânea na região Nordeste, tanto através do Governo Federal quanto através dos estados e municípios do semiárido.

Passaremos a analisar, no próximo capítulo, uma dessas medidas que possui considerável destaque em relação às demais por ter sido capaz de ser difundida por toda a região semiárida e que é objeto deste estudo: a açudagem.

CAPÍTULO II:
AÇUDAGEM E DINÂMICA HIDROLÓGICA DO SEMIÁRIDO

A construção de açudes na região semiárida é um processo que, como vimos, se intensificou durante o século XIX e foi uma das principais políticas adotadas pelo Estado brasileiro como forma de amenizar os efeitos promovidos pelas secas, fenômeno recorrente na dinâmica climática e hidrológica da área. O desenvolvimento dessa dinâmica repercute em outros processos físicosque são impactados pela existência dos açudes ao longo da rede de drenagem.

As características físicas do semiárido, como concentração das chuvas em poucos meses do ano, baixo nível de desenvolvimento dos solos e predominância de geologia do tipo cristalino, tornam o escoamento superficial da região um processo de considerável complexidade e, muitas vezes, de difícil determinação a respeito do seu funcionamento espacial e temporal.

Tal complexidade se torna ainda maior quando adicionamos a este processo a existência de açudes distribuídos pela área a qual está sendo analisada. A capacidade de interceptação da água escoada ao longo dos canais fluviais pelos açudes contribui para aumentar a irregularidade do escoamento superficial e podem promover efeitos diversos no ambiente, desde déficit hídrico e de sedimentos à jusante do açude, podendo provocar alterações na produção agrícola ou na dinâmica de ecossistemas, até conflitos entre proprietários rurais por ocasião da diminuição da quantidade de água disponível em suas terras.

Passaremos a verificar como se dá o comportamento do escoamento superficial no semiárido em resposta à dinâmica da precipitação e da existência de açudes. Para isso utilizaremos como objeto de análise a bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba (BHARP), por acreditar que esta é uma área representativa dos processos hidrológicos que ocorrem no semiárido, considerando os principais componentes da região, tanto físicos quanto humanos.

Inicialmente apresentaremos algumas características gerais sobre os açudes no semiárido e faremos algumas considerações sobre esta política; a seguir discutiremos como se dá o escoamento superficial na área, elencando fatores gerais como uso e ocupação do solo, tipos de solo, relevo, clima, etc., que contribuem com o seu funcionamento; e posteriormente veremos qual a influência da açudagem para o escoamento superficial na região.

O AÇUDE NO SEMIÁRIDO

Como já mencionamos anteriormente, o açude no Nordeste passa a ser uma prática promovida, ou pelo menos influenciada, pelo Estado brasileiro a partir da década de 1830 no Ceará, com a concessão de prêmios para aqueles que se destinassem à construção desta obra em sua propriedade. Contudo, os açudes construídos nesse momento não foram os primeiros que passaram a existir no semiárido.

Durante o período colonial no Brasil já haviam registros de açudes construídos no interior dos engenhos da região canavieira do Nordeste com o objetivo de conduzir água para os moinhos e auxiliar na produção do açúcar, conforme elucida Molle (1994, p. 14), quando cita que "no Nordeste, a construção de açudes foi sem dúvida técnica trazida pelos portugueses, os quais a aprenderam, provavelmente, dos mouros que perlongaram mais de 5 séculos na península Ibérica".

Desse modo, antes de se tornar uma política adotada pelo Estado, o açude já era uma prática desenvolvida pelos proprietários rurais do Nordeste. Podemos auferir que no semiárido, os açudes expandiam-se de acordo com a ocupação e povoamento da região através da atividade pecuária nas fazendas de gado, já que os animais necessitavam de água e alimento para sua reprodução e os rios e lagoas naturais da área possuem caráter intermitente e não são capazes de disponibilizar água de forma permanente.

A partir do momento que o Estado passa a promover e/ou influenciar o processo de construção de açudes no Nordeste, o qual iremos denominar de açudagem, entendemos que este processo passa a ser mais sistemático e distribuído pela região, ou seja, o número de açudes aumenta ao passo em que estes são construídos em diversas porções do semiárido.

O desenvolvimento da açudagem no Nordeste resulta da necessidade de se garantir a disponibilidade de água para a população e para a produção agropecuária durante os momentos de estiagem, tanto nos meses que correspondem à estação seca quanto nos anos de seca. Assim, como aponta Molle (1994), o açude passou a se constituir como a "salvação" para os problemas ocasionados pelas secas no Nordeste. O mesmo autor ainda ressalta que acreditava-se que os açudes iriam promover o desenvolvimento econômico da região através do seu aproveitamento sob diversas perspectivas (irrigação, piscicultura, etc.).

Antes da açudagem se constituir enquanto uma prática estatal estes reservatórios possuíam a condição de particulares, só existiam nas propriedades rurais em que os donos dispunham de condições materiais (terra e capital) para construí-los. Com o estabelecimento e consolidação da solução hídrica começam a surgir os primeiros açudes públicos criados pelo Estado em seus diferentes níveis de gestão (local, regional e nacional[31]).

O açude que representa o estabelecimento da açudagem pública no Nordeste sem dúvida é o açude Cedro, devido suas dimensões de área e volume e a possibilidade de abastecimento da população da região. O açude Cedro foi construído durante a década de 1890, no município de Quixadá, estado do Ceará. Esse reservatório possui uma capacidade máxima de 125.694.000 m^3 e é um exemplo ilustrativo da açudagem pública no semiárido: grandes açudes para disponibilizar água para a população durante os períodos de seca.

Além do seu caráter público ou particular, o açude também pode ser classificado de acordo com sua dimensão, em termos de volume e área, com sua resistência a seca (duração da disponibilidade de água) e o com uso pelo qual está submetido. Assim, de acordo com Molle (1994), os açudes podem ser divididos entre pequenos, médios e grandes.

A primeira classificação oficial para os açudes do Nordeste ocorreu na publicação do regulamento da IOCS em 1909. Com base nesse documento, os açudes estariam divididos em:

a) **Pequeno açude:** capacidade máxima de armazenamento $\geq 1/2$ milhão de m^3 e profundidade média mínima ≥ 4 m;

b) **Médio açude:** capacidade máxima de armazenamento ≥ 2 milhões de m^3 e profundidade média mínima ≥ 5 m;

c) **Grande açude:** capacidade máxima de armazenamento ≥ 10 milhões de m^3 e profundidade média ≥ 6 m.

Anos mais tarde, em 1931, a reformulação no regulamento da IFOCS altera os valores de capacidade máxima de armazenamento adotado pela IOCS, em 1909, com o

[31] Utilizamos os termos local, regional e nacional para designar as esferas administrativas do país. Não utilizamos os termos municipal, estadual e federal por acreditar que a açudagem não se iniciou após a instituição da Republica Federativa do Brasil; este processo pode ter sido iniciado anos antes da mudança do regime, quando a nomenclatura para se referir aos níveis administrativos do país era outra.

intuito de aumentar o volume de água disponível nos açudes que iriam ser construídos na região a partir de então.

Molle (1994) propõe uma classificação que não leva em conta necessariamente as dimensões do açude, mas sim a sua resistência contra a seca. Para este autor os açudes podem ser classificados em:

a)**Barreiro:** pequena represa de barro, com sangradouro lateral rudimentar, que seca anualmente e serve para bebedouro do gado e pequena produção de sequeiro;

b)**Pequeno açude:** busca a disponibilidade de água no período seco, estabelecendo a junção entre dois períodos chuvosos, mas que não tem capacidade para suprir as necessidades de abastecimento ao longo de secas prolongadas;

c)**Médio açude:** permite disponibilizar água para um ano seco (ano seguinte ao período chuvoso do ano anterior), podendo ser a principal fonte de abastecimento da propriedade;

d) **Grande açude:** reservatório perene (capaz de disponibilizar água por mais de um ano) e geralmente público;

e) **Barragem:** termo polissêmico utilizado geralmente para designar grandes açudes de alvenaria.

Os grandes açudes são aqueles de caráter público, comumente construídos por órgãos federais, e que tem como finalidade principal o abastecimento da população urbana das cidades do semiárido, a exemplo do açude Epitácio Pessoa, que além de abastecer Campina Grande também abastece as cidades circunvizinhas.

Atualmente os grandes açudes no semiárido registram um total de 452, sendo os estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte aqueles com maior incidência destes corpos hídricos, conforme os dados disponibilizados pelo Sistema Olho N'Água. Este montante do número de açudes na região corresponde a um total de capacidade máxima de armazenamento superior a 40 bilhões de m^3.

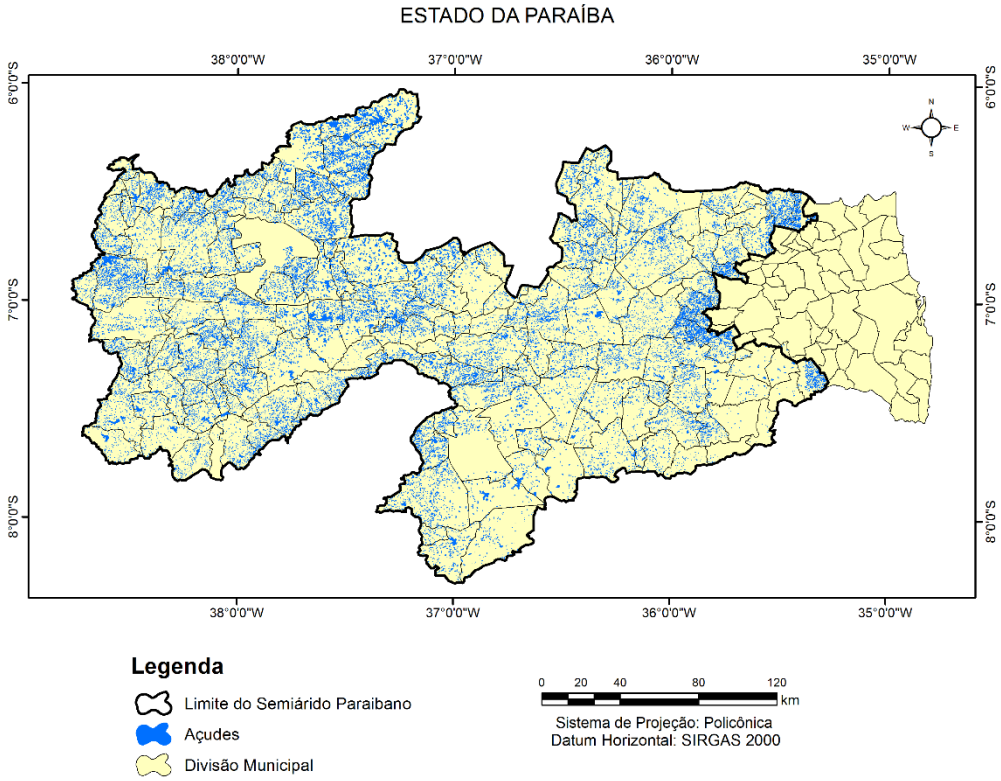
Já os médios e pequenos açudes podem ser tanto públicos quanto particulares, sendo que os públicos geralmente são construídos por órgãos estaduais ou municipais e os pequenos, em sua grande maioria, por proprietários rurais. Estes reservatórios, sobretudo os pequenos, diferem dos grandes açudes pela maneira como é utilizado: produção agropecuária (irrigação e dessedentação de animais), piscicultura, além de abastecimento doméstico.

Em se tratando de média e pequena açudagem, atualmente, não se possui valores de referência para o Nordeste em relação à quantidade de açudes ou capacidade máxima de armazenamento. Isso se deve ao fato de que estas obras, em sua grande maioria, são

construídas em propriedades rurais privadas que não informam aos órgãos estatais responsáveis a existência do açude, fazendo com que estes reservatórios não sejam registrados nos bancos de dados destas entidades e impossibilitando uma estimativa confiável do número de médios e pequenos açudes existentes no Nordeste.

Contudo, em uma pesquisa realizada no semiárido do estado da Paraíba[32] foi possível obter uma estimativa do número de açudes existentes nessa porção do território paraibano (Figura 13). Este levantamento inclui todos os tipos de açudes (barreiro, pequeno, médio, grande e barragem), além de incluir, também, lagos e lagoas naturais.

Figura 13. Distribuição espacial dos açudes existentes na porção semiáridado estado da Paraíba até o ano de 2014



Fonte: Souza et al. (2015).

Podemos perceber que os açudes se distribuem por todo o semiárido paraibano, ora com maior intensidade ora com menor intensidade, o que irá depender da região. Percebemos que estes corpos hídricos compreendem quase que por completo a mesorregião do Sertão Paraibano quando comparado com as mesorregiões da Borborema e do Agreste Paraibano.

[32] Projeto "Governança dasÁguas - Construção do Atlas das Tecnologias Sociais Hídricas – TSH na Paraíba" desenvolvido pelo Laboratório de Estudos e Gestão em Água e Território (LEGAT), já mencionado na metodologia.

Este panorama da açudagem na Paraíba ainda pode indicar o que Molle (1994) chama de saturação, a qual ocorre quando a densidade de açudes é alta na região em questão. Essa densidade relaciona a quantidade de açudes existentes com a área da região a ser analisada. A bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba, por exemplo, possui uma densidade de açudes de 2,07 km^2/açude, ou seja, a cada 2,07 km^2 existe, em média, 1 açude na bacia, enquanto a densidade de açudes para o semiárido da Paraíba registra o valor de 0,99 km^2/açude, o que representa um aumento superior a 100%.

A densidade de açudes pode variar de acordo com as características de povoamento da área rural do município, região ou bacia hidrográfica analisada: quantidade e tamanho das propriedades rurais, população rural (quantidade e condição socioeconômica), características físicas/naturais da área e atuação estatal.

A importância da análise da densidade de açudes em uma região ou bacia hidrográfica deve-se ao fato de que ao passo em que um aumento da quantidade de açudes eleva, consequentemente, o volume de água disponível também promove modificações na dinâmica hidrológica da área, principalmente no escoamento superficial. "Uma grande densidade aumenta, sobretudo, a irregularidade dos escoamentos (MOLLE, 1994, p. 69). As águas que escoavam livremente pela rede de drenagem da bacia agora são interceptadas por estes reservatórios, promovendo déficit do volume escoado a jusante do açude. A seguir analisaremosas características gerais do escoamento superficial no semiárido e posteriormente a sua relação com a existência dos açudes ao longo da rede de drenagem.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SEMIÁRIDO

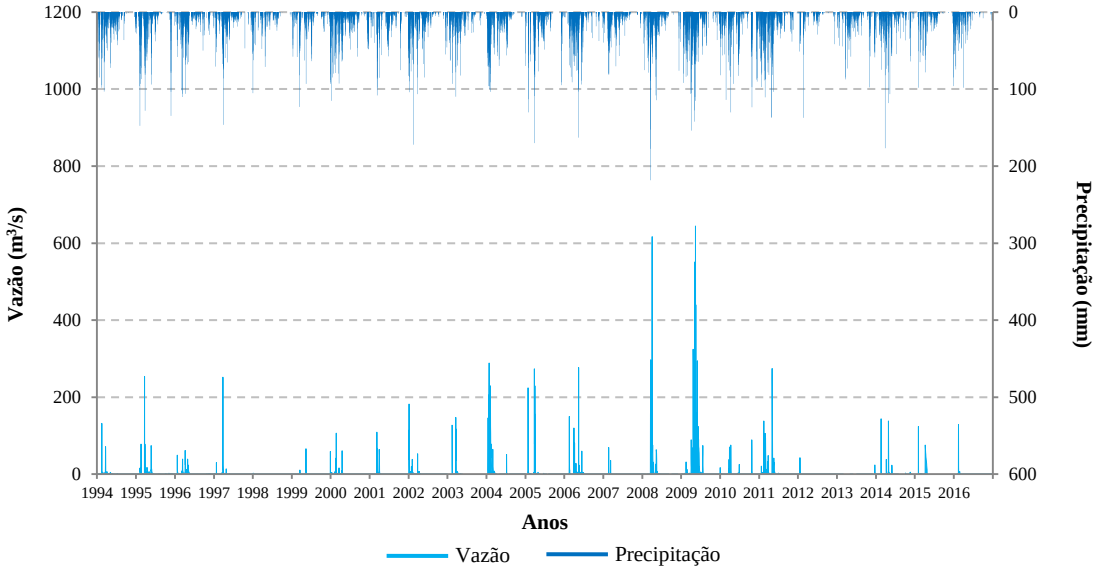
Como já discutimos anteriormente, o semiárido se caracteriza por ser uma região de solos pouco desenvolvidos, deficiência hídrica, predominância da vegetação de Caatinga, entre diversos outros fatores, sendo o principal deles para o nosso trabalho, a irregularidade espaço-temporal das chuvas.

A precipitação passa a ser considerada como o elemento de maior destaque em nossa análise, pelo fato de que o escoamento superficial da região está intrinsecamente relacionado à dinâmica das chuvas. Isso porque grande parte do semiárido possui substrato rochoso cristalino, ou seja, rochas ígneas e metamórficas de baixa permeabilidade e porosidade, não permitindo o armazenamento de água de maneira subsuperficial e/ou subterrânea com eficiência (SIQUEIRA, 1964).

Portanto, o período chuvoso no semiárido marca também a estação em que são registrados os maiores valores de escoamento superficial. Na porção norte do Nordeste, área onde são registrados os menores totais pluviométricos da região, a estação chuvosa ocorre durante os meses de fevereiro, março, abril e maio, a época do ano que concentra a maior parte dos totais de chuvas anuais (NIMER, 1972; MOLION e BERNARDO, 2002).

Podemos verificar a relação entre a ocorrência de chuva e o escoamento superficial no semiárido através da Figura 14, que representa o comportamento destes dois fenômenos na BHARP de 1994 a 2016.

Figura 14. Relação entre a chuva na BHARP e a vazão na escala diária para o posto Caraúbas para o período de 1994 a 2016



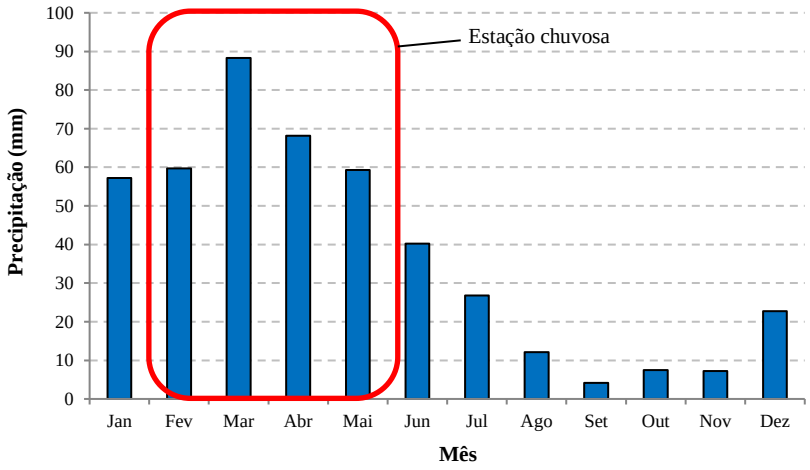
Fonte: Autor (2017).

Inicialmente percebemos que os dias em que foram registrados os maiores valores de vazão no posto fluviométrico Caraúbas condizem com os dias em que houveram os maiores valores dechuva na bacia. Os dias 06/05/2009 e 14/05/2009 registraram respectivamente, vazões de 551,0 m^3/s e 644,5 m^3/s, resultados de fortes chuvas que ocorreram na bacia durante estes dois eventos. Diversos postos pluviométricos na bacia registraram precipitação acima de 50,0 mm, e pelo menos um posto pluviométrico registrou precipitação superior a 100,0 mm em cada dia, o que indica um grande volume de água disponível para o escoamento superficial.

Os maiores valores de vazão registrados no posto fluviométrico Caraúbas também ocorrem, majoritariamente, nos meses compreendidos pela estação chuvosa (Figura 15).

Estes eventos de precipitação destacados anteriormente são resultado da ação dos sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste, mais especificamente na sua porção norte, sobretudo os sistemas de macroescala e mesoescala.

Figura 15. Distribuição da chuva média mensal na BHARP para o período entre 1994 e 2016



Fonte: Autor (2017).

O principal mecanismo para promoção das chuvas no norte do Nordeste é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (FERREIRA e MELLO, 2005; MOLION e BERNARDO, 2002; NIMER, 1972), sendo este um sistema de macroescala com atuação mais representativa para o Nordeste em meados do verão e durante o outono, momento em que atinge sua maior intensidade. A ZCIT se origina a partir da convergência dos ventos alísios dos hemisférios Norte e Sul (alísios de nordeste e alísios de sudeste, respectivamente) e se caracteriza por apresentar baixa pressão e movimentos ascendentes do ar, uma extensa banda de nebulosidade, intensa atividade convectiva e ocorrência de chuva (FERREIRA e MELLO, 2005; MOLION e BERNARDO, 2002).

Além da atuação da ZCIT outros sistemas de mesoescala também contribuem para a ocorrência de chuvas no semiárido, sendo eles os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e as Linhas de Instabilidade (LI). Estes sistemas possuem atuação entre os meses de novembro e março para a região Nordeste, com maior intensidade nos meses de janeiro e fevereiro, no caso dos VCAS, e fevereiro e março, no caso das LI (FERREIRA e MELLO, 2005; MOLION e BERNARDO, 2002; NIMER, 1972).

Os sistemas de mesoescala podem dar origem a fortes chuvas quando ocorrem em associação com a ZCIT, principalmente os CCM, que se caracterizam pela capacidade

de promover precipitações de forte intensidade e curta duração (FERREIRA e MELLO, 2005). Os rebatimentos dessa dinâmica pluviométrica para o escoamento superficial não podem ser diferentes: registro de altas taxas de vazão nos postos fluviométricos da região nos dias em que ocorrem estes eventos de chuva, como é o caso do posto fluviométrico Caraúbas.

Salientamos que mesmo em anos secos podem ser registrados altas taxas de vazão em determinados dias. Isso se deve às características de intensidade das chuvas no dia em questão. Nas datas 18/02/2014, 28/04/2014, 03/02/2015 e 14/02/2016 (anos secos), por exemplo, foram registradas no posto fluviométrico Caraúbas vazões superiores aos 100,0 m^3/s, indicando que o escoamento superficial não está ligado diretamente aos totais pluviométricos registrados para a estação chuvosa propriamente dita, mas sim aos valores diários de chuva durante esse período, os quais podem apresentar alto grau de intensidade mesmo em anos secos ou em estações chuvosas muito abaixo da média.

Além do fato de que o registro das maiores taxas de vazão corresponderem aos dias em que ocorrem chuvas fortes e intensas, como é o caso da BHARP, outro fator importante que contribui para uma maior ou menor intensidade do escoamento superficial é a umidade antecedente do solo.

Em muitos casos as altas taxas de vazão no semiárido são registradas em dias que foram precedidos pela ocorrência de chuva em dias anteriores. A água proveniente das precipitações, mesmo que não possuam consideráveis graus de intensidade, é capaz de se infiltrar no solo e deixa-lo com alguma umidade. A Tabela 11 demonstra os registros diários de chuva e vazão na BHARP com o objetivo de exemplificar a contribuição das precipitações em dias antecedentes, e sua participação na umidade do solo, para o registro de altas taxas de vazões.

Tabela 12. Registros diários de chuva e vazão[33] na BHARP entre os dias 11/01/2004 e 11/02/2004

Data	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	13	F1
11/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
12/01	3,2	5,8	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	6,0	20,2	17,6	-
13/01	4,0	70,4	46,4	11,0	28,1	11,7	9,2	59,3	15,0	21,5	7,0	6,0	20,2	2,5
14/01	2,1	1,6	51,0	0,0	36,2	9,1	13,4	19,8	17,9	0,0	14,0	36,0	0,0	0,4
15/01	49,1	8,1	23,0	23,0	11,3	46,4	71,0	8,8	28,0	33,6	34,0	53,2	36,0	0,5
16/01	0,0	0,0	26,8	30,4	5,1	0,0	8,3	7,2	0,0	0,0	21,9	0,0	43,2	146,2
17/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,0	0,0	1,3	0,0	0,0	9,9
18/01	0,0	18,0	39,2	0,0	14,2	11,9	0,0	0,0	6,3	4,5	42,5	18,4	4,0	1,2
19/01	37,0	9,0	1,9	33,1	0,0	5,0	20,0	26,3	13,9	0,0	21,1	52,6	21,0	0,2
20/01	20,4	69,0	25,2	7,5	35,0	7,5	10,0	25,5	18,0	0,0	1,9	47,0	20,6	77,1
21/01	12,0	96,0	5,7	34,2	37,2	14,6	7,7	45,0	18,7	27,5	22,8	3,0	33,4	82,4
22/01	31,8	19,2	38,5	11,4	29,2	16,0	0,4	39,1	43,2	32,2	37,2	0,0	39,2	178,5
23/01	12,6	2,2	13,2	38,0	3,2	39,4	24,8	7,9	13,5	0,0	5,9	22,2	0,0	205,4
24/01	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	25,4	0,0	143,6
25/01	38,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	7,0	0,0	0,0	0,0	210,2
26/01	65,0	46,2	42,2	48,2	42,2	100,1	96,0	43,7	38,4	71,0	50,2	66,2	58,6	288,8
27/01	63,0	5,8	25,0	19,0	2,0	5,5	1,0	1,5	5,5	8,1	2,1	0,0	15,8	125,6
28/01	45,0	15,0	1,3	5,6	4,2	17,6	6,0	9,1	3,4	8,0	17,1	5,0	4,8	92,0
29/01	5,0	2,0	9,6	6,5	8,1	0,0	5,1	3,9	20,9	5,0	0,0	5,0	11,0	81,0
30/01	35,0	1,0	0,7	0,0	1,2	0,0	0,0	4,5	4,3	1,4	1,2	0,0	0,0	53,7
31/01	58,0	12,4	27,2	0,0	22,0	3,4	19,0	2,6	4,2	10,8	0,0	0,0	8,2	42,9
01/02	7,0	26,0	0,0	10,2	1,2	5,4	22,0	20,7	5,3	10,1	0,0	7,0	5,4	75,8
02/02	5,0	1,8	0,0	0,0	5,0	1,3	1,4	0,0	0,0	2,5	20,0	0,0	0,0	61,4
03/02	12,0	0,0	12,6	6,0	8,0	16,2	4,4	8,0	17,8	35,2	33,2	4,2	3,2	58,0
04/02	0,0	6,0	30,0	5,4	80,3	0,0	5,3	7,1	72,5	3,2	42,0	22,4	4,2	94,5
05/02	15,5	10,2	91,2	0,0	19,2	16,0	10,3	17,8	23,0	31,3	25,5	55,4	0,0	194,2
06/02	17,5	9,2	36,4	14,4	7,2	19,0	20,0	32,7	18,5	103,5	16,8	40,0	21,4	226,2
07/02	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	6,9	4,1	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	12,0	229,4
08/02	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	124,4
09/02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	106,4
10/02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,7
11/02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,9

Fonte: ANA (2017).

Quando ocorre um evento de chuva de maior intensidade um ou dois dias depois, por exemplo, o solo atinge o ponto de saturação com maior velocidade do que se faria se não apresentasse algum grau de umidade e o escoamento superficial intensifica-se. O

[33] As colunas cujo título possuem a letra "P" correspondem aos postos pluviométricos da BHARP (Tabela 4), que são: P1 – Monteiro/Aç. Poções; P2 – Boqueirão; P3 – Sumé; P4 – Caraúbas; P5 – Cabaceiras; P6 – São João do Tigre; P7 – Camalaú; P8 – Barra de São Miguel; P9 – Prata; P10 – São Sebastião do Umbuzeiro; P11 – Serra Branca; P12 – Coxixola; P13 – Congo. A coluna que tem como título "F1" corresponde ao posto fluviométrico Caraúbas (Tabela 9).

resultado é a ocorrência de fortes enxurradas e o registro de altas taxas de vazão nos postos fluviométricos.

A vazão do dia 22/01/2004 registrada no posto fluviométrico Caraúbasno valor de 178,5 m^3/s, conforme a Tabela 3, foi o resultado de quatro dias de chuvas na BHARP (12/01, 13/01, 14/01 e 15/01), as quais certamente influenciaram no aumento da umidade do solo e favoreceram a intensificação do escoamento superficial. As características da pequena espessura dos solos do semiárido,devido a influência do embasamento cristalino,contribuem fortemente para o funcionamento desse processo.

Devido à pequena profundidade dos solos em grande parte do semiárido, o tempo de saturação pela infiltração da água da chuva não ocorre de maneira lenta, contribuindo para um maior volume de água disponível para o escoamento superficial. Os solos de maior representatividade na BHARP apresentam profundidades de 85 cm, 50 cm, 90 cm e 155 cm, sendo eles Luvissolo, NeossoloLitólico, Vertissolo e NeossoloFlúvico, respectivamente.

Na região do Cariri Paraibano, onde a BHARP está localizada, por exemplo, os solos têm na geologia o seu principal fator de formação (SIQUEIRA, 1964). Devido a insipiente contribuição de matéria orgânica promovida pela vegetação de Caatinga, atuação dos processos biológicos na formação do solo, a pedogênese ocorrerá por influência determinante do substrato rochoso durante os processos de intemperismo (SIQUEIRA, 1964). Como consequência tem-se o desenvolvimento do solo de maneira mais lenta quando comparado com áreas úmidas.

O substrato rochoso cristalino do Cariri Paraibano além de controlar o processo de formação dos solos também é responsável pela dificuldade de armazenamento de água nas partes subsuperficiais e subterrâneas do terreno. Devido às propriedades de porosidade e permeabilidade dos tipos de rochas predominantes na região (quartzitos, gnaisses, migmatitos, xistos, granitos, etc.) proporcionarem limitações para a infiltração na água no subsolo e para a formação de aquíferos a disponibilidade hídrica no subsolo é vista em áreas que possuem fendas ou fissuras que permitem a passagem e o armazenamento da água (SIQUEIRA, 1964).

Siqueira (1964) ao se referir às características do substrato cristalino do Cariri Paraibano, salienta que "as fendas, em sua grande maioria, não são interligadas em rede. Não há pois fluxo subterrâneo. Há sim muito e prolongado contato das águas subterrâneas com os minerais e rochas" (SIQUEIRA, 1964, p. 31). Por isso, a predominância de rios intermitentes e efêmeros na região, bem como no semiárido, pois

os canais fluviais não recebem contribuição significativa do fluxosubsuperficial e/ou subterrâneo e, dessa forma, dependem essencialmente da contribuição da chuva para queo escoamento ocorra. Desse processo decorre a necessidade de se buscar outras formas de acesso e/ou armazenamento de água para uso humano, como é o caso da perfuração de poços e da construção de açudes.

Outro elemento fundamental para o escoamento superficial no semiárido é a utilização dos solos pelas diversas atividades econômicas. Como demonstram Souza e Martins (2012), as propriedades naturais dos solos podem ser modificadas de acordo com o manejo que se dá a ele. Atributos como porosidade, permeabilidade e capacidade de armazenamento da água podem ser alterados a depender do tipo de uso existente, sobretudo na agricultura e na pecuária. O resultado é a diminuição da capacidade de infiltração da água no solo, devido à sua compactação e/ou surgimento de crostas em sua superfície (SOUZA e MARTINS, 2012), e o favorecimento para aumento do escoamento superficial no terreno.

As características de uso e ocupação do solo no semiárido são decisivas para a dinâmica do escoamento superficial. As alterações na paisagem provocadas pela ação humana potencializam a complexidade das relações entre os elementos físicos e sociais no funcionamento dos processos e fenômenos hidrológicos.

Desmatamento da vegetação da região, o avanço do processo de desertificação, as modificações físico-químicas nos solos, a construção e instalação de obras hídricas, entre outros fatores contribuem com a irregularidade do comportamento do escoamento superficial no semiárido (MOLLE, 1994; SOUZA, 2008; SOUZA e MARTINS, 2012; SOUZA et al., 2009), os quais somados às flutuações climáticas (períodos de seca ou de muita chuva) agravam ainda mais este panorama.

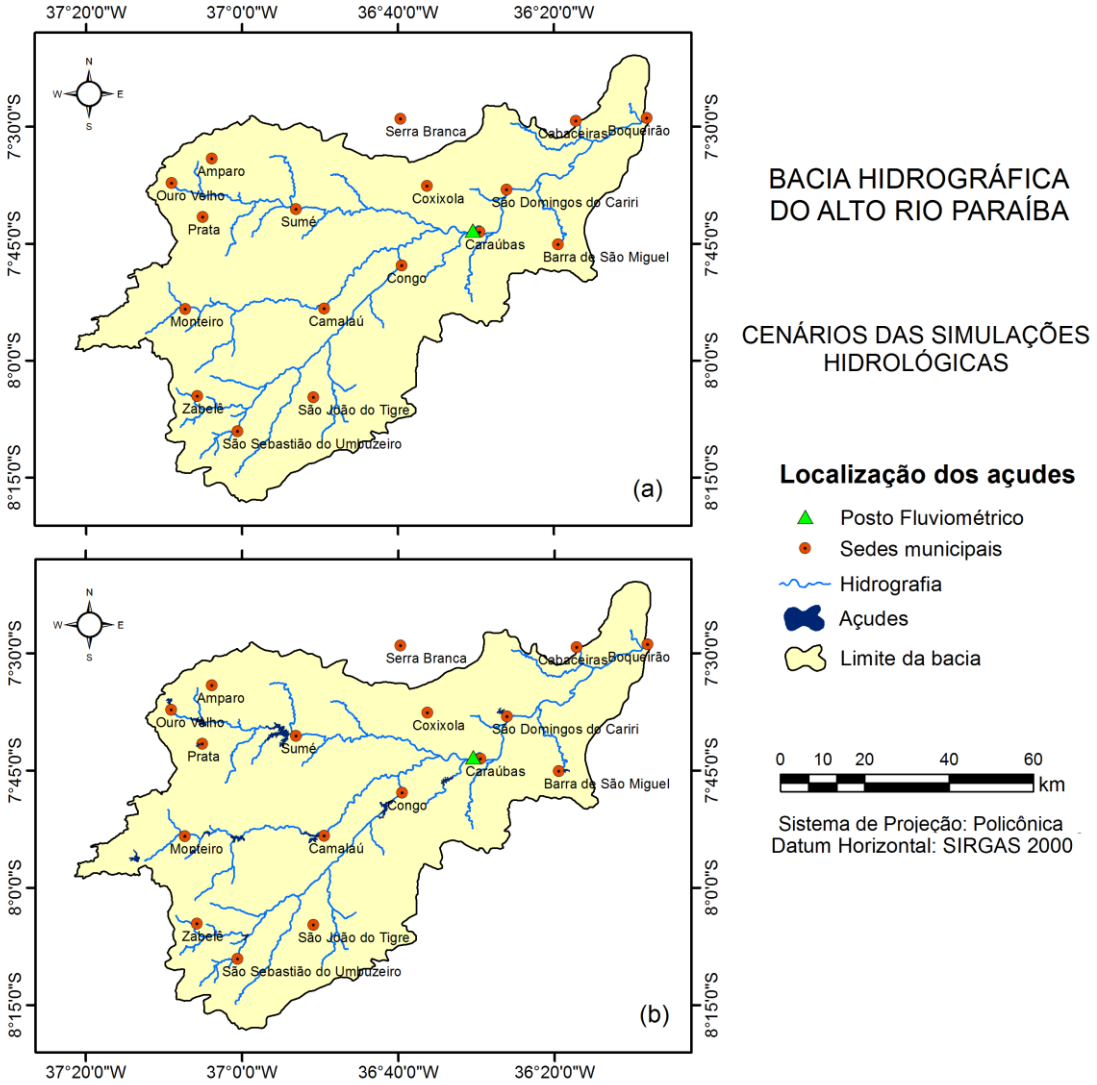
Passaremos a analisar, a seguir, a influência da açudagem para o funcionamento do escoamento superficial no semiárido tendo como base a BHARP.

AÇUDAGEM E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SEMIÁRIDO

Para tentar entender a dinâmica do escoamento superficial na BHARP utilizamos o modelo hidrossedimentológico*SoilWaterAssessment Tool* (SWAT), que é capaz de simular os processos hidrossedimentológicos em escala de bacia hidrográfica, levando em conta fatores como clima, relevo, solos, uso e ocupação do solo, entre outros elementos existentes na paisagem (ARNOLD et al., 1998; GASSMAN et al., 2007).

Propomos então dois cenários para a BHARP, com o intuito de verificar a influência dos açudes para a dinâmica do escoamento superficial na bacia através das simulações hidrológicas: (a) cenário em que não existem açudes na bacia e as águas escoam pelos rios sem nenhum tipo de obstáculo de origem humana, e (b) cenário em que existem açudes ao longo dos rios na bacia. A Figura 16 apresenta a diferença entre os dois cenários e a localização dos açudes utilizados na simulação (no caso do segundo cenário).

Figura 16. Cenários propostos para as simulações hidrológicas na BHARP: (a) cenário 1 e (b) cenário 2



Fonte: Autor (2017).

Os açudes que foram utilizados na modelagem apresentam forte heterogeneidade entre si: possuem áreas de espelho d'água e capacidades máximas de armazenamento distintas. O açude Sumé, por exemplo, dispõe de uma área de 740,5 ha e uma

capacidade máxima de armazenamento de 44,8 milhões de m^3, enquanto que o açude Prata II apresenta 24,2 ha e 1,3 milhões de m^3 para os respectivos parâmetros. Isso indica que a influência exercida pelos açudes na bacia para o escoamento superficial varia de acordo com as características de cada um deles: quanto maior a área de espelho d'água e a capacidade máxima de armazenamento maior sua competência em interceptar a água no rio.

No entanto, por limitações metodológicas (sobretudo aquisição de dados), não foi possível levar em conta todos os açudes existentes na BHARP nas simulações; apenas aqueles que dispõem dos dados necessários para a realização da modelagem com o SWAT foram incluídos nas simulações, ainda que estes corpos hídricos se destaquem na bacia por possuírem as maiores áreas de espelho d'água e capacidade máxima de armazenamento.

Os resultados obtidos nas simulações dos dois cenários mostram que a existência dos açudes na bacia altera o funcionamento do escoamento superficial. A média mensal da vazão observada no posto fluviométrico Caraúbas registra o valor de 4,35 m^3/s para os anos de 1994 a 2016.

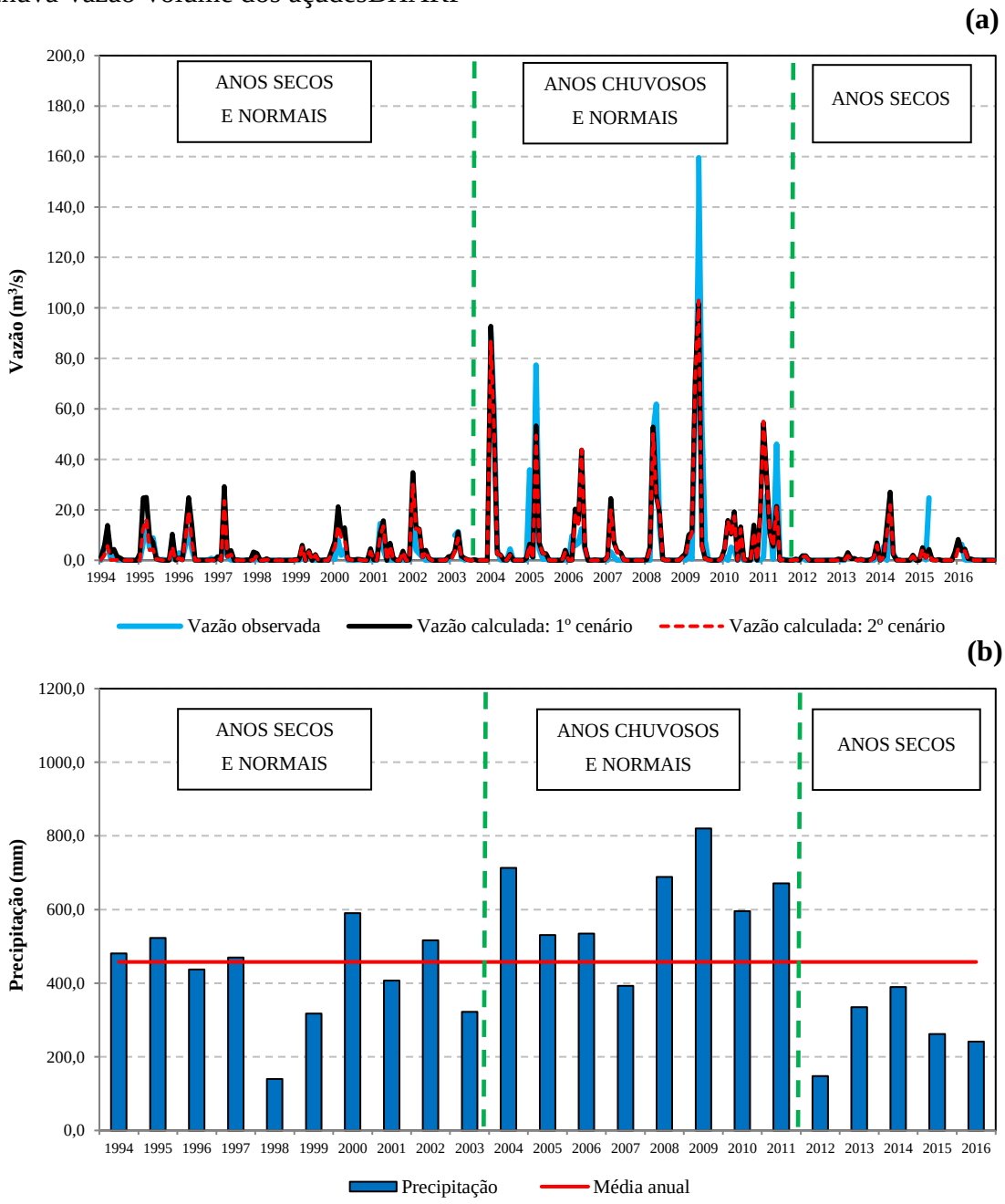
No primeiro cenário da simulação hidrológica (sem os açudes) a média mensal da vazão para o posto fluviométrico foi calculada pelo SWAT como sendo 5,03 m^3/s, demonstrando que o modelo superestimou os dados observados de vazão. Já os resultados adquiridos para o segundo cenário (com os açudes) mostram que a vazão média simulada para o posto Caraúbas foi de 4,35 m^3/s, ou seja, o modelo representou com precisão a vazão observada em termos de quantidade total de água escoada.

Embora o SWAT tenha representado bem a vazão média mensal, no segundo cenário podemos observar que ele não foi capaz de estimar com o mesmo grau de satisfação os picos da vazão observada. Percebemos que até o ano de 2002, os valores estimados de vazão no segundo cenário se aproximam mais dos registros observados, quando comparados com o restante da série. Esse período também coincide com o momento em que os dados calculados para ambos os cenários apresentam maior discrepância entre si.

Essa diferença nos valores de vazão calculados para os dois cenários ao longo da série histórica permitiu estabelecer uma periodização tendo com base na relação entre os totais anuais de chuva na BHARP, os valores de vazão (observados e calculados pelo SWAT nos dois cenários) e o volume dos açudes na bacia. Os períodos que compreendem a série histórica são, portanto: (a) período de anos secos e normais,

variando ente 1994 e 2003, (b) período de anos chuvosos e normais, variando entre 2004 e 2011, e (c) período de anos secos, variando entre 2012 e 2016. A Figura 17 apresenta o comportamento da vazão observada do posto fluviométrico de Caraúbas e as vazões calculadas para o primeiro e para o segundo cenário em escala mensal e a precipitação média anual considerando os períodos da relação chuva-vazão-volume dos açudes na BHARP.

Figura 17.(a) Vazões observadas e calculadas para os cenários 1 e 2 entre os anos de 1994 e 2016 e (b) a precipitação média anual considerando os períodos darelação chuva-vazão-volume dos açudesBHARP

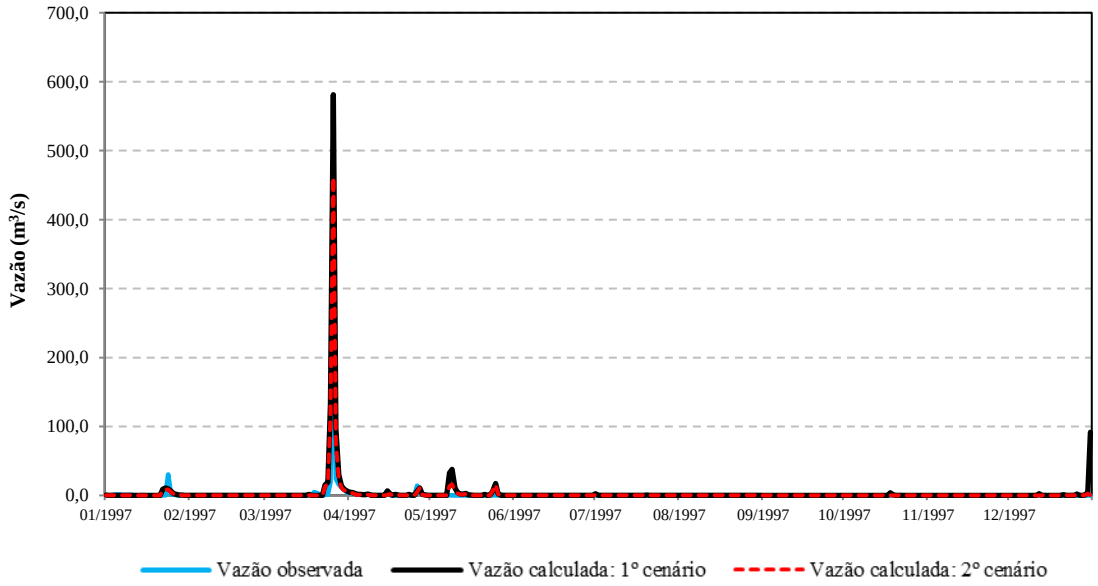


Fonte: Autor (2017).

O período correspondente aos anos secos e normais se caracteriza, como já mencionamos, por maiores diferenças entre os valores de vazão calculada para ambos os cenários quando comparado com os dois outros períodos. Isso indica que os açudes, nesses anos, apresentam maior influência para o comportamento do escoamento superficial na bacia. É o período em que ocorrem as secas de 1998/1999, 2001 e 2003.

A série histórica da vazão inicia um ano após a seca que variou ente 1990 e 1993. Durante essa estiagem os açudes existentes na bacia apresentavam baixos volumes armazenados devido aos baixos totais de chuva que ocorreram nesses anos. Quando a série de vazão inicia em 1994 os açudes ainda registram baixos volumes armazenados. Como consequência o escoamento superficial gerado pela precipitação ao longo destes anos secos e normais era interceptado pelos açudes, que não permitiam a passagem da água à sua jusante, como ilustrado pela Figura 18.

Figura 18. Comportamento das vazões observada e simulada no ano de 1997



Fonte: Autor (2017).

Já que os açudes existentes na BHARP, e de uma maneira geral no semiárido, têm como principal finalidade a armazenagem de água para abastecimento (seja para as cidades seja para as atividades agropecuárias) esta água barrada pelo açude só o ultrapasse, efetivamente, no momento de sangria[34], sobretudo nos anos secos devido aos baixos volumes que estes reservatórios apresentam.

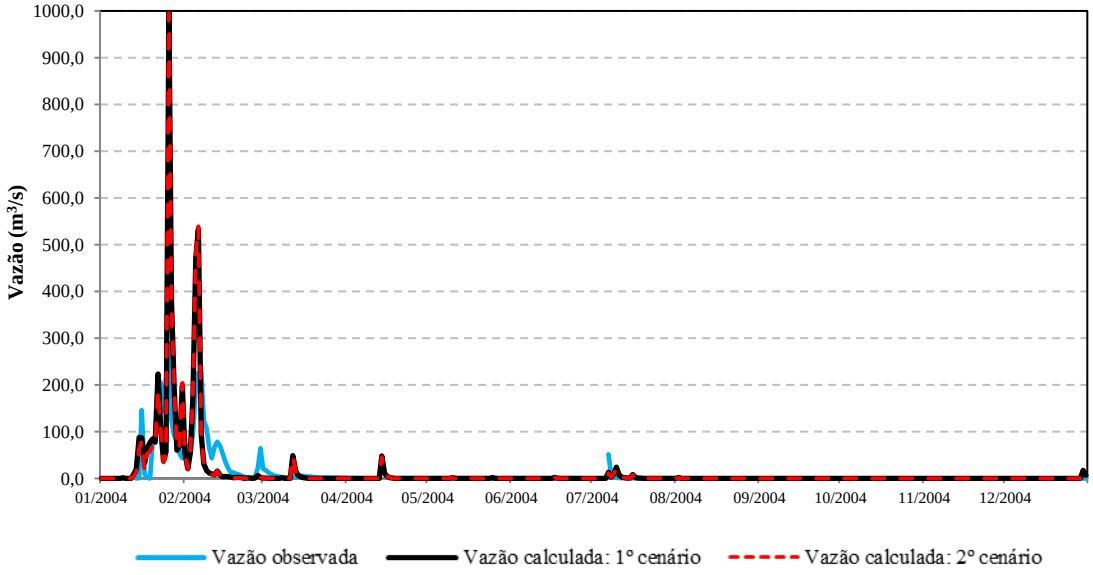
[34] Este termo é utilizado pela população do semiárido para se referir ao momento em que o açude está completamente cheio e a água passa a transbordar através do seu sangradouro.

No dia 26/03/1997 o posto fluviométrico Caraúbas registrou o pico de vazão em 252,0 m^3/s, consequência das fortes chuvas que ocorreram nesse evento. As vazões calculadas para os cenários simulados sem a existência de açudes e com a existência de açudes foram de, respectivamente, 581,1 m^3/s e 462,2 m^3/s. Mesmo ambos os cenários terem superestimado o valor da vazão observada para esse dia estes resultados mostram que os açudes existentes na BHARP interceptaram 118,9 m^3/s, uma taxa muito alta de vazão para a bacia.

Quando a BHARP passa a experimentar um ano chuvoso a água escoada nos rios é capaz de aumentar consideravelmente o volume de seus açudes. No período dos anos chuvosos e normais vemos que as diferenças nos valores de vazão para os cenários das simulações sem a existência de açudes e com a existência de açudes são drasticamente minimizadas.

A partir de 2004 os açudes da BHARP aumentam seus volumes armazenados exponencialmente em resposta às chuvas que ocorrem na bacia. Como os açudes encontram-se com seus respectivos volumes próximos ao ponto de sangria, ou já podem ter atingido esse estágio, em muitos casos, a água escoada através dos rios não possui a mesma dificuldade em vencer o obstáculo estabelecido pelo açude quando comparado com o período anterior (anos secos e normais) e o escoamento superficial não apresenta o mesmo grau de irregularidade em relação ao que possuía anteriormente. Daí os valores de vazão nos dois cenários não demonstrarem diferenças perceptíveis (Figura 19).

Figura 19. Comportamento das vazões observada e simuladas no ano de 2004



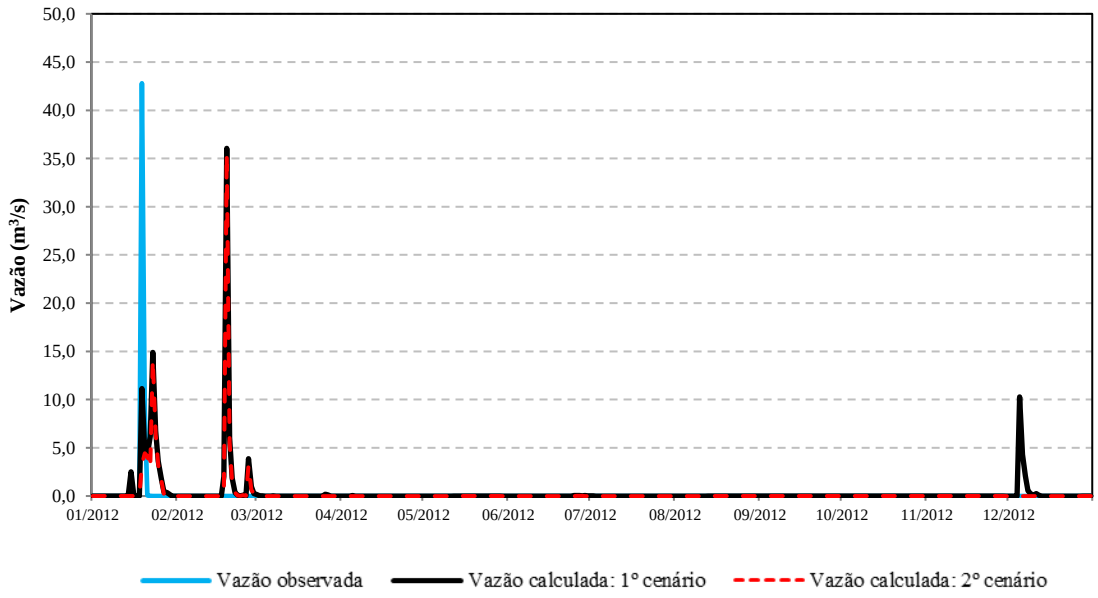
Fonte: Autor (2017).

A Figura 19mostra que os valores de vazão calculados para ambos os cenários não demonstram grandes diferenças entre si. A maior discrepância entre os valores de vazão ocorreu no dia 22/01/2004 quando o posto fluviométrico Caraúbas registrou o pico de vazão em 178,5 m^3/s, enquanto que as vazões calculadas foram de 223,5 m^3/s para o primeiro cenário e 188,9 m^3/s para o segundo cenário, uma diferença de 34,6 m^3/s e, assim, bem menos do que aquela vista no período de anos secos e normais.

Portanto, os açudes no período de anos chuvosos e normais não possuem a mesma competência para interceptar o escoamento superficial devido registrarem elevados volumes armazenados, o que facilita a passagem da água sobre o espelho d'água e torna o escoamento superficial menos irregular.

No último período da relação chuva-vazão-volume dos açudes na BHARP percebemos comportamento semelhante das vazões calculadas nos dois cenários (Figura 20) das simulações hidrológicas em relação ao segundo período (anos chuvosos e normais). Mesmo o período que se inicia em 2012 sendo constituído completamente por anos secos o escoamento superficial não apresenta irregularidade tão forte quanto o período de anos secos e normais (1994 a 2003).

Figura 20. Comportamento das vazões observada e simuladas no ano de 2012



Fonte: Autor (2017).

O fato de os açudes existentes na bacia ainda estarem com seus elevados volumes de água armazenada no início do período de anos secos contribui fundamentalmente para o comportamento do escoamento superficial. Diferentemente do panorama que a BHARP se encontrava durante os anos secos e normais (lembremos que este período

teve início após a seca de 1990/1993, quando os açudes apresentavam baixos volumes armazenados) em 2012, os açudes iniciam o período com seus volumes altos.

Conforme a Figura 20, podemos notar que os valores calculados pelo modelo SWAT para os dois cenários não mostram uma significativa discrepância, além do comportamento da vazão ser semelhante ao período anterior (2004 a 2011). Os valores que apresentam a maior diferença entre ambos os cenários ocorrem no dia 05/12/2012, quando o posto fluviométrico Caraúbas registra 0,0 m^3/s e os resultados para o primeiro e segundo cenário são 10,2 m^3/s e 0,0 m^3/s, respectivamente, sendo que este último acompanhou o dado observado da vazão para esse evento.

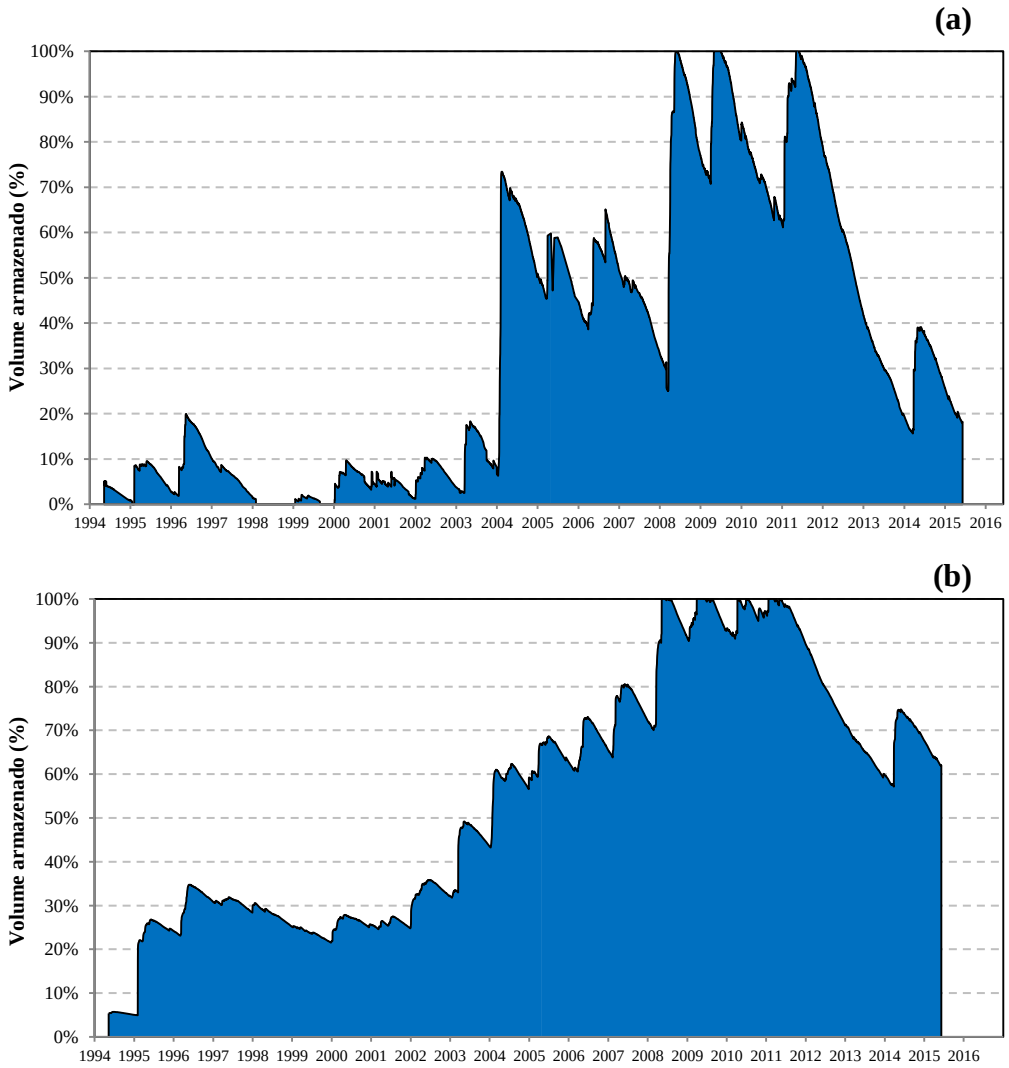
Mesmo que os totais anuais de chuva sejam significativamente menores do que nos anos chuvosos e normais a precipitação nos anos secos ainda ocorre, e a água escoada pelos rios tem mais facilidade de romper a barreira representada pelo açude, o que poderia ser mais difícil caso estes reservatórios registrassem baixos volumes armazenados de água.

Dessa forma, ao analisar os cenários simulados para verificar a influência dos açudes no comportamento do escoamento superficial na BHARP podemos identificar três situações a respeito desse processo: a) a primeira condiz com o período em que os açudes promovem forte influência na irregularidade do escoamento superficial na bacia, a qual, denominamos de período de anos secos e normais que variam entre 1994 e 2003; b) a segunda corresponde ao momento em que os açudes registram elevados volumes de água armazenada e não apresentam grande influência no comportamento irregular do escoamento, sendo este o período de anos chuvosos e normais que vai de 2004 a 2011; e c) a terceira situação ocorre a partir de 2012 e foi denominada de período de anos secos, quando os açudes na bacia ainda registram elevados volumes de água armazenada (devido aos anos chuvosos antecedentes) e promovem influência no escoamento superficial semelhante ao período anterior.

Devemos chamar atenção para o fato de que os resultados apresentados acerca da influência da açudagem para o escoamento superficial na BHARP foi realizada levando em conta apenas quatorze açudes existentes na bacia devido às limitações metodológicas já explicitadas anteriormente. Ainda assim, percebemos que só estes açudes já foram capazes de ilustrar como estes reservatórios podem alterar o funcionamento do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica no semiárido, tendo em vista, também, o comportamento espaço-temporal da precipitação pluviométrica.

Notamos, contudo, que o SWAT não apresentou bons resultados quanto ao balanço hídrico dos açudes utilizados na modelagem hidrológica da BHARP, o que também pode ter feito com que o escoamento superficial não tenha apresentado forte irregularidade em seu comportamento quando comparamos o cenário sem a existência dos açudes e com a existência deles. Acreditamos que a explicação para esta problemática está associada, fundamentalmente, aos dados de entrada que representam o volume de água que é retirado dos açudes diariamente. A Figura 21 mostra a variação nos volumes observados e calculados pelo modelo para o açude Sumé entre 1994 e 2016.

Figura 21. Volumes observados (a) e calculados (b) para o açude Sumé entre os anos de 1994 e 2016[35]



Fonte: Autor (2017).

[35] Os volumes não compreendem a série por completo (01/01/1994 – 31/12/2016) pelo fato de que os dados observados de volume armazenado do açude Sumé iniciarem apenas em 11/05/1994 e terminarem em 08/06/2015. Ressaltamos que a o volume calculado apresentado na figura corresponde, obviamente, ao cenário da simulação considerando a existência dos açudes na bacia.

De acordo com a Figura 21vemos que o volume observado do açude Sumé possui uma variação maior em comparação com o volume calculado pelo modelo. A quantidade de água armazenada no açude diminui rapidamente nos meses secos de anos como 1997, 2004 e 2008, por exemplo, quando se confronta o volume observado com o volume calculado.

Essa diferença na variação do volume de água armazenada entre os dados observados e calculados corresponde aos dados de entrada utilizados para simular a retirada de água do açude. Estes dados correspondem às informações referentes às outorgas que tem autorização para realizar a retirada de água no açude, as quais não representam o volume real de água que é removida diariamente tanto para abastecimento público quanto para outras atividades, como produção agropecuária ou industrial, construção de obras (principalmente rodovias), atividades de lazer, entre outros tipos de uso.

Reforçamos essa hipótese após ouvir o relato de técnicos da Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESA), em visita realizada durante o trabalho de campo, os quais confirmaram serem subnotificados os dados existentes sobre a retirada de água nos açudes do estado da Paraíba, ou seja, o volume de água retirada diariamente nos açudes do estado é maior do que o registro que este órgão estatal possui através das informações presentes nas outorgas.

Desse modo, acreditamos que a obtenção de dados que representem melhor o processo de retirada de água dos açudes da BHARP são imprescindíveis para melhorar o ajuste dos valores de volume de água armazenada calculados em relação aos observados, não só no açude Sumé como também em todos os quatorze açudes utilizados na modelagem, visto que essa subnotificação na remoção de água ocorre em todos os reservatórios da bacia.

Outro elemento importante a ser considerado na análise da modelagem hidrológica realizada com o SWAT nos dois cenários para verificar a influência da açudagem no escoamento superficial é o desempenho que o modelo apresentou em relação à simulação desse processo.

Os resultados obtidos na modelagem mostram que ao simular a série histórica de vazão do posto fluviométrico Caraúbas (1994 a 2016) o SWAT apresentou melhores ajustes para a escala de tempo mensal quando comparada com a escala de tempo diária (Tabela 12). Os índices estatísticos utilizados para medir o desempenho da modelagem

na BHARP indicam o ajuste entre os dados calculados e os dados observados em termos de correlação do comportamento da vazão e de seus valores absolutos.

Tabela 13. Comparação do desempenho do SWAT entre as escalas diária e mensalna simulação da vazão do posto fluviométrico Caraúbas para os anos de 1994 a 2016

Escala diária		
	Vazão observada × Vazão calculada: 1º cenário	**Vazão observada × Vazão calculada: 2º cenário**
R^2	0,36	0,37
NSE	-0,30	-0,17
Escala mensal		
	Vazão observada × Vazão calculada: 1º cenário	**Vazão observada × Vazão calculada: 2º cenário**
R^2	0,69	0,72
NSE	0,69	0,72

Fonte: Autor (2017).

Para avaliar o desempenho do modelo SWAT na modelagem hidrológica da BHARP nos pautamos em Moriasi et al. (2007), que propôs uma classificação para medir o desempenho de modelos hidrológicos e hidrossedimentológicos com base em alguns índices estatísticos. Para o coeficiente de determinação de Pearson (R^2) estes autores consideram valores acima de 0,50 como aceitáveis. Já para o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE) os autores estabelecem os seguintes critérios: a) Insatisfatório: NSE $\leq$ 0,50; b) Satisfatório: 0,50 < NSE $\leq$ 0,65; c) Bom: 0,65 < NSE $\leq$ 0,75; e d) Muito bom: < 0,75 NSE $\leq$ 1,00.

Vemos que o SWAT não representou satisfatoriamente a vazão em escala diária levando em consideração a série histórica. Isso responde pela dificuldade que o modelo encontra em estimar valores de vazão para um período de tempo relativamente longo (23 anos) a nível diário. Quando passamos a analisar os resultados das simulações das vazões diárias a cada ano vemos que existem anos em que os índices estatísticos apresentam bons ajustes entre os dados observados e calculados, bem como existem anos em que o contrário acontece.

Já em se tratando das simulações em escala mensal percebemos que o modelo apresentou melhorias significativas no ajuste dos valores de vazão calculados em comparação à vazão observada. Estes resultados para as simulações mensais da vazão em ambos os cenários são classificados como Bom, conforme Moriasi et al. (2007).

Ressaltamos que o modelo SWAT não passou por nenhum processo de calibração nos parâmetros que controlam o escoamento superficial na BHARP durante a

modelagem. Os resultados apresentados para as simulações hidrológicas foram obtidos apenas com os dados de entrada fornecidos ao modelo. É provável que estes resultados possam adquirir melhor ajuste após o procedimento de otimização nos parâmetros que governam o escoamento superficial na bacia.

Diante disso, observamos que a existência de açudes ao longo da rede de drenagem promove alterações no escoamento superficial do semiárido. Esta é uma importante consideração ao investigarmos como os açudes estão submetidos às entradas de água via escoamento superficial em relação à ocorrência de períodos marcados por altos totais pluviométricos e períodos marcados por baixos totais pluviométricos.

Também é uma discussão que pode nos ajudar a entender como as saídas de água do açude, através das demandas de uso existentes, se comportam quando estão submetidas às características destes mesmos períodos ora mais secos e ora mais chuvosos.

Esta variação no volume do açude de acordo com as características climáticas e hidrológicas de anos secos e de anos chuvosos está intimamente relacionada com as práticas exercidas na gestão das águas do semiárido. No capítulo seguinte iremos tratar dessa discussão.

CAPÍTULO III:
GESTÃO DA ÁGUA, GESTÃO DA SECA

No Brasil, a gestão das águas é orientada a partir da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela lei nº 9.433/97, que tem seus princípios relacionados a tratar a água como um bem público, sendo sua utilização voltada aos usos múltiplos, adotar as bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão das águas de maneira a promover a descentralização desta gestão entre diversos órgãos estatais (em diferentes níveis administrativos) e à participação da sociedade civil.

Contudo, essa política de gestão da água é aplicada uniformemente em todas as regiões do Brasil, sem que se considerem as características naturais, sociais, culturais e econômicas nas diferentes partes de um país de dimensões continentais. Isso leva a um questionamento central: a gestão das águas no Brasil é capaz de ser desenvolvida na região amazônica, nos pampas gaúchos e no semiárido de forma homogênea e apresentar o mesmo grau de eficiência nestes espaços?

No semiárido, os atributos climáticos, pedológicos, sociais, culturais e econômicos (como já apresentados nas partes precedentes deste texto) reivindicam a execução de um modelo de gestão da água distinto daquele praticado em outras regiões brasileiras. Isso porque elementos como armazenamento e distribuição são centrais para o gerenciamento das águas nessa porção do território brasileiro devido sua dinâmica hidrológica.

Nesse contexto, o açude se constitui como um elemento-chave para o armazenamento e a distribuição das águas no semiárido, se tornando, dessa forma, um componente fundamental para a compreensão da gestão dos recursos hídricos nessa região. Estes reservatórios são construídos desde o início da ocupação e povoamento da região até os dias atuais, ora como fonte única de abastecimento público ora articulado a outras políticas hídricas, como a irrigação, os sistemas de adutoras, os carros-pipa e as cisternas de placa, por exemplo.

Neste capítulo apresentaremos, inicialmente, uma discussão sobre a gestão das águas no semiárido, desde uma perspectiva legal/administrativa até a perspectiva teórica/conceitual; a seguir passaremos a analisar a gestão das águas na região semiárida tendo o açude como centralidade no processo de gerenciamento dos recursos hídricos. Neste momento, para ilustrar este processo de gestão, utilizaremos dados relativos à precipitação, evaporação e variação do volume da água de um açude localizado na bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba (BHARP) para ilustrar este processo de gestão.

LEGISLAÇÃO E APONTAMENTOS TEÓRICOS SOBRE GESTÃO DAS ÁGUAS

Atualmente, a gestão das águas no Brasil é orientada pela lei 9.433/97, também conhecida como Lei das Águas, a qual estabelece princípios, diretrizes, objetivos e instrumentos que regulam o gerenciamento dos recursos hídricos no país. Contudo, a atual legislação é resultado de um processo histórico de atuação estatal no tocante ao uso e conservação dos recursos naturais brasileiros. Em se tratando da água, o marco para a gestão deste recurso de maneira direta pelo Estado brasileiro foi o estabelecimento do que ficou conhecido como o Código das Águas, em 1934.

O decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 (Código das Águas) permitiu ao Estado o controle e regulação das águas no Brasil e instituiu alguns princípios relacionados a este recurso. Até o ano de 1934, como apontam Melo et al. (2012), as leis e decretos promulgados no país eram pontuais e incipientes, ou seja, não havia legislação capaz de coordenar ações ligadas à gestão das águas em nível nacional.

O Código das Águas se tornou, desse modo, um aparato legal capaz de promover a gestão das águas no Brasil. Entre os principais pontos deste decreto podem ser destacados:

a) As águas podem ser consideradas públicas e particulares;
b) O uso da água deve atender as necessidades de sobrevivência humana;
c) O uso da água para atividades econômicas deve estar submetido à concessão/autorização do Estado;
d) Aqueles que descumprirem as diretrizes existentes neste decreto estarão sujeitos à aplicação de multas e processos jurídicos.

Esta legislação estava articulada à transição pela qual o modelo econômico brasileiro estava submetido, passando de uma economia baseada eminentemente no setor agrícola para uma economia baseada no setor industrial. Nesse momento (e ao longo das décadas seguintes) a atividade hidrelétrica se constituía como a principal responsável pelo aproveitamento dos recursos hídricos no Brasil (SOUSA JÚNIOR, 2004), já que a emergente atividade industrial demandava um fornecimento de energia elétrica que suprisse as suas necessidades de produção (SILVESTRE, 2008).

Até a promulgação da Constituição da República em 1988 o Código das Águas foi o marco regulatório da política de gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. Inclusive, como afirma Sousa Júnior (2004), alguns dos fundamentos e diretrizes deste código foram incorporados (ou pelo menos influenciaram) à Lei das Águas de 1997.

A principal mudança promovida pela Constituição da República de 1988 em relação à gestão dos recursos hídricos no Brasil é a extinção do domínio da água por particulares: a água passa a ser um bem público e inalienável. Todas as fontes de água, rios, mares territoriais, lagos e demais corpos hídricos são de domínio exclusivo do Estado brasileiro, sendo seu uso por particulares autorizado e regulamento pelas instituições públicas competentes.

Além de tornar a água um bem público a Constituição da República de 1988 também avança do ponto de vista da gestão da água no Brasil quando institui o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, bem como define critérios para concessão de outorgas de direito de uso da água[36]. No entanto, este sistema de gerenciamento e as normas para a concessão de outorgas para uso da água só foram regulamentadas dez anos depois com a lei 9.433 de 1997, a Lei das Águas.

A Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, foi elaborada a partir de um processo histórico de discussão a respeito da gestão das águas no Brasil e é resultado do acúmulo de debates acerca desse tema entre Estado, pesquisadores e sociedade civil. Baseada no modelo francês de gestão das águas (Braga e Ferrão, 2015; Plano Nacional de Recursos Hídricos, 2006; Sousa Júnior, 2004) a lei 9.433/97 estabelece os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos para a gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Algumas das inovações apresentadas na Lei das Águas, em relação às legislações anteriores, dizem respeito à adoção da bacia hidrográfica como a unidade básica para planejamento e gestão dos recursos hídricos e a criação de comitês de bacias hidrográficas com vistas a promover a participação social e a descentralização da gestão. É possível destacar, ainda, a criação do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos com o objetivo de realizar levantamento contínuo sobre a situação hídrica do Brasil e possibilitar melhorias para o planejamento e gestão das águas. A Tabela 14 demonstra os principais pontos existentes na lei 9.433/97.

[36] Art. 21, inciso XIX, da Constituição da República.

Tabela 14. Resumo dos principais pontos da lei 9.433/97

Premissa	Art.	Inc.	Descrição
FUNDAMENTOS	1º	I	A água é um bem de domínio público;
		II	A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
		III	Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
		IV	A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
		V	A bacia hidrográfica e a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
		VI	A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.
OBJETIVOS	2º	I	Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
		II	A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
		III	A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;
		IV	Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.[37]
DIRETRIZES	3º	I	A gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade;
		II	A adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País;
		III	A integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;
		IV	A articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional;
		V	A articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo;
		VI	A integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.
	4º	-	A União articular-se-á com os Estados tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum.
INSTRUMENTOS	5º	I	Planos de Recursos Hídricos;
		II	Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
		III	Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
		IV	Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
		V	Compensação a municípios;
		VI	Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Fonte: Adaptado de Sousa Júnior (2004).

Observamos com base na Tabela 14, que a lei 9.433/97 trouxe avanços quanto à democratização da gestão das águas no Brasil quando abrange questões como descentralização da gestão, participação da sociedade civil, priorização dos usos

[37]Inciso acrescido pela Lei nº 13.501, de 30/10/2017.

múltiplos da água e adequação da gestão dos recursos hídricos às características físicas e socioeconômicas de cada região. Contudo, esta lei negligencia duas categorias que julgamos imprescindíveis para a gestão das águas no semiárido brasileiro devido suas características físicas e socioeconômicas, já discutidas anteriormente: o armazenamento e a distribuição da água. Antes de iniciar esse debate introduziremos as premissas teóricas relacionadas à gestão das águas.

O conceito de gestão das águas, também utilizados por muitos autores como gerenciamento dos recursos hídricos, diz respeito à forma como uma determinada entidade, no caso do Brasil o Estado, estabelece normas e garantias para o uso da água pela sociedade em diversas dimensões: econômica, doméstica, cultural, entre outras.

Esta breve explanação corrobora com as discussões apresentadas por Cunha et al. (1980) quando esclarece que a gestão das águas diz respeito à forma de controlar e garantir o uso da água para diversas finalidades de acordo com as demandas da sociedade. Além disso, a água deve ser considerada como um bem público, em que "a respectiva propriedade seja cedida em condições tais que da sua utilização resulte um benefício máximo para a comunidade" (CUNHA et al., 1980, p. 67).

Discussão semelhante pode ser observada em Molinas (1996) ao tratar a gestão das águas como o estabelecimento de medidas voltadas ao uso racional e sustentável dos recursos hídricos:

> Consideramos "Gestão de Águas" um conjunto de medidas de ordem jurídica, administrativa e técnica, associadas, eventualmente, a medidas estruturais orientadas para o disciplinamento e racionalização do uso dos recursos hídricos para assegurar a sua sustentabilidade social, econômica e ambiental (MOLINAS, 1996, p. 69).

Outros autores têm posições mais objetivas em relação à definição da gestão das águas, a exemplo de Pruski e Pruski (2011), que articulam o gerenciamento dos recursos hídricos aos problemas de escassez da água. Sendo assim:

> A gestão de recursos hídricos é a forma para equacionar e resolver as questõesassociadas à escassez. Pode-se dizer, em uma visão prática, que a gestão de recursos hídricos se assemelha à gestão da economia familiar. A disponibilidade hídrica é o quanto se ganha. As demandas são o quanto se gasta. A poupança são os reservatórios (superficiais e subterrâneos), que permitem que, em períodos em que a receita é menor que as despesas, se

> possa utilizar os recursos estocados. As transposições são empréstimos feitos a fundo perdido (Pruski e Pruski, 2011, p. 29).

Esta discussão apresentada por Pruski e Pruski (2011) está intimamente relacionada ao gerenciamento dos recursos hídricos no semiárido, visto que a região está submetida, além de oito a nove meses secos durante o ano, a recorrentes períodos de estiagem, os quais podem permanecer por alguns anos. Logo, buscar formas para solucionar a problemática da escassez, eminentemente nos períodos secos, pode ser uma das principais características para compreender a gestão das águas no semiárido.

Portanto, iremos discutir a gestão das águas entendendo-a como a maneira pela qual o Estado estabelece normas e diretrizes que proporcionem a utilização permanente da água para as diversas demandas existentes. Todavia, veremos, mais adiante, que este estado permanente no uso da água é uma das maiores dificuldades para a gestão das águas no semiárido.

Outros fatores que podem ser adicionados como desafios para o gerenciamento dos recursos hídricos na região são, como pontua Souza Filho (2011), a infraestrutura hídrica para armazenamento de água e o abastecimento das populações rurais difusas. Por isso defendemos, desde o início deste capítulo, que as categorias de armazenamento e distribuição de água devem fazer parte das políticas e planos voltados à gestão das águas no semiárido.

Ao longo da história do semiárido, diversas políticas públicas direcionadas ao setor de recursos hídricos foram implementadas pelo Estado (vide Figura 12), todas com o objetivo de potencializar a disponibilidade hídrica e satisfazes as necessidades de abastecimento da população e das atividades econômicas existentes. Entre as principais destacamos: a açudagem, a perfuração de poços, a rede de adutoras, a criação de perímetros irrigados, as transposições e integrações de bacias hidrográficas, a construção de cisternas e a operação dos carros-pipa.

Entretanto, acreditamos que a açudagem se constitui como a principal política hídrica adotada pelo Estado no que diz respeito à sua atuação na região semiárido do Brasil, tanto do ponto de vista espacial (por abranger todo o semiárido), quanto do ponto de vista temporal (por ser desenvolvida desde o século XIX até os dias atuais). E ainda por ser capaz de articular as demais políticas hídricas supracitadas: adutoras, criação de perímetros irrigados, transposições e integrações de bacias hidrográficas, construção de cisternas e operação dos carros-pipa.

Com isso passaremos a analisar a gestão das águas no semiárido tendo como centralidade o açude, pois entendemos que este é um elemento-chave na busca de se compreender o gerenciamento dos recursos hídricos na região dada sua importância no armazenamento e distribuição das águas.

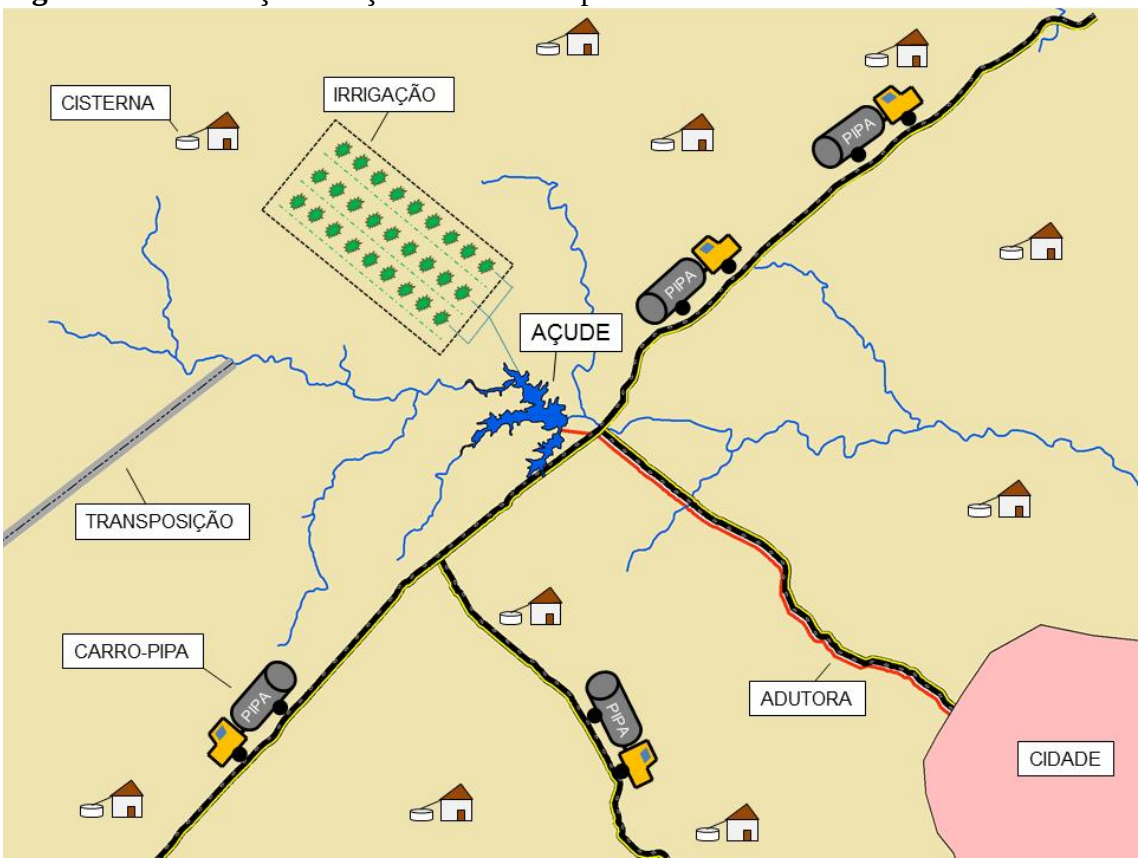
O AÇUDE: ELEMENTO-CHAVE DA GESTÃO DAS ÁGUAS NO SEMIÁRIDO

Por ser fundamental para a disponibilidade de água no semiárido o açude não pode deixar de ser levado em consideração no momento do planejamento e gestão dos recursos hídricos na região. De acordo com os planos estaduais de recursos hídricos dos estados que compõem o semiárido podemos notar a presença, e em alguns casos a relevância, dos açudes quando do diagnóstico da disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas existentes nos respectivos estados.

Alguns planos apresentam todos os açudes gerenciados pelos órgãos estaduais, identificando a capacidade máxima de armazenamento, como é o caso dos estados de Alagoas, Ceará, Pernambuco e Piauí. Outros possuem menor nível de detalhamento e incluem os açudes na categoria relacionada à disponibilidade hídrica superficial, a exemplo de Minas Gerais (porção norte do estado), Paraíba e Sergipe.

O fato é que os açudes devem ser, e são, analisados em termos de potencialidade (armazenamento e uso) no planejamento e gestão das águas no semiárido, já que estas fontes estão disseminadas por toda a região e são capazes de serem articuladas a outros elementos da infraestrutura hídrica existente. A Figura 22 demonstra como o açude está ligado a outras políticas hídricas que versam sobre o armazenamento e a distribuição de água no semiárido.

Figura 22. Articulação do açude com outras políticas hídricas no semiárido



Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Figura 22 podemos notar como o açude está integrado às principais políticas de infraestrutura hídrica do semiárido. Passaremos a analisar a relação dos açudes com cada uma das políticas hídricas apresentadas na Figura 22 de acordo com a cronologia da intervenção estatal na região.

Iniciaremos mostrando a relação entre os açudes e as adutoras de abastecimento de água no semiárido[38]. Os sistemas de adutoras são essenciais para o abastecimento público nas cidades da região semiárida. Este tipo de infraestrutura hídrica é responsável pela captação de água direto no açude[39] e pela distribuição desta em núcleos urbanos, distritos municipais e até comunidades rurais em todos os estados compreendidos pelo semiárido (ANA, 2010).

Uma das características da utilização de adutoras em relação ao ambiente semiárido é a possibilidade de diminuição das taxas de evaporação, devido a água ser transportada através das tubulações (ora ocorrendo superficialmente ora ocorrendo

[38] Iniciamos com as adutoras devido ao fato de não ter sido possível encontrar o período de implantação desta política na região do semiárido.
[39] Entretanto, em áreas que dispõem de rios perenes a captação de água através de adutoras pode ser feita no próprio canal fluvial, a exemplo de algumas áreas dos estados de Aracajú e Sergipe que são abastecidas pela água do rio São Francisco.

subsuperficialmente) e não sofrer o efeito direto da radiação solar. Esse é um aspecto a se considerar tendo em vista as altas taxas de evaporação a qual está submetida a região semiárida do Brasil.

Outra política hídrica que possui ligação com a açudagemsão as atividades de irrigação. Quando essa prática passou se tornou uma política pública intensiva no semiárido, durante o período desenvolvimentista encampado pelo Estado (décadas de 1950 a 1990), a principal justificativa para a construção de açudes na região era o aproveitamento da água destas obras para a irrigação (MOLLE, 1994).

A irrigação é uma prática comum nas atividades agropecuárias do semiárido, estando presente tanto nos minifúndios e pequenas propriedades quanto nos latifúndios (MOLLE, 1994). A importância do açude para a irrigação deve-se ao fato de permitir o fornecimento de água para as atividades produtivas da agropecuária durante os meses e/ou anos marcados pela estiagem. Esta é uma característica fundamental, principalmente para pequenos produtores rurais que dependem do período chuvoso para desenvolver suas atividades produtivas na região.

A possibilidade de disponibilizar água nos períodos secos (meses secos ou anos secos) faz com que o açude seja "um transportador de água no tempo" (SOUZA FILHO, 2011), com o objetivo de tentar suprir as necessidades de uso da água em virtude da sazonalidade e das variabilidades interanuais.

Podemos elencar, também, as cisternas de placa como uma política hídrica ligada à distribuição da água dos açudes, ainda que o objetivo principal das cisternas seja a captação e o armazenamento da água da chuva. Nos anos em que o período chuvoso registra totais pluviométricos muito abaixo da média a águada chuva armazenada na cisterna nãoprovê quantidade suficiente parasatisfazer as necessidades de uso doméstico da família. Quando essa situação acontece a água do açude é então transportada através dos carros-pipa com o objetivo de abastecer as cisternas, já que estas não puderam ser abastecidas em quantidade necessária durante a estação chuvosa pelos eventos de chuva.

Se não houvesse distribuição de água dos açudes para as milhares cisternas de placa existentes no semiárido nos anos secos, as famílias que dependem deste recurso para sobrevivência, grande parte composta pelas chamadas populações rurais difusas, seriam obrigadas a realizar a migração para outras regiões. Portanto, vemos que a água armazenada no açude é capaz de ser distribuída para pequenas fontes de armazenamento difundidas por toda a região semiárida e contribua para amenizar o problema do

abastecimento das populações rurais difusas, um dos principais desafios para a gestão das águas no semiárido, como aponta Souza Filho (2011).

Já os canais de transposição (iremos chamar apenas transposição) seguem um caminho inverso das demais políticas hídricas do semiárido apresentadas até agora: a água não é captada no açude, mas sim captada em um rio e transportada até ele.

A política de transposição já é adotada em alguns estados da região há alguns anos. Como exemplo podemos citar o Canal do Trabalhador no Ceará (1993) e o Canal da Redenção na Paraíba (1998) como obras de transposição já concluídas e o Canal do Sertão Alagoano, em Alagoas e o Canal do Piató, no Rio Grande do Norte, como obras de transposição que estão sendo implementadas atualmente.

Contudo, o Projeto de Integração do Rio São Francisco, popularmente chamado de transposição do rio São Francisco, é o canal de transposição de maior dimensão no semiárido brasileiro. A obra objetiva integrar a bacia hidrográfica do rio São Francisco com bacias hidrográficas dos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

As águas advindas das transposições são, então, captadas nos cursos hídricos de origem e transportadas até os açudes. Este movimento pode ocorrer entre um rio e um açude, bem como entre um açude e um perímetro irrigado ou entre dois açudes. O objetivo desta política hídrica é o fornecimento de água a um açude para que esta seja utilizada de acordo com as demandas de uso do respectivo açude, seja de abastecimento urbano, seja de irrigação, seja de distribuição a cisternas.

Por fim, podemos citar a utilização de carros-pipa como forma de garantir a distribuição e armazenamento de água no semiárido através da captação da água nos açudes.

Os carros-pipa são automóveis que possuem um reservatório para armazenamento, sendo capazes de transportar água através de centenas de quilômetros de distância. O uso dos carros-pipa já era efetuado no semiárido, porém a partir da implantação da Operação Carro-Pipa, em 2012, passou a ser amplamente desenvolvido em toda a região.

Nos períodos de seca os carros-pipa são fundamentais para a manutenção da distribuição de água no semiárido. A água captada nos açudes pode ser transportada até outros reservatórios utilizados para armazenar água, como as próprias cisternas de placa, caixas d'água e chafarizes públicos, entre outros tipos de reservatórios.

Há que se ressaltar que os carros-pipa também podem realizar a captação de água em outras fontes, como os poços amazonas e os próprios rios (dependendo de sua perenidade). Porém, por possuírem maiores quantidades de água disponível os açudes são as principais fontes de captação dos carros-pipa.

Desse modo, podemos notar que o açude apresenta posição central para a gestão dos recursos hídricos no semiárido, em termos de armazenamento e distribuição de água, por ser capaz de estar articulado a diversas outras políticas hídricas existentes na região. Manter o volume dos açudes em condições constantes de utilização é essencial para promover uma gestão da água eficiente no semiárido.

Para que o açude possa ser utilizado de maneira eficiente e venha a contribuir com as demandas de uso da água existentes é necessário o domínio das informações relacionadas à variação de volume deste reservatório em termos de entrada de água via escoamento superficial e chuva e de saída de água via evaporação, infiltração e o próprio uso da água. Vejamos a seguir como podemos analisar a variação de volume em um açude no semiárido.

Variações no volume do açude: o açude Sumé em perspectiva

Tomaremos como exemplo o açude Sumé para ilustrar a variação de volume em um açude sob determinado período de tempo, compreendendo tanto anos secos como chuvosos. Veremos que a variação de volume no reservatório possui peculiaridades de acordo com as características pluviométricas de cada ano.

O açude Sumé está localizado na BHARP, já analisada no Capítulo II, possuindo uma capacidade máxima de armazenamento de 44,8 milhões de m^3 com a respectiva área de espelho d'água de 8,5 milhões de m^2. Possui, ainda, a montante os açudes Ouro Velho, Prata II e São Paulo[40]. Esta ressalva diz respeito à capacidade destes três reservatórios de promoverem alterações no escoamento superficial no açude Sumé.

Até o mês de abri de 2017 (quando foi realizada a visita de campo), o açude Sumé abastecia dez municípios[41], sendo eles: Gurjão, Livramento, Monteiro, Ouro Velho, Parari, Prata, São João do Cariri, São José dos Cordeiros, Serra Branca e Sumé. Este

[40] Existem outros açudes à montante do açude Sumé. Entretanto, os três açudes referidos possuem maior importância em termos de alteração no escoamento superficial em virtude de suas dimensões de área de espelho d'água e capacidade máxima de armazenamento em relação aos demais corpos hídricos de menores dimensões na área de drenagem à montante do açude Sumé. De acordo com Cantalice (2010) entre os anos de 1984 e 1990 foram construídos cerca de 70 açudes de pequeno e médio portes à montante do açude Sumé.

[41] Esta informação foi adquirida junto ao técnico da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) durante visita de campo realizada no município de Sumé.

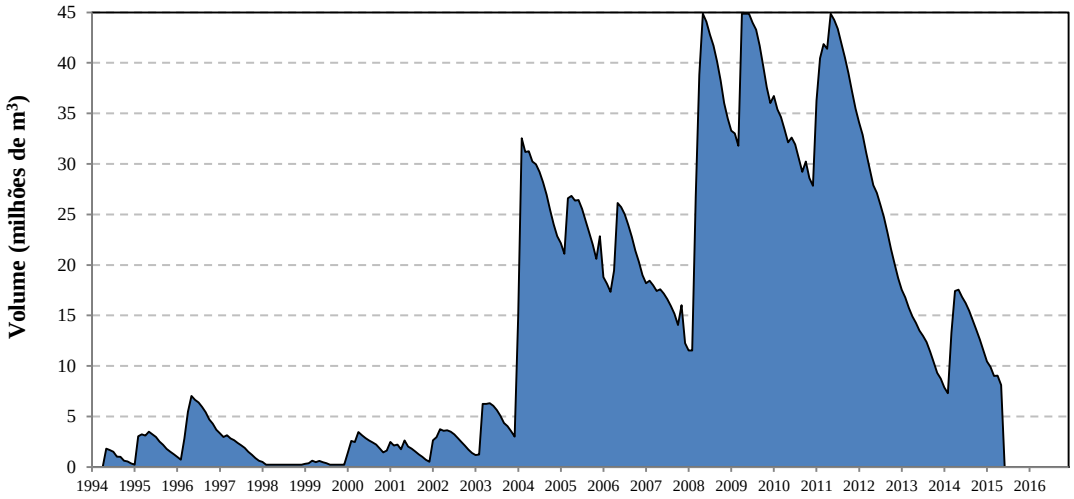
abastecimento consiste no abastecimento público realizado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Contudo, o técnico da CAGEPA que nos passou as informações de abastecimento do açude Sumé também ressaltou que alguns municípios são abastecidos parcialmente pelo reservatório, ou seja, parte da população de determinados municípios é abastecida com as águas do açude Sumé e parte é abastecida com águas de outros reservatórios.

O açude Sumé passou a funcionar a partir do ano de 1962, com o objetivo de atender aos usos múltiplos da água e de subsidiar o funcionamento do Perímetro Irrigado de Sumé, criado em 1970. Este reservatório visava não apenas o aproveitamento da água para irrigação, mas também para abastecimento público, agricultura de vazante, piscicultura e eventual controle de cheias[42]. Assim, podemos perceber que a construção do açude Sumé faz parte dos objetivos da política desenvolvimentista desenvolvida pelo Estado brasileiro na segunda metade do século XX, já que a finalidade principal do açude era o fornecimento de água para as atividades agropecuárias (principalmente a irrigação), contribuindo para o desenvolvimento econômico local.

Com isso, vemos que o açude Sumé esteve submetido a diversas secas desde a sua criação (1962; 1966; 1970; 1976; 1979; 1980–1983; 1990–1993; 1998–1999; 2001; 2003; 2012–2016), o que levou ao rebaixamento total de seu volume em alguns destes períodos de estiagem[43]. Porém, também esteve submetido a diversos anos chuvosos, atingindo seu volume máximo de armazenamento e registrando "sangramento" das águas do açude. A Figura 23 mostra a variação de volume do açude Sumé entre 1994 e 2016[44].

[42] Informação obtida em: http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/pb/sume.htm.
[43] Informação obtida junto aos técnicos do DNOCS durante visita de campo.
[44] Não foi utilizado o período tendo como início a construção do açude por não ter sido possível a obtenção dos dados referentes ao volume do reservatório nos anos anteriores a 1994.

Figura 23. Variaçõesde volume do açude Sumé entre 1994 e 2016



Fonte: Autor (2018).

Observamos na Figura 23 o contraste no comportamento do volume do açude Sumé ao longo da série de dados no período de 1994 a 2003 e a partir do ano de 2004. Se resgatarmos a discussão do Capítulo II acerca dos períodos da relação chuva-vazão-volume dos açudes veremos que os anos de 1994 a 2003 se enquadram perfeitamente no período denominado de anos secos e normais, fase em que os baixos totais pluviométricos não foram capazes de gerar escoamento superficial suficiente para elevar o volume de água disponível nos açudes. Já a partir de 2004, quando se inicia o período de anos chuvosos e normais, o escoamento superficial gerado por altos totais pluviométricos na estação chuvosa foi capaz de elevar exponencialmente o volume dos açudes da região da BHRAP (no caso do açude Sumé principalmente os anos de 2004 e 2008).

Contudo, diante da análise dos dados da variação de volume do açude Sumé do respectivo período, levando em conta os volumes de entrada e de saída de água do reservatório[45], percebemos que existe um padrão nesse processo: nos períodos em que são registrados altos totais pluviométricos, altas taxas de vazão e constante elevação do volume do açude também ocorre um aumento progressivo nas saídas de água do reservatório (Tabela 15). Utilizamos a proposta da análise da relação chuva-vazão-

[45] As entradas de água no açude dizem respeito aos volumes incrementados pelo escoamento superficial e pelas chuvas. Já as saídas correspondem aos volumes de água captados do açude para os diversos usos que possam existir e as perdas por evaporação. Estes dados de entrada e saída de água foram obtidos junto ao DNOCS, no setor responsável pela administração do Perímetro Irrigado Sumé em visita de campo realizada em abril de 2017.

volume dos açudes do Capítulo II para examinar o comportamento na variação de volume do açude Sumé.

Tabela 15. Precipitação, variação de volume (entrada e saída de água) e evaporação no açude Sumé por período

Período	Precipitação média (mm)	Entrada total de água (m^3)	Saída total de água (m^3)	Evaporação total (m^3)	Evaporação total (%)*
1994 a 2003	524,0	29.688.165	28.646.094	2.567.087	8,96
2004 a 2011	668,5	131.190.104	93.895.571	12.214.916	13,01
2012 a 2016	302,6	17.395.271	40.251.432	8.372.451	20,80
TOTAL	**-**	**178.273.540**	**162.793.097**	**23.154.453**	**14,22**

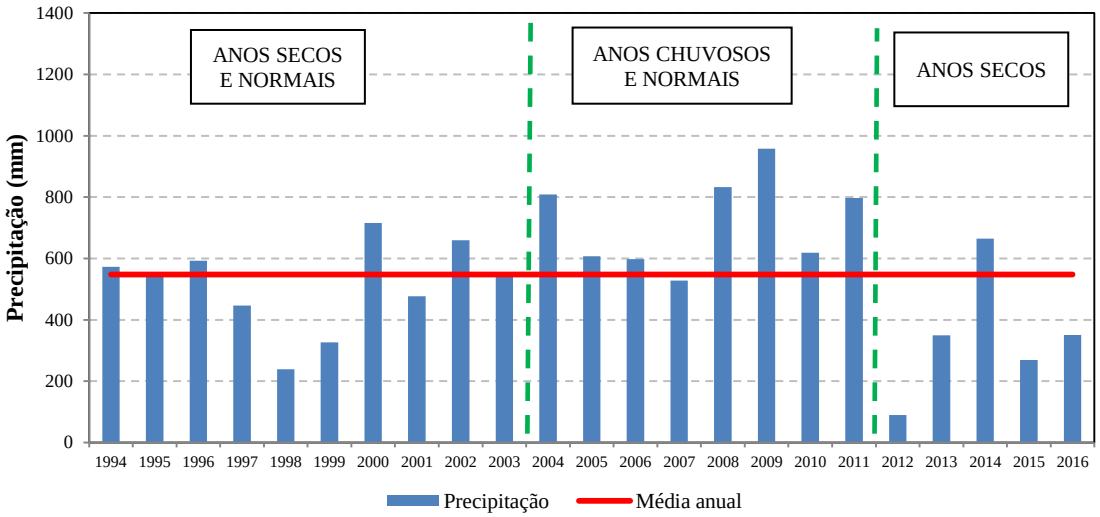
* Relação Saída total de água (m^3) x Evaporação total (m^3)
Fonte: Autor (2018).

Como a Tabela 15 apresenta existem diferenças na saída de água do açude Sumé de acordo com o período investigado. No período composto pelos anos secos e normais (1994 a 2003) verificamos uma saída três vezes menor do que aquela existente no período dos anos chuvosos e normais (2004 a 2011). O período composto pelos anos secos (2012 a 2016) também registra saída de água muito abaixo daquela ocorrida no período anterior (embora o volume que saiu do açude ainda seja maior do que aquele registrado entre 1994 e 2003).

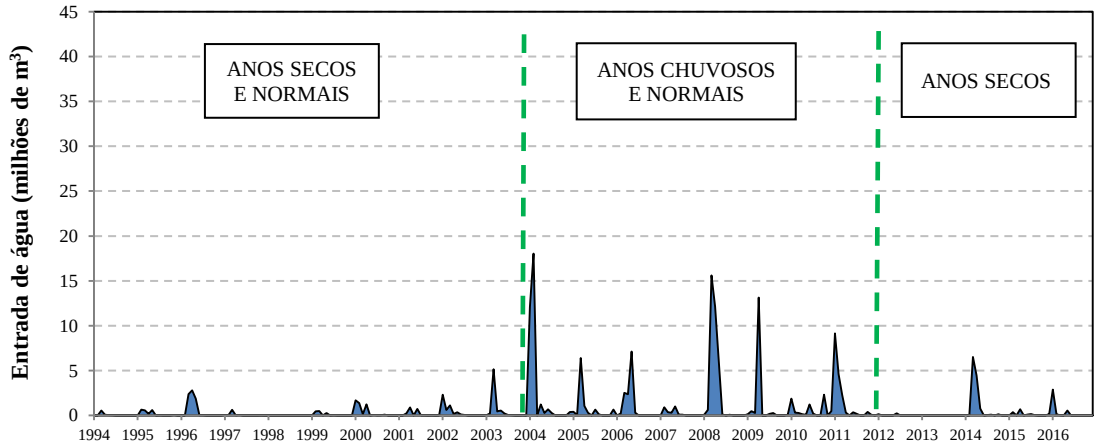
Os dados da Tabela 15 mostram o que já afirmamos: nos anos chuvosos e com elevação do volume do açude aumentam, na mesma proporção, as taxas de saída de água do reservatório. Quando o inverso acontece (anos secos com baixa contribuição para o volume do açude) as saídas registradas no reservatório diminuem.

Em relação às entradas de água do açude Sumé também percebemos grande discrepância quando comparamos o volume total de água que chega ao açude nos períodos analisados tendo por base a Tabela 15: a quantidade de água que entrou no açude nos anos chuvosos e normais é quatro vezes maior do que o montante registrado nos anos secos e normais e sete vezes maior do que nos anos secos. A Figura 24 também ilustra essa dinâmica.

Figura 24. Precipitação da área de drenagem do açude Sumé[46] e consequente volume de água recebido pelo reservatório entre os anos de 1994 e 2016



Fonte: Autor (2018).



Fonte: Autor (2018).

Podemos identificar, de acordo com a Figura 24, que as entradas de água mais representativas no açude Sumé estão compreendidas no período de anos chuvosos e normais. Com exceção dos anos de 2007 e 2010 todos os demais anos do período registraram volumes de entrada de água superiores a 5,0 milhões de m^3 em pelo menos um mês do referente ano:

a) 2004: 18,0 milhões de m^3;
b) 2005: 6,4 milhões de m^3;
c) 2006: 7,1 milhões de m^3;
d) 2008: 15,6 milhões de m^3;

[46] Esta precipitação corresponde à média anual da chuva nos postos Prata e Sumé (vide Tabela 4), os quais estão contidos na área de drenagem do açude Sumé.

e) 2009: 13,1 milhões de m^3;

f) 2011: 9,1 milhões de m^3.

As chuvas ocorridas durante este período foram fundamentais para a entrada de água no açude Sumé, sobretudo aqueles que ocorreram no ano de 2004, pois foram responsáveis por elevar o volume não apenas do açude Sumé, mas também dos demais reservatórios à montante, permitindo que o escoamento superficial não sofresse tanta interferência do que sofreria caso estes açudes se encontrassem vazios ou com baixas quantidades de água armazenada.

A que se considerar também a intensidade dos eventos de chuva e sua consequência para o escoamento superficial. Eventos de chuva que registram altos totais pluviométricos são capazes de gerar, consequentemente, altos montantes de escoamento superficial a serem armazenados nos reservatórios. Isso pode explicar, por exemplo, o fato do ano de 2003 ter registrado um total pluviométrico de 544,6 mm (praticamente igual à média anual) e uma entrada de 5,1 milhões de m^3 no volume do açude Sumé.

Ainda com base na Figura 24 notamos que o período de anos secos e normais não apresentaram entradas representativas no volume de água do açude Sumé quando comparado com o período de anos chuvosos e normais. Os valores registrados entre os anos de 1994 e 2003 não são capazes de superar os 2,0 milhões de m^3, com exceção dos anos de 1996, 2002 e 2003. Os totais pluviométricos abaixo e próximos da média anual juntamente com a maior capacidade de interceptação do escoamento superficial dos reservatórios à montante do açude Sumé podem ajudar a explicar as baixas entradas de volume de água nesse período.

O período de anos secos também não apresenta entradas de água representativas para o açude Sumé, com exceção do ano de 2014 que registrou 6,5 milhões de m^3 de entrada de água. Neste caso, o principal fator responsável por esse panorama é a precipitação, isto é, os baixos totais pluviométricos ocorridos nesse período.

Desse modo, observamos que o açude Sumé, bem como os açudes da região e do semiárido, possui uma variação no seu volume, considerando as entradas e saídas de água, intimamente associado com a dinâmica das chuvas, do escoamento superficial, dos usos da água e da evaporação do reservatório (este último será tratado mais adiante).

Essa dinâmica na variação do volume do açude resulta em uma consideração importante para a gestão das águas: o uso da água do açude, em termos quantitativos,

não é constante ao longo dos anos, mas varia de acordo com as características hidrológicas de anos secos e de anos chuvosos.

Se defendemos que o açude ocupa posição central no gerenciamento dos recursos hídricos do semiárido em virtude de sua capacidade de armazenamento e distribuição (aliado a outras políticas hídricas) e que para buscar uma gestão eficiente é fundamental que se mantenha o volume do açude em condições de constante utilização se faz necessário a adoção de práticas de gerenciamento que sejam capazes de equilibrar as saídas de água do reservatório tanto em anos secos quanto em anos chuvosos, com vistas a permitir o uso constante dos recursos hídricos de acordo com as demandas existentes.

O que parece ser comum na gestão das águas no semiárido, como aponta Brito (2008), é que em anos chuvosos, quando os açudes estão com elevados volumes de água armazenada, o Estado (através de seus respectivos órgãos) não desenvolve práticas efetivas de controle e fiscalização do uso da água em virtude da situação de "abundância" a qual a região vivencia. Já nos anos em que os volumes dos açudes passam a registrar baixas quantidades de água armazenada adotam-se mecanismos para redução da utilização destas águas como forma de aumentar seu tempo de disponibilidade e atender aos usos prioritários estabelecidos na lei 9.433/97: consumo humano e dessedentação animal.

Em anos marcados pela estiagem as práticas de suspensão de uso da água de açudes e rios perenizados são medidas adotadas pelo Estado com o objetivo de racionalizar a utilização dos recursos hídricos até a ocorrência de um novo período chuvoso (Figura 25).

Figura 25. Ocorrências de suspensão de uso da água para irrigação nos estados da Paraíba (a)[47], em uma bacia hidrográfica que compreende os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (b)[48], Ceará (c)[49] e Pernambuco (d)[50]

Fonte: Notas de rodapé 44, 45, 46 e 47.

A partir deste contexto podemos elaborar o seguinte questionamento: por que o Estado adota práticas de controle e fiscalização mais intensivas apenas nos períodos de seca? A resposta para esta questão pode estar associada à ineficiência no levantamento de informações a respeito do uso dos recursos hídricos nos açudes e rios monitorados pelos respectivos órgãos estatais.

De acordo com os dados disponíveis no SIGAESA-WEB[51] o açude Sumé tem registro de oito solicitações e concessões de outorga para uso da água do reservatório (as informações referentes a estas outorgas estão apresentadas no Apêndice 1), as quais estão compreendidas entre os anos de 2000 e 2010. O volume total de água retirada por estas outorgas neste intervalo de tempo é de 15,5 milhões de m^3, destinados ao abastecimento urbano e à irrigação. Todavia, de acordo com os dados disponibilizados pelo setor do DNOCS responsável pela administração do Perímetro Irrigado Sumé o açude registrou uma saída de água igual a 87,7 milhões de m^3 (ressaltamos que as

[47] Disponível em: http://www.jornaldaparaiba.com.br/vida_urbana/irrigacao-de-41-acudes-e-suspensa-pelo-dnocs.html.
[48] Disponível em: http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2015/06/ana-proibe-uso-de-agua-para-irrigacao-em-trecho-que-vai-da-pb-ao-rn.html.
[49] Disponível em: http://www.ceara.gov.br/2015/09/03/resolucao-do-conerh-suspende-novas-outorgas-de-agua-nos-vales-do-jaguaribe-e-banabuiu/.
[50] Disponível em: http://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2015/02/maior-reservatorio-de-pernambuco-ja-recorre-ao-volume-morto-de-agua.html.
[51] O SIGAESA-WEB é um sistema gerido pela AESA que disponibiliza informações georreferenciadas de diversos temas do estado da Paraíba, entre elas informações sobre recursos hídricos. O SIGAESA-WEB pode ser consultado em: http://geo.aesa.pb.gov.br/.

perdas por evaporação também estão contidas nesse montante) valor quase seis vezes maior do que aquele registrado nas outorgas do reservatório.

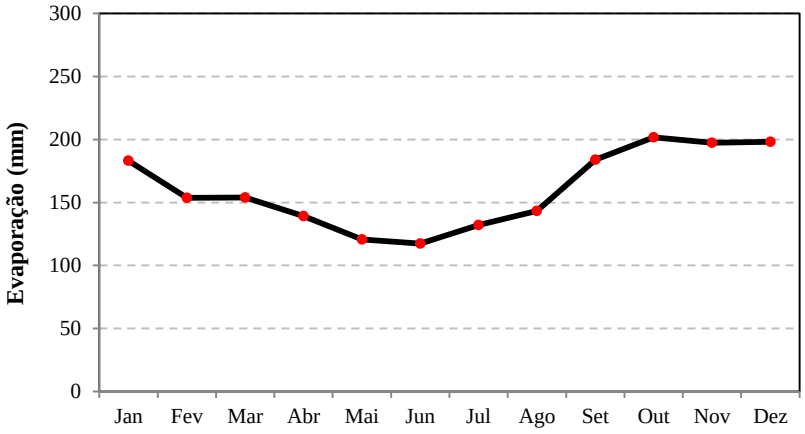
Este panorama indica que as outorgas existentes (ou que existiam) no açude Sumé apresentam valores muito inferiores em relação aos reais montantes de água captada para atender as demandas de uso do reservatório. Isso demonstra uma subnotificação do uso da água do açude por parte do Estado, promovendo incoerências no momento do planejamento e da gestão dos recursos hídricos.

É necessária a realização de um levantamento que seja capaz de obter, com precisão, as reais formas de captações e usos da água existentes no açude como forma de gerenciar, com maior grau de confiança, o volume disponível para atender as demandas existentes levando em conta tanto os anos secos quanto os anos chuvosos e contribuindo para a manutenção da disponibilidade constante de água aos diversos usos.

Porém, além de adotar práticas mais intensas de controle e fiscalização do uso da água nos açudes, é imprescindível o monitoramento dos volumes de água perdidos em virtude da evaporação. A evaporação pode representar uma parcela considerável nos montantes de água que são registrados como saída do reservatório, principalmente nos anos secos, em que o volume armazenado no açude tende a ser baixo.

Diferentemente das saídas de água do açude através de captação para atender aos usos existentes, que, como vimos no caso do açude Sumé, variam de acordo com as características hidrológicas dos anos secos e dos anos chuvosos, as perdas correspondentes à evaporação são constantes, ou seja, não possuem uma variação discrepante ao longo dos anos. A Figura 26 apresenta a evaporação média mensal do açude Sumé tomando por base o período de 1981 a 1999.

Figura 26. Evaporação média mensal do açude Sumé

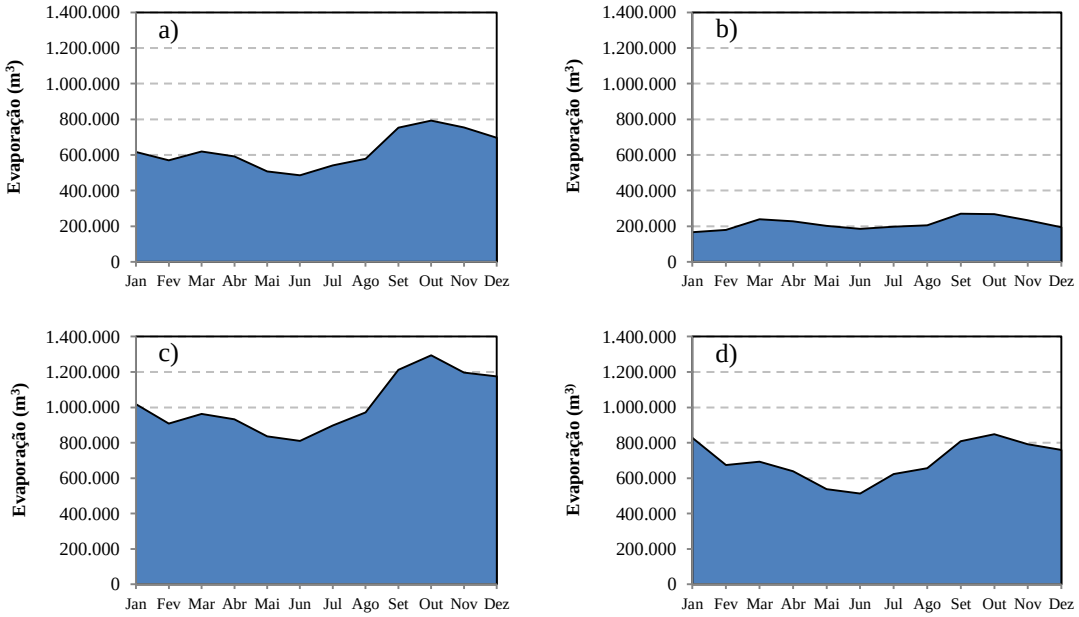


Fonte: Autor (2018).

Notamos, de início, que a evaporação do açude Sumé apresenta valores mais altos nos meses secos em relação aos meses do período chuvoso da região (fevereiro a maio). Este comportamento da evaporação segue a tendência demonstrada por Molle (1989) quando analisou a evaporação em diversas áreas da região semiárida, observando que a segunda metade do ano registra totais evaporimétricos maiores do que a primeira metade do ano.

Estes resultados, tanto os demonstrados na Figura 26 quanto os encontrados por Molle (1989), indicam que os meses mais secos do ano, aqueles que não proporcionam contribuições para o volume dos açudes do semiárido, são justamente os que registram os maiores totais de evaporação. No caso do açude Sumé, a segunda metade do ano (julho a dezembro) apresenta, em média, um total evaporimétrico de 1.066,0 mm, enquanto que a primeira metade do ano (janeiro a junho) registra, em média, 868,0 mm de evaporação, uma discrepância de 200 mm. Esta dinâmica contribui para que o volume de água perdido no açude via evaporação seja maior nos meses secos (Figura 27).

Figura 27. Volume médio mensal evaporado no açude Sumé nos períodos de 1994 a 2016 (a), 1994 a 2003 (b), 2004 a 2011 (c) e 2012 a 2016 (d)



Fonte: Autor (2018).

Com base na Figura 27 vemos que em todas as situações (a, b, c e d) os meses secos do ano apresentam as maiores perdas por evaporação no açude Sumé. As diferenças existentes na Figura 27 correspondem, basicamente, ao volume médio perdido em cada período: enquanto no período de anos secos e normais (1994 a 2003)

as perdas por evaporação não ultrapassam os 300.000 m^3, nos anos chuvosos e normais (2004 a 2011) o volume perdido por evaporação se aproxima de 1.300.000 m^3. Esta discrepância está associada ao fato de que em anos chuvosos o volume e a área de espelho d'água do açude registram valores muito maiores do que em anos secos, ou seja, existe maior quantidade de água disponível para evaporação em anos chuvosos do que em anos secos.

Salientamos que o motivo do período de anos secos (ainda analisando a Figura 27 (d)) apresentar, em média, volume perdido por evaporação maior do que os anos secos e normais deve-se aos volumes e respectivas áreas de espelho d'água registrados durante os anos de 2012 a 2016 em virtude das contribuições para o açude ocorridas no período dos anos chuvosos e normais (2004 a 2011). Assim, os anos de 2012 a 2016 (com maior volume e área de espelho d'água correspondente) apresentavam maior quantidade de água disponível para evaporação do que os anos de 1994 a 2003 (com menor volume e respectiva área de espelho d'água).

Já quando se trata da escala interanual, diferente do que ocorre ao longo dos meses do ano, a dinâmica da evaporação não apresenta grandes variações (MOLLE, 1989). Com base no autor "a evaporação é considerada como um fator climatológico relativamente estável, apresentando variações interanuais fracas, sobretudo com relação a fatores como a pluviometria ou as lâminas escoadas" (MOLLE, 1989, p. 27).

Desta forma, ao longo dos anos a evaporação apresenta certa estabilidade, incidindo sobre os açudes do semiárido com intensidade semelhante seja em anos secos seja em anos chuvosos. As perdas por evaporação podem não promover grandes prejuízos para a disponibilidade hídrica dos reservatórios em anos chuvosos devido aos elevados volumes de água armazenada. Porém, em anos marcados pela estiagem, quando os açudes não possuem altas quantidades de água armazenada, a evaporação pode ocasionar maiores impactos para a disponibilidade hídrica dos reservatórios destinada a atender os diversos usos existentes e causar dificuldades para a gestão dos recursos hídricos na região.

Na busca de manter certo equilíbrio nas saídas de água dos açudes ao longo do tempo, levando em conta tanto períodos secos como períodos chuvosos, voltamos a defender o controle e a fiscalização de maneira intensiva, de acordo com as diretrizes da Lei das Águas, não só nos momentos de estiagem, mas também nos momentos em que os totais pluviométricos registrarem altas quantidades, fazendo com que haja uma gestão das águas no semiárido não apenas na seca, mas também nos anos chuvosos.

Para finalizar este capítulo voltamos a ideia com a qual o iniciamos: o açude ocupa posição central na gestão das águas do semiárido devido suas características de armazenamento e distribuição. Sua capacidade de articulação com outras políticas hídricas o torna um componente fundamental no planejamento e no gerenciamento dos recursos hídricos.

Portanto, coordenar práticas de gerência dos açudes sob uma perspectiva contínua, isto é, permitir que sempre haja água disponível para atender aos usos existentes, pode ser a chave para uma eficiente gestão das águas desenvolvida pelo Estado na região semiárida do Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o que foi apresentado e discutido neste trabalho podemos perceber que o açude se constitui enquanto um componente fundamental para a gestão das águas no semiárido. Ao contrário de uma conclusão acreditamos que as considerações expostas na pesquisa e as ideias defendidas ao longo do texto objetivam a promoção do debate a respeito do gerenciamento dos recursos hídricos no semiárido e suas diversas características.

Observamos que o Estado brasileiro é a entidade responsável pela gestão da água no país e que suas formas de intervenção no semiárido variam de acordo com o momento histórico. As distinções na forma de atuação estatal na região correspondem também aos interesses dos grupos que compõem o Estado, pois as políticas hídricas "estão sujeitas a sofrer desvios provocados por diversos tipos de pressões de natureza política, social, econômica e psicológica (...) e pela influência de interesses estabelecidos por certos grupos econômicos" (CUNHA et al., 1980, p. 60).

Entre as diversas políticas hídricas implementadas pelo Estado identificamos que a açudagem possui destaque por ser executada ao longo dos séculos na história da região semiárida até os dias atuais. Essa implementação, entretanto, promoveu modificações na dinâmica hidrológica nas bacias hidrográficas existentes no semiárido.

Os açudes foram importantes mecanismos de alteração do escoamento superficial nas bacias da região, provocando irregularidades no comportamento natural das enxurradas. Essa interferência pode se manifestar de maneiras diferentes de acordo com as características climáticas e hidrológicas de cada ano.

Notamos que em períodos de seca, quando o volume dos açudes apresenta baixas quantidades de água, o escoamento superficial é drasticamente alterado ao longo da rede de drenagem pela interceptação dos açudes. Quando se trata de um período chuvoso, em que elevados volumes são registrados nos reservatórios da região, essa interceptação ocorre de maneira menos intensa.

A alternância de períodos mais secos e períodos mais chuvosos resulta, também, na variação do volume de água armazenada no açude, o que pode proporcionar dificuldades para a gestão das águas, já que o açude exerce papel central no gerenciamento dos recursos hídricos do semiárido devido sua capacidade de armazenamento e distribuição de água articulada a outras políticas hídricas da região.

Verificamos que em períodos mais chuvosos o controle e a fiscalização do uso da água são negligenciados por parte do Estado, passando a serem intensificados em períodos marcados pela estiagem, quando ocorre o rebaixamento contínuo do volume do açude. A falta de informações a respeito das captações reais de água realizadas no reservatório é um grave problema para a gestão dos recursos hídricos e propicia dificuldades para o gerenciamento da água, sobretudo nos períodos secos.

Defendemos que a gestão da água seja efetivada da mesma forma que a gestão da seca. Isso quer dizer que defendemos que o Estado adote medidas para o controle do uso da água nos açudes do semiárido nos períodos chuvosos da mesma maneira que adota medidas enfáticas para promover este controle nos períodos secos.

Tornar o volume do açude em condição contínua de disponibilidade para o uso da água seja em anos chuvosos seja em anos secos pode ser a chave para uma eficiente gestão dos recursos hídricos na região, já que estes reservatórios estão articulados à outras políticas hídricas.

E para chegar a este cenário ideal, no qual os açudes apresentam constante estado de disponibilidade de água para atender aos diversos usos existentes, é necessário o levantamento preciso de informações acerca dos reais usos ao qual está submetida a água do açude. Para isso é preciso que se desenvolva um contínuo processo de fortalecimento institucional dos órgãos estatais responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos, como também apontam Cunha et al. (1980).

Portanto, a gestão das águas no semiárido deve ser efetuada de maneira enfática pelo Estado, com o objetivo de promover o controle e a disponibilidade das águas para atender aos diversos usos, o qual perpassa por etapas de levantamento de informações sobre a infraestrutura hídrica e as demandas de uso da água até a autorização da utilização da água por meio da concessão de outorgas de direito de uso.

REFERÊNCIAS

AESA. Agência Executiva e de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **SIGAESA-WEB**. 2017. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br/>. Acesso em: 05 de abr. 2017.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil – abastecimento urbano de água:** resultados por estado. Brasília: ANA, 2010.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. 2017. Disponível em: < http://www.snirh.gov.br/>. Acesso em: 20 de mar. 2017.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **RevistaBrasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 63-74, 2007.

ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J. R.; HANEY, E. B.; NEITSCH, S. L. **Soil and Water Assessment Tool: Input/Output File Documentation – Version 2009**. Temple: Texas A&M University, 643p., 2011.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. Large area hydrologic modeling and assessment: Part I - model development. **Journal of American Water Resources Association**, Middleburg, v. 34, n. 1, p. 73-90,1998.

ASA – Articulação Semiárido Brasileiro. **Ações - P1MC**. Acesso em: 06/07/2017. Disponível em: http://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc#categoria_img.

BRASIL. **Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil**. Rio de Janeiro, 1934.

BRASIL. **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro.**Brasília, 2005.

BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. On the Relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agriculturaland Forest Meteorology,** v. 31, p. 159-166, 1984.

BRITO, F. B. **Conflito pelo uso da água do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) – PB**. 2008. 211 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB.

CAMPOS, V. N. O.; FRACALANZA, A. P. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n. 2, p. 365-382, 2010.

CANTALICE, L. R. **Gestão hídrica do reservatório Sumé-PB: potencialidades e fragilidades**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB.

CARVALHO NETO, J. G. **Simulação Hidrossedimentológica da Bacia do Riacho dos Namorados Com o Modelo SWAT.** 2011. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB.

CASTRO, K. B. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada**. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília – DF.

CORREIA, I. A. Populações e Recursos Hídricos no Semiárido Setentrional: distribuição espacial, déficit e consumo sustentável. In: **Anais do XX Encontro Nacional de Estudos Populacionais.** Foz do Iguaçu, p. 1-19, 2016.

CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B.; CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A.; ARAÚJO, J. L. P. **A região semiárida brasileira**. Disponível em: www.alice.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54762/1/01-A-regiao-semiarida-brasileira.pdf-18-12-2011.pdf. 2011. Acesso em: 22 de nov. de 2016.

CUNHA, L. V.; GONÇALVES, A. S.; FIGUEIREDO, V. A.; CORREIA, M. L. **A gestão da água:** princípios fundamentais e sua aplicação em Portugal. Porto: Fundação CalousteGulbenkian, 1980.

DANTAS, J. C. **Processos hidrossedimentológicos na bacia do rio Taperoá.** 2016. 83 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da X reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Miscelânea 1, Rio de Janeiro: 83 p., 1979.

FERNANDES, A. M. S. **O PRONAF na agricultura familiar:** sua criação, distribuição e principais resultados. 2013. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S. **Índices para a quantificação da seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009, 48p.

FERNANDES, J. G. **Estimativa de vazão e produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, utilizando o modelo SWAT.** 2015. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, L. F. G. **Raízes da indústria da seca:** o caso da Paraíba. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1993, 139p.

FURTADO, C. **Seca e Poder:** entrevista com Celso Furtado. São Paulo: Editora Fundação Perseu Abramo, 1998, 96p.

GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GREEN, C. H.; ARNOLD, J. G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. **Transactions of the American Society of Agricultural & Biological Engineers**, St. Joseph, v. 50, n. 4, 2007, p. 1211-1250.

GLUSZEVICZ, A. C.; MARTINS, S. F. Conceito de centralidade urbana: estudo no município de Pelotas, RS. In: II Simpósio Nacional de Estudos Urbanos, 2013, Campo Mourão. **Anais eletrônicos...** Campo Mourão: 2013. Disponível em: http://www.fecilcam.br/anais/ii_seurb/trabalhos.html. Acesso em: 25 de jan. de 2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 22 de mar. 2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens da Divisão de Geração de Imagens**. 2017. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 03 de mar. 2017.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 213-233.

LUCENA, D. B.; SERVAIN, J.; GOMES FILHO, M. F. Evolução do impacto de eventos climáticos extremos nos oceanos Pacífico e Atlântico sobre a estação chuvosa no Nordeste do Brasil. In: CAMPOS, J. N. B.; SERVAIN, J. (Coords.). **Clima do Atlântico Tropical e Impactos sobre o Nordeste (CATIN)**. Fortaleza: CNPp/IRD, 2010, p. 176-197.

MEDEIROS, I. C. **Modelagem espacial e temporal do balanço hídrico da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa.** 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB.

MELO, Geórgia Karênia Rodrigues Martins Marsicano de; MARACAJA, Kettrin Farias Bem; DANTAS NETO, José. Histórico evolutivo legal dos recursos hídricos no Brasil: uma análise da legislação sobre a gestão dos recursos hídricos a partir da história ambiental. **Âmbito Jurídico**. Rio Grande, XV, nº 100, maio 2012. Disponível em: http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=11606&revista_caderno=5. Acesso em: 17 de jan. de 2018.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia:** noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 206p.

MOLINAS, P. A. A gestão dos recursos hídricos no semi-árido nordestino: a experiência cearense. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 1, n. 1, 1996, p. 67-88.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento.**Recife: SUDENE, 1994, 193p.

MOLLE, F. **Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes**. Recife: SUDENE, 1989, 175p.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise Rítmica em Climatologia:** problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. São Paulo: IGEOG/USP, 1971.

MOREIRA, E. R. F. Notas sobre o processo de modernização recente da agricultura brasileira. **Boletim de Geografia do Departamento de Geociências da UFPB**, v. 1, n.7, p. 45-55, 1988.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the American Society of Agricultural & Biological Engineers**, St. Joseph, v. 50, n. 3, 2007, p. 885-900.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, p. 2653-2675, 1981.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and Water Assessment Tool: Theoretical documentation - version 2009**. Temple: Texas A&M University, 618 p., 2011.

NIMER, E. Climatologia da região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, p. 3-51, 1972.

PAI, N.; SARASWAT, D.; SRINIVASAN, R. Field_SWAT: A tool for mapping SWAT output to field boundaries. **Computers&Geosciences**, v. 40, p. 175-184, 2012.

PINTO, D. B. F. **Aplicação do modelo SWAT (SoilandWaterAssessment Tool) na simulação hidrossedimentológica em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira, MG**. 2011. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

PRUSKI, F. F.; PRUSKI, P. L. Tecnologia e inovação frente a gestão de recursos hídricos. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (Orgs.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na Zona Costeira Paulista.** 1990. 168 f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo – SP.

SANTOS, J. Y. G. **Análise espaço-temporal de processos hidrossedimentológicos na bacia do Rio Tapacurá (Pernambuco, Brasil).** 2015. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE.

SERVAN, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic ocean and some applications. **JournalofGeophysicalResearch**, v. 26, n. C8, p. 15137-15146, 1991.

SILVA, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido:** transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento.2006. 298 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília – DF.

SILVA, F. D. M. **Aplicabilidade do modelo SWAT na simulação de vazão em bacia hidrográfica do cerrado utilizando valores de parâmetros regionalizados**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília – DF.

SILVA, R. M.; DANTAS, J. C.; BELTRÃO, J. A.; SANTOS, C. A. G. Hydrological simulation in a tropical humid basin in the Cerrado biome using the SWAT model. **HydrologyResearch**, v. 49, p. nh2018222, 2018.

SILVESTRE, M. E. D. Código de 1934: água para o Brasil industrial. **Revista geo-paisagem**, v. 7, n. 13, 2008.

SIQUEIRA, L. Aspectos hidrogeológicos do Cariri Paraibano. **Boletim de Recursos Naturais da SUDENE**, v. 2, n. 1, p. 11-44, 1964.

SOUSA JÚNIOR, W. C. **A gestão das águas no Brasil:** reflexões, diagnósticos e desafios. São Paulo: Peirópolis, 2004.

SOUZA FILHO, F. A. A política nacional de recursos hídricos: desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. In: In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (Orgs.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011.

SOUZA, B. I. **Cariri Paraibano: do silêncio do lugar à desertificação**. 2008. 198 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

SOUZA, B. I.; MARTINS, V. L. Infiltração da água em solos de zona semiárida e sua relação os processos de desertificação. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 39, p. 25-40, 2012.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. **Mercator**, Fortaleza, v. 8, n. 16, p. 217-232, 2009.

SOUZA, M. C. S.; ARAÚJO SEGUNDO NET, F. V.; RUFFO, C. L. M.; LIMA, R. C.; VIANNA, P. C. G. Análise espacial das tecnologias sociais hídricas no semiárido da Paraíba. In: II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 2015, Campina Grande. **Anais eletrônicos...** Campina Grande, 2015. Disponível em: https://editorarealize.com.br/revistas/aguanosemiarido/trabalhos/TRABALHO_EV044_MD4_SA6_ID360_29102015173325.pdf. Acessoem: 26 de jan.de 2018.

SRINIVASAN, V. S.; PAIVA, F. M. L. Regional validity of the parameters of a distributed runoff-erosion model in the semi-arid region of Brazil. **Science in China Series E: Technological Sciences**, v. 52, n. 11, p. 3348-3356, 2009.

TARGINO, I.; MOREIRA, E. Secas e Estado no Nordeste brasileiro. In: MOREIRA, E. (Org.). **Agricultura Familiar e Desertificação.** João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2006.

TERACINES, E.B. Impactos Econômicos do El Niño 97/98 na Produção Agrícola Brasileira. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000, p. 1362-1372.

XAVIER, T. M. B. S. Influências dos Oceanos sobre a chuva. In: XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva**: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e o Nordeste Setentrional. Fortaleza: ABC Editora, 2001, p. 293-318.

APÊNDICES

Apêndice 1. Outorgas utilizadas para simular a retirada de água dos açudes durante a modelagem

Nº	Requerente	Latitude	Longitude	Tipo de uso	Volume anual (m³)	Nº processo	Data Expedição	Data expiração	Vazão diária (m³/s)	Fonte de Captação
1	CAGEPA	-7,749	-36,311	Abastecimento Urbano	349261,2	0511/00-031	05/26/2000	5/26/2010	0,01108	Açude Bichinho
2	CAGEPA	-7,896	-36,843	Abastecimento Urbano	484866,0	0511/00-013	05/26/2000	5/26/2010	0,01538	Açude Camalaú
3	Colônia de Pescadores Paulino Pereira de Araújo	-7,886	-36,856	Aquicultura	2520,0	621/06	11/8/2006	11/8/2007	0,00008	Açude Camalaú
4	Prefeitura Municipal de Camalaú	-7,886	-36,856	Lazer	720,0	179/11	04/26/2012	4/26/2015	0,00002	Açude Camalaú
5	ESSE - Engenharia Sinalização e Serviços Especiais Ltda	-7,886	-36,834	Industrial	31700,0	088/13	01/17/2014	1/17/2015	0,00101	Açude Camalaú
6	José Nildo Simões da Silva	-7,882	-36,860	Aquicultura	11727,1	744/15	11/16/2015	12/31/2015	0,00037	Açude Camalaú
7	Ivanilde Avelino Alves	-7,885	-36,852	Aquicultura	11779,5	748/15	11/16/2015	12/31/2015	0,00037	Açude Camalaú
8	José Paulo Barbosa	-7,892	-36,846	Aquicultura	15706,0	746/15	11/16/2015	12/31/2015	0,00050	Açude Camalaú
9	Paulo Ferreira Freire	-7,898	-36,838	Aquicultura	14035,4	745/15	11/16/2015	12/31/2015	0,00045	Açude Camalaú
10	José Eduardo da Costa Silva	-7,899	-36,840	Aquicultura	18526,7	747/15	11/16/2015	12/31/2015	0,00059	Açude Camalaú
11	CAGEPA	-7,763	-36,551	Abastecimento Urbano	112872,5	0511/00-042	05/26/2000	5/26/2010	0,00358	Açude Campos
12	Antonio Mineiro de Alcantara	-7,859	-36,697	Irrigação	7008,0	424/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00022	Açude Cordeiro
13	Antonio de Oliveira Pereira	-7,856	-36,699	Irrigação	13980,0	517/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00044	Açude Cordeiro
14	Reginaldo Feitosa de Souza	-7,848	-36,713	Irrigação	15000,0	518/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00048	Açude Cordeiro
15	Francisco de Assis Lima	-7,850	-36,709	Irrigação	6588,0	425/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00021	Açude Cordeiro
16	Lúcia Rosa de Queiroz	-7,852	-36,704	Irrigação	15000,0	427/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00048	Açude Cordeiro
17	Iris de Oliveira Alcantara	-7,851	-36,703	Abastecimento Rural	8760,0	419/12	02/5/2013	2/5/2014	0,00028	Açude Cordeiro
18	Antonio Carlos de Queiroz	-7,850	-36,701	Irrigação	15000,0	429/12	07/30/2012	7/30/2013	0,00048	Açude

Nº	Requerente	Latitude	Longitude	Tipo de uso	Volume anual (m³)	Nº processo	Data Expedição	Data expiração	Vazão diária (m³/s)	Fonte de Captação
										Cordeiro
19	Gilvan Pereira de Oliveira	-7,850	-36,701	Irrigação	13920,0	418/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00044	Açude Cordeiro
20	José Antonio de Oliveira	-7,847	-36,693	Irrigação	18528,0	363/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00059	Açude Cordeiro
21	Jorge Humberto Quirino Henrique	-7,847	-36,692	Irrigação	123140,0	378/12	11/6/2012	11/6/2013	0,00390	Açude Cordeiro
22	Jivago Hiure Quirino Henrique	-7,847	-36,692	Irrigação	135000,0	376/12	10/16/2012	10/16/2013	0,00428	Açude Cordeiro
23	Faustino Pequeno Sales	-7,837	-36,689	Irrigação	97230,0	435/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00308	Açude Cordeiro
24	Sebastião Bezerra Benicio	-7,825	-36,685	Irrigação	10957,4	637/07	12/4/2007	12/4/2008	0,00035	Açude Cordeiro
25	Ana Bezerra Rodrigues	-7,825	-36,688	Abastecimento Comunitário	292,0	377/12	07/18/2012	7/18/2013	0,00001	Açude Cordeiro
26	Manoel Aleixo da Silva	-7,822	-36,688	Irrigação	76958,0	368/12	10/4/2012	10/4/2013	0,00244	Açude Cordeiro
27	Leonardo da Silva Nunes	-7,821	-36,686	Irrigação	13476,8	365/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00043	Açude Cordeiro
28	Sebastião Bezerra Benicio	-7,821	-36,686	Irrigação	30000,0	374/12	07/13/2012	7/13/2013	0,00095	Açude Cordeiro
29	João Bezerra Neto	-7,821	-36,682	Irrigação	10957,4	643/07	12/4/2007	12/4/2008	0,00035	Açude Cordeiro
30	Raimundo Rodrigues de Oliveira	-7,821	-36,682	Irrigação	10957,4	636/07	12/4/2007	12/4/2008	0,00035	Açude Cordeiro
31	Josefa Beserra de Oliveira	-7,821	-36,682	Irrigação	26988,0	367/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00086	Açude Cordeiro
32	João Bezerra Neto	-7,821	-36,682	Irrigação	15000,0	371/12	10/4/2012	10/4/2013	0,00048	Açude Cordeiro
33	Sebastião da Silva	-7,821	-36,682	Irrigação	15000,0	375/12	10/4/2012	10/4/2013	0,00048	Açude Cordeiro
34	Lenilson Bezerra da Silva	-7,819	-36,679	Irrigação	10957,1	642/07	12/4/2007	12/4/2008	0,00035	Açude Cordeiro
35	Valdemar Bezerra da Silva	-7,819	-36,680	Irrigação	27018,0	366/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00086	Açude Cordeiro
36	ValdenitoIsidório de Freitas	-7,819	-36,679	Irrigação	5478,7	641/07	12/4/2007	12/4/2008	0,00017	Açude Cordeiro

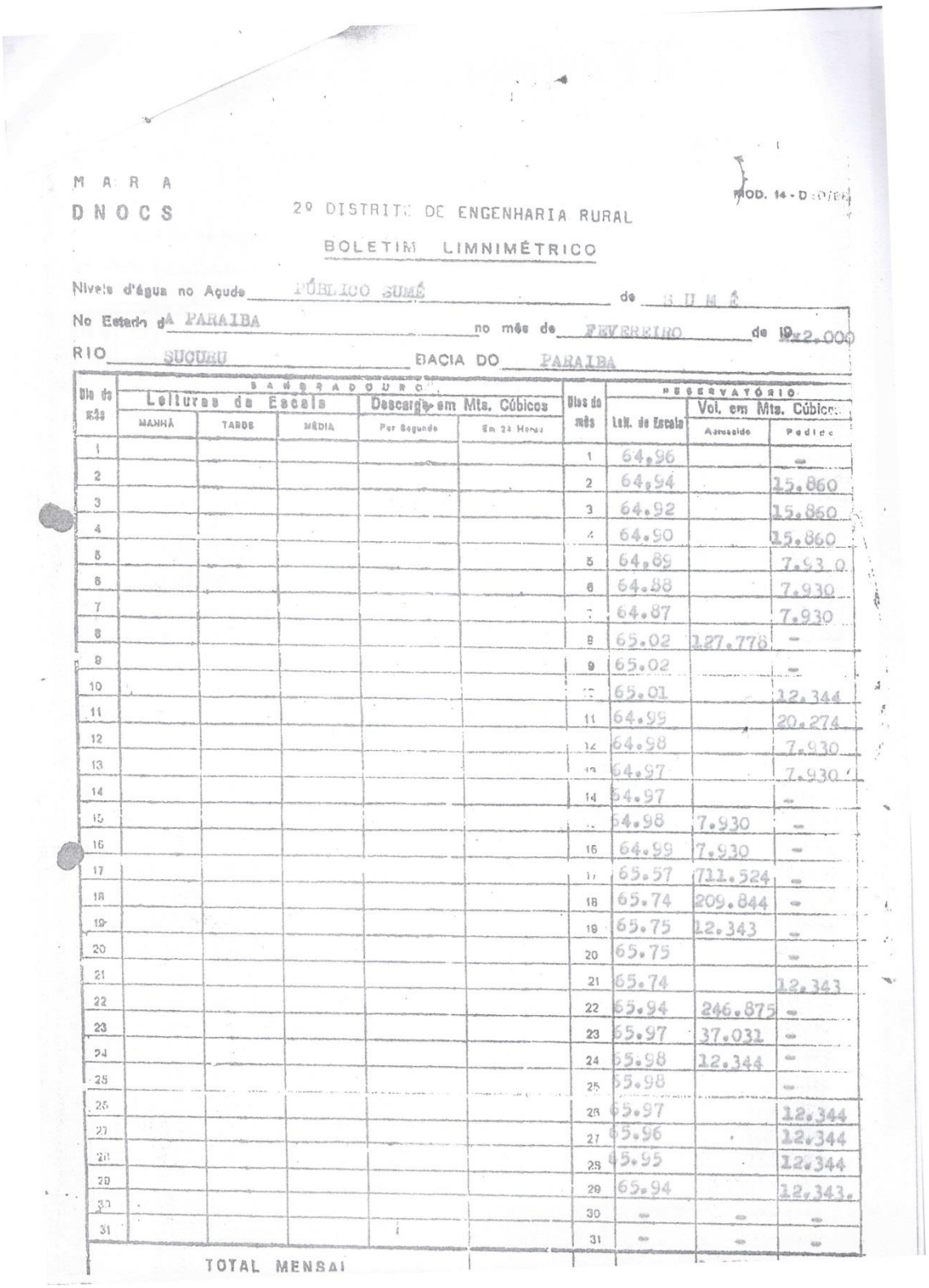
Nº	Requerente	Latitude	Longitude	Tipo de uso	Volume anual (m^3)	Nº processo	Data Expedição	Data expiração	Vazão diária (m^3/s)	Fonte de Captação
37	ValdenitoIsidório de Freitas	-7,818	-36,679	Irrigação	30000,0	364/12	07/12/2012	7/12/2013	0,00095	Açude Cordeiro
38	Antonio Tomaz de Aquino	-7,816	-36,676	Irrigação	30000,0	373/12	10/4/2012	10/4/2013	0,00095	Açude Cordeiro
39	Magno Rogerio de Oliveira	-7,816	-36,676	Irrigação	23120,0	372/12	10/4/2012	10/4/2013	0,00073	Açude Cordeiro
40	CAGEPA	-7,814	-36,680	Abastecimento Urbano	4140852,0	0820/00-0227	07/27/2000	7/27/2010	0,13131	Açude Cordeiro
41	CAGEPA	-7,814	-36,678	Abastecimento Urbano	4351337,0	613/06	08/9/2006	8/9/2016	0,13798	Açude Cordeiro
42	CAGEPA	-7,814	-36,678	Abastecimento Urbano	4351337,0	00	08/9/2006	8/9/2016	0,13798	Açude Cordeiro
43	Colonia de Pescadores. eAquicultores Francisco Evangelista	-7,813	-36,678	Aquicultura	2520,0	622/06	11/8/2006	11/8/2007	0,00008	Açude Cordeiro
44	Izael Alves de Souza	-7,812	-36,677	Irrigação	111150,0	428/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00352	Açude Cordeiro
45	CAGEPA	-7,896	-36,843	Abastecimento Urbano	147496,5	0511/00-113	05/26/2000	5/26/2010	0,00468	Açude Cordeiro
46	José Caetano Filho	-7,815	-36,689	Irrigação	13980,0	519/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00044	Açude Cordeiro
47	Cláudio Bonfim	-7,816	-36,692	Irrigação	9232,0	513/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00029	Açude Cordeiro
48	Ronaldo Adriano Silva Santos	-7,819	-36,695	Irrigação	22500,0	420/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00071	Açude Cordeiro
49	Carlinda Sales de Melo	-7,820	-36,699	Irrigação	7008,0	515/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00022	Açude Cordeiro
50	Lindalva Sales da Silva	-7,818	-36,699	Irrigação	15000,0	516/12	08/22/2012	8/22/2013	0,00048	Açude Cordeiro
51	Silmar Pereira Rodrigues	-7,815	-36,698	Irrigação	15000,0	426/12	08/22/2012	8/22/2013	0,00048	Açude Cordeiro
52	José Cosme de Lima	-7,815	-36,698	Irrigação	13980,0	421/12	08/22/2012	8/22/2013	0,00044	Açude Cordeiro
53	José Laudemy Alves Lucas	-7,815	-36,698	Irrigação	73884,0	436/12	08/22/2012	8/22/2013	0,00234	Açude Cordeiro
54	Diego Wanderson Soares	-7,818	-36,707	Irrigação	15000,0	781/12	11/19/2012	11/19/2013	0,00048	Açude Cordeiro
55	Diego Wanderson Soares	-7,818	-36,707	Irrigação	60000,0	782/12	11/19/2012	11/19/2013	0,00190	Açude Cordeiro

Nº	Requerente	Latitude	Longitude	Tipo de uso	Volume anual (m^3)	Nº processo	Data Expedição	Data expiração	Vazão diária (m^3/s)	Fonte de Captação
56	João Batista dos Santos	-7,819	-36,708	Irrigação	30000,0	514/12	08/21/2012	8/21/2013	0,00095	Açude Cordeiro
57	Maria de Lourdes Barbosa da Silva	-7,820	-36,707	Irrigação	7500,0	369/12	07/12/2012	7/12/2013	0,00024	Açude Cordeiro
58	Maria da Salete Lima	-7,813	-36,708	Irrigação	18496,0	423/12	09/20/2012	9/20/2013	0,00059	Açude Cordeiro
59	José Barbosa da Silva	-7,829	-36,706	Irrigação	7500,0	783/12	11/19/2013	11/19/2013	0,00024	Açude Cordeiro
60	CAGEPA	-7,606	-37,154	Abastecimento Urbano	155709,0	0511/00-047	05/26/2000	5/26/2010	0,00494	Açude Ouro Velho
61	CAGEPA	-7,938	-37,221	Abastecimento Urbano	1461168,0	0511/00-048	05/26/2000	5/26/2010	0,04633	Açude Pocinhos
62	CAGEPA	-7,892	-37,000	Abastecimento Urbano	161359,0	0744/00-0201	07/17/2000	7/17/2010	0,00512	Açude Poções
63	CAGEPA	-7,892	-37,000	Abastecimento Urbano	150847,0	0744/00-0203	07/17/2000	7/17/2010	0,00478	Açude Poções
64	CAGEPA	-7,892	-37,000	Abastecimento Urbano	161359,0	0744/00-0202	07/17/2000	7/17/2010	0,00512	Açude Poções
65	CAGEPA	-7,889	-36,999	Abastecimento Urbano	1461168,0	0511/00-114	05/26/2000	5/26/2010	0,04633	Açude Poções
66	CAGEPA	-7,694	-37,087	Abastecimento Urbano	169506,0	0511/00-034	05/26/2000	5/26/2010	0,00538	Açude Prata II
67	CAGEPA	-7,694	-37,088	Abastecimento Urbano	91279,0	0744/00-0208	07/17/2000	7/17/2010	0,00289	Açude Prata II
68	ESSE - Engenharia Sinalização e Serviço Especiais Ltda	-8,114	-36,988	Industrial	12400,0	089/13	01/17/2014	1/17/2015	0,00039	Açude Santo Antônio
69	Associação dos Aquic. e Prod. de Peixes de São Sebastião do Umbuzeiro	-8,103	-36,988	Aquicultura	71315,0	678/07	10/11/2007	11/11/2008	0,00226	Açude Santo Antônio
70	CAGEPA	-7,627	-36,446	Abastecimento Urbano	80811,0	0511/00-006	05/26/2000	5/26/2010	0,00256	Açude São Domingos
71	Genival Cícero da Silva	-7,888	-37,077	Irrigação	1080,0	406/15	05/18/2015	8/18/2015	0,00003	Açude São José II
72	Dimas Pereira da Silva	-7,883	-37,075	Irrigação	720,0	405/15	05/18/2015	9/18/2015	0,00002	Açude São José II
73	Consórcio Bacia do São Francisco	-7,886	-37,070	Industrial	98550,0	232/14	07/16/2014	7/16/2015	0,00313	Açude São José II

Nº	Requerente	Latitude	Longitude	Tipo de uso	Volume anual (m^3)	Nº processo	Data Expedição	Data expiração	Vazão diária (m^3/s)	Fonte de Captação
74	CAGEPA	-7,882	-37,070	Abastecimento Urbano	656124,0	0511/00-040	05/26/2000	5/26/2010	0,02081	Açude São José II
75	Antonio Marcos dos Santos	-7,889	-37,065	Irrigação	3000,0	439/15	07/28/2015	9/28/2015	0,00010	Açude São José II
76	José Nilson Batista	-7,886	-37,067	Irrigação	720,0	408/15	05/18/2015	8/18/2015	0,00002	Açude São José II
77	José Faustino Lourenço	-7,878	-37,071	Irrigação	8640,0	428/15	05/18/2015	9/18/2015	0,00027	Açude São José II
78	Júnior Cesar Serafim da Silva	-7,882	-37,061	Irrigação	5760,0	429/15	05/17/2015	9/17/2015	0,00018	Açude São José II
79	CAGEPA	-7,683	-37,083	Abastecimento Urbano	245350,1	0511/00	01/10/2005	12/22/2007	0,00778	Açude São Paulo
80	CAGEPA	-7,922	-37,103	Abastecimento Urbano	438000,0	0511/00-063	05/26/2010	5/26/2010	0,01389	Açude Serrote
81	José Fernando Lima Diniz	-7,658	-36,932	Irrigação	10957,4	627/07	11/26/2007	11/26/2008	0,00035	Açude Sumé
82	CAGEPA	-7,672	-36,901	Abastecimento Urbano	1025314,2	0511/00-037	05/26/2000	5/26/2010	0,03251	Açude Sumé
83	CAGEPA	-7,683	-36,900	Abastecimento Urbano	131400,0	0744/00-0176	07/17/2000	7/17/2010	0,00417	Açude Sumé
84	CAGEPA	-7,683	-36,900	Abastecimento Urbano	131400,0	0744/00-0177	07/17/2000	7/17/2010	0,00417	Açude Sumé
85	CAGEPA	-7,683	-36,900	Abastecimento Urbano	131400,0	0744/00-176	07/17/2000	7/17/2010	0,00417	Açude Sumé
86	CAGEPA	-7,683	-36,900	Abastecimento Urbano	131400,0	0744/00-0175	07/17/2000	7/17/2010	0,00417	Açude Sumé
87	Sebastiana Morais de Souza	-7,648	-36,927	Irrigação	21914,7	634/07	11/26/2007	11/26/2008	0,00069	Açude Sumé
88	João Batista Ribeiro	-7,643	-36,939	Irrigação	43829,5	628/07	11/27/2007	11/27/2008	0,00139	Açude Sumé

ANEXOS

Anexo 1. Planilha utilizada para o registro das entradas e saídas de água no açude Sumé. A coluna intitulada "Acrescido" representa o volume de água que entrou no reservatório e a coluna "Perdido" representa o volume de água que saiu



M A R A

D N O C S

2º DISTRITO DE ENGENHARIA RURAL

MOD. 14 - D.N.O.C.S.

BOLETIM LIMNIMÉTRICO

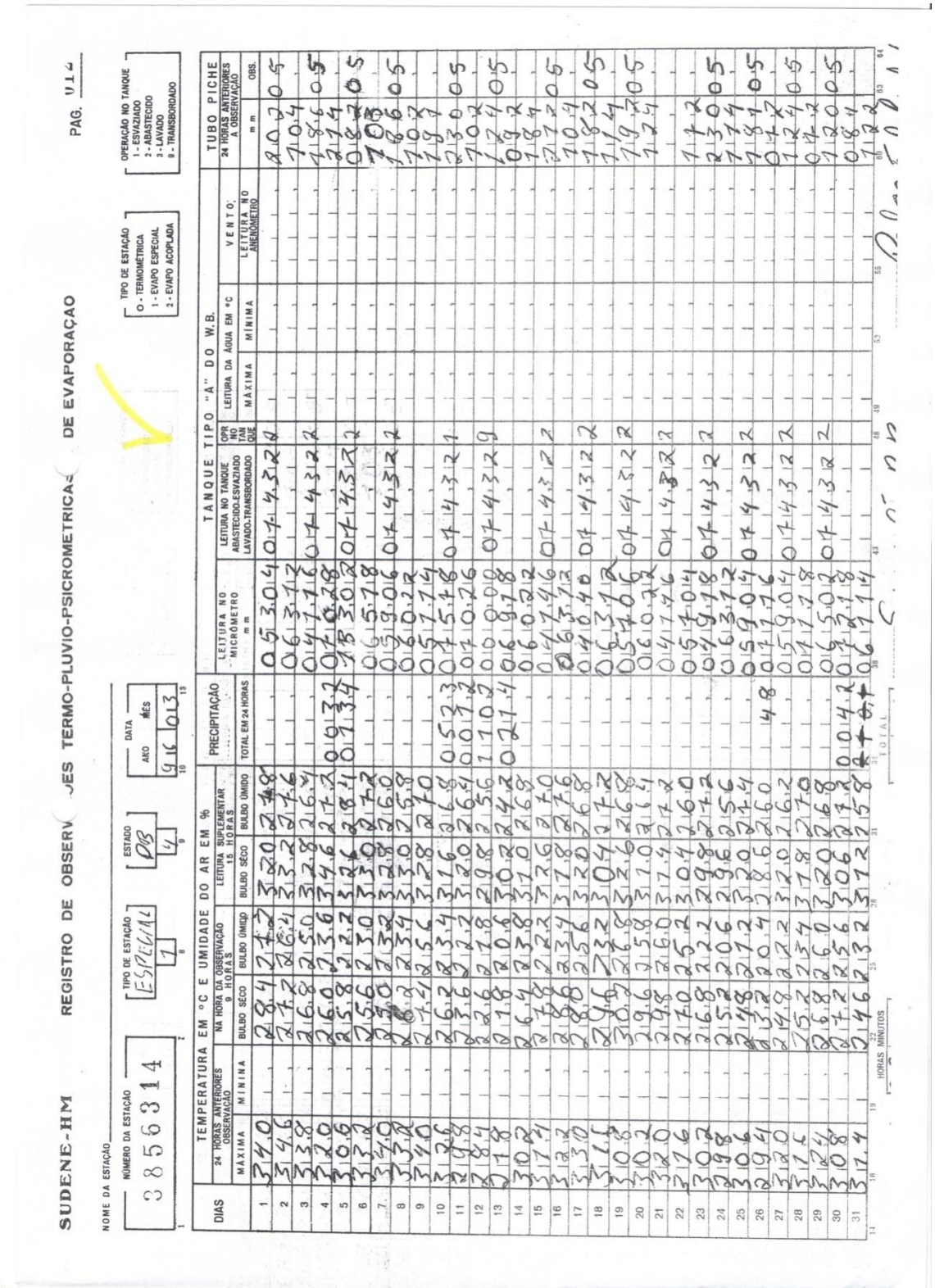
Nivels d'água no Açude PÚBLICO SUMÉ de S U M É

No Estado da PARAIBA no mês de FEVEREIRO de 19x2.000

RIO SUCURU BACIA DO PARAIBA

Dia do mês	BARRAGADOURO Leituras da Escala MANHÃ	TARDE	MÉDIA	Descarga em Mts. Cúbicos Por Segundo	Em 24 Horas	Dias do mês	RESERVATÓRIO Leit. da Escala	Vol. em Mts. Cúbicos Acrescido	Perdido
1						1	64.96		-
2						2	64.94		15.860
3						3	64.92		15.860
4						4	64.90		15.860
5						5	64.89		7.930
6						6	64.88		7.930
7						7	64.87		7.930
8						8	65.02	127.776	-
9						9	65.02		-
10						10	65.01		12.344
11						11	64.99		20.274
12						12	64.98		7.930
13						13	64.97		7.930
14						14	64.97		-
15						15	64.98	7.930	-
16						16	64.99	7.930	-
17						17	65.57	711.524	-
18						18	65.74	209.844	-
19						19	65.75	12.343	-
20						20	65.75		-
21						21	65.74		12.343
22						22	65.94	246.875	-
23						23	65.97	37.031	-
24						24	65.98	12.344	-
25						25	65.98		-
26						26	65.97		12.344
27						27	65.96		12.344
28						28	65.95		12.344
29						29	65.94		12.343.
30						30	-	-	-
31						31	-	-	-
TOTAL MENSAL									

Anexo 2. Planilha utilizada para o registro da evaporação no Tanque Classe A



SUDENE-HM REGISTRO DE OBSERVAÇÕES TERMO-PLUVIO-PSICROMETRICAS DE EVAPORAÇÃO PAG. 014

NOME DA ESTAÇÃO

NÚMERO DA ESTAÇÃO 3856314 — TIPO DE ESTAÇÃO ESPECIAL — ESTADO DB — DATA ANO 16 MÊS 03

TIPO DE ESTAÇÃO: 0 - TERMOMETRICA; 1 - EVAPO ESPECIAL; 2 - EVAPO ACOPLADA

OPERAÇÃO NO TANQUE: 1 - ESVAZIADO; 2 - ABASTECIDO; 3 - LAVADO; 0 - TRANSBORDADO

DIAS	TEMPERATURA EM °C E UMIDADE DO AR EM %								PRECIPITAÇÃO	TANQUE TIPO "A" DO W.B.							TUBO PICHE	
	24 HORAS ANTERIORES À OBSERVAÇÃO		NA HORA DA OBSERVAÇÃO 9 HORAS		LEITURA SUPLEMENTAR 15 HORAS					LEITURA NO MICRÔMETRO mm	LEITURA NO TANQUE ABASTECIDO-ESVAZIADO LAVADO-TRANSBORDADO	OPR NO DIA DAS 08H	LEITURA DA ÁGUA EM °C		VENTO: LEITURA NO ANEMÔMETRO	24 HORAS ANTERIORES À OBSERVAÇÃO	
	MÁXIMA	MÍNIMA	BULBO SÊCO	BULBO ÚMIDO	BULBO SÊCO	BULBO ÚMIDO	TOTAL EM 24 HORAS						MÁXIMA	MÍNIMA		mm	OBS.
1	31.0		28.4	27.2	32.0	27.8				05 3.04	07 4.32	4				20.2	05
2	31.6		27.2	26.4	33.2	27.6				06 3.12							
3	31.8		26.8	25.0	32.8	26.4				04 1.16	07 4.32	2				18.6	05
4	32.0		23.6	24.6	27.2	24.4	01.32			07 0.28						21.4	
5	30.6		25.8	23.2	32.4	24.4	01.34			18 3.02	07 4.32	2				08.2	05
6	31.2		25.6	23.0	33.0	24.2				06 5.18						10.8	
7	32.0		27.2	23.2	33.8	26.0				05 3.06	07 4.32	2				16.6	05
8	33.2		28.2	23.4	33.0	25.8				06 0.22						10.2	
9	31.0		27.4	25.6	32.8	27.0				05 1.14						18.4	
10	31.6		26.2	23.4	31.6	26.8	05 2.3			07 5.18	07 4.32	1				23.0	05
11	29.8		23.6	22.2	31.2	26.0	01 0.2			07 0.26						10.2	
12	28.4		24.6	22.2	29.8	25.6	1 1.0	8									
13	29.8		21.8	20.8	30.2	24.2	02 1.4			06 0.18	07 4.32	9				17.4	05
14	30.2		26.4	23.8	31.0	26.8				06 0.22						09.2	
15	31.4		27.8	24.2	32.6	27.0				06 1.26	07 4.32	2				18.4	
16	31.2		28.8	23.4	33.4	27.8				06 3.12						27.2	05
17	31.0		28.8	25.6	31.2	27.6				04 0.40	04 4.32	2				10.4	
18	31.6		29.6	23.2	33.2	27.2				06 3.18						18.2	05
19	30.8		30.0	26.8	33.4	26.8				05 4.06	07 4.32	2				11.4	
20	30.2		29.6	25.8	31.6	26.8				06 0.24						19.2	05
21	32.0		29.8	26.0	31.4	27.2				04 1.26	04 4.32	2				12.4	
22	31.6		27.0	25.2	31.0	26.0				05 1.04							
23	30.2		26.8	24.2	29.8	27.2				04 9.18	07 4.32	2				1 1.2	
24	29.8		25.2	24.6	29.6	25.6				06 3.12						23.0	05
25	30.6		27.8	24.2	31.2	27.4				05 4.04	07 4.32	2				17.4	
26	29.4		23.2	22.4	31.8	26.0		48		04 1.26						18.4	05
27	30.0		24.8	22.2	32.0	26.2				05 9.04	07 4.32	2				04.2	
28	31.6		25.2	23.4	31.8	27.0				04 1.18						12.4	05
29	32.4		26.8	24.6	32.0	26.8				06 5.02	07 4.32	2				04.2	
30	30.8		27.2	25.6	30.6	27.2	01 4.2			04 2.18						12.0	05
31	31.4		24.6	23.2	31.2	25.8	00 4.4			06 1.14						08.4	
							TOTAL									71.2.2	

HORAS MINUTOS