



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

BRUNO SILVA PEREIRA

**EVOLUÇÃO DE REDE DE RESERVATÓRIOS E INTERAÇÕES SERES HUMANOS
E ÁGUA EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

**FORTALEZA
2024**

BRUNO SILVA PEREIRA

**EVOLUÇÃO DE REDE DE RESERVATÓRIOS E INTERAÇÕES SERES HUMANOS E
ÁGUA EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P489c Pereira, Bruno Silva.
Evolução de rede de reservatórios e interações seres humanos e água em região semiárida / Bruno Silva Pereira. – 2024.
125 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros.
Coorientação: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.

1. Socio-hidrologia. 2. Interação ser humano-água. 3. Rede de reservatórios. 4. Semiárido. 5. . I. Título.
CDD 630

BRUNO SILVA PEREIRA

**EVOLUÇÃO DE REDE DE RESERVATÓRIOS E INTERAÇÕES SERES HUMANOS E
ÁGUA EM REGIÃO SEMIÁRIDA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros

Aprovada em 11/11/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. José Carlos de Araújo (Coorientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Interno)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Alves Meira Neto (Externo)

Colorado State University (CSU)

Profa. Dra. Verônica Mitroi (Externo)

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
(CIRAD)

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão (Externo)

Universidade Federal do Campina Grande (UFCG)

À minha avó Raimunda e meu avô Tarcísio (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio devotado durante toda a minha vida: inúmeros sonhos impossíveis que foram realizados.

Às pessoas amadas que me sustentaram em diversos momentos: Ceci Shiki, Dani Jucá, Cristiano Câmara, Eric Veras, Lívia Mourão, Pedro Emmanuel, Larissa Loiola, Ivna Magalhães, Tomé Braga, Maria Tavares, Tristan Rousseau, Vanucci, Rafaela Barroso, Lana Yasmim, Sergiomar, Bernardo Mendes e tantas outras.

Ao professor e meu orientador Pedro Medeiros, o qual tive o prazer de conhecer em 2010 e que, além da orientação acadêmica na graduação, mestrado e doutorado, me possibilitou a realização de sonhos, como o mestrado-sanduíche na Alemanha, e me inspirou com a sua integridade.

Ao professor e coorientador José Carlos de Araújo por todo o apoio, dedicação e conhecimento compartilhado.

Aos membros da banca professora Verônica Mitroi, Professor Antônio Meira, Professor Carlos Galvão e Professor Raimundo Nonato pela aceitação em participar desse processo e pela dedicação na leitura do documento e nas sugestões preciosas.

Aos professores Carlos Alexandre Gomes Costa e Fernando Bezerra Lopes por toda e dedicação e tempo à frente da coordenação do PPGEA.

À Universidade Federal do Ceará por toda estrutura e também por proporcionar a possibilidade de cursar uma pós-graduação.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC (DENA).

A todos os amigos do HIDROSED: Thales Lima, Glauber Pontes, Christine Farias, Mário, Brenno, Gabriela, Jairo, Camila, Suziane, Arianna, Eduardo e Érika Roanna.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES - pela bolsa concedida durante esses quatro anos.

A seca vem mata tudo
Deixa o sertão num inferno
Mas dói que só magoada
Amarga que nem jiló
Ver o rio secando
E a terra levantar pó
A seca é muito invejosa
Seu moço eu não gosto dela
Secou o Rio Jaguaribe
E os "zóio" de Anabela.
João do Vale (1934-1996) e
Julinho do Acordeon (1922-2008)

RESUMO

A socio-hidrologia entende que a sociedade é parte integrante do ciclo hidrológico e, a partir disso, busca compreender e observar, por meio de dados medidos e de modelagem, a dinâmica de um sistema acoplado ser humano-água, utilizando conceitos como coevolução, retroalimentação e compessações para estruturar a análise. Neste contexto, objetivou-se nesse trabalho: (i) Mostrar como as secas no Estado do Ceará influenciaram a sociedade e a gestão dos recursos hídricos. Para a consecução do primeiro objetivo, fez-se, para todo o Estado do Ceará, um levantamento bibliográfico de artigos científicos, documentos históricos e oficiais, jornais de época por meio do banco de dados da hemeroteca digital e de literatura; (ii) Desenvolver uma compreensão conceitual de como a densa rede de reservatórios do Ceará evoluiu ao longo do tempo. No segundo capítulo foi realizado levantamento de dados hidrológicos e sociais, a partir de livros e documentos históricos, que foram usados para ajudar a entender os processos políticos e sociais que ocorreram durante o período estudado. O modelo HYMOD+RSM foi usado para analisar a evolução da rede de reservatórios e o atendimento às demandas; e (iii) Diagnosticar a seca plurianual de 2012-2017, bem como apresentar as ações realizadas antes, durante e após o evento. Foi realizada uma análise hidrológica e socioeconômica do período. Os resultados deste trabalho mostraram que a evolução da rede de açudes e seu volume acumulado no Ceará se desenvolveu ao longo de 120 anos em resposta às secas recorrentes da região. Assim, diversos fatores políticos e sociais tiveram influência nesse período, possibilitando a divisão por Eras de acordo com o principal fator limitante à segurança hídrica: 1) Disponibilidade; 2) Acessibilidade; 3) Aceitabilidade; 4) Qualidade da água. Observou-se uma concordância entre essa evolução e a estrutura AAAQ, que identifica barreiras aos direitos humanos. Apesar da densa rede de reservatórios e do capital hidráulico adquirido, a seca de 2012 a 2017 indica que ainda há necessidade de medidas para reduzir a vulnerabilidade da população a secas, particularmente no que diz respeito à gestão.

Palavras-chave: socio-hidrologia; interação ser humano-água; rede de reservatórios; semiárido.

ABSTRACT

Socio-hydrology understands that society is an integral part of the hydrological cycle and, based on this, seeks to understand and observe, through measured data and modeling, the dynamics of a coupled human-water system, using concepts such as coevolution, feedback and trade-offs to structure the analysis. In this context, the aim of this work was: (i) To show how droughts in the state of Ceará have influenced society and the management of water resources. In order to achieve the first objective, a bibliographical survey was carried out, using scientific articles, historical and official documents, periodicals available at the digital library database and general literature; (ii) To develop a conceptual understanding of how the dense network of reservoirs in Ceará has evolved over time. In chapter two, hydrological and social data were collected from books and historical documents, which were used to help understand the political and social processes that took place during the focus period. The HYMOD+RSM model was used to analyze the evolution of the reservoir network and the meeting of demands; and (iii) To diagnose the multi-annual drought of 2012-2017, as well as to present the actions taken before, during and after the event. A hydrological and socio-economic analysis of the period was carried out. The results of this work showed that the evolution of the network of reservoirs and their accumulated volume in Ceará developed over 120 years in response to the region's recurrent droughts. Thus, various political and social factors had an influence on this period, making it possible to divide the evolution by Eras according to the main constraint to water security: 1) Availability; 2) Accessibility; 3) Acceptability; 4) Quality. This evolution is in accordance with the AAAQ framework, which identifies barriers to human rights. Despite the dense network of reservoirs and the hydraulic capital acquired, the drought from 2012 to 2017 indicates that there is still a need for measures to reduce the population's vulnerability to droughts, particularly with regard to management.

Keywords: sociohydrology; human-water interaction; reservoir network; semi-arid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Chamada crítica/cômica do periódico <i>A Esquerda</i> de 1928	18
Figura 2 - Localização das áreas de estudo	26
Figura 3 - Eficiência hídrica com confiabilidade de 90% (Q90) versus capacidade de armazenamento de reservatórios estratégicos na Bacia do Rio Jaguaribe.....	30
Figura 4 - a) geração de fluxo de corrente e b) representação esquemática do modelo do sistema de reservatórios.....	31
Figura 5 - Manchete do Jornal <i>Ração</i> de 1932 em matéria sobre a expectativa da seca no referido ano.....	41
Figura 6 - Propaganda para o alistamento de nordestinos para trabalhar na Amazônia.....	42
Figura 7 - Notícia sobre a seca de 1958.....	43
Figura 8 - Notícia sobre o campo de concentração de Solidade no município de Ipú/CE	48
Figura 9 - Galpão da <i>Norton Griffiths & Company</i> utilizada no Campo de Concentração de Patú, Senador Pompeu/CE.....	51
Figura 10 - Galpão da <i>Norton Griffiths & Company</i> utilizada no Campo de Concentração de Patú, Senador Pompeu/CE.....	51
Figura 11 - Notícia sobre o açude Araras	57
Figura 12 - Notícias sobre a exploração de mão de obra na construção do açude Araras	59
Figura 13 - Notícia sobre a construção do açude Orós e visita do militar Castelo Branco na inauguração do açude Banabuiú	60
Figura 14 - Notícia da inauguração do açude Castanhão	62
Figura 15 - Dinâmica do sistema ser humano-água na bacia do rio Jaguaribe	68
Figura 16 - Ocorrência de seca (linha do tempo com indicação de secas por marcadores vermelhos) e consequências (fotos de morte e fome na seca de 1915) durante a Era 1	71
Figura 17 - Distâncias até o reservatório mais próximo no início (1930) e no final (1970) da Era 2.....	74
Figura 18 - Períodos de demanda de água não atendida por classe de reservatório, destacados em vermelho, na Bacia do Alto Jaguaribe durante a Era 3	76
Figura 19 - Evolução da qualidade da água nos três maiores reservatórios da BRJ durante a Era 4, expressado como estado trófico.	78

Figura 20 - Representação da Política de Barragens como medida fundamental na busca por diferentes aspectos da segurança hídrica ao longo das eras na Bacia Semiárida do Rio Jaguaribe	82
Figura 21 - Construção de açudes estratégicas e me cooperação ao longo do tempo (esquerda) e distância atual de qualquer ponto da Bacia do Rio Jaguaribe até o reservatório mais próximo (direita)	85
Figura 22 - Configuração atual (contagem de reservatórios e capacidade de armazenamento acumulada) da rede de reservatórios da Bacia do Rio Jaguaribe, classificada por tamanho de reservatório.....	86
Figura 23 - Volumes armazenados por região hidrográfica entre 2012-2016, onde n é o número de açudes por região hidrográfica.....	90
Figura 24 - Localização da Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe e sua densa rede de açudes..	92
Figura 25 - a) precipitação mensal entre os anos de 2009-2019; b) variação do volume diária de seis reservatórios entre os anos de 2009-2019	92
Figura 26 - Totais mensais de precipitação nos anos de 1915, 1932 e entre os anos de 2012-2017	93
Figura 27 - Acumulado do déficit percentual em relação à precipitação média, para sequências de anos secos	94
Figura 28 - Produção agrícola, em toneladas, das principais culturas do Estado do Ceará	96
Figura 29 - valor da produção agrícola em R\$ das principais culturas do Estado do Ceará	97
Figura 30 - Poços perfurados no Estado do Ceará pela SOHIDRA	103

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	A seca e a sociedade cearense	15
2.2	Campos de concentração das secas no Estado do Ceará	18
2.3	A rede de reservatórios do Estado do Ceará	20
2.4	Coevolução de seres humanos e água e a socio-hidrologia em regiões secas	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Áreas de estudo	25
3.2	Capítulo 1: Patrimônio Hidrológico: Uma Exploração Histórica da Dinâmica Homem-Água no Nordeste do Brasil	27
3.2.1	<i>Dados históricos</i>	27
3.3	Capítulo 2: Promoção da segurança hídrica no semiárido brasileiro: Expansão da infraestrutura de armazenamento de água e coevolução do sistema ser humano-água	28
3.3.1	<i>Capacidade de armazenamento dos reservatórios</i>	28
3.3.2	<i>Disponibilidade e acessibilidade da água</i>	29
3.3.3	<i>Segurança hídrica</i>	31
3.3.4	<i>Índice de poluição da água</i>	36
3.4	Capítulo 3	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	Capítulo 1 - Patrimônio Hidrológico: Uma Exploração Histórica da Dinâmica Homem-Água no Nordeste do Brasil	38
4.1.1	<i>As secas no Polígono das Secas do século XVI ao XXI</i>	38
4.1.2	<i>Os campos de concentração de secas como política pública nas secas de 1915 e 1932</i>	46
4.1.3	<i>A história da infraestrutura hídrica no Ceará</i>	53

4.2	Capítulo 2 - Promoção da segurança hídrica no semiárido brasileiro: Expansão da infraestrutura de armazenamento de água e coevolução do sistema ser humano-água	66
4.2.1	<i>Dinâmica temporal do sistema</i>	66
4.2.2	<i>Identificação das Eras de segurança hídrica e evolução da política da açudagem ..</i>	70
4.2.2.1	<i>Era 1: Calamidade e migração em massa (antes de 1930).....</i>	73
4.2.2.2	<i>Era 2: A indústria da seca (1930 - 1970):</i>	72
4.2.2.3	<i>Era 3: Desigualdades na melhoria da segurança hídrica (1970 - 2000)</i>	74
4.2.2.4	<i>Era 4: Consolidação da rede de reservatórios e degradação da qualidade da água (a partir de 2000)</i>	77
4.2.3	<i>Síntese.....</i>	79
4.2.3.1	<i>Evolução da segurança hídrica e da AAAQ framework</i>	79
4.2.3.2	<i>Interações ser humano-água e estado atual da rede de reservatórios na BRJ.....</i>	83
4.2.3.3	<i>Expansão da rede de reservatórios e feedbacks na Bacia do Rio Jaguaribe e em outros locais</i>	86
4.3	Capítulo 3 - Seca no Ceará 2012-2017	88
4.3.1	<i>Descrição do evento</i>	88
4.3.2	<i>Mapeamento espaço-temporal do evento.....</i>	89
4.3.3	<i>Caracterização hidrometeorológica/física do evento</i>	92
4.3.4	<i>Caracterização socioeconômica do evento.....</i>	95
4.3.5	<i>Ações realizadas antes, durante e após o evento</i>	98
4.3.6	<i>Lições oriundas do evento</i>	104
5	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS	108

1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro tem um histórico recorrente de secas, o que deu origem a uma relação coevolutiva entre os seres humanos e os sistemas hídricos, diferenciando-o das regiões áridas internacionais, como o norte da África, o leste da África, o sudeste da Ásia e a Austrália. Essa coevolução de uma dinâmica distinta do sistema humano-água é exemplificada pela construção de uma extensa rede de reservatórios, com uma capacidade cumulativa equivalente a uma profundidade de água de aproximadamente 123 mm somente no estado do Ceará, aproximadamente duas vezes o escoamento médio anual, em apenas um século (PEREIRA et al., 2019; MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020).

A exploração da dinâmica do sistema homem-água no semiárido brasileiro pode servir de exemplo para o avanço da compreensão das interações do sistema ser humano-água (MEIRA NETO et al., 2024), especialmente no que diz respeito à resiliência climática e à gestão eficaz dos recursos hídricos.

O nordestino busca maneiras de convivência com as secas desde um passado longínquo, os primeiros cronistas já relatavam sobre esse fenômeno climático para a região (GUERRA, 1981; NEVES, 2007; CAMPOS, 2014). Alves (2003) afirma que, no século XVII, os agentes / viajantes incumbidos em desbravar o Nordeste do Brasil encontravam dificuldades na região, como altas temperaturas e escassez de alimento e água, o que inviabilizava o sucesso de suas missões.

A busca pela segurança hídrica tem sido observada na história humana em todo o mundo, tanto em áreas urbanas quanto rurais, especialmente em regiões com climas secos (JIANG, 2009; HJELMSTAD et al., 2019; FILHO et al., 2022). Essa busca deu origem a políticas de infraestrutura hídrica e outras soluções para melhorar o acesso à água, no entanto, os gestores de água encontram dificuldades para atingir todos os grupos sociais. Assim, a desigualdade social e econômica pode surgir de políticas hídricas, resultando em injustiça hídrica (MCLEAN, 2007).

A segurança hídrica pode ser definida em várias escalas como o conceito de que "toda pessoa tem acesso a água potável suficiente a um custo acessível para levar uma vida limpa, saudável e produtiva, ao mesmo tempo em que garante que o ambiente natural seja protegido e melhorado" (GWP, 2000; ENGLE et al., 2011).

Srinivasan et al. (2012) estudaram mais de vinte áreas em quatro continentes e concluíram que a escassez de água na bacia do Rio Jaguaribe, localizada no Polígono das Secas, é causada principalmente por razões políticas, e não por secas, o que concorda com as

descobertas de outros exemplos internacionais (ver, por exemplo, KHAGRAM, 2018; BOELENS et al., 2019).

A construção de barragens, então, se tornou um paradigma para lidar com a escassez de água, mudando a dinâmica dos sistemas natural (ARAÚJO e MEDEIROS, 2013) e social (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020). O reconhecimento e a avaliação das consequências intencionais e não intencionais da expansão da rede de reservatórios, incluindo a mitigação da escassez de água e possível agravamento de eventos de seca, são de extrema importância para a compreensão das implicações de longo prazo de tais soluções de infraestrutura e decisões políticas de longo prazo (RIBEIRO NETO et al., 2022).

De igual importância é a avaliação dos fatores hidrológicos e socioeconômico-políticos que podem ter contribuído sinergicamente para esse fenômeno. Esses fatores ainda são mal compreendidos, não explicitamente contabilizados na análise quantitativa das redes de reservatórios em evolução ao longo de várias décadas (DI BALDASSARRE et al., 2018).

Essa pesquisa se direcionou a partir das seguintes questões científicas:

- i. A seca direcionou diversas tomadas de decisões no que se refere a infraestrutura hídrica do Estado do Ceará, pode-se afirmar que essas decisões foram adequadas no que diz respeito à segurança hídrica?
- ii. Quais os fatores políticos e socioeconômicos contribuem para a limitação da segurança hídrica na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, e de que maneira a construção de reservatórios no semiárido brasileiro, particularmente no Ceará, impactou a resiliência climática e a segurança hídrica da região ao longo do último século?
- iii. Quais são as principais lições aprendidas com a seca de 2012 a 2017 no Ceará em relação à gestão hídrica, e quais medidas podem reduzir a vulnerabilidade da população?

A partir destas indagações, formularam-se as seguintes hipóteses:

- i. A construção de açudes e a intensificação da política da açudagem, ao longo dos anos, não conseguiu garantir plena segurança hídrica, principalmente nas zonas rurais.

- ii. Os fatores limitantes da segurança hídrica evoluíram conforme a rede de reservatórios foi se expandindo e não cessaram mesmo com a estabilização da rede.
- iii. Somente a rede de reservatórios não é suficiente para o atendimento das demandas hídricas em época de secas plurianuais, principalmente em regiões rurais. Apesar do capital hidráulico adquirido, são necessárias ações preventivas e outras fontes hídricas.

O objetivo geral deste trabalho é compreender a dinâmica do sistema acoplado ser humano-água a partir da análise socio-hidrológica na Bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe. Assim, destacam-se três objetivos específicos: i) Mostrar como as secas no Estado do Ceará influenciaram a sociedade e gestão dos recursos hídricos; ii) Desenvolver uma compreensão conceitual de como a densa rede de reservatórios do Ceará evoluiu ao longo do tempo na busca por segurança hídrica; e iii) Diagnosticar e descrever seca plurianual de 2012-2017, bem como apresentar as ações realizadas antes, durante e após o evento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A seca e a sociedade cearense

Isto porque no Cearà só ha dois grandes males que tiram o socego do homem: a secca e a olygarchia. (NORTISTA, 25/01/1914)

Segundo Wilhite et al. (2007) a seca é um risco natural insidioso e lento que produz uma complexa teia de impactos e se distingue de outros riscos naturais por falta de uma definição universal e encontra-se na literatura uma infinidade de definições, em grande parte porque a seca deve ser definida de acordo com as características de cada regime climático.

Wilhite e Glantz (1985) afirmam que as secas podem ser classificadas em quatro categorias:

- Seca meteorológica - quando há déficit de precipitação pluvial sobre uma região, durante um período de tempo;
- Seca agrícola - quando se observa baixa disponibilidade de umidade no solo, tornando insuficiente o suprimento de água às culturas para repor as perdas por evapotranspiração;
- Seca hidrológica - quando se observa uma deficiência no volume de água disponível, incluindo lençol freático, reservatórios e rios;
- Seca socioeconômica - quando a demanda pela água supera a oferta, prejudicando a geração de bens.

Em períodos de estiagem prolongada à ausência de água proporciona importantes impactos ambientais e socioeconômicos, danos aos ecossistemas, bem como a destruição das lavouras, dos rebanhos, além de potencializar a escassez hídrica para abastecimento humano e perturbações sociais (PRUDHOMME et al., 2014; VICENTE-SERRANO et al., 2014).

Na região semiárida, onde está inserido o Estado do Ceará, a deficiência hídrica decorre prioritariamente de fatores naturais. A baixa pluviometria, associada a altas taxas de evaporação, provoca elevado déficit hídrico atmosférico durante grande parcela do tempo. Associa-se a isso a ocorrência de solos rasos sobre substrato cristalino, impedindo o armazenamento de quantidades significativas de água no subsolo (ARAÚJO e PIEDRA, 2009). A elevada variabilidade temporal da precipitação é outro fator agravante (ARAÚJO e MEDEIROS, 2013), provocando secas recorrentes (estatisticamente, uma seca severa por década – (GAISER et al., 2003).

Lima e Magalhães (2018) afirmam que os registros das secas no Brasil remontam aos primeiros séculos da colonização. Foi o Padre João de Azpilcueta, da Companhia de Jesus, que deixou o primeiro registro conhecido, em 1553. Em uma publicação do Ministério do Interior afirma-se que a primeira referência à seca no Nordeste é dada por Fernão Cardin, em 1587, em viagem da Bahia para o Pernambuco (RECIFE, 1981).

Em um artigo publicado em 1888 e dedicado aos “bons padres cearenses”, onde já se observa a proximidade da religião com as questões climáticas do Estado do Ceará, o escritor conta a história que nos fins do século XVI, provavelmente no ano de 1577, o Padre Jesuíta Francisco Pinto, responsável por catequizar os índios, ouvia o suplício dos mesmos por chuva. Afirma-se que o Padre, munido de sua fé, rogou a Deus pela chuva e assim foi atendido, tendo os índios tornado o Padre Francisco Pinto em santidade, dando-lhe o nome de Amanajára, ou seja, Senhor da chuva (VANGUARDA, 1888).

Porém, na história da colonização do Ceará, nem todas as orações e rezas por chuva fizeram efeito. Em 1603, Pero Coêlho de Souza teve sua investida de colonizar o Ceará fracassada pela seca, sendo forçado a retornar para Pernambuco. O resultado dessa investida foi a morte, por fome, de mais da metade de seus companheiros (IPU em JORNAL, 1958).

A Seca atingia e ainda atinge, em seus períodos, diversos níveis da sociedade. No século XVII, os engenhos produtores de açúcar paralisavam as suas atividades durante as crises climáticas e assistiam o aniquilamento dos seus escravos à fome. Nesse contexto, para os engenhos, o custo da alimentação para os escravos era maior do que o valor para se adquirir um novo escravo (ALVES, 2003; CAMPOS, 2014).

Entretanto, no século XVIII, a ocupação no sertão do Nordeste, inclusive do Ceará, foi intensificada, e entre os anos de 1710 e 1711 se apresentam as primeiras referências sobre a ocorrência de seca nesse século. Desta forma, na região do Baixo Jaguaribe ocorreram grandes secas nos anos 1724 até 1728 e em 1732, que trouxeram severas consequências como a morte de muitos habitantes e de quase todo o gado. As secas de 1777 a 1778 e de 1790 a 1793 também mataram quase todo o rebanho e acabaram com a indústria do charque da região (RECIFE, 1981; ALVES, 2003; PANTALENA e MAIA, 2014; PEREIRA e CUELLAR, 2015).

Quase um século depois, ocorreu a Grande Seca, entre os anos de 1877 e 1879. Dados do ano de 1879 relatam calamidades como a fome, peste e famílias dizimadas, sendo que matérias de jornais afirmavam que essa seca custou 60 mil contos, tendo o Ceará ficando com essa dívida ao país. Um ano após a abolição da escravidão, essa dívida é questionada pela matéria “A secca e a escravidão”, de 1885, em que diz: “...o exemplo que nos dá libertando-se

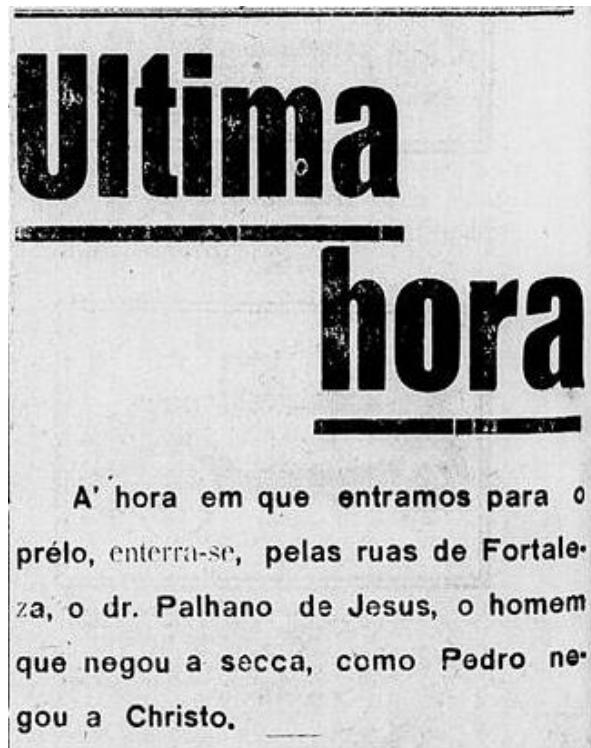
da escravidão, quanto fica o Brazil devendo hoje ao Cearà, que lhe devia hontem tanto?" (PROVÍNCIA do CEARÁ, 1885).

Para descrever o terror da seca de 1915, a matéria do jornal *O Povo* de 1938, narra que “a terra cearense foi regada pelo sangue dos filhos do Sertão” e que a cidade de Juazeiro do Norte não comportava a leva de famintos que morriam em suas calçadas. Tal quadro do terror deixou em desespero Padre Cícero, fazendo com que o mesmo enviasse um telegrama para o Rio de Janeiro, em catorze de outubro de 1915, endereçado ao Secretário do Ministério da Agricultura:

Dr. Gracho Cardoso-Rio Pelo amor de Deus acudá-nos povo morrendo de fome. Agora mesmo sepultaram oito. Por Deus se entenda responda promessas me fizeram socorro por trabalho. Esperanças não servem mais. Saudações. (O POVO, 19/01/1938).

Por outro lado, o jornal *A Esquerda*, de 7 e 9 de agosto de 1928, criticava o inspetor Palhano de Jesus, que afirmava que naquele ano não havia seca no Estado, sendo que o jornal noticiava que os municípios do Sul do Estado, exemplificando Missão Velha e Juazeiro, estavam com parte da sua população abandonando suas casas em busca de pão e a seca fazendo vítimas no seio dos romeiros daquela região (A ESQUERDA, 07/08/1928; 09/08/1928). Assim, o jornal publica uma chamada de última hora ironizando o Inspetor, chamando-o de “...o homem que negou a secca, como Pedro negou a Christo”, como se vê na figura abaixo.

Figura 1 - Chamada crítica/cômica do periódico A Esquerda de 1928



Fonte: A Esquerda (1928)

Entre 1930 e 1932, foi documentada mais uma seca intensa e fez com que, novamente, o êxodo para grandes centros urbanos, principalmente em 1932, fosse a alternativa para a população que perecia naquele ano. A ampliação dos Campos de Concentração foi adotada, assim como em 1915, como solução pelo governo cearense (RECIFE, 1981; NEVES, 1995; LIMA e MAGALHÃES, 2018).

2.2 Campos de concentração das secas no Estado do Ceará

O termo “Campo de Concentração” foi proferido pelo Governador Liberato Barroso em mensagem à Assembleia Legislativa, em 1 de julho de 1916, e afirma que, a contragosto, devido às dificuldades financeiras para suprir as necessidades dos famintos, a solução seria enviá-los para os portos do Norte e Sul da República, tendo emigrado um total de 70 mil pessoas pelo porto de Fortaleza, Camocim e pelas fronteiras do Piauí e Maranhão. Ainda em sua fala, descreve agosto de 1915 como sendo o período mais sensível, tendo a mortalidade assumido proporções assustadoras, uma vez que a normalidade era a morte de 123 pessoas/mês e estavam morrendo 900 pessoas/mês.

Após esses relatos o governador descreve como surgiu o primeiro Campo de

Concentração no Estado do Ceará:

Nesta capital os flagelados foram agasalhados, a princípio no Passeio Público, enquanto não excedeu de tres mil, mas para logo subiu de uma maneira tão rápida que foi preciso retira-los e localiza-los em um vasto terreno no Alagadiço, cercado, bem arborizado, que tomou o nome de Campo de Concentração. (LIBERATO BARROSO, 1916).

Rodolfo Teófilo discordava da criação desse espaço de confinamento e em um encontro com o presidente da província em 1915, Benjamim Barroso, descrito em seu livro “A seca de 1915”, o farmacêutico afirma:

No dia seguinte ao da minha visita no Passeio Público, fui visitar o presidente do Estado. Encontrei-o apreensivo com a seca. Procurei levantar-lhe o ânimo, dizendo-lhe que não tínhamos uma seca e sim repique de seca. Nessa ocasião ele esboçava a planta de um abarracamento que ia mandar construir para os retirantes. Pedi licença para discordar da sua opinião. Aglomerar os retirantes era mata-los. (TEÓFILO, 1980).

O jornal A Lucta (05/01/1916), publicado em Sobral, aborda a questão da mortandade e afirma que “No campo de concentração dos famintos, em Fortaleza, começou a grassar “nas crianças, uma epidemia de desinlheria, que agora atingindo aos adultos, chega a fazer 30 victimas diária”. O mesmo jornal, em 19 de janeiro, sobre a construção de uma estrada de rodagem em Meruoca, afirma que já chegavam na cidade inúmeros famintos para trabalhar na citada obra, desamparados e entregues à fome. Porém, o texto sugere para que os retirantes não se iludem mais com promessas de serviços e que os famintos deveriam “se arrastar até Fortaleza” e que no Campo de Concentração encontrariam entre 10 a 12 médicos, além do recurso enviado do Sul do país (A LUCTA, 05/01/1916; 19/01/1916).

Já na seca de 1932, quando novamente a política do campo de concentração foi empregada, a equipe do jornal A Ordem visitou o Campo de Concentração de Sobral, como descrita na matéria jornalística publicada em 27 de abril de 1932, afirmado que ali encontraram centenas de flagelados açoitados pela fome e que vinham dos municípios à margem da estrada de ferro e até do norte do Estado: como Morada Nova e Pedra Branca. Segundo o livro de registro, haveria naquele Campo, no momento da vista, 406 refugiados da seca sendo: 225 homens, 48 mulheres e 133 crianças, não estando incluídas as pessoas que foram destinadas a trabalhar nas obras de emergência.

Continuando o relato, a equipe conclui que as suas impressões foram as melhores

possíveis quanto à alimentação, higiene e ordem (A ORDEM, 27/04/1932). Porém, as impressões do colunista podem não representar, de fato, a realidade, uma vez que, para a elite da época, qualquer assistência aos flagelados era melhor que a sua situação atual. Na mesma edição do jornal, citado acima, outra matéria informa que o Tenente Floriano Machado cogitava transferir o Campo de Concentração de Sobral para o município de Ipú com o intuito de diminuir o deslocamento dessas “massas” para locais distantes dos seus municípios de origem (A ORDEM, 27/04/1932).

Em uma coluna assinada pela Naylée Gonçalves Felício e publicada no periódico “A Classe: Orgão da Associação dos Empregados no Commercio do Crato”, em 1949, a autora a firma que a “preta”, sua cuidadora nos primeiros anos de vida, contava-lhe histórias e uma dessas era sobre os “flagelados de Buriti” e depois de moça entendeu que a história narrada era sobre o episódio da seca de 1932 (A CLASSE, 24/07/1949).

A autora descreve a história que ouviu: “Desabrigados contra rudeza do clima, acotovelavam-se ali milhares e milhares de esqueléticos seres humanos...”. A mesma afirma que o campo tinha a extensão de 2 km por onde se ouvia “...o choro de criancinhas esfaimadas, os gritos estrepitantes dos que enlouqueceram...” e que para além desse sofrimento os flagelados sofriam com a higiene “... respirava um ar contaminado [...] as epidemias ceifando diariamente centenas de vidas...” e finaliza a terrível histórias com a uma frase que lhe era dita enquanto a sua cuidadora Rosa lhe mimava: “a seca é o castigo com que Deus exempla o mundo” (A CLASSE, 24/07/1949).

2.3 A rede de reservatórios do Estado do Ceará

Antes de iniciar é importante, para um maior entendimento do texto, explicar os termos “açudes estratégicos” e “açudes não estratégicos”. Assim, o primeiro termo se refere aos açudes que contemplam a rede utilizada, atualmente, pela Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) para ofertar água para o abastecimento humano e outras demandas do Estado e são açudes monitorados por essa companhia. Logo, os “açudes não estratégicos”, independente da sua capacidade, não são gerenciados e nem monitorados pela COGERH e não possuem critérios de operação por seus usuários.

A partir do contexto histórico das secas ocorridas no Ceará, e como meio de conviver ou diminuir os impactos da seca e armazenar a água dos anos chuvosos Molle e Cadier (1992) afirmam que em 1832, o Conselho da Província do Ceará passou a atribuir prêmios a

quem construísse um açude com determinas dimensões. Os autores se referem ao Decreto de 5 de agosto de 1832 que afirmava:

O fazendeiro, creador ou lavrador que no Ceará construir, em sua fazenda ou à margem da estrada publica, açude de pedra e cal, receberá pelos cofres da Provincia uma gratificação de 10\$00 réis por cada braça de extenção, somente necessária á represa das águas; [...] sendo o seu proprietário ou proprietários obrigados a conserval-o e reparal-o. ALENCAR, (1889).

Alencar (1889), em artigo assinado em 1835, mas publicado *in memoriam*, narra os efeitos da seca na província do Ceará e que meios de atenuar esse mal deveriam ser aplicados. A princípio sugere a não utilização de fontes artesianas, mas em promover a construção de açudes. Afirma que uma lei geral já vigorava na época, e que já era um incentivo para essas obras, mas o valor do prêmio não era um incentivo e pouco causava efeito. Assim, a quantia deveria ser duplicada para cada “braça de açude que se fizer” e a câmara deveria obrigar os proprietários ricos a construírem açudes em suas terras.

O Governo da Província do Ceará, em 13 de setembro de 1873, aprovava posturas da câmara municipal da vila de Acarape, atual município de Acarape, e no seu Artº. 44 autoriza os donos de sítios a construir pequenos açudes, na época seca, para a “aguiação de suas lavouras”. Entretanto, a água do curso do rio não poderia ser barrada por mais de quatro dias, possibilitando que outros proprietários de sítios, localizados a jusante, pudessem realizar também a sua “aguiação” (A CONSTITUIÇÃO, 25/01/1874).

A seca e seus efeitos teriam ocasionado ensinamentos e um destes incluiria, afirmação dita sobre o evento climático de 1845, a construção de açudes. Então, levantou-se a seguinte questão: “O que é um açude para o Ceará?” Sendo a resposta: “Tudo. Ahi está o futuro, e segurança” (O CEARENSE, 18/02/1877). O Conde D’Eu, na seca de 1877-1879, apresentou e aprovou a seguinte proposta:

Construir, quanto antes, no interior da província do Ceará e outras assoladas pela seca, represas nos rios e açudes nas localidades que, para tal fim fossem mais apropriadas ao abastecimento d’água no mesmo interior e prolongar a estrada de Baturité. (RECIFE, 1981).

Em decorrência da seca de 1877-1879, o imperador Dom Pedro II ordenou a construção do açude Cedro. Em 1880 foi indicado o local do boqueirão e em 1882 foi realizado o primeiro projeto, sofrendo modificações no mesmo em 1989, iniciando a obra em 15 de

novembro de 1890. Com as secas de 1891, 1898, 1900 e 1902, a obra foi considerada de urgência e a sua conclusão, tendo ocorrido diversas paralisações, foi concluída em 1906, e é considerada a primeira grande obra hídrica do país (G1, 05/04/2015; ARAÚJO, 1990).

Mesmo antes de finalizada a construção do açude Cedro, já se ouvia pelo Estado o clamor pela açudagem, lia-se nos artigos de jornais que a açudagem seria a salvação do Ceará. Em artigo publicado no jornal *O Bohemio*, em 1900, Fernando Bezerril afirma que o governo da União deveria acudi-los e empreender as obras de pequena açudagem, feitas pelo povo, e assim o Ceará estaria a salvo e quiçá com um brilhante futuro (*O BOHEMIO*, 05/12/1900).

Em relação ao açude Cedro, afirmava-se que era uma fonte de riqueza para a irrigação, pela enorme quantidade de peixes, alimentando cerca de 4 mil flagelados no período de seca. Esse clamor se tornava mais claro e existia uma cobrança para novas obras hídricas: “É de açudes como o Cedro que o Ceará tem necessidade para sua riqueza e prosperidade [...] Construo-os o governo e terá gratidão do povo cearense” (*O SITIÁ*, 28/06/1925).

2.4 Coevolução de seres humanos e água e a socio-hidrologia em regiões secas

O termo Socio-Hidrologia (SH) foi utilizado pela primeira vez em um artigo intitulado “*Socio-Hydrology: a new science of people and water*” e publicado por Sivapalan et al. (2012), e a sua definição foi dada como “[...] uma nova ciência que se destina a compreender a dinâmica e a coevolução do acoplamento de sistemas homem-água”.

Nos estudos de SH, pessoas e suas ações são consideradas parte integrante da dinâmica do ciclo hidrológico, e busca compreender e interpretar padrões e fenômenos com o objetivo de prever a dinâmica de ambos, em diversos contextos. (SIVAPALAN et al., 2012; SRINIVASAN et al., 2012; DI BALDASSARRE et al., 2013; KANDASAMY et al., 2014; BAKER et al., 2015; GOBER e WHEATER, 2015; SRINIVASAN, 2015; PANDE e SAVENIJE, 2016; ROOBAVANNAN et al., 2018; MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020).

SIVAPALAN et al. (2014) afirmam que a SH possui três objetivos fundamentais:

- 1) Analisar os padrões e dinâmicas socio-hidrológicas em múltiplas escalas, espaço-tempo e interpretá-los em termos das características estruturais subjacentes aos processos biofísicos e sistemas humanos e suas interações;
- 2) Explicar e interpretar as respostas socio-hidrológicas em termos de resultados relevantes para o bem-estar humano, e discernir possíveis cenários futuros de sua evolução; e
- 3) Entender o significado e o valor da água como uma corporificação cultural, política e

econômica, recursos necessários à vida humana, e fazê-lo de uma maneira que explice os recursos biofísicos e interações humanas.

Na SH, primeiramente é importante identificar as variáveis como armazenamento de água, população, produção agrícola, capital que possivelmente estão por trás do fenômeno, por exemplo, do aumento e declínio da população em uma escassez de água na bacia hidrográfica (SIVAPALAN e BLÖSCHL, 2015; PANDE e SIVAPALAN, 2017).

A interação entre os fatores hidrológicos, econômicos e políticos é importante, porque as variabilidades hidrológicas e as atividades humanas podem impactar a dinâmica da cooperação conjunta (LU et al., 2021). Melhorar a cooperação pode levar à harmonia nas relações humano-água em geral e regionalmente, incluindo o uso equitativo e sustentável da água. Por outro lado, a continuação de conflitos pode resultar em uso desordenado da água e uma maior exploração do recurso (TIAN et al., 2019).

A socio-hidrologia tem sido utilizada em inúmeros artigos em diversas áreas do mundo, em climas e processos hidrológicos distintos, com objetivos desde a entender a relação homem-água até a aplicação de modelos socio-hidrológicos tanto em Bacias Hidrográficas, com problemas de governança da água, como para melhorar o bem-estar em pequenos agricultores em termos de gestão da água, social e econômico (TAMBURINO et al., 2020; LU et al., 2020; SONG et al., 2021; ROOBANNAVAN et al., 2020; WU et al., 2019; OGILVIE et al., 2019; SRINIVASAN et al., 2018; PANDE e SAVENIJE, 2016).

Conceitos de outras áreas da ciência têm sido utilizados na SH para ajudar a observar, compreender e modelar os fenômenos socio-hidrológicos. O termo coevolução é comumente utilizado na biologia para descrever a adaptação simultânea de espécies em estreita interação, cada qual exercendo uma forte pressão seletiva sobre a outra (EHRLICH e RAVEN, 1964). Na hidrologia e na socio-hidrologia, estudos recentes utilizam esse termo em atividades de investigação sob a forma de observações detalhadas e modelagem (LIU et al., 2014; SIVAPALAN e BLÖSCHL, 2015; DI BALDASSARRE et al., 2015; SARABI et al., 2021).

O termo *trade-off*, escolher algo em detrimento de outra, também tem sido utilizado em estudos socio-hidrológicos. Troy et al. (2015) afirmam que os modelos oferecem desafios, uma vez o “gestor” do modelo deverá tomar as decisões dos *trade-offs* entre generalidades, precisão e realismo. Uma abordagem dinâmica pode ser utilizada para explorar trajetórias futuras possíveis e considerar uma variedade de *trade-offs* entre a necessidade de crescimento econômico e a redução do risco de desastres (enchentes ou secas) para alcançar um

desenvolvimento sustentável num ambiente em rápida mudança (DI BALDASSARRE et al., 2015).

Estudos de modelagem socio-hidrológica têm utilizado o termo *feedback* para identificar as respostas bidirecionais dentro do sistema acoplado ser-humano/água. Ou seja, identificar os impactos humanos na hidrologia e os impactos da hidrologia no bem-estar humano, que podem ser negativos e positivos (KONAR et al., 2019; KUMAR et al., 2020; MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020). Elshafei et al. (2014) utilizaram o conceito de *feedback* para compreender as complexas interações dentro do sistema acoplado em contínua evolução, em termos de *feedbacks*, não-linearidades, limiares, transformações e desfasamentos temporais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas de estudo

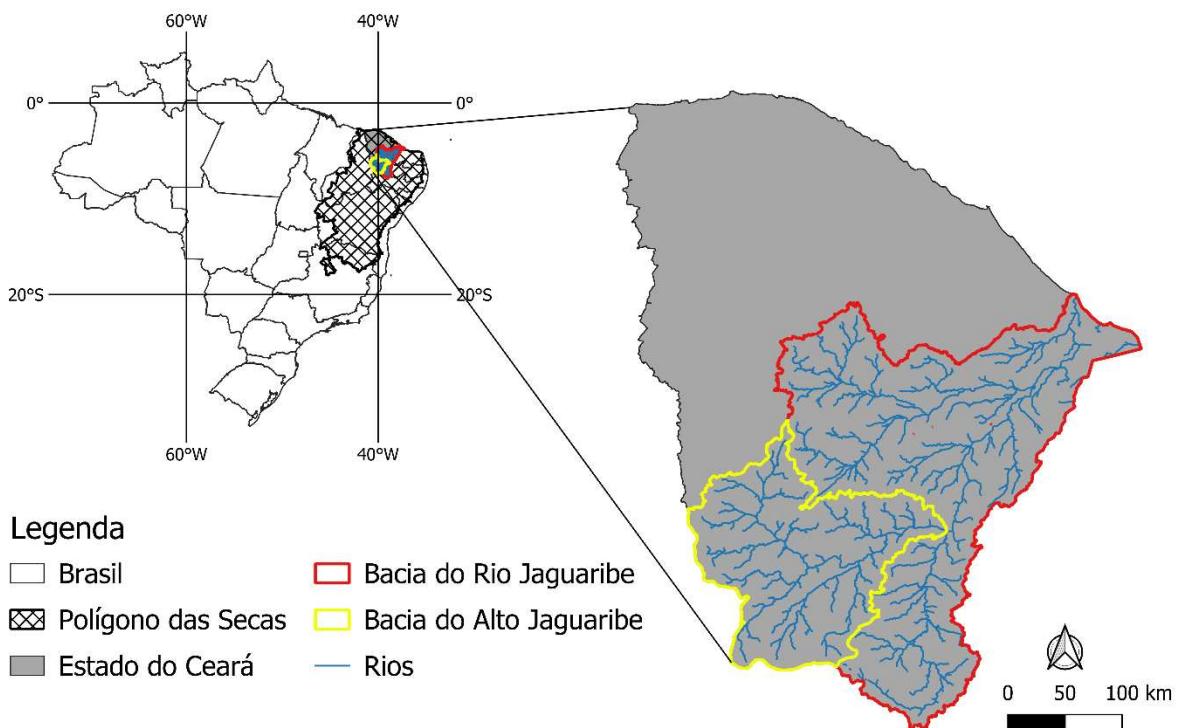
Este trabalho abrangeu três áreas de estudo e em três escalas distintas: Estado do Ceará, a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe (BRJ) e a Bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe (BAJ). Entretanto, a ênfase maior desse trabalho é na BRJ, mas etapas do modelo hidrológico foram aplicadas à BAJ (que está aninhada à BRJ).

O Estado do Ceará está localizado no Nordeste brasileiro e possui uma área de 150.000 km² e 184 municípios que totalizam uma população de 8,79 milhões, sendo 3,9 milhões somente na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) (IBGE,2022). O clima é semiárido e 95% do Estado está inserido no Polígono das Secas (PD), uma área seca densamente habitada localizada na porção Nordeste do país (Figura 2). O Polígono das Secas é caracterizado por precipitação extremamente variável no espaço e no tempo, que normalmente varia entre 450 e 800 mm anualmente, e alta evaporação potencial variando de 2.000 a 2.600 mm por ano, enquanto os coeficientes de escoamento superficial estão geralmente entre 5% a 10% (GAISER et al., 2003; PINHEIRO et al., 2016), ficando abaixo de 1% em algumas áreas (FIGUEIREDO et al., 2016).

A BRJ se estende por uma área de 75.000 km², compreendendo aproximadamente 50% do Estado do Ceará. Especificamente, na BRJ, a precipitação média anual varia de 500 mm a 900 mm, dos quais quase 95% ocorrem de janeiro a junho e 51% do total de precipitação, para o período de 2004–2009, ocorreram em 10% dos dias mais chuvosos (ALVES et al., 2012; MEDEIROS e ARAÚJO, 2014).

A bacia é definida predominantemente em um complexo cristalino (85% da área) com algumas áreas sedimentares (15%), nas quais litossolos, luvisolos e ferralsols são encontrados principalmente, com solos rasos de até 1 m. Outra característica importante da região é a intermitência de todos os rios, incluindo o Jaguaribe, onde o escoamento anual varia de 5 a 120 mm, dependendo da geologia do local (PETER et al., 2014; ARAÚJO e BRONSTERT, 2016). Campos et al. (2000) afirmam que a vazão do Rio Jaguaribe na foz pode variar de 7.000 m³/s a zero em um período de alguns meses.

Figura 2 - Localização das áreas de estudo



Fonte: Autor, 2024

A população residente na BRJ é de aproximadamente 2.600.000 habitantes e cerca de 10% possuem emprego formal (IBGE, 2021) com salário médio de 1,7 salários mínimos, ou R\$ 2.400,00, com PIB *per capita* médio de R\$ 13.917,06 (IBGE, 2021). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) médio dos municípios que compõem a BRJ é de 0,62, variando de 0,56 a 0,84 (IBGE, 2010). Johnson e Kemper (2005) afirmam que a BRJ segue a mesma estrutura econômica do Estado do Ceará, cujo setor de serviços é a maior fatia da composição do seu PIB, na ordem de 70%. Ainda assim, a agricultura é de grande importância social para a subsistência da população rural e mais vulnerável: a agricultura familiar na região é composta predominantemente por culturas de ciclo curto, como milho e feijão, além da criação de caprinos, ovinos e bovinos (MESQUITA et al., 2016).

A escassez de água, especialmente durante as secas recorrentes, tem sido frequentemente apontada como um obstáculo fundamental ao desenvolvimento regional (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020). No entanto, alguns discordam da ideia de que a indisponibilidade de água é o único fator que explica por que a região é subdesenvolvida: por exemplo, SALINAS et al. (2019) mostram que um megaprojeto de infraestrutura hídrica,

construído em uma área criticamente seca, teve impacto muito limitado em termos de renda e desenvolvimento para a população local.

Ainda assim, uma solução hidráulica focada na implementação de reservatórios de superfície por meio do represamento da rede de rios intermitentes prevaleceu desde o final do século XIX como a principal medida para lidar com as secas (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020).

Por sua vez, a BAJ está localizada na região sudoeste do Estado do Ceará e possui uma área de 25.700 km², totalizando 24 municípios, equivalente a 16% da área do Estado. A BAJ possui uma capacidade de acumulação, de águas superficiais, na ordem de 2.800 hm³, em 24 açudes monitorados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) e o açude Óros, que está localizado no exutório da Bacia, é o maior em capacidade de armazenamento com o total de 1.940 hm³ (CEARÁ, 2021).

Segundo Arraes (2010), o regime pluviométrico da BAJ é caracterizado pela alta variabilidade espacial e temporal, característica que se estende a todo o Estado do Ceará. A média anual da precipitação na Sub-Bacia é entre 650 e 1050 mm ano⁻¹ a evapotranspiração potencial entre 2000 e 2500 mm ano⁻¹ (INMET, 2018).

3.2 Capítulo 1: Patrimônio Hidrológico: Uma Exploração Histórica da Dinâmica Homem-Água no Nordeste do Brasil

O foco dos dados históricos utilizados nesta pesquisa foi a ocorrência de secas, a criação de campos de concentração para reunir os migrantes das secas e o estabelecimento da política de barragens.

3.2.1 *Dados históricos*

Os dados históricos apresentados em jornais e documentos oficiais foram pesquisados na Biblioteca Digital Brasileira (Hemeroteca Digital <https://bndigital.bn.gov.br/hemeroteca-digital/>), pesquisa realizada entre os anos de 2021 e 2023. A busca utilizou palavras-chave relacionadas à ocorrência de secas e seu impacto na sociedade, bem como informações obtidas em relatórios técnicos sobre os campos de concentração e a construção de açudes, incluindo o número de barragens construídas por ano,

as capacidades de armazenamento, o valor das recompensas fornecidas para aqueles que construíram açudes em terras próprias e outros dados técnicos.

Os livros também foram uma fonte importante de informações nesta etapa da pesquisa:

- Ocorrência de seca: Alves, (2003), Recife, (1981) e Guerra, (1981).
- Campo de concentração: Liberato Barroso, (1916); Rios, (2014) e Alves (org), (2023).
- Construção de açudes em regime de cooperação: dados sobre as barragens construídas em regime de cooperação pelos setores público e privado são detalhados por (PINHEIRO, 2004).

3.3 Capítulo 2: Promoção da segurança hídrica no semiárido brasileiro: Expansão da infraestrutura de armazenamento de água e coevolução do sistema ser humano-água

Neste capítulo, exploraram-se os meios e as motivações para a expansão da infraestrutura de armazenamento de água na Bacia do Rio Jaguaribe ao longo de cem anos por meio de uma combinação de métodos, incluindo notícias históricas, socioeconômicas e políticas, dados hidrológicos, modelagem físico-matemática do sistema hidrológico e abordagens baseadas em sensoriamento remoto. Os dados históricos desse capítulo foram obtidos pelo mesmo método descrito no item acima (Hemeroteca Digital).

3.3.1 Capacidade de armazenamento dos reservatórios

Os açudes estratégicos foram projetadas, construídas e são monitoradas pelo setor público, portanto, a documentação técnica está disponível. Os açudes em cooperação, resultantes da colaboração entre o setor público e os proprietários de terras, também são bem documentados. Para essas estruturas, a capacidade de armazenamento é conhecida.

Por outro lado, há reservatórios que foram construídos espontaneamente pela população rural sem assistência técnica adequada e sem documentação de terras. Devido à sua grande quantidade - representam a maioria das estruturas existentes - é inviável caracterizar toda a rede de reservatórios por meio de pesquisas de campo. A capacidade de armazenamento desses reservatórios foi estimada usando uma abordagem de sensoriamento remoto (PEREIRA et al., 2019), que consiste em calcular os coeficientes geométricos dos reservatórios usando a

geometria do açude obtida por sensoriamento remoto, ou seja, a área máxima inundada e o perímetro máximo do reservatório (Equações 1 e 2).

$$\alpha_{\text{mod}} = 2.08 + (1.46 \times 10^1) \left(\frac{\lambda}{P_{\text{max}}} \right) - (7.41 \times 10^{-2}) \left(\frac{\lambda^2}{P_{\text{max}}} \right) - (1.36 \times 10^{-8}) \left(A_{\text{max}} \times \frac{D}{\lambda} \right) + (4.07 \times 10^{-4}) D \quad (1)$$

$$K_{\text{mod}} = 2.55 \times 10^3 + (6.45 \times 10^1) \lambda - (5.38 \times 10^1) \left(\frac{D}{\lambda} \right) \quad (2)$$

Nas Equações 1 e 2, A_{max} é a área máxima inundada (m^2); P_{max} é o perímetro da área máxima inundada (m); D é o diâmetro do reservatório (m), calculado como a razão P_{max}/π ; e $\lambda = A_{\text{max}}/P_{\text{max}}$. Os volumes dos reservatórios foram estimados pela Equação 3.

$$V = V_0 + A_0 \left(\frac{A - A_0}{\alpha_{\text{mod}} K_{\text{mod}}} \right)^{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{mod}} - 1} \right)} + K_{\text{mod}} \left(\frac{A - A_0}{\alpha_{\text{mod}} K_{\text{mod}}} \right)^{\left(\frac{\alpha_{\text{mod}}}{\alpha_{\text{mod}} - 1} \right)} \quad (3)$$

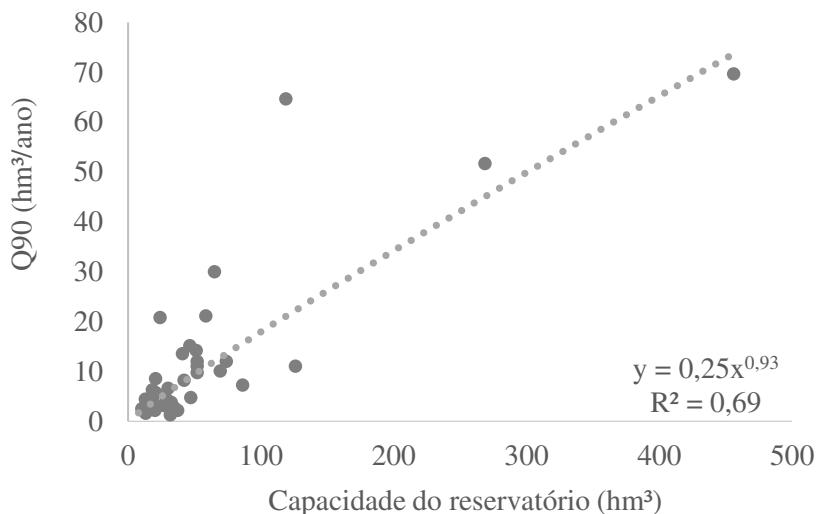
Na Equação 3, V é o volume estimado (m^3), A é a área para a qual o volume deve ser estimado (m^2), A_0 e V_0 representam, respectivamente, a área de referência inicial (m^2) e o volume armazenado neste nível (m^3); K_{mod} é o coeficiente morfológico; α_{mod} é o coeficiente de forma. A área de referência inicial foi arbitrariamente definida em 5000 m^2 com base na resolução espacial das imagens de satélite (resolução de 90 m, com 5000 m^2 representando um mínimo de 5 pixels) e V_0 foi estimado em 2000 m^3 de acordo com as condições morfológicas médias.

Utilizaram-se os dados disponíveis no banco de dados *Global Surface Water Explorer* (GSWE) (<https://global-surfacewater.appspot.com/download>), com data de acesso durante todo o ano de 2023, cujos métodos de processamento de imagens são descritos por Pekel et al. (2016). O produto GSWE utilizado nesta metodologia é a *Maximum Water Extent*, ou seja, a área máxima de superfície de um determinado reservatório entre 1984 e 2021. As equações foram aplicadas aos quase 22.000 reservatórios detectados no Estado do Ceará, com áreas de inundação maiores que 1 ha.

3.3.2 Disponibilidade e acessibilidade da água

A disponibilidade hídrica para a BRJ foi calculada como a vazão de água dos reservatórios com 90% de confiabilidade (Q_{90}): este é o critério utilizado pela Companhia Estadual de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) para simular os cenários e tomar decisões sobre a retirada de água dos reservatórios estratégicos. Com os dados fornecidos pela COGERH para 37 reservatórios estratégicos, excluindo os três maiores do Ceará (Castanhão, Orós e Banabuiu), estabelecemos uma regressão para estimar a vazão Q_{90} para os reservatórios não estratégicos (Figura 3).

Figura 3 - Disponibilidade hídrica com confiabilidade de 90% (Q_{90}) versus capacidade de armazenamento de 37 reservatórios estratégicos na Bacia do Rio Jaguaribe.



Fonte: Autor, 2024

Com base no cálculo da disponibilidade hídrica obtido na etapa anterior, foi calculada a disponibilidade hídrica *per capita* com base no tamanho populacional entre 1900 e 2020. Para avaliar a evolução da disponibilidade hídrica na BRJ, utilizou-se o indicador de estresse hídrico (Tabela 1) proposto por Falkenmark (1989), expresso como a razão entre a disponibilidade hídrica (Q_{90}) acumulada para uma região de análise e sua população em um determinado ano.

Tabela 1 - Índice de estresse hídrico (Falkenmark, 1989)

Categoría	Índice ($\text{m}^3 \text{per}^{-1} \text{ano}^{-1}$)
Sem estresse	>1700
Estresse	1000-1700
Escassez	500-1000
Escassez absoluta	<500

Fonte: Falkenmark, 1989

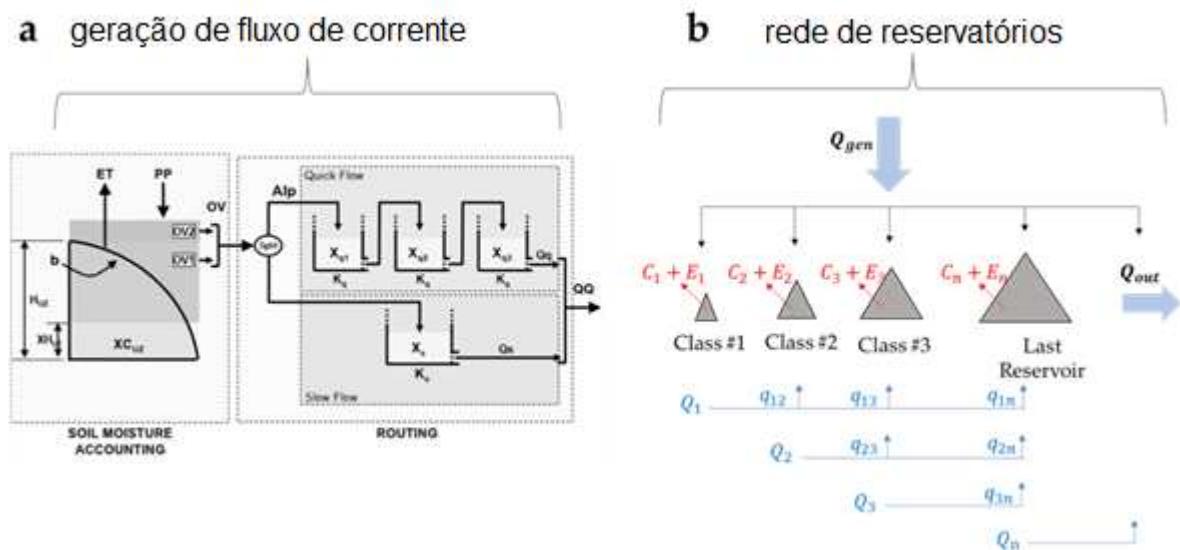
A acessibilidade às fontes de água foi determinada calculando a distância de todos os pontos da bacia, exibidos em um *raster* de resolução de 1 km, até o reservatório mais próximo, levando em consideração a rede completa de reservatórios, incluindo os pequenos. A localização e os dados de implementação dos reservatórios foram definidos com base em:

- Açudes estratégicos: banco de dados fornecido pelo COGERH;
- Açudes em cooperação: dados técnicos publicados por Pinheiro (2004);
- Açudes não estratégicos construídos espontaneamente pela sociedade: recuperados do banco de dados *Global Surface Water Explorer* (PEKEL et al., 2016). A distância de qualquer ponto da bacia até o recurso hídrico mais próximo foi calculada em uma base decadal entre 1900 e 2020.

3.3.3 Segurança hídrica

A segurança hídrica é definida a seguir como a fração da demanda de água atendida pelo sistema. A vazão na bacia foi estimada usando o modelo HYMOD modificado, um modelo conceitual de precipitação-escoamento espacialmente concentrado (Meira Neto et al., 2024). O HYMOD usa dados de entrada diárias de precipitação e evapotranspiração potencial, gerando estimativas de vazão e evapotranspiração real.

Figura 4 - a) geração de fluxo de corrente e b) representação esquemática do modelo do sistema de reservatórios



Fonte: Meira Neto *et al.*, 2024

A vazão é particionada na rede de reservatórios usando o *Reservoir System Model* (RSM), que divide os reservatórios em grupos com base em seus volumes. Meira Neto et al., (2024) sugerem a seguinte classificação: Classe 1 (0,0 – 0,1 hm^3); Classe 2 (0,1 – 0,5 hm^3); Classe 3 (0,5 – 1,0 hm^3); Classe 4 (1,0 – 20,0 hm^3); Classe 5 (20,0 hm^3 - maior reservatório da bacia) e Classe 6 (maior reservatório da bacia). O modelo calcula o balanço hídrico para cada classe de reservatório, considerando um único reservatório representativo, no qual as vazões locais (evaporação e retiradas) são estimadas juntamente com as variáveis de estado (volume local e níveis de água), conforme proposto por Güntner et al., (2004).

O HYMOD utiliza dados de entradas diárias de precipitação (P) e Evaporação Potencial (ETP) e gera estimativas de vazão (Q) e Evapotranspiração real (ER). Assume um armazenamento de umidade do solo (S) distribuído espacialmente. Para ter acesso a todas as equações do modelo HYMOD verificar o artigo de Meira Neto et al., 2024.

O Modelo a ser utilizado para a modelagem do sistema de reservatórios (Figura 4b), *Reservoir System Modelling* (RSM), é baseado em um modelo proposto por Güntner et al. (2004). De acordo com o método, os reservatórios são agrupados em classes conforme sua capacidade de armazenamento. Para cada classe, é calculado o balanço hídrico para um reservatório representativo e estimados a evaporação, a vazão retirada, o volume e a altura da água correspondente.

O RSM foi desenvolvido e testado para as condições locais do estado do Ceará, simulando satisfatoriamente os volumes de pequenos e grandes reservatórios. O modelo foi desenvolvido em esquema de cascata para descrever, aproximadamente, a posição a montante e a jusante das classes de reservatórios relativamente e, assim, descrever a redistribuição do escoamento entre as classes de reservatórios (GÜNTNER et al., 2004). O modelo é descrito abaixo:

A evolução da rede de reservatórios, ao longo do tempo, será representada pelo aumento do número total de reservatórios dentro de cada classe ao longo do período a ser analisado. Deverá ser utilizado o subconjunto de reservatórios, cujas datas de construção sejam conhecidas, para gerar uma relação entre a capacidade de armazenamento *versus* tempo.

O escoamento produzido, em um dado momento t (Q_g , em m^3), é distribuído em frações que contribuem para cada classe de reservatório (Q_{g-n} , em m^3), juntamente com o escoamento que é diretamente encaminhado para a saída da bacia (Q_{g-out} , em m^3):

$$Q_g(t) = \left(\sum_{n=1}^N Q_{g-n}(t) \right) + Q_{g-out}(t) \quad (4)$$

Tanto Q_{g-n} quanto Q_{g-out} são estimados a partir de frações variáveis no tempo:

$$Q_{g-n}(t) = f_n(t) \cdot Q_g(t) \quad (5)$$

$$Q_{g-out}(t) = f_{out}(t) \cdot Q_g(t) \quad (6)$$

Onde f_n é a fração de Q_g que contribui para enésima classe num determinado momento (t), e f_{out} é a fração de Q_g que não contribui para nenhuma classe de reservatório, sendo assim diretamente encaminhada para a saída da bacia hidrográfica.

Os valores f_n variam de acordo com a capacidade total em cada classe num dado momento (t). Para estimar f_n , é assumida uma relação empírica entre a capacidade de armazenamento e o escoamento médio anual de entrada:

$$C_n(t) = 2 \cdot \bar{Q}_n(t) \quad (7)$$

Onde C_n representa a capacidade de armazenamento na classe n (m^3), e \bar{Q}_n o escoamento médio anual de entrada na classe n (m^3).

O f_n é definido como a relação entre \bar{Q}_n e o escoamento médio anual observado em toda a bacia (\bar{Q}_B):

$$f_n(t) = \frac{\bar{Q}_n(t)}{\bar{Q}_B} = \frac{C_n(t)}{2 \cdot \bar{Q}_B} \quad (8)$$

$$f_{out}(t) = 1 - \sum_{n=1}^N f_n(t) \quad (9)$$

A Equação 9 é para calcular a fração do escoamento gerado que contribui diretamente para a saída das bacias ($f_{out}(t)$).

O escoamento produzido em cada etapa é encaminhado através do sistema de reservatórios assumindo um esquema do tipo cascata. Em cada classe de reservatório, o

escoamento de entrada (Q_{in-n}), em m^3 é composto por Q_{g-n} e a contribuição do escoamento dos reservatórios precedentes (classe inferior):

$$Q_{in-n}(t) = Q_{g-n}(t) + \sum_{x=1}^{n-1} \frac{Q_{out-x}(t)}{N-x} \quad (10)$$

Onde Q_{out-x} é a saída gerada por uma classe de reservatório inferior ($x < n$), onde x é uma variável fictícia. O termo de soma na Equação 10 significa que a saída de cada classe de reservatório é uniformemente distribuída entre os reservatórios de classe superior.

Em cada classe de reservatório, a equação do balanço hídrico é então resolvida no reservatório representativo:

$$V_n(t) = V_n(t-1) + \frac{Q_{in-n}(t)}{R_c(t)} + (P - E) \cdot A_n(t) - \frac{Q_{out-n}(t)}{R_c(t)} - \frac{W_n(t)}{R_c(t)} \quad (11)$$

Onde V_n é o volume total no reservatório representativo da classe n (m^3), A_n é a área de superfície livre do reservatório representativo da classe n (m^2), R_c é a contagem do reservatório dentro da classe n , e W_n é a retirada da classe n do reservatório. Q_{out-n} é assumido que ocorre quando a capacidade de armazenamento é excedida.

Por último, as relações entre a profundidade e o volume foram usadas em conjunto com a Equação 11:

$$V_n(t) = K_n \cdot h(t)^{\alpha_n} \quad (12)$$

$$A_n(t) = \alpha_n \cdot K_n \cdot h(t)^{(1-\alpha_n)} \quad (13)$$

Onde, h representa a profundidade da água, enquanto K_n e α_n são parâmetros de reservatório tomados como a média dentro de cada classe n .

O termo de retirada indicado na Equação 11 é o resultado da concorrência entre a demanda (D_n) e a disponibilidade (V_n) em cada classe de reservatório:

$$\begin{aligned} \text{if: } D_n(t) \leq V_n(t) \rightarrow W_n(t) &= D_n(t) \\ \text{else: } W_n(t) &= V_n(t), \end{aligned} \quad (14)$$

and: $DU_n(t) = D_n(t) - W_n(t)$

Onde DU_n é a demanda não atendida (m^3), que é transferida para reservatórios de classes superiores de forma semelhante às saídas (Equação 10).

A demanda aplicada a cada reservatório é composta de uma demanda local e de uma combinação de demanda não atendida de menores classes mais de reservatórios, sempre que aplicável:

$$D_n(t) = D_{n-local}(t) + \sum_{x=1}^{n-1} \frac{DU_x(t) * f_r}{N - x} \quad (15)$$

Onde $D_{n-local}$ (m^3) representa a procura imposta pela população local mais próxima de um reservatório de classe n. A variável f_r representa um fator de redução aplicado à procura não satisfeita das classes mais baixas de reservatórios quando transferida.

Os valores de $D_{n-local}$ serão estimados através de uma combinação de 4 tipos diferentes de demanda: rural (D_R), urbana (D_U), projetos de perímetros irrigados (D_{IP}), e industrial (D_I).

A D_R será obtida através da análise de dados do projeto DISPAB, onde a demanda *per capita* d_R foi calculada a partir de informações de 502 famílias e é a soma da demanda humana, agricultura e pecuária. A D_U será calculada por meio da multiplicação da população urbana (em determinado ano) e o consumo *per capita* (d_U) 120 litros por dia. A população total da BAJ, bem como a subdivisão em urbana e rural, para o período a ser analisado, será obtido por meio do banco de dados e censos populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os valores D_{IP} e D_I sem obtidos no Plano Estatal de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (CEARÁ, 2005).

$$D_{1-local} = D_{2-local} = D_{3-local} = \frac{D_R}{3} \quad (16)$$

$$D_{4-local} = D_{5-local} = \frac{D_U}{3} + \frac{D_I}{3} \quad (17)$$

$$D_{6-local} = \frac{D_U}{3} + \frac{D_I}{3} + D_{IP} \quad (18)$$

As diferentes demandas foram agregadas em valores de $D_{n-local}$ de acordo com as classes do reservatório, seguindo as Equações 16, 17 e 18.

3.3.4 Índice de poluição da água

Quanto à segurança hídrica, foi estimado um índice de poluição hídrica (I_{wp}) para a Bacia do Alto Jaguaribe, definido como a razão entre o volume anual de água potencialmente poluída e o volume de escoamento superficial. O índice é uma combinação de duas frações de poluição - esgoto e escoamento superficial agrícola - e foi estimado para o período de 1920-2020. A produção de esgoto foi calculada como o produto da população pelo consumo médio *per capita* de água (admitido como 100 L.hab⁻¹.dia⁻¹) e adotando uma fração de 0,8 para geração de esgoto a partir da água consumida. Os dados populacionais foram obtidos de censos oficiais e interpolados para os anos em que não foi realizado censo. O volume anual de esgoto foi então dividido em três frações: i) coletado e tratado; ii) coletado e não tratado; iii) não coletado. As frações de esgoto coletado e tratado foram obtidas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para os municípios localizados na BAJ.

Apenas as parcelas de esgoto coletado e não tratado ($V_{sew,col-unt}$) e não coletado ($V_{sew,unc}$) foram admitidas como nocivas, com potencial para poluir o escoamento e a água acumulada no sistema de reservatório. O volume de esgoto coletado, mas não tratado, foi totalmente considerado potencialmente poluído. A parcela de esgoto não coletada foi admitida como sendo despejada diretamente no meio ambiente sem nenhum tratamento. No entanto, alguma assimilação pelo meio ambiente é possível, por exemplo, do esgoto descartado em fossas sépticas, portanto, uma fração de 0,5 da poluição do esgoto não assimilada pelo meio ambiente e, portanto, potencialmente poluente ($f_{sew,pot-pol}$), foi admitida. O volume de esgoto com potencial para poluir os recursos hídricos foi calculado como a soma do esgoto coletado e não tratado e a parcela não coletada.

A água potencialmente poluída pela agricultura foi computada como a soma dos volumes de escoamento em projetos de irrigação e em campos agrícolas de sequeiro. As informações sobre a extensão dos perímetros irrigados públicos (A_{ip} , m²) foram obtidas de registros oficiais, enquanto as áreas agrícolas difusas de sequeiro (A_{rf} , m²) foram estimadas como o produto da população por uma área cultivada *per capita* de 0,32 ha/hab. O escoamento superficial (Q_{gen} , m³/ano) foi simulado para a BAJ usando o modelo HYMOD+RSM (MEIRA

NETO et al., 2024), e o volume de água potencialmente poluído pela agricultura (W_{pa}) foi então calculado usando a seguinte equação:

$$W_{pa} = (A_{ip} + A_{rf}) \cdot 10000 \cdot \left(\frac{Q_{gen}}{1000} \right) \quad (19)$$

Assim, o índice de poluição foi calculado utilizando a equação abaixo:

$$I_p = \left(\frac{W_{ps} + W_{pa}}{Q_{gen}} \right) \quad (20)$$

Onde I_p é o índice de poluição (-); W_{ps} é a água poluída por esgoto (m^3/ano); W_{pa} é o volume de água poluída pela agricultura (m^3/ano) e Q_{gen} é o escoamento superficial (m^3/ano).

3.4 Capítulo 3

Neste capítulo, realizou-se uma caracterização da seca plurianual que atingiu o Estado do Ceará entre os anos de 2012-2017. Os dados de precipitação foram obtidos através do banco de dados da FUNCeme (http://www.funceme.br/?page_id=2694), com acesso no ano de 2022, e, desta forma, foi possível observar a evolução da seca meteorológica. Com relação a variação dos volumes dos reservatórios e das bacias hidrográficas do Estado, os dados foram coletados via Portal Hidrológico (<http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/>), acesso em 2022, no qual foi possível observar a evolução da seca hidrológica nos principais açudes estratégicos.

Os dados de produção agrícola foram coletados da Produção Agrícola Municipal (PAM) – (<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>), acesso em 2022, e por meio dos indicadores econômicos do Ceará, documento publicado anualmente pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (<https://www.ipece.ce.gov.br/livro-de-indicadores-economicos-do-ceara/>), acesso em 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Capítulo 1 - Patrimônio Hidrológico: Uma Exploração Histórica da Dinâmica Homem-Água no Nordeste do Brasil

Este capítulo da tese foi submetido para uma edição especial da *Hydrological Sciences Journal* intitulada de *History of Hydrology*, atualmente em revisão.

4.1.1 As secas no Polígono das Secas do século XVI ao XXI

A seca era definida exclusivamente pela baixa precipitação durante a estação chuvosa (fevereiro a junho), quando foram feitos os primeiros registros de secas no Ceará, o que caracteriza a definição de seca meteorológica. Se a estação chuvosa não começasse como esperado em janeiro, a possibilidade de ocorrência de seca já era anunciada nos jornais, uma vez que a agricultura familiar dependia de culturas de sequeiro. Assim, nos primeiros séculos desse registro, a seca era definida como escassez de chuva tanto pela população quanto pelas autoridades.

No início dos anos 1900, as autoridades cearenses começaram a instalar pluviômetros, o que permitiu o estabelecimento de uma série histórica de chuvas. Assim, com a evolução da política da açudagem, a definição de seca também incorporou o conceito hidrológico do fenômeno, já que os açudes se tornaram cruciais para o abastecimento humano e animal, bem como para a irrigação.

Os registros de secas no semiárido brasileiro datam dos séculos XVI e XVII. Documentos do Ministério do Interior afirmam que a primeira referência a secas na região foi por volta de 1587 (RECIFE, 1981; LIMA e MAGALHÃES, 2018). Durante esse período, o Brasil era uma colônia portuguesa, portanto, a maioria dos relatos dessa época vem de missões portuguesas que tinham como objetivo converter os nativos brasileiros ao cristianismo (VANGUARDA, 1888) e não se concentram nos impactos da seca.

As secas do século XVIII no Polígono das Secas deixaram um impacto duradouro na produção agrícola do país. Documentos históricos registraram secas no Ceará em 1724-1728 e novamente em 1732, relatando a perda de muitas vidas e um efeito negativo considerável sobre o gado da região (RECIFE, 1981).

No relatório denominado de Estado Meteorológico da Província do Ceará, 1844-1845 cita a ocorrência de seca nos seguintes anos: 1724 a 1728; 1736-1737; 1777-1778; 1790-

1793; 1808-1809 e 1816-1817 que é complementada por Rodolpho Teóphilo, escritor e farmacêutico baiano e radicado no Ceará, que buscava entender a ocorrência da seca nessa região estudando a relação do fenômeno com as manchas solares. Em uma publicação, em um importante jornal literário do Ceará, *Pão da Padaria Espiritual*, apresentou, em 1895, uma tabela com as secas ocorridas no Ceará entre 1712 a 1879. (A LIBERDADE, 05/04/1877; O PÃO DA PADARIA ESPIRITUAL, 01/03/1895).

Tabela 2 - Secas no Ceará entre 1712 a 1879

Ano	Status	Ano	Status
1714		1817	
1723-1727		1825	
1736		1827	Parcial
1745	Parcial	1830	
1777		1833	
1790-1793		1845	
1809	Parcial	1887-1889	

Fonte: *O Pão da Padaria Espiritual*, 1895

Na literatura, um dos romances que retratam a vida no Ceará durante os períodos de seca no século XVIII foi *O Sertanejo* (1875), de José de Alencar. Nesse romance, a região é descrita da seguinte forma: “Quem percorre os sertões pela primeira vez nesta estação, depois de uma longa estiagem, sente a alma contrair-se até o âmago em face da fome da vida, desse imenso holocausto da terra”. Essa descrição está alinhada com relatos históricos anteriores que indicaram impactos ambientais na região causados por esses eventos de seca, em um período em que as ações de mitigação eram limitadas e cada indivíduo era responsável por sua segurança hídrica (CUNHA, 2000).

Os relatos de secas no início do século XIX concentram-se nos impactos sobre a produção de gado no Polígono das Secas (RECIFE, 1981; BRASIL, 1909). A segunda metade do século XIX na região é caracterizada pela chamada Grande Seca que ocorreu entre 1877 e 1879, quando estima-se a morte de aproximadamente 50% da população do Ceará, com 119.000 mortes ocorrendo somente na capital Fortaleza (RELATÓRIO DOS PRESIDENTES DOS ESTADOS BRASILEIROS, 1901; GUERRA, 1981).

. Essas mortes foram atribuídas à fome, desnutrição e surtos de doenças como varíola e tifo, exacerbados pela falta de acesso à água potável (RECIFE, 1981). Rodolfo

Theóphilo, que vivenciou a Grande Seca (FREITAS, 2023), registrou esse período em *A Fome (1890)*, no qual escreveu: “Já não era só a sede que os matava, agora era também a fome e a peste”. De fato, a literatura sobre secas serviu como uma ferramenta útil para questionar e informar sobre as secas e uma forma de criticar as ineficazes políticas públicas de mitigação de secas na época.

A Grande Seca também desencadeou movimentos significativos de emigração no Ceará, com aproximadamente 68.000 pessoas migrando para outros estados e mais de 120.000 se mudando para a região amazônica (RECIFE, 1981; MELO, 2016). Esse fluxo migratório em massa é retratado por José Américo de Almeida em seu romance *A Bagaceira* (1928):

Era o êxodo da seca de 1898. Uma ressurreição de cemitérios antigos - esqueletos reanimados, com o aspecto terroso e o fedor de sepulturas podres. Não tinham gênero, nem idade, nem condição alguma. Eram retirantes. Nada mais. [...] Ninguém pergunta aos retirantes de onde vêm ou para onde vão. São pessoas fugindo de seu destino.

O trecho indica os impactos sociais da seca e a visão degradante dos migrantes que foram deixados para sobreviver por conta própria. Essas pessoas são despojadas de sua individualidade, tornando-se uma massa de corpos sem características distintivas - “sem gênero, sem idade”.

O início do século XX a região é marcada por outro trágico evento no ano de 1915, conhecido nacionalmente como a Seca dos Quinze (RECIFE, 1981; LIMA e MAGALHÃES, 2018). Reportagens de jornais locais da época descrevem que muitas cidades do Ceará tiveram dificuldades para lidar com o fluxo de pessoas famintas, algumas morriam nas calçadas (O POVO, 1938). A realidade desses migrantes é retratada no romance *O Quinze* (1930), de Rachel de Queiroz, que passou por essa seca. O trecho a seguir retrata a morte de um dos filhos da família de migrantes de Chico Bento, Josias, durante a viagem:

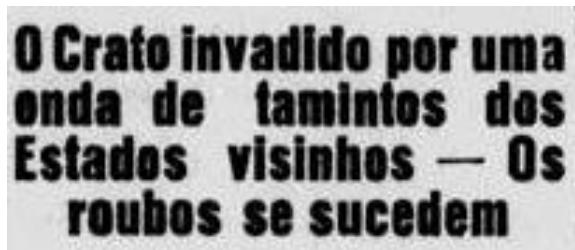
Ali ficou Josias, em sua sepultura à beira da estrada, com uma cruz de dois paus amarrados feita por seu pai. Ele estava em paz. Ele não precisava mais chorar de fome ao longo da estrada. Não tinha mais anos de miséria pela frente, para depois cair no mesmo buraco, sob a mesma cruz”.

O trecho indica que várias famílias foram forçadas a migrar por causa da seca, e muitas não sobreviveram à viagem, devido às condições climáticas e à desnutrição.

Esse processo migratório é observado também durante a seca de 1932, em notícia

publicada em 9 de janeiro do mesmo ano. No jornal Nação, a manchete anuncia a migração de famintos de outros Estados para a região do Crato (Figura 5). O texto descreve ocorrência de assaltos e a situação precária do município e a preocupação do colunista que lamenta: “Hoje, 3 de janeiro, e nenhum sinal de chuva...” e finaliza “O povo espera que o governo inicie trabalhos de construção de estradas de rodagem” (NAÇÃO, 09/01/1932). O mesmo jornal, no dia 22 de janeiro do mesmo ano, publica um telegrama enviado de Juazeiro ao Presidente da República pedindo trabalho aos que morrem de fome: “Sem exagero, homens, mulheres e crianças principalmente estão morrendo de fome” (NAÇÃO, 22/01/1932).

Figura 5 - Manchete do Jornal Ração de 1932 em matéria sobre a expectativa da seca no referido ano



Fonte: Jornal Nação, 1932.

Durante essa seca ocorreram inúmeros relatos da morte dos retirantes, principalmente pela fome e pelos seus deslocamentos à procura de centros urbanos, aos quais pudessem encontrar algum tipo de ajuda. A fome é uma das consequências comuns desses períodos de estiagem, falta água para a agricultura de subsistência e, quando empregado em alguma fazenda, o sertanejo geralmente era abandonado pelos fazendeiros uma vez que, no período de estiagem o patrão despedia o sertanejo do seu trabalho sem oferecer suporte.

Durante a seca de 1942, o Estado do Amazonas era visto como a terra da fartura. Assim, o processo migratório dos retirados do Ceará era nessa direção. Alguns geólogos da época afirmavam que os cearenses eram “os filhos da terra seca que lutam na terra da água” (O SERTÃO, 30/01/1949; BARBOZA, 2005).

Na Figura 6, que está em exposição no Museu de Arte da Universidade Federal do Ceará (MAUC), datada do início de 1940 e assinado pelo pintor, desenhista, crítico de arte, pedagogo, músico e propagandista suíço Jean Pierre Chablop, observa-se a propaganda do S.E.M.T.A (Serviço Especial de Mobilização de Trabalhadores para Amazônia), cujo objetivo era recrutar trabalhadores da região Nordeste para o uso da mão de obra nos seringais da Amazônia.

Figura 6 - Propaganda para o alistamento de nordestinos para trabalhar na Amazônia



Fonte: Autor, 2023

Ainda sobre os efeitos da Seca de 1942, um relatório enviado ao Presidente Getúlio Vargas, em 1943, pelo então interventor federal do Estado do Ceará, Francisco de Menezes Pimentel, enfatizava sobre a higiene infantil e anuncia que tinham sido distribuídas cerca de 103.911 mil mamadeiras, sendo a explicação para o elevado número, para a época, a abertura de um crédito especial para defender as crianças dos efeitos da seca de 1942 (IMPRENSA OFICIAL, 1945).

A migração de cearenses atingidos pela seca continuava na década de 40, tendo o jornal Correio de Juazeiro, em 1949, afirmado que a “debandada” dos cearenses, “nossos trabalhadores”, para São Paulo liquidaria matematicamente a lavoura e que os campos se encontravam quase despovoados e desfalcados de operários (NOGUEIRA, 1949).

Na década de 1950 foram registrados anos com chuvas e algumas irregularidades como em 1952 e 1955. A seca dessa década foi documentada em 1958 atingindo mais intensamente os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Piauí, causando prejuízos de aproximadamente 10 bilhões de cruzeiros, o que equivalia a US\$ 132 milhões, em valores de 1957 (RECIFE, 1981; DUARTE, 2003).

Antônio Solon, no artigo intitulado o Éxodo, no Ipu em Jornal, narra a imigração

de cearenses para o Rio de Janeiro e São Paulo, durante a seca de 1958, citando como motivos a diferenciação salarial entre os trabalhadores desses municípios do Sudeste, Cr\$ 3.800,00, e dos trabalhadores de Ipu e outras regiões do Nordeste que “recebem um salário de fome”. Entretanto, a seca seria a principal causa do êxodo no campo (IPU EM JORNAL, 28/02/1958).

Figura 7 - Notícia sobre a seca de 1958



Fonte: Jornal do Brasil, 12/07/1958

Na metade final do século XX ainda foram documentadas secas nos anos de 1962 a 1964 e no ano de 1966. No início da década de 1970 foi registrada uma seca em 1970 e 1976 foi uma seca mais suave e a seca iniciada em 1979 continuou até 1983, em 1986/1987 também foi registrada como período de seca. Na década de 1990 foram registradas seca em 1992/1993 e 1997-1999. (RECIFE, 1981; MELO, 2016; MARENGO et al., 2017; LIMA e MAGALHÃES, 2018).

O século XXI também iniciou com anos de seca em 2001/2002 e 2005. O Estado do Ceará registrou anos de seca entre 2007 e 2015, foram observados seis anos secos (2007, 2010, 2012-2015). Apesar do estabelecimento de uma política de açudagem no Ceará, o século XXI também é marcado por vários impactos de secas meteorológicas. Por exemplo, em 2012, teve início uma seca plurianual que durou seis anos, até 2017, marcando-a como a pior seca em termos de totais de chuva nos últimos cem anos (MARENGO et al., 2017; LIMA e MAGALHÃES, 2018; ZHANG et al., 2021; PEREIRA et al., 2023).

Nas últimas décadas, na maioria dos continentes, experimentou-se a escassez de água e o aumento da frequência e da gravidade é esperada, no futuro, devido às mudanças climáticas e crescimento da demanda de água (MISHRA e SINGH, 2010; SHEFFIELD et al., 2012).

Tabela 3 - Anos de secas registrados no Brasil do século 16 até o século 21

Século XVI	Século XVII	Século XVIII	Século XIX	Século XX	Século XXI
1553	1603	1709-11	1803-04	1900	2001-02
1559	1606	1720-27	1808-10	1903-04	2005
1583	1614-15	1730	1816-17	1907	2007-2009
1587	1645	1732	1824-25	1909-10	2010
	1652	1734-37	1827	1914-15	2012-2017
	1692-93	1744-48	1830-33	1917	
		1751	1835-37	1919	
		1754	1842	1921-22	
		1760	1844-47	1930	
		1766	1877-79	1932-37	
		1771-72	1888-89	1941-45	
		1776-78	1891	1951-54	
		1782-84	1898	1958-59	
		1790-94		1962-64	
				1966	
				1970	
				1976	
				1979-83	
				1986-87	
				1992-93	
				1997-99	

Fonte: Recife, (1981); Melo et al., (2016); Cortez et al., (2017); Marengo et al., (2017);

Percebe-se que a história do Ceará, principalmente de seus sertanejos, tem influência direta do seu clima semiárido e de suas recorrentes secas. A partir dos efeitos negativos de evento climático, o Estado teve que buscar políticas e formas de convivência com a seca, sendo a política da açudagem, em sua maioria, um fator essencial para a diminuição de seus efeitos e para a oferta de água, mas também a ela se atribui um certo poder para a elite cearense, fato que será abordado mais à frente.

No Ceará, os principais reservatórios estratégicos construídos durante o século XX visavam ao abastecimento humano de água, mas também apoiavam a agricultura. No açude Orós (com capacidade de armazenamento atual de 1.940 hm³), 69% da demanda é para irrigação,

e nos açudes Banabuiú (1.600 hm³) e Araras (859 hm³) essa parcela representa 37% e 63%, respectivamente. Assim, o aumento da segurança hídrica proporcionado pela política da açudagem (MEIRA NETO et al., 2024) permitiu a intensificação da agricultura, produzindo alimentos para consumo local, mas também abastecendo mercados externos. Atualmente, apenas 5% da área agrícola do estado é irrigada (os 95% restantes são de agricultura de sequeiro, baseada exclusivamente na chuva), mas essa parte irrigada é responsável por aproximadamente 50% do valor financeiro da produção agrícola do estado. Uma parte significativa dessa produção é destinada à exportação e, portanto, impulsionada pelo mercado de alimentos em larga escala.

Por outro lado, os 95% restantes da área cultivada são em grande parte dedicados à agricultura familiar e de subsistência, que atende principalmente às suas próprias necessidades alimentares e ao mercado local de alimentos. Nesses sistemas de plantio direto, os agricultores interagem diretamente com as fontes de água naturalmente disponíveis. No entanto, mudanças em grande escala no mercado de alimentos também podem afetar a resiliência à seca em uma escala mais fina que depende de fontes de água compartilhadas. Meira Neto et al. (2024) mostram que os pequenos reservatórios na região de estudo não são capazes de lidar com secas prolongadas e que a segurança hídrica geral é apoiada pelos reservatórios maiores, que também são usados para irrigar extensas áreas agrícolas.

É evidente que a história do semiárido brasileiro e sua população é diretamente moldada pelas secas recorrentes, conforme descrito no seguinte trecho do romance *Vidas Secas* (1938) de Graciliano Ramos:

Olhou para a Caatinga amarela, que o pôr do sol tingia de vermelho. Se a seca viesse, não haveria mais plantas verdes. Estremeceu. Ela viria, naturalmente. Sempre foi assim, desde que ele se lembrava. E mesmo antes que ele pudesse se lembrar, antes de nascer, a mesma coisa havia acontecido - anos bons misturados com anos ruins. O desastre estava a caminho, talvez estivesse próximo.

Esse trecho serve de exemplo de como esse ambiente único de interação ser humano-água influenciou a sociedade, que, por sua vez, afetou as produções artísticas. As secas não devem ser romantizadas, mas a história daqueles que sofreram em virtude de seus efeitos não devem ser silenciadas. A arte vem, ao longo dos séculos, representando esses fatos por meio da poesia, do cordel, da música, de filmes e de diversas expressões artísticas.

O contínuo entendimento da ocorrência das secas, principalmente em tempos de mudanças climáticas, de seus efeitos e de sua dinâmica interação com o ser humano, é

fundamental para o desenvolvimento novos modelos de gestão dos recursos hídricos. Esses modelos devem ser participativos, descentralizados e sem discriminação racial. Para isso, é essencial encontrar-se com o passado, repetir e atualizar os acertos; encarar, assumir e refletir sobre os erros.

4.1.2 Os campos de concentração de secas como política pública nas secas de 1915 e 1932

Várias políticas públicas de curto e longo prazo foram implementadas no semiárido brasileiro para mitigar os efeitos da seca na sociedade (FRISCHKORN et al., 2003; MARENGO et al., 2021); entretanto, algumas dessas políticas foram desumanas. Neste tópico, discute-se o uso de campos de concentração como política pública no Ceará.

Ler e/ou ouvir sobre os Campos de Concentração é rememorar fatos absurdos ocorridos na história da humanidade. Claramente os Campos de Concentração nazistas, episódio imensamente descrito e documentado em incontáveis livros, séries, filmes e documentários, se apresentam imediatamente, bem como todos os horrores que foram cometidos pelo partido nazista alemão contra todos aqueles que enxergavam como inimigos (judeus, negros, homossexuais, ciganos, pensadores, etc.).

Entretanto, esse termo já havia sido utilizado para definir uma política pública no Estado do Ceará, em 1915, 18 anos antes do primeiro campo nazista construído na cidade de Dachau. Essa política pública foi orquestrada pelo então governador, coronel Liberato Barroso, que tinha como objetivo amparar os retirados pela seca que migravam de suas cidades, em busca de sobrevivência e fugindo da fome, das doenças e das demais mazelas consequentes do fenômeno extremo.

Existe uma diferença entre os Campos de Concentração nazistas e os Campos de Concentração das secas no Estado do Ceará. Os Campos do Ceará tinham a intenção de controlar e manter disciplinadas as populações pobres que se refugiavam das secas, sem a intenção direta de exterminá-las (ARAÚJO e FILHO, 2022).

Entretanto, sem a intenção direta ou fantasiada de caridade, os concentrados foram exterminados pela fome, por inúmeras epidemias de doenças disseminadas pela má higiene ofertadas pelos Campos, pela comida insuficiente e de má qualidade e pelo trabalho análogo a escravidão nas obras de emergências e frentes de trabalhos públicas e privadas (RIOS, 2014; LÔBO, 2022).

Além disso, os Campos de Concentração das secas se apresentam como exemplo

da biopolítica. Foucault (2005) explica que essa tecnologia de poder é de regulamentação, priorizando a vigilância no lugar da punição (porém, não a exclui), atuando em mecanismos biológicos como a natalidade, mortandade, higiene, saúde, alimentação, e lida com a população como um problema político, científico, biológico e de poder.

A “solução” de concentrar os sertanejos, como forma de impedir a sua chegada/mendicância nos centros urbanos, principalmente em Fortaleza, se coloca como uma forma de controle da massa viva para compensar os seus efeitos negativos. Esse sistema de biopoder, nos Campos de Concentração das secas, atentou para a questão das raças, hierarquizando os que sofriam com a seca como raça inferior, regulamentando seus direitos sobre a vida e a morte, sendo essa tecnologia um efeito do racismo.

Além dessas frentes de trabalho, os concentrados eram enviados para a construção de ruas e praças de Fortaleza, apresentando, o ano de 1915, um elevado número dessas obras e o desenvolvimento da capital (RIOS, 2014). Isso aponta que a mão de obra dos refugiados da seca era utilizada em regime análogo à escravidão, mascarado de caridade e suposta ajuda para os sertanejos.

O Campo de Concentração do Alagadiço, em Fortaleza, comportou permanentemente 8 mil pessoas e a sua dissolução ocorreu em dezembro de 1915, sendo os concentrados distribuídos pelas estradas, trabalhando, os que podiam. Registros históricos indicam que o governador do Ceará, em mensagem à Assembleia Legislativa do Estado, declarou que, devido a restrições financeiras para atender às necessidades da população faminta, a solução seria realocar os refugiados da seca dos campos de concentração para portos no Norte e no Sul do Brasil, com aproximadamente 70.000 pessoas sendo deslocadas (LIBERATO BARROSO, 1916).

Um importante romance brasileiro que retrata essa política é *O Quinze* (1930), de Raquel de Queiroz. Por meio da personagem Conceição, assistente em um campo de concentração em Fortaleza, são retratados os horrores enfrentados pelos retirantes nesses campos:

Conceição passava agora quase todo o dia no campo de concentração, ajudando a tratar [os doentes], assistindo à morte de centenas de crianças miseráveis e débeis, que os retirantes jogavam no chão, entre montes de trapos, com um lixo humano que aos poucos se fundia inteiramente no ambiente imundo onde jazia.

Nesse caso, a literatura ajuda a manter a memória coletiva sobre o uso dessa política pública na região.

Nos anos seguintes, essa política pública não foi restabelecida, provavelmente devido à ausência de migração significativa para Fortaleza resultante das secas subsequentes. No entanto, durante a seca de 1932, o governo estadual decidiu mais uma vez, com o apoio do governo federal, reintroduzir a política de campos de concentração. Naquele ano, um total de sete campos foram estabelecidos em todo o estado, distribuídos nas cidades de Crato, Cariús, Senador Pompeu, Quixeramobim, Fortaleza e Ipu, sendo estrategicamente posicionados ao longo das principais ferrovias, em um esforço para deter os fluxos migratórios para a capital cearense.

O jornal *A Ordem* (Figura 8) realizou uma visita no Campo de Concentração localizado no município de Ipú e que eles o chamavam de Campo da Solidade. O local estaria localizado a 4 km da cidade de Ipú, no sítio Espraiado de propriedade do Dr. Souto Maior (*A ORDEM*, 14/05/1932).

Figura 8 - Notícia sobre o campo de concentração de Solidade no município de Ipú/CE



Fonte: *A Ordem*, 1932

O diretor geral do Campo de Solidade era o Tenente Clovis Lima Pires e ainda contava com uma guarda cívica composta por 20 reservistas "...retirados de entre os flagelados". A descrição da visita conta que logo na entrada do campo se avistava a casa de depósito e a farmácia e, ao longo de uma entrada de 100 metros, era possível ingressar em outras dependências (*A ORDEM*, 14/05/1932).

Tanto para a esquerda como para direita, descreve o jornalista, havia ranchos repletos de imigrantes, em sua maioria crianças, e eram construídos "...sob a proteção de froudosos cajueiros e mangueiras de cópas expêssas". O relato continua e informa que, na parte

alta do terreno, localizavam-se três barracões, construídos de folhas de palmeiras, medindo 50 m por 8 m, com capacidade para concentrar 500 pessoas.

Os presos no Campo de Ipú tinham sua força braçal utilizadas em obras públicas e na limpeza urbana da cidade. As construções da cadeia pública e calçamentos pelas ruas do município de Ipú foram realizadas com a força dos retirantes. Estima-se que foram construídos cerca de quinze mil metros de calçamentos na cidade (ARAÚJO e FILHO, 2022).

O Campo de Concentração de Ipú concentrou cerca de 4.600 refugiados da seca (A ORDEM, 27/04/1932). Porém, Rios (2014) traz a informação de que no local estiveram concentradas aproximadamente 6.500 pessoas e Araújo e Filho (2022) afirmam que ali ficaram retidas cerca de 8.800 pessoas e que mais de 1500 pessoas, crianças em sua maioria, morreram no local.

Na região sul do Estado do Ceará foi instalado o Campo de Concentração de Buriti, no município de Crato. Assim como os demais, fora construído às margens da linha férrea em uma área de aproximadamente 100 metros de frente por 250 metros de fundo (LÔBO, 2022). Estima-se que, nesse campo, estiveram cerca de 16.200 pessoas, números oficiais, o que difere de alguns relatos que afirmam que estiveram concentradas ali cerca de 70 mil pessoas e tendo como diretor o tenente João de Pinho Pereira, ou seja, outro campo militarizado (A RAZÃO, 29/10/1936, LÔBO, 2022).

Como é comum em relatos históricos, esse campo, como os demais, não possui qualquer monumento frente à sua existência e, assim, silencia as histórias das pessoas que ali pereceram. Como afirma Lôbo (2022), ali faleciam dezenas de pessoas diariamente, enterrados em valas comuns. Ainda como forma de apagamento dessa história, foi construída, nas décadas de 1950 e 1960, por cima das valas onde foram enterrados os mortos do Campo de Concentração de Buriti, uma nova estrada que liga Crato a Juazeiro do Norte. Por fim, a câmara municipal de Crato alterou o nome da localidade de Buriti para Bairro Muriti, “forma, sem dúvida, de apagar a memória” (LÔBO, 2022).

No Sertão Central, especificamente no município de Quixeramobim, houve outro Campo na seca de 1932 e que possui escassos e imprecisos registros sobre a sua história.

A localização do Campo de Quixeramobim teria sido no entorno do canteiro de obras da barragem do açude Fogareiro e os retirantes seriam mão de obra importantes para a construção, mas que só teve as obras iniciadas entre o final de 1950 e começo de 1960. Além do mais, igualmente aos outros campos, teria como objetivo a não permissão da chegada dos refugiados a Fortaleza. Sua duração foi em torno de três meses (abril a junho de 1932), tendo a

maioria dos seus presos sido deslocados para a construção do açude Pompeu Sobrinho (LIMA e NETO, 2022). Outra vez, pode-se observar que a mão de obra dos refugiados era explorada pelas frentes de trabalho do Governo.

Esse Campo também era militarizado e dirigido pelo tenente Luiz Marques, tendo número oficiais de 4.542 pessoas concentradas, sem informação do número de refugiados que teriam sido mortos no local e/ou em frentes de trabalho (RIOS, 2014; A RAZÃO, 29/10/1936).

Nas pesquisas realizadas não se obtiveram muitas informações acerca do Campo de Concentração de Cariús, município localizado no Centro-Sul do estado do Ceará. A literatura informa somente o nome do tenente Enir Alencar Moura como sendo o diretor e que por ali foram concentradas 28.648 pessoas, sendo o Campo com o maior número de concentrados (A RAZÃO, 29/10/1936).

No município de Senador Pompeu foi instalado, próximo à barragem do Açude Patú, o Campo de Concentração de Patú, único que, atualmente, possui ruínas desse período tenebroso da história do Ceará. O Campo se localiza nas instalações da empresa inglesa, *Norton Griffiths & Company*, que era a responsável pela obra da construção da barragem e que estava paralisada em 1932 (Figuras 9 e 10). Entretanto, essas instalações eram utilizadas para armazenar os mantimentos que vinham para os concentrados, enquanto os flagelados se amontoavam em barracos de lona espalhados por toda a área do campo.

Muitos (exatamente 16.221) retirantes estiveram presos no Campo de Patú, onde era proibida a saída dos mesmos para as proximidades da cidade e a segurança era realizada por alguns dos próprios concentrados (RIOS, 2014).

Figura 9 - Galpão da *Norton Griffiths & Company* utilizada no Campo de Concentração de Patú, Senador Pompeu/CE



Fonte: Autor, 2022

Figura 10 - Galpão da *Norton Griffiths & Company* utilizada no Campo de Concentração de Patú, Senador Pompeu/CE



Fonte: Autor, 2022

Os retirantes que padeciam de fome e doenças, incluindo as crianças, eram enterrados em valas comuns ao redor de toda a área, sem lugar específico para esse fim. Décadas após, foi construído um cemitério simbólico no local como forma de homenagear os refugiados

que ali morreram. Há 40 anos ocorre a Caminhada da Seca, saindo da Igreja Matriz de Senador Pompeu até o cemitério da Barragem, sempre no segundo domingo do mês de novembro, como uma homenagem às vítimas da seca de 1932 e do Campo de Concentração. Na região, fala-se da santificação das pessoas que morreram nesse período e de graças e milagres alcançados por intermédio destes. Assim, há devotos do que se domina de ‘Almas da Barragem’ e o sítio histórico do Patú foi tombado, pela Coordenadoria de Patrimônio Cultural e Memória, em 2022, como Patrimônio Histórico e Artístico do Estado.

Em Fortaleza foram construídos dois Campos de Concentração, o Matadouro (no bairro Otávio Bonfim) e o Urubu (no bairro Pirambu). Entretanto, há incerteza sobre os locais exatos onde os Campos de Concentração foram erguidos. Segundo o jornal Diário do Nordeste, a partir da análise de registros oficiais, matérias de jornais e depoimentos de pesquisadores, o Campo de Concentração do Urubu se localizava na vizinhança da Rede de Aviação Cearense, atualmente o local abriga o Museu Ferroviário da antiga RFFSA (Rede Ferroviária Federal S.A) (NASCIMENTO, 2019).

A capital do Estado passava então por um período de desenvolvimento e a elite fortalezense incomodava-se com a presença de pedintes e flagelados pelas ruas da cidade em época de seca. Assim, a construção dos campos, em locais distantes das áreas nobres, nas margens das linhas férreas de Baturité e de Sobral, foi uma forma de isolar essa população indesejada na cidade (RIOS, 2014).

Estima-se que, nos dois campos de Fortaleza, o número de concentrados era de 1.800, um número bem inferior aos concentrados no Campo do Alagadiço em 1915. Rios (2014) afirma que essa diminuição se deu pela construção de outros cinco campos, localizados às margens das linhas férreas que se destinavam a Fortaleza. Logo, os retirantes eram impedidos de se deslocarem até a capital.

Entretanto, alguns retirantes conseguiram chegar até Fortaleza e foram destinados aos dois campos e, posteriormente, principalmente homens e jovens, tiveram a sua mão de obra usada em serviços públicos e privados. Além disso, o Campo de Concentração se tornou um ponto turístico, sendo visitado pelos turistas do cruzeiro interestadual ‘Touring Club’ (RIOS, 2014).

Tanto na seca de 1915 quanto na de 1932, inúmeras vidas foram ceifadas pela fome, no deslocamento de grandes distâncias a procura de algum lugar que pudessem socorrê-los, nos Campos de Concentração e nas frentes de trabalho, inclusive na construção de açudes. Concorda-se com o que afirma Rios (2014) de que os Campos foram locais de isolamento dessa

população, majoritariamente preta, parda e indígena.

As mãos e o suor desses concentrados estão marcados nas barragens de açudes distribuídos pelo Estado do Ceará. Poucos concentrados tiveram acesso ao recurso hídrico, armazenado nesses açudes, que lhes faltavam durante o período de estiagem e que os levaram aos Campos de Concentração. E, mesmo após políticas de gestão e da política da açudagem, muitos de seus descendentes não tiveram ou têm acesso à água dos reservatórios que ajudaram a construir (SALINAS et al., 2019).

É evidente que os Campos de Concentração das secas no Ceará devem ter suas histórias contadas e expostas para a toda a sociedade e ser objetivo de estudo, tanto nas áreas de humanas, como por estudiosos e pesquisadores que destinam seus trabalhos à gestão de recursos hídricos. Por fim, faço para mim e compartilho o mesmo questionamento feito por Figueiredo e Filho (2022): Por que revolta a câmara de gás em Auschwitz – não minimizando esse fato – e não revolta a falta de comida, a corrupção, a morte deliberada nos Campos de Concentração no Ceará em 1915/1932?

A história dessa política pública desumana serve como um conto de advertência para a sociedade e os governos. Esta narrativa ressalta a necessidade urgente da implementação de políticas públicas justas e humanitárias para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e seus impactos nas comunidades vulneráveis, e indica a importância de adotar uma perspectiva histórica para informar as práticas hidrológicas presentes e futuras (IAHS, 2023).

4.1.3 A história da infraestrutura hídrica no Ceará

Na região semiárida do Brasil, uma das áreas semiáridas mais densamente povoadas do mundo, uma série de políticas públicas propostas pelo governo, agricultores, sociedade civil e setor privado foi implementada para mitigar o impacto das secas descritas na sociedade (MARENKO et al., 2021). Esta seção discute a progressão da infraestrutura hídrica nessa região, destacando as principais políticas públicas que facilitaram seu desenvolvimento.

O início da política da açudagem no começo do século XIX e o desenvolvimento da açudagem em cooperação de 1930 a 1970

A criação da Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS) em 1909, pelo Decreto 7.619, de 21 de outubro de 1909, foi fundamental para a continuação de obras hídricas no

Nordeste do país, especialmente no Estado do Ceará. Em 1919, pelo Decreto 13.687, teve o seu nome mudado para Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS) e por último, e atual nome, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) pelo Decreto-Lei 8.486 de 28 de dezembro de 1945 (GUERRA, 1981).

Com a histórica seca de 1932 e seus tristes efeitos, o DNOCS decidiu construir o açude Lima Campos, no município de Icó, naquele mesmo ano. As obras tiveram início em abril de 1932 e deu-se a conclusão em dezembro daquele mesmo ano, com potencial de armazenar 66 hm³. A partir de 1945, principalmente entre as décadas de 1950 e 1960, o DNOCS intensificou suas obras de construção de açudes, como afirma Araújo (1990): “dedicou-se a fazer água”.

Em 15 de dezembro de 1959 é instituída, pela Lei Nº 3.692, a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Guerra (1981) narra que, após a seca de 1958, o Presidente do Brasil, Juscelino Kubitschek, queria elaborar um plano especial para o Nordeste. Assim, o presidente teria entrado em contato com o economista e nordestino Celso Furtado. Ao que conta que um relatório do economista “Uma política de desenvolvimento do Nordeste” transformou-se na meta 31 do plano que seria a própria SUDENE. A partir de 1960, o autor afirma que se iniciava a fase SUDENE/DNOCS para os açudes em cooperação.

Dessa forma, a população, percebendo o sucesso das grandes obras públicas, investiu na construção de pequenas barragens. Por outro lado, o DNOCS investiu em açudes em cooperação, ou seja, açudes construídos em terrenos privados, mas com parte da verba ou vindo do departamento federal.

A partir de um banco de dados do DNOCS, com informações de 431 açudes não estratégicos, construídos em regime de cooperação, tem-se a ideia da evolução destes ao longo da história do Ceará (PINHEIRO, 2004). Entre os anos de 1913 e 1929 foram construídos no Estado do Ceará cerca de 25 açudes em cooperação, de acordo com Pinheiro (2004). Na base de dados do DNOCS, 21 açudes foram construídos somente em 1933, como resposta à seca de 1932. Para se ter a importância dessas obras, quatro desses açudes tiveram a notícia das suas conclusões publicadas no periódico O Jornal. A publicação, sob o título “Açudes inaugurados”, informa o nome do açude, sua capacidade, o nome do proprietário e o valor do prêmio pago (O JORNAL, 22/09/1933). Durante a década de 1930 foram construídos 104 açudes em cooperação.

A política da açudagem em cooperação se estabelece fortemente no estado e continua na década de 1940 com a construção de 122 novos açudes que, juntos, acumulam 283

hm³. A década de 1950 também foi importante para a açudagem, influenciado pelos efeitos das secas que ocorreram nesse período. Assim, pelo DNOCS, em regime de cooperação, foram construídos 91 açudes adicionando à rede de açude em cooperação o total de 228. hm³.

Destaca-se a mensagem apresentada à Assembleia Legislativa do Estado do Ceará, documento de 1956, em que o então governador Paulo Sarasate descreve os trabalhos realizados pelo Departamento de Saneamento e Obras Públicas (DSOP), divisão de açudagem e irrigação, em relação à açudagem. O Governador resume os trabalhos da DSOP em 1955: 74 açudes projetados, 133 estudados, 73 locados, 129 em construção e 90 açudes concluídos (SARASATE, 1956).

Os açudes concluídos pelo DSOP tinham a capacidade de armazenamento entre 46.400 m³ (açude Xaino no município de Lavras da Mangabeira, Ceará) e 2.108.00 m³ (açude Porecatú em Itapagé, Ceará). O documento informa o valor do prêmio pago aos donos das propriedades, que variavam entre Cr\$ 22.313,00 e Cr\$ 70.00,00 (SARASATE, 1956).

Até o ano de 1967, a açudagem em cooperação continuou se desenvolvendo no Nordeste brasileiro. Entre 1960 e 1967 foram executadas 89 obras no Estado do Ceará ofertando ao sistema um total acumulado de 254 hm³. Entre 1967 e 1988 não se encontram informações de outras obras de construção para açudagem em cooperação.

Na publicação “Barragens no Nordeste do Brasil”, editada pelo DNOCS, de 1990, conta-se que entre os anos de 1911 e 1967 foram construídos o total de 443 açudes pelo programa de açudagem em cooperação com a capacidade de armazenamento cumulado de 1095 hm³. Entre os anos de 1988 e 1989, foram construídos mais 14 açudes totalizando em 457 o número de obras executadas em cooperação entre os anos de 1911 e 1989 com capacidade total de acumulação de 1.084 hm³.

A partir da década de 1990, o Estado do Ceará, com a criação da Secretaria de Recursos Hídricos, intensifica a construção de açudes estratégicos, que antes eram delegadas à Federação, sendo a maioria destes projetados e executados pelo Governo do Estado e alguns com aporte financeiro do Governo Federal, tema que será abordado no tópico a seguir.

O desenvolvimento dos açudes estratégicos e projetos de infraestrutura hidráulica

A primeira grande obra hídrica do país foi a construção do açude Cedro, em Quixadá-CE, entre os anos de 1890 e 1906, obra essa solicitada pelo então Imperador Dom Pedro II. O Cedro, como já afirmado anteriormente, veio motivada pelos efeitos devastadores

da Grande Seca, que ocorreu de 1877 até 1879.

Outros açudes estratégicos tiveram as suas construções realizadas em meados do ano de 1900. São eles: açude do Batalhão ($1,53 \text{ hm}^3$), em Crateús, São Domingos II ($2,25 \text{ hm}^3$), em Caririaçu, e São José III ($7,960 \text{ hm}^3$), em Ipaporanga, todos administrados pelo Estado e tiveram o monitoramento iniciado em 2013, 2010 e 2009, respectivamente.

Em 1907, um ano após a construção do Cedro, é inaugurado o açude Acaraú-Mirim (40 hm^3), localizado no município de Massapé. O açude, que teve o seu monitoramento iniciado apenas em 1986, é administrado pelo DNOCS. Entre 1908 e 1915 não foi inaugurado nenhum açude que foi inserido na rede dos açudes estratégicos. Em 1916, em Miraíma, é construído o açude S. Pedro Timbaúba com uma capacidade de 16 hm^3 . Seu monitoramento também foi iniciado em 1986 e é administrado pelo DNOCS.

Entre 1917 e 1919 foram construídos mais quatro açudes, dois em 1918 e dois em 1919, que posteriormente integrariam a rede de açudes estratégicos, todos administrados pelo DNOCS. No primeiro ano inauguraram-se os açudes Riacho do Sangue, em Solonópole, com capacidade de 58 hm^3 , e o Salão, localizado Canindé, com capacidade máxima de 6 hm^3 . No ano seguinte foram inaugurados os açudes Tucunduba, em Senador Sá, com capacidade para armazenar 41 hm^3 e o açude Várzea da Volta, em Moraújo, com capacidade máxima de 12 hm^3 .

Na década seguinte foram construídos mais sete açudes, acumulando um total de 131 hm^3 , com destaque para os açudes Forquilha, construído em 1921 e localizado em Forquilha, com capacidade de 50 hm^3 e o Acarape do Meio, em Redenção, construído em 1924, armazenando 30 hm^3 e único administrado pelo Estado. Os outros seis são administrados pelo DNOCS.

A década de 1930 foi importante no cenário do Estado do Ceará em diversas perspectivas. Primeiramente, a seca de 1932 provocou efeitos negativo intensos a população sertaneja, forçando o êxodo para outras regiões. Em abril de 1932 se inicia a construção do açude Lima Campos, localizado em Icó, e com capacidade máxima de 66 hm^3 . Segundo Araújo (1990) a técnica empregada para a compactação foi manual, para aproveitar a mão de obra disponível criada pela seca.

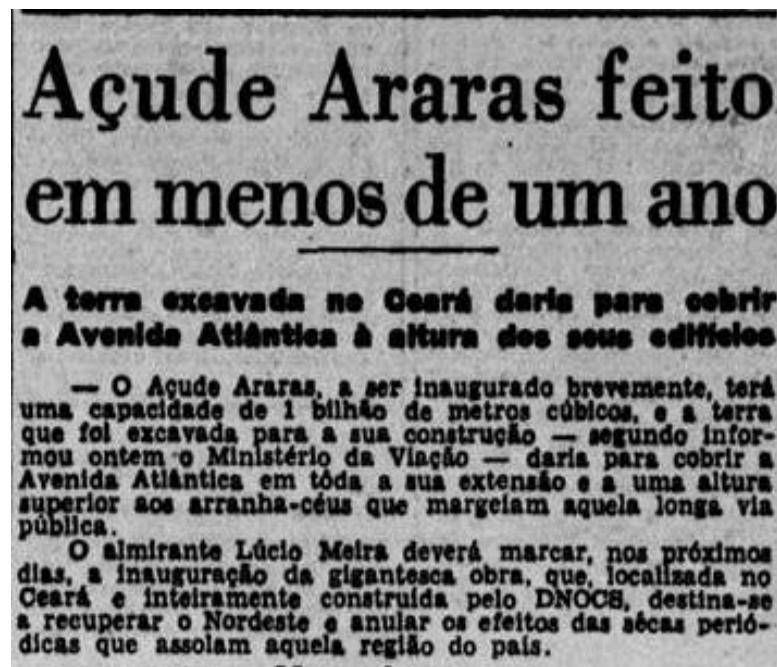
Há registros, no relatório dos trabalhos realizados pelo IFOCS no triênio de 1931-1933, do uso de mão de obra infantil e de mulheres na construção da barragem do açude Lima Campos (IFOCS, 1934). Além disso, segundo Rios (2014), o relatório esboça uma explicação para tentar legitimar tal ato. Essa argumentação partia do pressuposto que haviam mulheres viúvas e abandonadas nos campos de concentração e que, muitas das vezes, crianças eram

responsáveis pela sustentação das famílias. Logo, “o aspecto humanitário influiu... na admissão de menores nas residências de construção”.

Outros seis açudes foram construídos ao longo da década de 1930, todos administrados pelo DNOCS e acumulando uma capacidade total de 676 hm³. Destacam-se os açudes Pompeu Sobrino, em Choró, inaugurado em 1934, com capacidade máxima de 143 hm³; o General Sampaio, localizado no município homônimo, construído em 1935 e com capacidade de 322 hm³ e o Ayres de Sousa, em Sobral, no ano de 1936, sendo a sua capacidade de 97 hm³. Na década de 1940, no ano de 1946, foi construído o açude do Coronel, com capacidade de 1,77 hm³ e localizado em Antonina do Norte, administrado pelo Estado e o único da década.

Nos anos 1950 foram construídos mais quinze açudes, acumulando cerca de 1.447 hm³. Nessa década destaca-se a construção do açude Pentecoste, localizado no município homônimo, em 1957, com capacidade inicial máxima de 396 hm³ e o Araras, inaugurado em 1958 (Figura 11), o quarto maior de toda a rede, localizado em Varjota, com capacidade atual de 859,5 hm³.

Figura 11 - Notícia sobre o açude Araras



Fonte: Jornal do Commercio (RJ), 23/08/1958

À época da construção do açude Pentecoste e açude Araras houve relatos na mídia nacional, mas não foram encontradas matérias nos jornais do Estado do Ceará.

Em 1951 já se iniciavam as obras civis do açude Araras e em 1953 começou-se a construção da barragem auxiliar, onde trabalharam 7.630 pessoas. Dessas, 90% eram lavradores

vítimas dos efeitos da seca. Em 1953, encontram-se denúncias sobre a exploração de mão de obra e, na data de 6 de novembro de 1953, o jornal Imprensa do Popular, do Rio de Janeiro (Figura 12), faz a seguinte matéria: “Massacrados pela polícia cearense os trabalhadores do açude Araras”. Em 14 novembro, em um jornal de São Luiz – Maranhão, é noticiado o assassinato do líder dos trabalhadores do açude Araras (IMPRENSA POPULAR 06/11/1953; TRIBUNA DO POVO, 14/11/1953; ARAÚJO, 1990).

Por conta da exploração da mão de obra, os trabalhadores começaram a exigir melhores condições, o que desagradou a administração da obra, sob a chefia do engenheiro Luiz Saboia. Isso desencadeou, segundo a reportagem, do Jornal Tribuna do Povo de 1953, “um terror sangrento contra três mil homens”. Assim, a polícia especial do açude, assassinaram o líder dos trabalhadores, Antônio Cândido, morrendo também no conflito o chefe da polícia do açude. Assim, por conta da revolta que o crime causou nos trabalhadores, o Governador do Estado do Ceará, Raul Barbosa, enviou centenas de policiais para “lançá-los contra os trabalhadores” (TRIBUNA DO POVO, 14/11/1953).

Dias após aos fatos citados acima, outro jornal fez denúncias graves afirmando que havia “...trabalho verdadeiramente escravo e os baixíssimos salários”, além de uma carga horária entre 16 e 18 horas. A reportagem ainda afirma que o DNOCS conhecia o hábito dos fornecedores e que “estes se encarreguem do assalto aos miseráveis salários dos trabalhadores”. Além do mais, os salários eram atrasados por meses seguidos e os barracões, locais em que moravam nas obras, cobravam o dobro ou o triplo do preço pelos alimentos fornecidos, motivo pelo qual, segundo a reportagem, os trabalhadores acabavam recebendo, no dia do pagamento, vales, enquanto o dinheiro seguia para a mão dos fornecedores (IMPRENSA POPULAR, 17/11/1953; TRIBUNA DO POVO, 07/08/1954).

Figura 12 - Notícias sobre a exploração de mão de obra na construção do açude Araras



Fonte: Imprensa Popular, 17/11/1953 e Tribuna do Povo, 14/11/1953

No açude Pentecoste, não foi diferente. Na época, era noticiada a informação que 800 trabalhadores eram “brutalmente” explorados, entre eles 200 adolescentes com idades entre 15 e 17 anos que trabalhavam de 9 a 11 horas por dia, mesma carga horária dos adultos e com baixos salários. Além disso, viviam em barracões que não possuíam capacidade para a metade desse número e muitos dos trabalhadores viviam sob as árvores (VOZ OPERÁRIA, 25/09/1954).

Nesse contexto, nove açudes foram inaugurados na década de 1960, totalizando uma capacidade de armazenamento de 3.820 hm³. Dois importantes açudes foram inaugurados nessa época: em 1962 foi inaugurado o açude Orós (Figura 13), o maior açude do Ceará da época, com capacidade máxima atual de 1.940 hm³. O açude Banabuiú, construído em 1966, localiza-se no município de Banabuiú, com capacidade atual de armazenamento de 1.534 hm³. Após a construção desses dois açudes, a capacidade de armazenamento hídrico do Estado do Ceará dobrou.

Figura 13 - Notícia sobre a construção do açude Orós e visita do militar e presidente do Brasil na época Humberto Castelo Branco na inauguração do açude Banabuiú.

Açude de Orós: Obra de 40 Anos

Motivo até de cantigas e anedotas, a construção do açude de Orós, no Ceará, arrasta-se desde 1919, à época do Governo de Prudente de Moraes. Paralisado inúmeras vezes, este açude beneficiará mais de 10 mil hectares dos sertões do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Sua capacidade de água será maior do que a própria Baía de Guanabara. Represará o Rio Jaguaribe, o atualmente maior rio seco do mundo. Como já dissemos, todos os rios do "Polígonos das Sècas" estão completamente secos.



MUDOU DE NOME — O presidente Castelo Branco inaugura ontem o Açude Banabuiú, mudando-lhe o nome para "Açude Líbias" — localizado no Município de Quixadá, com capacidade de 1,5 bilhão de metros cúbicos e as comportas de 12 milhas com elas e barragem principal com altura de 57 metros. O açude será aproveitado para irrigação, fiscalização e energia hídrica e recebeu o novo nome numa cerimônia em que estiveram presentes também, o Governador Virgílio Távora, o Ministro Juarez Távora, o general Ernesto Geisel, o comandante da 10ª Região Militar, general Humberto Elizeu, o vigário de Quixadá, padre Luis Braga Rocha.

Nos dez anos seguintes, entre 1970 e 1979, foram inaugurados quatro açudes, totalizando uma capacidade de armazenamento de 497 hm³. Destaque-se o açude Pedras Brancas, localizado em Quixadá e inaugurado em 1978, armazenando 456 hm³.

Na década de 1980 trinta açudes foram concluídos. A capacidade de armazenamento acumulada por esses reservatórios atualmente é de 1.370 hm³. Entretanto, importantes açudes para o abastecimento de Fortaleza e sua região metropolitana foram inaugurados em 1981, como é o caso de Pacoti, em Horizonte, e o Riachão, em Itaitinga, com capacidades atuais de 372 hm³ e 49,8 hm³, respectivamente. Outro importante açude construído nessa época foi o Edson Queiroz, inaugurado em 1987, localizado em Santa Quitéria, com capacidade máxima atual de 254 hm³.

Ainda na década de 1980, foram criados dois órgãos fundamentais para a gestão e implementação de infraestrutura hídrica no Estado do Ceará. A partir da Lei Nº 11.306, de 01 de abril de 1987, foi criada a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) com a missão de promover a oferta, gestão e a preservação dos recursos hídricos do Estado. Também foi criada a Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA), que tem como competência a implantação de infraestrutura hídrica, executando trabalhos de fiscalização e construção de barragens, eixos de integração, canais, adutoras poços e sistemas de abastecimento de água. A lei de criação teve Nº 11.380, assinada de 15 de dezembro de 1987 (CEARÁ, 2023; SOHIDRA, 2023).

No ano de 1990 há a inauguração de três açudes estratégicos: Carnaubal (81 hm³),

Quandú (3 hm³) e Tejuçuoca (28 hm³), localizados, respectivamente, em Crateús, Itapipoca e Tejuçuoca. No ano seguinte, 1991, mais dois açudes são construídos: Atalho, localizado em Brejo Santo, com capacidade de 72 hm³, e o Quincoé, localizado em Acopiara, sendo a sua capacidade máxima de 4 hm³.

Em 1992 o Estado do Ceará se torna o segundo Estado do Brasil a ter a própria Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), Lei Nº 11.996 de 24 de julho de 1992. A Política Nacional de Recursos Hídricos começaria a vigorar cinco anos depois, pela Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Nos princípios de aproveitamento do Art. 1º da PERH evidencia-se que o aproveitamento da água deve ter como prioridade maior o abastecimento humano e que esses reservatórios de acumulação de águas superficiais, os açudes, devem ser incentivados para uso múltiplo.

No ano seguinte, por meio da Lei Nº 12.217 de 18 de novembro de 1993, é criada a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH), que tem como finalidade “gerenciar a oferta dos recursos hídricos constantes dos corpos d’água superficiais e subterrâneos de domínio do Estado”. Um de seus objetivos é a quantificação de disponibilidade e demanda hídricas para os usos múltiplos.

Nesse mesmo ano, 1993, foi construído o Canal do Trabalhador, que capta água em Itaiçaba, Baixo Rio Jaguaribe, transportando água por meio de um canal até o açude Pacajus. Posteriormente a água é transportada, via Canal Ererê, para o açude Pacoti/Riachão, e então para o açude Gavião, via canal Richão/Gavião, com o objetivo de abastecer a Região Metropolitana de Fortaleza.

Nesse mesmo contexto, foi criado o Projeto de Desenvolvimento Urbano e Gestão de Recursos Hídricos (Prourb) que foi implementando a partir de 1995. Parte do Prourb foi financiado por empréstimo via Banco Mundial e como resultado o projeto construiu 13 açudes e 23 adutoras no Estado do Ceará (UOL, 17/04/2015).

De 1992 até 1999 foram inaugurados mais 33 açudes estratégicos no Ceará, acumulando uma capacidade de armazenamento de 1.640 hm³. O maior açude construído nesse período foi o Trussu, em 1996, com capacidade atual de armazenamento de 255 hm³, seguido pelo Pacajus, em 1993, que possui capacidade máxima de 254 hm³, Sítio Novos, em 1999, e Fogareiro, em 1996, com capacidades de 127 hm³ e 118 hm³, respectivamente. No fim dos anos 1990 o Estado do Ceará dispõe de uma capacidade de armazenamento acumulada, que é diferente de disponibilidade hídrica, de 10.085 hm³.

Entre os anos 2000 e 2001 foram construídos mais seis açudes no Ceará,

acumulando uma capacidade de 264 hm³. No ano seguinte, 2002, é inaugurado o açude Castanhão (Figura 14), maior açude do Estado e o maior para usos múltiplos da América Latina, com capacidade atual de armazenamento de 6.700 hm³.

Outro projeto começa a ser executado a partir dos anos 2000. Criado em 1997 e aprovado em 2000, o Projeto de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (PROGERIRH) foi fundamental para a construção dos eixos de integração entre bacias hidrográficas, bem como na construção de açudes. O PROGERIRH, assim como o Prourb, teve financiamento do Banco Mundial e também do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), nessa primeira etapa foram construídos seis açudes e três eixos de integração.

Uma das obras de grande importância realizada no escopo do PROGERIRH foi o Eixo das Águas, que realiza a transposição das águas do açude Castanhão para a Região Metropolitana de Fortaleza. Em 2008 o PROGERIRH recebeu um financiamento adicional e construiu mais cinco açudes e cinco adutoras (ADECE, 11/06/2014; UOL, 17/04/2015). Até o ano de 2009 foram inaugurados mais doze açudes, totalizando na década o total de 19 açudes e adicionando na rede uma capacidade de acumulação de quase 7.500 hm³. Assim, no final da década de 2000, o Estado do Ceará possuía uma capacidade de armazenamento de 17.540 hm³.

Figura 14 - Notícia da inauguração do açude Castanhão

FHC inaugura amanhã Açude Padre Cícero

SÃO PAULO - O presidente Fernando Henrique Cardoso inaugura hoje, às 11 horas, no Ceará, o açude do Castanhão, que será denominado Padre Cícero, em homenagem a uma das maiores personalidades religiosas do Nordeste. Segundo o governo federal, a entrada em funcionamento permitirá ao açude acumular até 6,5 bilhões de metros cúbicos de água.

A barragem do Castanhão deve aumentar a vazão do Rio Jaguaribe de 22 para 57 metros cúbicos por segundo. Com isso, a área irrigada deve ser expandida em 43 mil hectares. A obra deve

assegurar, mesmo nos anos críticos, o abastecimento de água ao Baixo Vale e à Região Metropolitana de Fortaleza.

A barragem de 60 metros de altura formará um lago artificial que cobrirá uma área de 32,5 mil hectares na sua cota de sangria e de 60 mil hectares na cota de enchente máxima provável.

Fernando Henrique chegará à barragem, de helicóptero às 10h35. Ele retornará a Brasília às 13h40, com chegada prevista para as 17 horas.

Subestação - Em outro evento do governo federal no Nordeste, o

vice-presidente Marco Maciel inaugurará hoje, em Igarassu, na região metropolitana de Recife, a subestação Paulo Ferro da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf). O governador Jarbas Vasconcelos e o presidente da Chesf, Mozart de Siqueira Campos, participarão da solenidade.

Depois, na sede da companhia, a diretoria da Chesf apresentará ao vice-presidente e a autoridades do setor elétrico nacional um balanço das obras realizadas pela empresa em 2001 e 2002. Segundo a Chesf, foram investidos R\$ 600 milhões no período.

Fonte: Tribuna da Empresa (RJ), 23/12/2002

Nos últimos treze anos, de 2010 até 2022, foram inaugurados outros 17 açudes, totalizando uma capacidade de armazenamento de 1.177 hm³. Nesse período, destaca-se a construção do açude Taquara, em 2010 e localizado no município de Cariré, com capacidade

de 320 hm³ e açude Figueiredo, em 2013 no município de Alto Santo, com a máxima capacidade de 510 hm³.

Desta forma, o Estado do Ceará possui atualmente uma rede de 157 açudes estratégicos, distribuídos em 108 municípios, dos 184 que compõem o Estado, totalizando uma capacidade de armazenamento de 18.517,5 hm³, divididos em doze regiões hidrográficas.

Tabela 4 - Número de açudes estratégicos e sua capacidade de acumulação por região hidrográfica no Estado do Ceará.

Região hidrográfica	Número de reservatórios	Capacidade de armazenamento (hm ³)
Acaraú	15	1720
Alto Jaguaribe	24	2700
Baixo Jaguaribe	1	25
Banabuiú	19	2675
Coreaú	10	300
Curu	14	1056
Litoral	10	206
Médio Jaguaribe	15	7374
Metropolitana	23	1451
Salgado	15	448
Serra da Ibiapaba	1	140
Sertões de Crateús	10	412

Fonte: Ceará, 2023

A rede de açudes estratégicos está bem estabelecida no Estado do Ceará e, adicionada dos canais construídos ao decorrer do tempo, é utilizada para atender as demandas de abastecimento humano das zonas urbanas, de irrigação e da indústria. Porém, essas demandas são aumentadas a partir dos anseios humanos e econômicos.

Uma das maiores demandas hídricas do Estado é para a região metropolitana de Fortaleza, com mais de 4 milhões de habitantes, bem como para as zonas industriais dentro dessa região, como é o caso do Complexo do Pecém. Em 1993, com a crise hídrica que se passava em Fortaleza e na RMF, foi construído o Canal do Trabalhador, para suprir essa demanda. Parte da água do açude Castanhão também é deslocada para a RMF, suprindo parte da demanda humana e industrial, através do Canal da Integração.

A partir do final dos anos 2000 a política da açudagem perde força no Estado, principalmente pela rede que já está estabelecida e há saturação hidrológica na região. Apesar

disso, algumas iniciativas estão sendo adotadas, como a construção do açude Canto das Pedras, que será construído nos municípios de Granja e Coreaú, com capacidade de 1 bilhão de m³.

Os açudes estratégicos foram construídos principalmente para fornecer água para consumo humano em áreas urbanas e apoiar a economia baseada na agricultura do Ceará durante a maior parte do século XX. Desde a década de 1930 até a década de 1970, a política da açudagem em cooperação promoveu a construção generalizada de açudes menores para melhorar o acesso da população rural às fontes de água, principalmente para consumo humano e produção agrícola em pequena escala. No entanto, com o rápido processo de urbanização durante a década de 1970 e a transformação da economia na década de 1990, que deixou de ser baseada na agricultura para se tornar mais industrializada (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020), o uso da água pelo setor industrial se intensificou. Atualmente, as demandas para irrigação, abastecimento humano e indústria correspondem a aproximadamente 62%, 25% e 13%, respectivamente (CEARÁ, 2005).

Interações emergentes entre ser humano e água no Ceará

A escassez de água se tornou uma questão urgente na maioria dos continentes nas últimas décadas e sua frequência e gravidade devem aumentar ainda mais devido às mudanças climáticas e à maior demanda por água (ARAÚJO et al., 2004; SHEFFIELD et al., 2012; ROSA et al., 2020; UCHÔA et al., 2023). Nesse contexto, a história da seca na região semiárida brasileira pode oferecer perspectivas valiosas sobre a coevolução dos sistemas ser humano-água para outras partes do mundo, que também enfrentam problemas semelhantes de escassez de água.

De fato, ao longo dos séculos, as secas nesta região resultaram na perda de milhares de vidas, dificuldades econômicas e migração em massa. No entanto, a experiência também demonstra que é possível enfrentar esses desafios por meio da implementação de estratégias de longo prazo e esforços colaborativos entre partes interessadas governamentais e não governamentais (MARENGO et al., 2021), principalmente o início de projetos de barragens no século XX (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020).

A rede de açudes estratégicos implementada no Ceará, juntamente com os canais, como evidenciado anteriormente, melhorou as condições de vida durante as secas (NUNES e MEDEIROS, 2020), reduzindo seus impactos na sociedade ao longo do tempo. No entanto, o Ceará agora enfrenta novos desafios. Por exemplo, as demandas continuam a aumentar devido

ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico, principalmente na RMF, bem como suas zonas industriais, como o Complexo do Pecém.

Em resposta a isso, o Canal do Trabalhador foi construído para atender a essa demanda. Ou seja, transferindo capital hidráulico de uma região, politicamente e economicamente mais frágil, para atender as demandas de uma região mais populosa e rica. Além disso, parte da água do açude Castanhão é desviada para a RMF, atendendo às necessidades humanas e industriais, por meio do Canal da Integração. O fornecimento de água para a RMF é complementado pelo projeto de transposição do Rio São Francisco, direcionado ao açude Castanhão, com o objetivo de aumentar a segurança hídrica do estado durante os períodos de seca.

Outro desafio significativo para o Ceará é garantir o acesso democrático à água. Há uma tendência predominante de centralizar os recursos hídricos em projetos de grande escala (FRISCHKORN et al., 2003), enquanto estruturas menores são frequentemente vistas como potencialmente prejudiciais ao sistema geral devido ao seu impacto percebido na redução de fluxos para reservatórios maiores (RIBEIRO NETO et al., 2021). No entanto, estudos indicam que pequenos açudes dispersos pela região desempenham um papel vital na sustentação das populações rurais e são essenciais para a cultura local (PEREIRA et al., 2019). Além disso, eles têm o potencial de serem utilizados de forma mais eficaz para expandir a produção agrícola e aumentar a eficiência energética na distribuição de água sem comprometer a integridade de todo o sistema hidrológico (NASCIMENTO et al., 2019; LIMA et al., 2023).

No entanto, ainda há necessidade de estudos para examinar o impacto de pequenos açudes no desenvolvimento e implementação de políticas de gestão de secas e estratégias de gestão de açudes em escala regional (RABELO et al., 2021; COLOMBO et al., 2023). A construção de açudes sem uma abordagem abrangente de gestão de bacias hidrográficas pode inadvertidamente aumentar a demanda por água ou exacerbar, ou mesmo desencadear, eventos de seca (VAN LANGEN et al., 2021). Além disso, uma preocupação significativa é o "efeito de reservatório" (DI BALDASSARRE et al., 2018), pelo qual a dependência excessiva de açudes promove uma falsa sensação de segurança, deixando a sociedade mais vulnerável quando ocorrem secas.

Além disso, pesquisas adicionais, mas principalmente ações, incluindo saneamento básico, são essenciais para garantir a boa qualidade da água armazenada nesses reservatórios, principalmente durante secas hidrológicas, pois podem sofrer degradação significativa (LIMA NETO et al., 2022; ROCHA et al., 2023). Essa preocupação é amplificada no contexto de

mudanças globais, que além das mudanças climáticas incluem também as alteração antrópicas no meio, rápida urbanização e mudanças no uso do solo, o que pode tornar esses açudes mais suscetíveis a problemas de qualidade da água (RAULINO et al., 2021; FREIRE et al., 2023).

Estudos recentes indicaram que a variabilidade hidrológica, seguida pela intermitência dos rios, se intensificou não apenas em ambientes secos, mas também em outros lugares. Portanto, espera-se que as interações entre hidrologia e sociedade se tornem mais evidentes, com a primeira moldando a tomada de decisão humana e a última modificando os fluxos de água, criando um ciclo de *feedback* que impacta a sociedade mais uma vez. O exemplo de adaptação às secas na Bacia do Rio Jaguaribe por meio da implementação de uma rede de reservatórios pode servir de modelo para outras regiões que já enfrentam estresse hídrico ou que podem enfrentar o problema no futuro. Além do represamento de rios, outros exemplos de medidas para lidar com secas na região de estudo, implementadas durante e após a recente e duradoura seca (2012-2017) (ZHANG et al., 2021) incluem o monitor de secas, o plano estadual de convivência com as secas, o centro estratégico de excelência em políticas de águas (CEPAS) e a alocação negociada de água (PEREIRA et al., 2023).

A evolução da rede de açudes estratégicos e sua capacidade de armazenamento acumulado no Ceará, conforme apresentado aqui, se desenrolou ao longo de 120 anos em resposta às secas recorrentes da região. Essa política da açudagem passou por várias fases, conforme descrito ao longo do texto. No entanto, sua realização só foi possível por meio dos esforços conjuntos de atores governamentais e sociais. A evolução dessa rede de açudes estratégicos como resposta às secas pode servir como uma base valiosa para o avanço dos estudos na dinâmica do sistema humano-água. Como mencionado acima, várias questões científicas permanecem em aberto, e esses estudos são necessários para garantir a segurança hídrica da região diante dos novos desafios do milênio.

4.2 Capítulo 2 - Promoção da segurança hídrica no semiárido brasileiro: Expansão da infraestrutura de armazenamento de água e coevolução do sistema ser humano-água

4.2.1 *Dinâmica temporal do sistema*

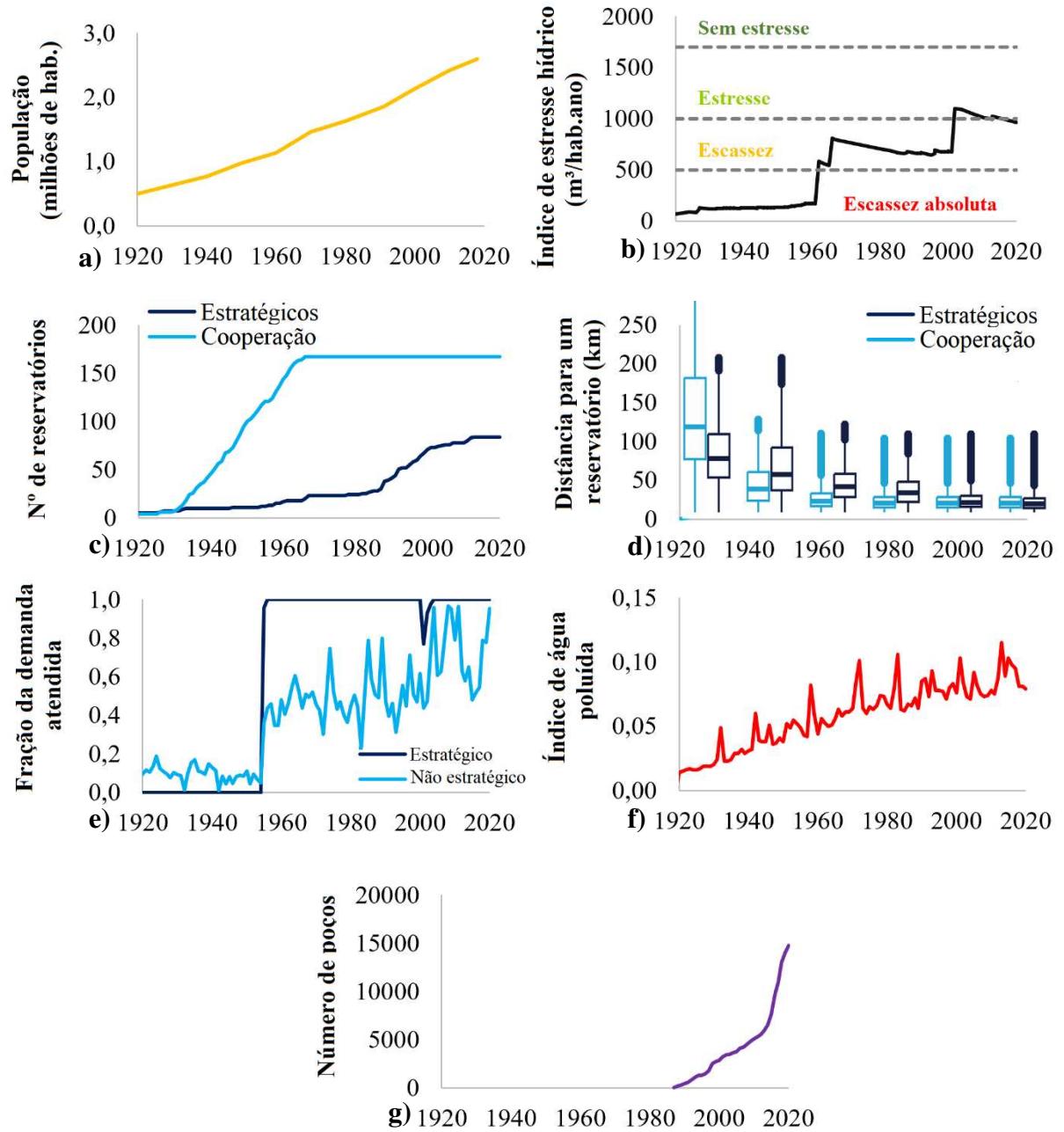
No início dos anos 1900, aproximadamente 323.000 habitantes viviam na Bacia do Rio Jaguaribe (BRJ) e a população continuou a crescer a taxas crescentes ao longo do século XX (Figura 15a), apesar da disponibilidade hídrica muito baixa, classificada de acordo com o Índice de Estresse Hídrico de Falkenmark como “escassez absoluta” ($< 500 \text{ m}^3.\text{hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)

(Figura 15c). Na primeira metade do século, a dinâmica populacional foi impactada pela hidrologia: secas intensas como as de 1915 e 1932 provocaram mortes e migração em massa (PEREIRA et al., aceito). Em 1970, a população da BRJ era de aproximadamente 1.500.000 habitantes, e houve uma intensificação da migração rural-urbana. O censo demográfico de 1991 indicou uma população de 1.850.000, e atualmente mais de 2,5 milhões de pessoas vivem na área.

Com o constante crescimento da população e os efeitos negativos das secas, a política da açudagem teve início na região com a construção da barragem do açude Cedro em 1906, como forma de armazenar água e equilibrar a oferta e a demanda. Essa política começou com uma baixa taxa de construção de barragens e, à medida que os benefícios dessa infraestrutura foram percebidos pela sociedade, o índice aumentou (Figura 15b). Entre as décadas de 1930 e 1970, houve uma intensa expansão da açudagem em cooperação, enquanto a construção de açudes estratégicos atingiu seu auge na década de 1990 devido a projetos liderados pelo Estado, como o Projeto de Desenvolvimento Urbano e Gestão da Água (Prourb). Depois dos anos 2000, a taxa de construção diminuiu, com poucas barragens sendo construídas, e depois de 2010 a rede se estabilizou (Figura 15b).

A combinação do crescimento populacional e da evolução da rede de reservatórios impulsionou as mudanças na segurança hídrica: o estresse hídrico, conforme expresso pelo índice Falkenmark (Figura 15c). Entretanto, mesmo após a construção da barragem de Cedro em 1906 e a expansão da capacidade de armazenamento nas décadas seguintes, até meados da década de 1960, o índice permaneceu em “escassez absoluta”. Os benefícios promovidos pelo armazenamento de água foram continuamente compensados pelo crescimento da população e da demanda de água, impedindo que se atingisse o equilíbrio entre oferta e demanda até 1961, quando o açude Orós foi construído e o sistema evoluiu para a condição de “escassez”. Nos anos seguintes, o índice oscilou dentro da faixa de “escassez”, enfrentando aumentos com a construção de novas barragens (como a de Banabuiú, em 1966) e quedas devido à expansão da demanda, mesmo com a intensificação da política da açudagem na década de 1990. Outra melhoria importante no índice, atingindo a classificação de “estresse”, ocorreu em 2002, após a construção do açude Castanhão. A partir desse ano, o indicador de estresse hídrico passou a oscilar no limite entre “escassez” e “estresse”.

Figura 15 - Dinâmica do sistema ser humano-água na bacia do rio Jaguaribe



Além de aumentar a disponibilidade de água, a evolução da rede de reservatórios também reduziu as distâncias até as fontes de água (Figura 15d). No início da década de 1920, a maioria dos pontos na BRJ estava a mais de 100 km de distância, e alguns estavam a mais de 250 km do reservatório mais próximo. Com o início do represamento cooperativo, a distância diminuiu consideravelmente na década de 1940, com a maioria dos pontos a até 50 km. O mesmo se aplica aos açudes estratégicos: havia grandes distâncias entre a maioria das áreas da bacia e os poucos açudes estratégicos construídos até 1920, que foram reduzidas ao longo dos

anos até se estabilizarem a partir da década de 2000, quando a maioria das áreas da bacia não está distante mais do que 20 km do reservatório estratégico mais próximo.

Indiscutivelmente, a expansão da rede de reservatórios teve um papel importante na promoção da segurança hídrica, aumentando sua disponibilidade (especialmente com a construção dos mega reservatórios (Óros em 1961, Banabuiú em 1966 e Castanhão em 2004), reduzindo as distâncias da população até as fontes de água (especialmente com a construção de muitos açudes em cooperação). No entanto, as simulações hidrológicas da rede de reservatórios realizadas por Meira Neto et al. (2024) na Bacia do Alto Jaguaribe indicam que os benefícios não chegaram à sociedade de forma homogênea. Os reservatórios com menor capacidade de armazenamento (classes 1, 2, 3 e 4 na Figura 15e), que existem em número muito maior, são rasos e secam com muita frequência devido às altas taxas de evaporação, consequentemente, não conseguem fornecer água com alta confiabilidade. A esse respeito, Meira Neto et al. (2024) argumentam que os grandes reservatórios são responsáveis por aumentar a disponibilidade de água, enquanto o principal objetivo dos reservatórios não estratégicos é distribuir a água disponível na BRJ.

O crescimento populacional e as atividades econômicas no século XX, incentivados pela maior disponibilidade de água, resultaram em um aumento do consumo de água e, consequentemente, da quantidade de esgoto a ser coletado, tratado e descartado. No entanto, essa infraestrutura de saneamento básico se desenvolveu mais lentamente do que a rede de abastecimento humano, impactando negativamente a qualidade da água. A Figura 15e mostra o crescimento do índice de água poluída, ou seja, a proporção de água potencialmente poluída produzida anualmente em relação ao volume de escoamento anual, seguindo a tendência de crescimento populacional e da atividade agrícola: em 1930, estima-se que a geração de esgoto era da ordem de 3,9 milhões de m³/ano, atingindo 13,0 milhões de m³/ano em 1970 e 16,7 milhões de m³/ano em 2020.

Por outro lado, a agricultura (familiar irrigada e de sequeiro) aumentou continuamente durante o período do estudo, acompanhando o crescimento da população e da disponibilidade de água. Consequentemente, o índice de água poluída aumentou de aproximadamente 0,01 em 1920 para valores que flutuam em torno de 0,10 na década de 2010.

Por fim, nas últimas décadas, o setor público mudou a prioridade das obras hidráulicas, reduzindo fortemente a implementação de reservatórios de superfície e investindo na construção de poços. Mais de 50% dos poços da Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará foram perfurados entre 2015 e 2020, seguindo o que foi definido no Plano de Convivência com

a Seca, apresentado pelo governador à Assembleia Legislativa do Estado do Ceará em fevereiro de 2015 (SOHIDRA, 2021).

4.2.2 Identificação das Eras de segurança hídrica e evolução da política da açudagem

A dinâmica das variáveis sociais e hidrológicas permitiu identificar períodos com características comuns em termos de ocorrência de secas e como a sociedade respondeu a elas. Nesta seção, definiu-se épocas e explorou-se os principais processos sobre como o sistema acoplado ser humano-água evoluiu, com foco na política da açudagem e na busca permanente pela segurança hídrica na Bacia do Rio Jaguaribe ao longo do século XX.

4.2.2.1 Era 1: Calamidade e migração em massa (antes de 1930)

Desde a época colonial, entre os séculos XVI e XIX, as secas na região nordeste do Brasil foram associadas a impactos graves na população local, com ampla documentação sobre fome e mortes (PEREIRA et al., 2024). A migração foi a primeira estratégia de enfrentamento relatada, com os indígenas e os colonos portugueses recorrendo ao afastamento físico da região em busca de água abundante. O processo de migração foi associado a conflitos permanentes por terra e água e está intrinsecamente ligado à extinção completa dos povos indígenas da região (ALVES, 2003).

No século XIX, dado o contexto caótico das secas enfrentado pelas populações locais, várias decisões foram tomadas por autoridades governamentais para aumentar a disponibilidade de água. Molle e Cadier (1992) afirmam que, em 1832, o Conselho Provincial do Ceará começou a conceder prêmios a quem construísse um açude de determinado tamanho, o que os autores chamam de Decreto de 5 de agosto de 1832.

O Imperador Dom Pedro II criou a Comissão Científica Exploratória em 1856, com o objetivo de estudar a província do Ceará (Geologia, Geografia, Botânica, etc.) e a primeira proposta, sugerida pelo Conde D'Eu, foi: “construir, quanto antes, no interior da província do Ceará e de outras províncias assoladas pela seca, açudes nos rios e reservatórios [...]” (RECIFE, 1981).

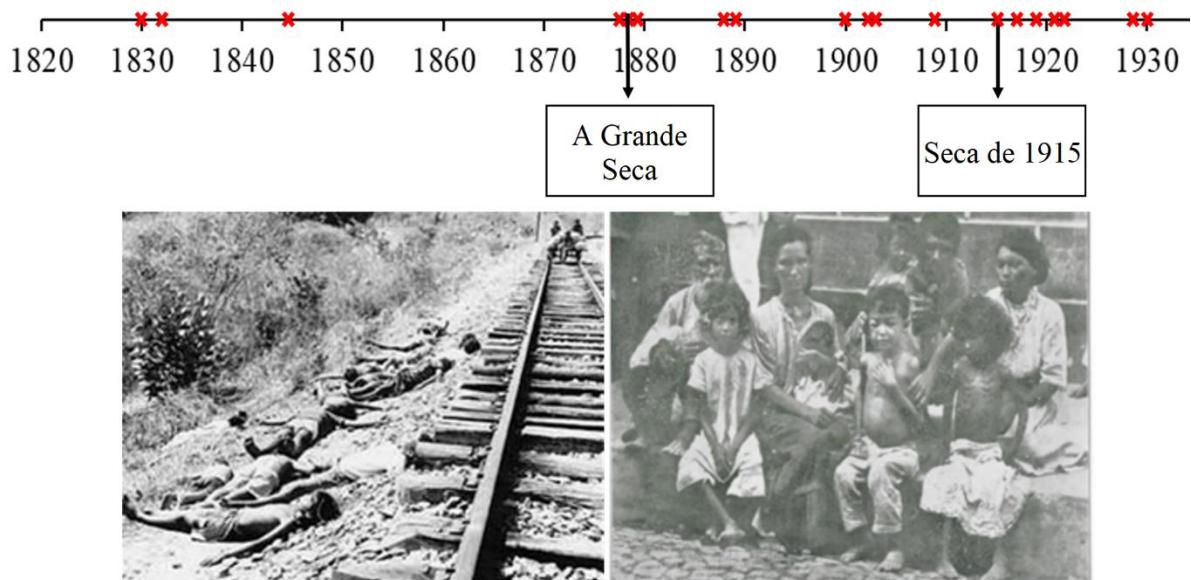
Ainda nesse período, uma seca histórica atingiu a região entre os anos de 1877 e 1879, chamada “A Grande Seca”. Estima-se que cerca de meio milhão de pessoas tenham morrido no nordeste do Brasil em decorrência de seus efeitos (RELATÓRIO DOS

PRESIDENTES DOS ESTADOS BRASILEIROS, 1901; RECIFE, 1981; TEÓFILO, 2011). Estima-se que, entre janeiro e junho de 1878, cerca de 35.000 pessoas imigraram do Ceará para o Amazonas pelos portos de Fortaleza e Aracati (na saída da BRJ) em busca de melhores condições de vida e da riqueza da extração da borracha. Somente em março de 1879, mais de 6.000 migrantes tentaram o mesmo caminho. Nos navios, esses migrantes sofreram com doenças epidêmicas como tifo, varíola e cólera, muitos morreram no caminho e tiveram seus corpos jogados no mar (VILLA, 2000).

A primeira seca histórica do século XX ocorreu em 1915, quando as pessoas passaram fome e mendigaram nuas nas ruas, enquanto outras 70.000 emigraram do Estado do Ceará (RECIFE, 1981; LIMA e MAGALHÃES, 2018; TEÓFILO, 1980). Muitos dos afetados pela seca de 1915 se mudaram para a capital Fortaleza, morando nas ruas e, posteriormente, sendo concentrados no primeiro Campo de Concentração da seca.

A Figura 16 ilustra as consequências das secas durante a Era 1: na foto à esquerda, pessoas morrendo de fome às margens da linha férrea durante a seca de 1915 no Ceará. Na foto da direita, Salustiano Alves Bezerra e sua família sofrendo os efeitos da seca.

Figura 16 - Ocorrência de seca (linha do tempo com indicação de secas por marcadores vermelhos) e consequências (fotos de morte e fome na seca de 1915) durante a Era 1



Fonte: Fundação Joaquim Nabuco Foundation (esquerda) e Arquivos da Biblioteca Nacional (direita)

Devido às condições naturalmente adversas, durante as secas do século XX, a maioria da população não tinha garantia hídrica suficiente para a criação de animais, para a agricultura de subsistência de sequeiro ou até mesmo para o consumo humano básico. À medida que os camponeses ficavam mais vulneráveis, os proprietários de terras se ofereciam para comprar seus animais, terras e casas por preços baixos. As opções para os camponeses eram,

no período de seca, então, aceitar a oferta desvantajosa ou deixar tudo para trás e migrar para as cidades em busca de emprego (MANZI, 2020).

A Era 1 caracteriza o período em que se iniciou a política de açudagem no Estado do Ceará. Entre 1913 e 1929, foram construídos 25 açudes em cooperação, de acordo com Pinheiro (2004). Nessa época, a segurança hídrica era limitada pela baixa capacidade de armazenamento, caracterizando esse período como de “escassez absoluta” de acordo com o índice de Falkenmark e, portanto, não atendendo às demandas de água da sociedade.

4.2.2.2 Era 2: A indústria da seca (1930 - 1970):

A chamada Indústria da Seca destaca a centralidade da água para a vida no sertão brasileiro e como ela ajudou a moldar o desenho social, político e econômico da região (CAMPOS, 2015). Assim, como afirma Celso Furtado, havia fortunas feitas pela seca, dinheiro do governo chegando para o comércio e as frentes de trabalho, vantagens políticas, mostrando uma ligação entre “a máquina política, o controle da administração...” (FURTADO, 1998).

A escassez absoluta de água ainda prevaleceu durante a maior parte da Era 2, apesar do aumento da disponibilidade de água introduzido no sistema ao final da Era 1. Portanto, ainda era necessário aumentar a disponibilidade, já que a população e, consequentemente, a demanda de água, continuavam a crescer na BRJ: de aproximadamente 771.000 habitantes em 1940 para mais de 1.460.000 no final da era. Outra grande seca ocorreu em 1932, conhecida como a Seca de 32, e mais uma vez a política dos Campos de Concentração de Seca foi adotada.

Essa seca levou o governo a intensificar a política da açudagem, resultando na construção de grandes reservatórios estratégicos. Também nessa época, governo e latifundiários - que eram basicamente o mesmo grupo durante o século XX - instalaram uma política intitulada Açudagem em cooperação (PINHEIRO, 2004) para intensificar a construção de barragens e, assim, aumentar a acessibilidade das pessoas às fontes de água. A açudagem em cooperação foi estabelecida entre a Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS) e os proprietários de terras, com a primeira fornecendo os fundos para a construção dos açudes e os últimos se comprometendo a construir uma estrada de acesso e permitir que o público em geral tivesse livre acesso à água.

Essa seria, pretensamente, uma política vantajosa para todos, na qual os proprietários de terras se beneficiariam da existência de uma grande fonte de água em suas fazendas, enquanto o governo e a população rural em geral se beneficiariam da melhoria da

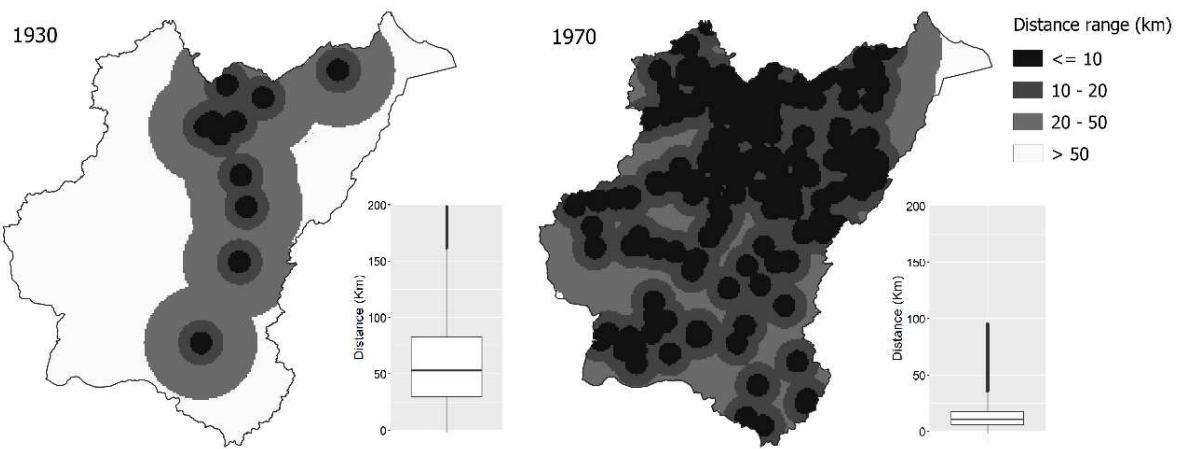
acessibilidade à água com custo reduzido. Idealmente, mais açudes públicos poderiam ser construídos com o mesmo orçamento, beneficiando mais pessoas. No entanto, os proprietários de terras não construíram as estradas de acesso e nem abriram suas porteiras para a população rural (PINHEIRO, 2004).

O uso da água dos açudes construídos com investimento governamental era, entretanto, totalmente controlado pelos proprietários privados da terra, que se tornaram os donos da água. Com a evolução da política da açudagem em cooperação (ARAÚJO, 1990), observou-se uma clara concentração de poder e bem-estar por uma pequena elite, uma síndrome denominada por Srinivasan et al. (2012) como “captura de água pela elite”. A chamada Indústria da Seca destaca a centralidade da água para a vida nas terras áridas brasileiras e como ela moldou o desenho social, político e econômico da região (CAMPOS, 2015), particularmente na Era 2.

Outra política que fazia parte da Indústria da Seca era a chamada Política de Emergência (FISCHER e ALBUQUERQUE, 2002), que consistia em financiar a construção de obras de infraestrutura durante as secas. Os camponeses eram contratados para construir essas obras e, assim, ganhar um salário para sustentar suas famílias durante o período crítico, quando nem as atividades agrícolas nem as pecuárias rendiam. Entretanto, os salários dos trabalhadores eram baixos e apenas um membro de cada família de camponeses tinha direito a se beneficiar do programa.

Devido à falta de logística oficial (incluindo bancos) naquela época, os proprietários de terras geralmente eram responsáveis pelo pagamento dos trabalhadores. Além disso, os proprietários de terras tinham a função de decidir, juntamente com os funcionários do governo, as prioridades de investimento e quem deveria ser contratado. Esses comissários foram frequentemente acusados de incompetência e/ou desonestidade, e muitas dessas obras (que consistiam principalmente em barragens e estradas) beneficiaram politicamente os proprietários de terras (SMITH, 1879; CAMPOS, 2015). Durante a Seca de 32, a mão de obra disponível nos campos de concentração foi utilizada na construção de vários açudes no Estado do Ceará, como o açude Lima Campos, localizado na BRJ. De acordo com Araújo (1990), a técnica utilizada para a compactação da barragem era manual, para aproveitar a mão de obra disponível criada pela seca. Em Fortaleza, as vítimas da seca foram empregadas em diversas obras públicas e/ou privadas, como a construção de calçadas e prédios (RIOS, 2014).

Figura 17 - Distâncias até o reservatório mais próximo no início (1930) e no final (1970) da Era 2



Fonte: Autor, 2024

Durante a Era 2, foram construídos 160 açudes em cooperação e outros 16 açudes estratégicos, acrescentando uma capacidade de armazenamento de 391 hm^3 e 3.765 hm^3 ao sistema, respectivamente. Conforme ilustrado na Figura 17, a Era 2 foi caracterizada por uma redução das distâncias na BRJ até a fonte de água mais próxima, teoricamente melhorando o acesso a esse ativo. No início da década de 1930, a maioria das áreas estavam a mais de 50 km de distância de uma fonte de água, enquanto em 1970, após a implementação dos 176 açudes, mencionadas acima, essa distância foi reduzida para menos de 25 km na maior parte da bacia. Apesar da expansão da rede de reservatórios na Era 2, o fenômeno da Indústria da Seca impediu que parte da população da BRJ tivesse acesso às fontes de água, e a segurança hídrica foi restringida pela acessibilidade limitada.

4.2.2.3 Era 3: Desigualdades na melhoria da segurança hídrica (1970 - 2000)

No final da década de 1960, a política da açudagem em cooperação foi descontinuada, pois surgiram críticas à sua implementação por terem sido construídas em terras privadas e não garantirem o acesso à água para todos (BEZERRA, 1996; PINHEIRO, 2004). Durante esse período, foram construídos mais 40 reservatórios estratégicos na BRJ, acrescentando uma capacidade de armazenamento de 1.604 hm^3 ao sistema. Esse potencial de armazenamento é menor do que na Era 2, apesar de terem sido construídos mais do que o dobro de reservatórios estratégicos, o que implica que, ao longo dessa era, o índice de Falkenmark se

consolidou em escassez, uma vez que a população da BRJ cresceu de 1.460.000 em 1970 para 2.130.000 em 2000, o que impactou negativamente o equilíbrio entre oferta e demanda, apesar das novas represas.

No entanto, o acesso das pessoas às fontes de água melhorou nessa época, porque: i) muitos açudes em cooperação haviam sido construídos em décadas anteriores, reduzindo assim as distâncias até as fontes de água; ii) a Lei Federal 9.433/1997 definiu a água como um recurso público, ou seja, uma pessoa pode ser proprietária do reservatório, mas não da água armazenada. Desde a Lei Federal de Recursos Hídricos, os proprietários de terras estão proibidos de impedir o acesso das pessoas aos reservatórios, melhorando a acessibilidade à água, embora essa prática ainda ocorra em algumas regiões/propriedades.

Embora o acesso à água tenha melhorado e, portanto, não represente a principal restrição à segurança hídrica na Era 2, o sistema falha no fornecimento de água com alta confiabilidade dos reservatórios das classes mais baixas, com capacidades de armazenamento menores. Devido às altas taxas de evaporação potencial na região (2.000 a 2.6000 mm/ano) e à natureza rasa da maioria dos pequenos reservatórios não estratégicos, eles secam com muita frequência. Portanto, a construção espontânea de pequenas barragens pela população serviu como infraestrutura de distribuição de água (NASCIMENTO et al., 2019) e melhorou o acesso à água, mas deixando a população vulnerável em períodos secos pelo efeito de reservatório, ou seja, criando uma falsa sensação de segurança em períodos chuvosos com abundância de água (DI BALDASSERIE et al., 2018). A Figura 18 ilustra esse fenômeno, indicando os períodos em que cada uma das classes de reservatórios não consegue atender à respectiva demanda de água na Bacia do Alto Jaguaribe.

Figura 18 - Períodos de demanda de água não atendida por classe de reservatório, destacados em vermelho, na Bacia do Alto Jaguaribe durante a Era 3



Fonte: Autor, 2024

As classes com os maiores reservatórios - classes 5 (principalmente reservatórios estratégicos) e 6 (o reservatório Orós, apenas) - são as principais fontes de água confiável, com 67% da demanda do Orós proveniente da irrigação, 13% do abastecimento humano urbano e apenas 7% para a população rural (ANA, 2016). Desde sua construção em 1961, o açude Orós só não conseguiu atender à demanda por alguns meses no segundo semestre do ano 2000, suprindo a demanda da irrigação e da população urbana durante quase toda a Era 3.

Nesse contexto, a restrição para atender à segurança hídrica na Era 3 mudou da restrição ao acesso, uma vez que a rede evoluiu na BRJ nas décadas anteriores, para a percepção da disponibilidade de água para grupos específicos de pessoas, já que os pequenos reservatórios não são capazes de fornecer água com alta confiabilidade. A desigualdade em termos de distribuição de água também é uma questão de poder econômico, já que os grandes centros de demanda (cidades, indústrias e projetos de irrigação) usam a água dos grandes reservatórios estratégicos, enquanto os sertanejos são os que dependem das pequenas estruturas. Atualmente, há um debate (DIÁRIO DO NORDESTE, 2020) no estado do Ceará sobre esse assunto: alguns grupos argumentam que os pequenos reservatórios retêm água que deveria estar escoando para os reservatórios maiores a jusante. Entretanto, outros pesquisadores afirmam que os pequenos reservatórios são fundamentais para agricultura familiar, democratizam o acesso a água, dentro

da sua limitação, e possuem um papel social importante (PEREIRA et al., 2019; DIÁRIO DO NORDESTE, 2020).

4.2.2.4 Era 4: Consolidação da rede de reservatórios e degradação da qualidade da água (a partir de 2000)

No final da Era 3, na década de 1990, observou-se uma forte redução na taxa de construção de açudes estratégicos, embora alguns reservatórios importantes ainda tenham sido construídos no início da Era 4, como o Castanhão, o maior do sistema, com capacidade de armazenamento de 6.700 hm³. Apesar da rede existente e consolidada, as secas ainda impactaram a sociedade na Era 4 (embora em proporções muito menores do que no início do século XX). Por exemplo, entre 2012 e 2017, o Estado do Ceará passou pela pior seca plurianual dos últimos 100 anos (PEREIRA et al., 2023). De fato, em 2016 o armazenamento de água estava abaixo de um terço da capacidade do sistema.

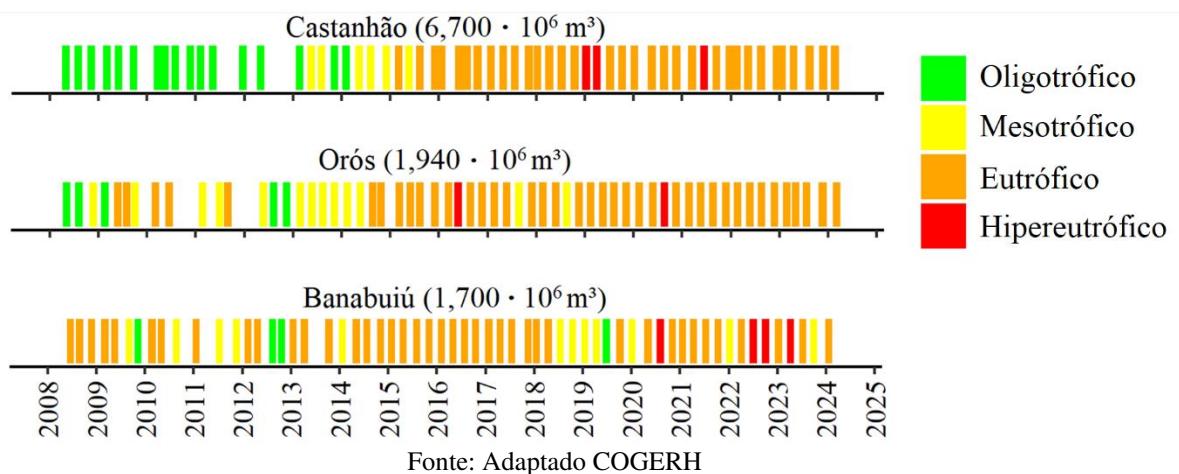
As comunidades rurais, que se abastecem de pequenos reservatórios (principalmente das classes 1, 2 e 3, na Figura 18), foram as primeiras a serem afetadas pela seca de longa duração. Houve também restrição de uso de água de açudes estratégicos, como por exemplo Araras e Banabuiú, para a irrigação.

Por outro lado, as regiões urbanas, como a Região Metropolitana de Fortaleza, com uma população de mais de 3,5 milhões de habitantes, não tiveram seu abastecimento impactado, uma vez que a rede de reservatórios estratégicos (classes 5 e 6 na Figura 18) ainda eram capazes de atender às suas demandas. No contexto da consolidação da rede de reservatórios desde os anos 2000, a gestão da água passou de soluções *hard-path* (construção de infraestrutura) para *soft-path* (medidas de controle) na Era 4 (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020).

Desde 2008, a COGERH vem monitorando a qualidade da água de reservatórios estratégicos e percebeu-se uma degradação da qualidade da água. As secas levam a uma redução nos volumes dos reservatórios e na frequência de transbordamento, aumentando assim as concentrações de nutrientes. A qualidade da água tem sido afetada por outros fatores: alta carga externa de nutrientes (ARAÚJO et al., 2019; ROCHA e LIMA NETO, 2021), enriquecimento interno devido à aquicultura (SANTOS et al., 2017), ressuspensão de sedimentos e fósforo (MESQUITA et al., 2020) e cargas internas de fósforo (MOURA et al., 2019; LIMA NETO et al., 2022).

Wiegand et al. (2021) estudaram 65 reservatórios entre 2008 e 2017, 44 dos quais na BRJ, e observaram que o estado trófico de 91% dos reservatórios aumentou durante o período de seca de 2012 a 2017. A Figura 19 mostra a evolução da qualidade da água, expressa como o estado trófico, nos três maiores reservatórios do BRJ de 2008 a 2024. O reservatório Castanhão permanece 56% do tempo em estado eutrófico e 5% em nível hipereutrófico, variando apenas entre esses dois estados desde 2014. Um cenário semelhante ocorre nos reservatórios Orós e Banabuiú: O Orós esteve eutrófico e hipereutrófico 67% e 3% do tempo, respectivamente, enquanto o Banabuiú permaneceu nesses estados por 67% e 7%.

Figura 19 - Evolução da qualidade da água nos três maiores reservatórios da BRJ durante a Era 4, expressado como estado trófico.



Este padrão de qualidade da água foi observado em reservatórios de várias dimensões e espacialmente distribuídos na região da BRJ: por exemplo, o açude Pau Preto (capacidade de armazenamento de $3,3 \text{ hm}^3$) permaneceu eutrófico e hipereutrófico durante 47% e 9% do tempo, respectivamente. O reservatório Santo Antônio de Russas, próximo à saída da bacia ($25,1 \text{ hm}^3$), permaneceu 70% e 8% do tempo nas mesmas classes e o reservatório Cedro (126 hm^3) permaneceu 43% do tempo hipereutrófico e 38% eutrófico. A degradação da qualidade da água nos reservatórios estratégicos monitorados revela as consequências da poluição, expressas pela razão de água potencialmente poluída representada na Figura 15f, que vem evoluindo desde 1920, acompanhando os volumes de esgoto coletado e não tratado e não coletado, bem como o escoamento em campos agrícolas.

Com a redução da construção de barragens e a estabilização da rede de reservatórios, o governo do Estado do Ceará focou na construção de poços. A Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA) iniciou a perfuração de poços em 1987, mas foi somente após a seca

de 2012 que essa política foi reforçada. Devido a saturação hidrológica dos açudes, houve uma demanda por poços por parte das próprias comunidades, fato esse que marca uma mudança histórica na decisão humana. Assim, em 2012, foram perfurados 261 poços, enquanto no pico, em 2016 e 2018, foram perfurados 1.994 e 1.977, respectivamente. Durante a pior seca do estado do Ceará nos últimos 100 anos, a construção de açudes deixou de ser prioridade, os poços passaram a ser uma alternativa viável para atender à demanda das comunidades rurais, enquanto os reservatórios estratégicos existentes continuaram a promover a disponibilidade hídrica com alta confiabilidade.

Outras medidas com foco na segurança hídrica para a população não atendida pelos reservatórios estratégicos surgiram na Era 4. Por exemplo, o Programa um milhão de cisternas foi desenvolvido no início dos anos 2000 pela Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA) para promover a captação de água da chuva por famílias rurais, que foi posteriormente incorporada pelo Governo Federal. A entrega de cisternas começou em 2003 com 6.497 unidades e atingiu seu pico durante a seca de 2012-2017, quando 141.977 cisternas foram construídas em 2013, 149.104 em 2014 e 116.207 em 2015, ano em que a meta de um milhão de cisternas foi superada. O programa tem sido fundamental para fornecer acesso à água de boa qualidade para consumo humano e também mudou a relação da sociedade com os açudes não estratégicos da região, que atualmente são usados para usos não potáveis, como agricultura e pecuária extensiva.

4.2.3 Síntese

Neste capítulo, utilizou-se de 100 anos de dados e simulações para produzir informações, ou seja, entender como os humanos responderam à escassez de água e buscaram a segurança hídrica no Polígono das Secas, no Nordeste do Brasil. Neste tópico, avaliou-se a coevolução ser humano-água na região para construir conhecimento, apresentando um padrão que pode se reproduzir em outras regiões secas onde ocorre a evolução da rede de reservatórios.

4.2.3.1 Evolução da segurança hídrica e da AAAQ framework

Até o século XIX, os sistema de abastecimento eram precários e negligenciados no Polígono das Secas, obrigando os camponeses locais a desenvolver estratégias — sob as restrições culturais, econômicas e tecnológicas — para sobreviver em um ambiente tão hostil (FINAN e NELSON, 2001), respeitando o Código Natural do vulnerável Bioma Caatinga (DUQUE, 1953). Exemplo de estratégia é o uso da agricultura de sequeiro para produzir

culturas nutritivas de ciclo curto (CAMPOS, 2015) com baixa demanda de água e alta resiliência a secas repentinas (ALENCAR e PATON, 2022), como milho (*Zea mays L.*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e mandioca (*Manihot esculenta*).

No entanto, foi a política da açudagem que prevaleceu ao longo do século XX como a principal estratégia para lidar com as secas (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020). Na Bacia do Rio Jaguaribe, essa medida foi iniciada pelos governos estadual e federal e seguida espontaneamente pela população rural, que construiu barragens muito pequenas (da ordem de 10^3 m³) como a construída pelos sertanejos no assentamento Caldeirão no final da década de 1920 e o açude Boqueirão construído em 1934 (FIGUEIREDO et al., 2016). As características de segurança hídrica buscadas pela sociedade mudaram ao longo do tempo e quatro eras puderam ser identificadas de acordo com o estágio de desenvolvimento da infraestrutura hidráulica (Tabela 5). As quatro eras de avanço da segurança hídrica na BRJ podem ser organizadas na estrutura de Disponibilidade, Acessibilidade, Aceitabilidade e Qualidade – AAAQ (em inglês), que foi originalmente proposta para acessar os direitos humanos (JESUS et al., 2017; HOMER et al., 2018; KENDALL et al., 2023).

Tabela 5 - Eras de coevolução ser homem-água na Bacia do Rio Jaguaribe, com as respectivas condicionantes à segurança hídrica e etapas da política da açudagem.

Era	Restrição à segurança hídrica	Período	Estágio da política da açudagem
1	Disponibilidade	Antes de 1930	Início
2	Acessibilidade	1930 - 1970	Expansão da açudagem em cooperação, coordenado pelo setor público
3	Aceitabilidade*	1970 - 2000	Expansão da construção dos açudes estratégicos e da construção espontânea de açudes pela população
4	Qualidade	após 2000	Consolidação, com a segurança hídrica ainda não totalmente alcançada; Degradação da qualidade da água como <i>feedback</i> da política da açudagem

No AAAQ *framework*, a disponibilidade é quantificada para uma determinada localização geográfica e avaliada a partir de uma perspectiva de suprimento medida por dados quantitativos (JENSEN et al., 2014). A Era 1 no BRJ foi caracterizada por um desequilíbrio entre oferta e demanda de água, a população sofreu devido a eventos de seca severa. Durante esse período, a principal restrição à segurança hídrica foi a disponibilidade hídrica muito baixa com alta confiabilidade, uma vez que a região carecia de estruturas para armazenar o escoamento que se concentrava em poucos meses por ano. Foi quando a política da açudagem foi iniciada e nesta fase da adaptação a sociedade buscou o suprimento contínuo de água em quantidades suficientes.

Acessibilidade, conforme definido por Jensen et al. (2014), refere-se ao nível e quem tem acesso à água. A água pode estar disponível em abundância, mas há fatores que influenciam o direito de acesso a esse recurso. O acesso à água é um direito humano estabelecido pela ONU (ONU, 2010), mas Jensen et al. (2014) argumentam que estabelecer critérios para avaliá-lo é altamente complexo, e dados qualitativos e quantitativos são necessários.

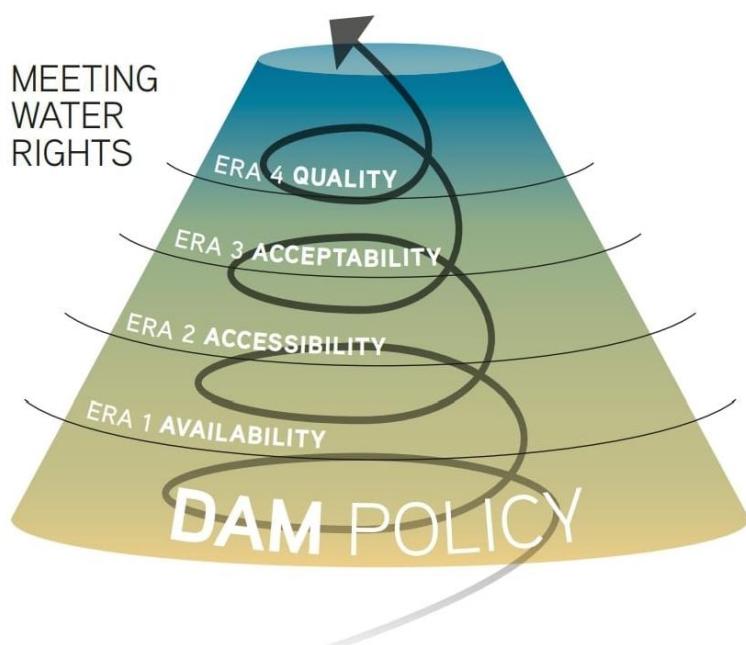
Na Era 2, o que restringia a segurança hídrica era a acessibilidade, com algumas áreas na BRJ distantes mais de 200 km da fonte hídrica mais próxima no início deste período. Durante esta era, a política da açudagem se concentrou na expansão dos reservatórios por meio do regime em cooperação público-privado. No entanto, esses açudes foram inicialmente incapazes de cumprir seu objetivo de facilitar o acesso à água, uma vez que os proprietários das terras nas quais essas infraestruturas foram construídas negaram o acesso à população. Srinivasan et al. (2012) estudaram mais de vinte áreas em quatro continentes e concluíram que a escassez de água na BRJ foi causada principalmente por razões políticas, em um processo que os autores chamaram de “captura de água pela elite”, o que concorda com as descobertas de outros exemplos internacionais (por exemplo, KHAGRAM, 2018; BOELENS et al., 2019).

O acesso desigual à água durante a Era 2 traz à discussão o conceito de Aceitabilidade, ou seja, as avaliações subjetivas dos detentores de direitos de água sobre o abastecimento de água, considerando a cultura de indivíduos e grupos sociais (Jensen et al., 2014). A Era 3 começou na década de 1970, após a expansão da rede de açudes em cooperação e a implementação de alguns importantes reservatórios estratégicos, como Orós e Banabuiú, nas décadas anteriores. Durante essa Era, a segurança hídrica foi restringida pela aceitabilidade de grupos sociais marginalizados que dependiam de fontes de água com baixa confiabilidade, principalmente pequenos reservatórios.

Na BRJ, questões culturais, como agricultura familiar e hábitos alimentares, bem como outras percepções culturais, como as memórias de eventos de seca e seus efeitos negativos, têm uma forte influência na aceitabilidade de um sistema de água que havia sido colocado em prática nas Eras anteriores. Sem acesso aos reservatórios construídos em cooperação e não sendo abastecidos pelos estratégicos, esses grupos intensificaram a construção de suas próprias represas espontaneamente.

Com a expansão da rede de reservatórios, no final da Era 3, no início dos anos 2000, os aspectos de segurança hídrica de disponibilidade, acessibilidade e aceitabilidade foram parcialmente atendidos na BRJ, e uma diminuição na taxa de construção de açudes foi observada. O sistema atingiu uma limitação hidrológica para aumentar a disponibilidade de água, e a alta capacidade de armazenamento (aproximadamente o dobro do volume médio anual de escoamento) promoveu alta retenção de sedimentos e nutrientes, dando origem ao efeito qualidade da água (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020). Na Era 4, a principal restrição para atingir totalmente a segurança hídrica tem sido a qualidade da água, cuja adequação deve ser definida de acordo com padrões internacionais e considerando parâmetros que podem representar riscos à saúde humana, conforme proposto por Jensen et al., (2014) no *Framework AAAQ*. A busca pela segurança hídrica pela sociedade na Bacia do Rio Jaguaribe por meio da política da açudagem, seguida pelo abandono dessa política na Era 4, é ilustrada na Figura 20.

Figura 20 - Representação da Política de Barragens como medida fundamental na busca por diferentes aspectos da segurança hídrica ao longo das eras na Bacia Semiárida do Rio Jaguaribe



4.2.3.2 *Interações ser humano-água e estado atual da rede de reservatórios na BRJ*

Devido à centralidade da água na BRJ, a hidrologia sempre foi uma questão importante para a população local. Temas como o nível de armazenamento dos reservatórios (ARAÚJO et al., 2018), previsão de chuvas sazonais (FINAN e NELSON, 2001), secas (ARAÚJO, 1990), bem como os melhores lugares para construir novos açudes ou perfurar novos poços são discussões rotineiras, especialmente entre os sertanejos. Tópicos relacionados à água também são centrais para as artes: por exemplo, secas e suas respectivas consequências sociais drásticas têm sido o foco de romances, poemas e canções nacionais primordiais, conforme destacado por Pereira et al. (2024, aceito). De especial preocupação para os sertanejos é o prognóstico da precipitação na estação chuvosa a cada ano.

Mesclando observação empírica da natureza e conceitos religiosos, os chamados Profetas da Chuva tentam prever quanta precipitação é esperada para o próximo período chuvoso. Eles baseiam suas observações principalmente no comportamento de animais selvagens e em sinais do céu (por exemplo, a visibilidade de nuvens e estrelas). Em janeiro, na cidade de Quixadá, localizada na BRJ, há uma reunião anual de Profetas da Chuva, cuja conclusão influencia muitos campões sobre quando e qual tamanho de área a cultivar nos próximos meses.

O conhecimento hidrológico empírico da população é excelente e frequentemente concorda com conclusões baseadas na ciência. São José é o padroeiro do Estado do Ceará, cujo dia é comemorado em 19 de março, acredita-se ser uma referência em relação ao regime de chuvas: diz-se que, se a estação chuvosa não começar até aquele dia, o ano será seco. Caso contrário, espera-se uma boa estação chuvosa, e as culturas de sequeiro podem ser amplamente cultivadas nos próximos meses. Essa crença empírica popular, no entanto, está conectada com o raciocínio científico: o dia de São José quase coincide com o equinócio de outono, relevante para a posição da Zona de Convergência Intertropical, o principal sistema meteorológico responsável pela estação chuvosa no Polígono das Secas (SCHNEIDER et al., 2014; MARENKO et al., 2017).

O conhecimento empírico hidrológico da população rural também foi verificado cientificamente em outras situações. Por exemplo, o pequeno reservatório do Boqueirão (60.10^3 m 3) foi construído pela população local sem assistência técnica em 1934 em uma bacia com comportamento hidrológico muito peculiar: seu coeficiente de escoamento é cinco vezes menor

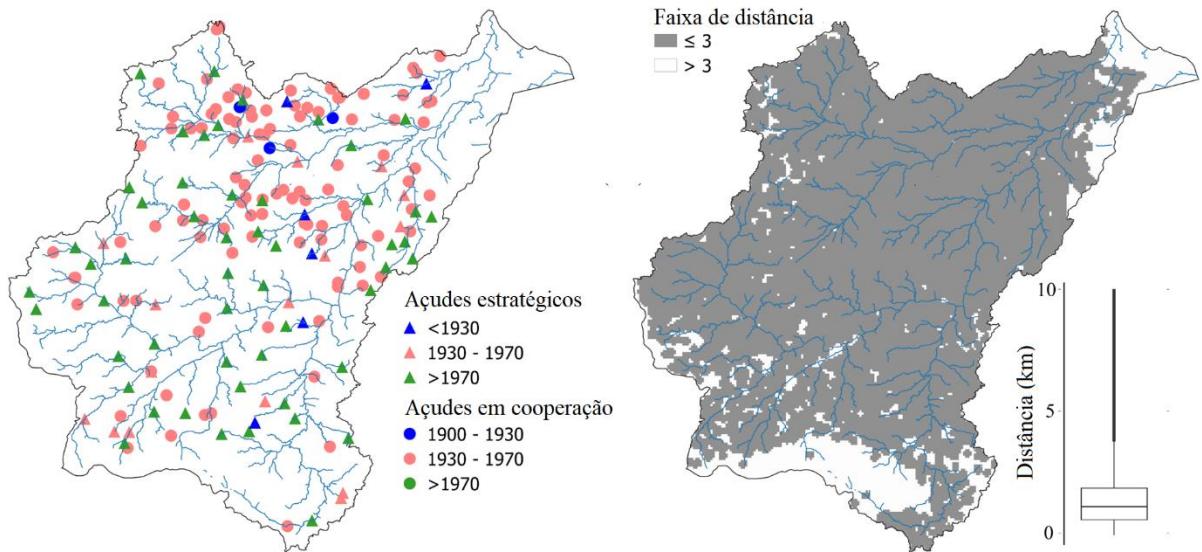
que o da média das pequenas bacias da região (FIGUEIREDO et al., 2016). Setenta e cinco anos após sua construção, seu dimensionamento foi validado por critérios científicos atualizados (ARAÚJO e PIEDRA, 2009). Se parâmetros hidrológicos regionais tivessem sido usados, o reservatório teria sido superdimensionado (cinco vezes maior).

Peter et al. (2014) analisaram o sistema de reservatórios da Bacia do Alto Jaguaribe em relação à sua vulnerabilidade simultânea a secas e inundações. Com base em 45 anos de dados, os autores simularam o balanço hídrico de cem redes de barragens sintéticas, bem como do sistema construído. Eles concluíram que a rede existente apresenta a menor vulnerabilidade a ambos os extremos climáticos (secas e inundações) quando comparada às sintéticas. Isso ocorre independentemente do fato de que a rede existente, particularmente as pequenas barragens, foi construída principalmente com base no conhecimento hidrológico empírico local e sem a assistência de pessoal técnico.

Esses exemplos ilustram a importância de o conhecimento popular ser incorporado às avaliações hidrológicas com base científica. Eles também explicam - pelo menos parcialmente - por que tantas pessoas conseguiram sobreviver na área seca durante o século XX, apesar das condições adversas, como as secas recorrentes e a Indústria da Seca.

Como consequência da adaptação da sociedade à escassez hídrica e da construção de inúmeras barragens, por meio da demanda dos açudes estratégicos e da construção de pequenas estruturas próprias, surgiu a rede muito densa de reservatórios. Utilizando o *Global Surface Water Explorer* Pekel et al. (2016) e Pereira et al. (2019) identificaram mais de 13 mil barragens com áreas inundadas de pelo menos um hectare na BRJ, totalizando 15.109 m³ de capacidade de armazenamento, destes 74 são reservatórios estratégicos monitorados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará e 190 são reservatórios em cooperação (PINHEIRO, 2004) e os demais são reservatórios particulares ou sem cadastro nos bancos de dados oficiais. A Figura 21A ilustra a construção de barragens ao longo do tempo. É possível notar que os açudes em cooperação foram construídos principalmente entre 1930 e 1970 (Era 2), enquanto a construção de açudes estratégicos foi intensificada após a década de 1970 (Era 3). A Figura 21B mostra a distância de qualquer ponto da bacia até a fonte hídrica mais próxima, levando em consideração os açudes estratégicas, em cooperação e aqueles construídos espontaneamente pela sociedade (com área superior a 1 ha). O mapa ilustra a alta densidade da rede, com a maioria das áreas da bacia apresentando distância inferior a 3 km até um recurso hídrico.

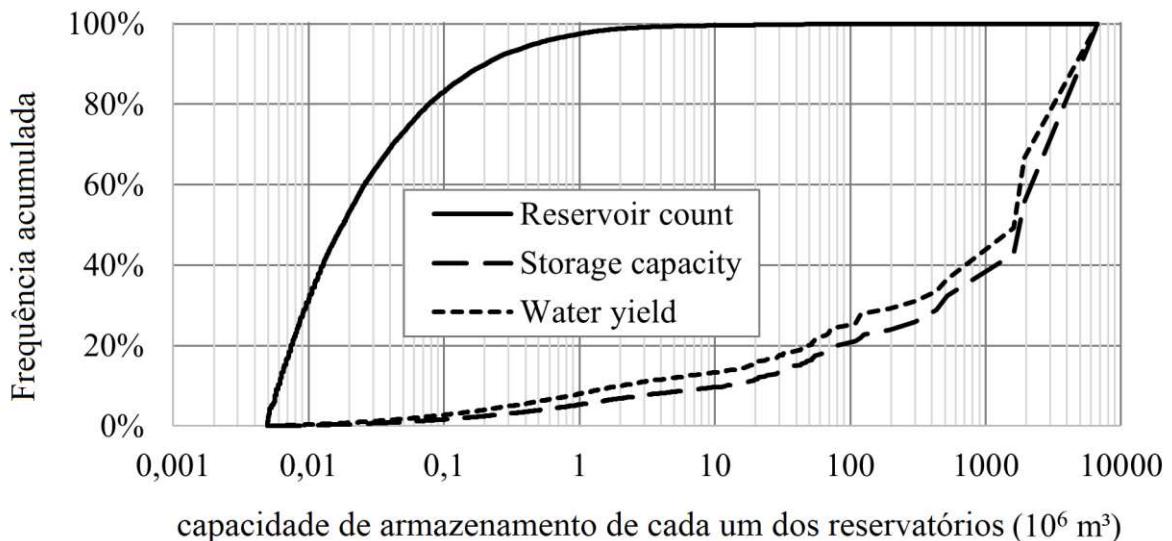
Figura 21 - Construção de açudes estratégicas e me cooperação ao longo do tempo (A) e distância atual de qualquer ponto da Bacia do Rio Jaguaribe até o reservatório mais próximo (B).



Fonte: Autor, 2024

A Figura 22 ilustra a configuração da rede em termos de frequência acumulada de contagem de reservatórios e capacidade de armazenamento classificada por tamanho: 97% dos reservatórios têm capacidades individuais menores que 1.10^6 m^3 , que juntos podem armazenar apenas 5% da capacidade total de armazenamento do sistema. Por outro lado, os três maiores reservatórios estratégicos (Castanhão, Orós e Banabuiú, com capacidades de $6,7.10^9 \text{ m}^3$, $1.9.10^9 \text{ m}^3$ e $1.6.10^9 \text{ m}^3$, respectivamente, podem armazenar quase 68% do total do sistema. Tal configuração da rede retrata a representatividade e o papel dos pequenos reservatórios na distribuição de água no Polígono das Secas, conforme discutido por Meira Neto et al. (2024).

Figura 22 - Configuração atual (contagem de reservatórios e capacidade de armazenamento acumulada) da rede de reservatórios da Bacia do Rio Jaguaribe, classificada por tamanho de reservatório



Fonte: Autor, 2024

4.2.3.3 *Expansão da rede de reservatórios e feedbacks na Bacia do Rio Jaguaribe e em outros locais*

Estudos socio-hidrológicos demonstraram que a construção de barragens pode ser seguida por consequências não intencionais devido às interações bidirecionais entre sociedade e hidrologia. Na BRJ, um grande *feedback* negativo da expansão da capacidade de armazenamento foi o efeito da qualidade da água, ou seja, degradação da qualidade da água devido à retenção de nutrientes na rede de reservatórios. O programa de monitoramento conduzido pela COGERH desde 2008 indica uma tendência geral de alta eutrofização na Era 4 da política da açudagem, com os três maiores reservatórios permanecendo em estado eutrófico ou hipereutrófico por mais de 50% do tempo.

O estudo de Silva et al. (2024) sugere que a eutrofização parece ser acelerada pela prática de represamento de rios na região mesmo em condições preservadas: os autores analisaram o reservatório Boqueirão, inserido em uma área de preservação, e observaram altas cargas de fósforo da captação e concentração no reservatório. O efeito da qualidade da água também pode desencadear outras consequências indesejadas, como desigualdades na segurança hídrica já observadas durante a coevolução do sistema: a Indústria da Seca na Era 2 e a prevenção do acesso aos reservatórios de cooperação na Era 3.

O tratamento da água de má qualidade dos reservatórios implica altos custos tecnológicos e financeiros, impactando sua tarifa e ameaçando o abastecimento dos grupos sociais mais vulneráveis com baixa capacidade de pagamento. Além disso, ao longo da evolução do sistema na BRJ, foram identificados indícios de outros fenômenos socio-hidrológicos (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020): o efeito oferta (DI BALDASSARRE et al., 2018) – aumento da demanda de água devido à maior disponibilidade de água promovida pelos reservatórios, compensando os benefícios iniciais para o equilíbrio oferta-demanda – e o efeito reservatório (DI BALDASSARRE et al., 2018) – vulnerabilidade da sociedade devido à dependência excessiva dos reservatórios como fontes seguras de água.

Indiscutivelmente, o aumento da disponibilidade hídrica com alta confiabilidade permitiu o crescimento populacional contínuo e o desenvolvimento econômico na BRJ e na RMF, conectadas a esse sistema. Com a regularização do fluxo pelos reservatórios, o setor agrícola de alto consumo de água pôde se estabelecer e, posteriormente, também os setores de serviços e industrial. O ciclo de aumento da disponibilidade hídrica pela implementação de reservatórios, seguido pelo aumento da demanda, o que exigiu a construção de novas barragens, é ilustrado na Figura 15c: um aumento profundo no índice de escassez hídrica é observado após a construção de uma barragem, com uma redução contínua nos anos seguintes devido ao crescimento da demanda até a construção do próximo açude.

A alta dependência dos reservatórios pela sociedade para o abastecimento de água é outra consequência do foco colocado na política da ação da BRJ ao longo do século XX. Atualmente, mais de 90% da demanda hídrica do Estado do Ceará é atendida por barragens (PETER et al., 2014). O mais surpreendente é que os dois maiores reservatórios sozinhos (Castanhão e Orós) respondem por 57% da capacidade total de armazenamento do sistema, atendendo não apenas às demandas locais da BRJ, mas também sendo responsáveis pela segurança hídrica da Região Metropolitana de Fortaleza, fora da bacia. Ao final do período de seca de 2012-2017, esses reservatórios atingiram quase 2% e 4% de suas capacidades, respectivamente, afetando a produção de água (PEREIRA et al., 2023). Na ocasião, apenas o setor de irrigação sofreu racionamento, que começou em setembro de 2013 e durou até o fim da seca. Este exemplo demonstra que depender de poucos reservatórios superficiais em tempos de seca extrema pode levar ao colapso do sistema se ações de gestão não forem tomadas com antecedência e abrangendo todos os usuários.

A evolução da rede de reservatórios na BRJ se compara a outros exemplos, como o caso da antiga sociedade Maia. Na região Maia, a estação chuvosa se estendia por 7 meses,

então havia a necessidade de coletar chuva para fornecer água potável durante a estação seca. Reservatórios artificiais forneciam água potável para milhões de maias no Período Clássico (c. 250 a 900 d.C.), mas assim como no BRJ, os riachos e os reservatórios menores secavam conforme a estação seca avançava (LUCERO, 2023).

Lucero, (2006), afirma que as estações chuvosas e seca anuais afetavam os sistemas sociopolíticos dos Maias, de modo que as forças urbanas dominavam durante a seca anual, ou seja, havia apropriação de água pela elite, e as forças rurais dominavam durante a estação chuvosa, quando muitos maias viviam dispersos pela paisagem para cultivar a terra.

Kuil et al. (2019) aplicaram um modelo sócio-hidrológico ao caso dos antigos Maias, cuja população atingiu o pico durante o Período Clássico (600-830 d.C.) e depois declinou durante o século IX. A hipótese dos autores é que os períodos de seca desempenharam um papel importante no colapso da sociedade: a partir da simulação dos possíveis *feedbacks* entre água e sociedade, foi demonstrado que uma redução modesta na precipitação poderia levar a uma diminuição populacional de 80%. As simulações realizadas por Kuil et al. (2019) indicam que a construção de reservatórios resultou em impactos de seca menos frequentes, mas se os reservatórios secarem, o impacto da seca pode ser mais severo devido ao efeito reservatório descrito por Di Baldassarie et al. (2018). Pelo menos oito secas com duração entre 3 e 18 anos atingiram a região entre 800 e 930 d.C. (MEDINA-ELIZALDE et al., 2010) e desencadearam problemas como uso excessivo de recursos, quebras de safra, diminuição do fornecimento e da qualidade da água (LUCERO et al., 2011).

4.3 Capítulo 3 - Seca no Ceará 2012-2017

Este capítulo foi publicado no livro – Desastres e Água: Eventos históricos no Brasil da Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

Citação: PEREIRA, B. S.; NUNES, L. F. C. V.; ALEXANDRE, D. M. B.; ARAÚJO, J. C. de; MEDEIROS, P. H. A. Seca no Ceará 2012-2017. In: ZANANDREA, F., KOBIYAMA, M., MICHEL, G. P., FLEISCHMANN, A., & COLLISCHONN, W. (eds.). **Desastres e água: eventos históricos no Brasil**. 1 Ed. ABRHidro. Porto Alegre, 2023. p. 315-334.

4.3.1 Descrição do evento

No ano de 2012 se iniciou no Estado do Ceará o que posteriormente seria configurada como a seca mais longa dos últimos cem anos, tendo prosseguimento em seis anos

seguidos até 2017, resultando na diminuição do volume armazenado da rede de reservatórios que abastecem todo o Estado. Como resultado, muitos açudes estratégicos secaram e a maioria chegou à situação crítica (estoques inferiores a 10% de sua capacidade), fazendo com que os órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos buscassem outras opções, estruturais e não estruturais, para diminuir os efeitos da seca sobre a sociedade.

Na quadra chuvosa (fevereiro a maio), a precipitação média da Normal Climatológica (1981-2010) para o Estado do Ceará é de 600 mm. Entretanto, a média do mesmo período para o ano de 2012 ficou 298 mm abaixo da Normal. Em 2013 e em 2014, a precipitação do período ficou 236 mm e 140 mm, respectivamente. Nos três últimos anos do evento (2015, 2016 e 2017) as médias apresentaram uma diferença de 182 mm, 273 mm e 46 mm abaixo da Normal, caracterizando assim a seca meteorológica no período analisado.

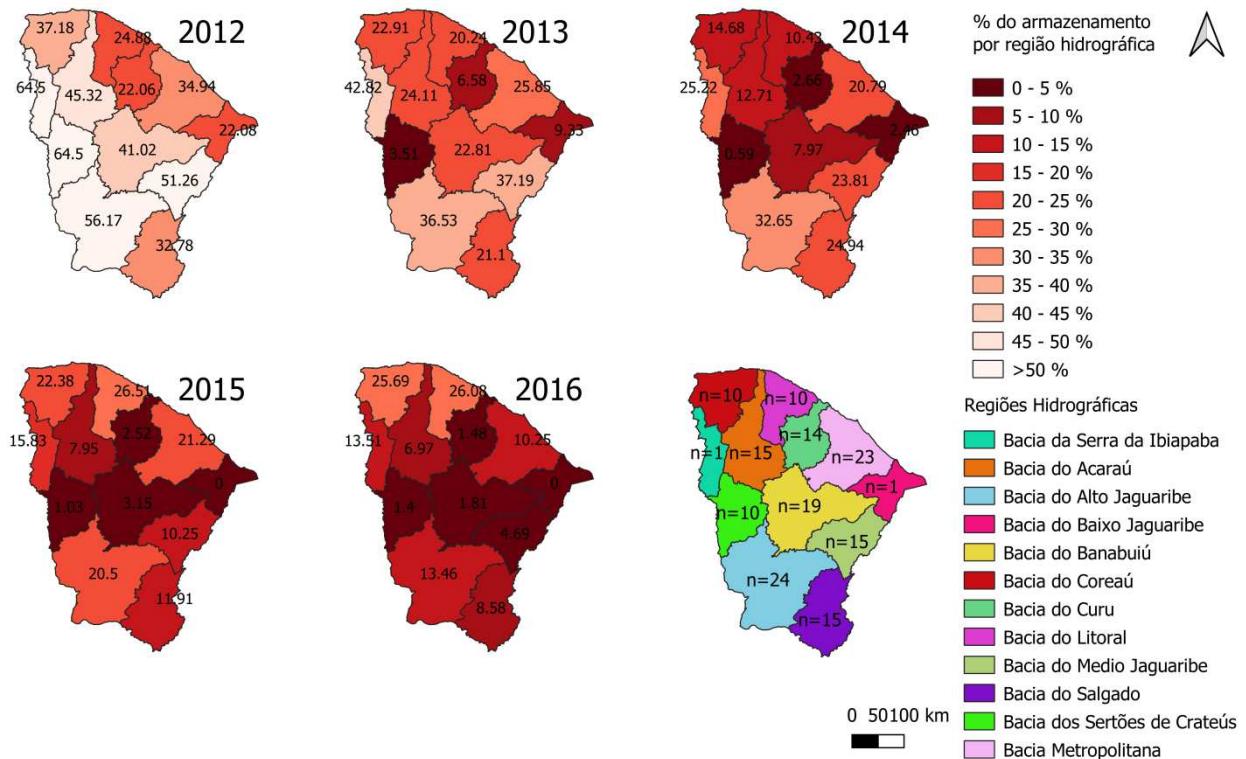
Os dez maiores açudes do Estado do Ceará armazenam aproximadamente 13 bilhões de m³. No ano de 2012, início do evento crítico, esses açudes acumulavam cerca de 50% do total e, em 2013, a taxa de acumulação diminuiu para 33%. Como as médias de precipitação continuavam abaixo da média histórica nos anos posteriores, em 2014 esses açudes acumulavam somente 22% e 11% em 2015, sendo os anos de 2016 e 2017 os mais críticos em relação a taxa de acumulação com valores de 5,5% e 4,1%, respectivamente, caracterizando a seca hidrológica no período entre 2012 e 2017.

4.3.2 *Mapeamento espaço-temporal do evento*

Nas regiões hidrográficas estão inseridos os 157 açudes que, atualmente, são monitorados continuamente pela COGERH. Em 2011, um ano antes do início da seca, o sistema encontrava-se com armazenamento hídrico de cerca de 66,6% da capacidade total, ou seja, 12.445 hm³ e apenas 15 açudes estratégicos tinham volumes inferiores a 30% de suas capacidades. Entretanto, ao fim do ano de 2012 o sistema já estava com 66 açudes com volume abaixo de 30% das suas capacidades e o volume total do sistema era de 8,5 bilhões de m³, 45%. No ano seguinte, 2013, o volume armazenado era de apenas 30%, reduzindo para 20%, 11% e 7% nos anos seguintes, finalizando com o ano de 2017 com o volume armazenado de 12%.

Na Figura 23 é possível observar a evolução espacial e temporal da seca nas regiões hidrográficas do Ceará.

Figura 23 - Volumes armazenados nos reservatórios do Ceará por região hidrográfica entre 2012-2016, onde n é o número de açudes por região hidrográfica.



Fonte: Pereira et al., (2023)

A Bacia do Alto Jaguaribe é onde está a maior quantidade de açudes monitorados, um total de 24, com capacidade total de armazenamento de 2.766 hm³, ou seja, aproximadamente 15% da capacidade total do Estado. Em 2012 a BAJ armazenava 56,2% da sua capacidade e em 2016 apenas 13,5%. O maior açude localizado na BAJ é o Orós com capacidade de 1940,0 hm³.

A segunda maior bacia, em relação à quantidade de reservatórios, é a Bacia Metropolitana (BMT) com 22 açudes e uma capacidade máxima de armazenamento de 1.384 hm³ o que corresponde a aproximadamente 7,5% da capacidade total da rede. Em 2012, a BMT armazenava cerca de 34,9% da sua capacidade e em 2016 somente 10,3%.

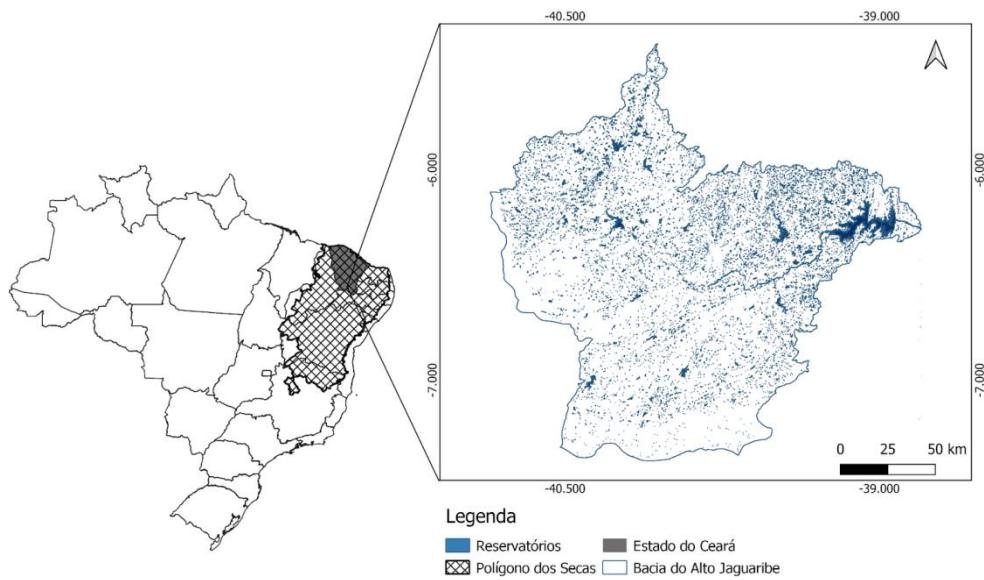
Porém, a bacia hidrográfica com maior capacidade de armazenamento é a Bacia do Médio Jaguaribe (BMJ), onde está localizado o açude Castanhão, o maior do Estado, com capacidade de 6.700 hm³. A BMJ possui 15 açudes com capacidade total de armazenamento de 7.374 hm³, o que corresponde a 39,8% de toda a capacidade de todo o sistema que abastece o Estado do Ceará. Em 2012, a BMJ armazenava 41,0% da sua capacidade e em 2016 esse número caiu para apenas 4,7%.

As demais regiões hidrográficas do Estado seguiram essa tendência de queda no volume armazenado ao longo dos anos de 2012-2016, demonstrando o grave problema de escassez hídrica enfrentada pela região durante esse evento de seca.

Porém, o Estado do Ceará possui uma das maiores densidades de açudes do mundo, principalmente pela sua alta quantidade de açudes não estratégicos, ou seja, aqueles que não são monitorados pelos órgãos gestores de recursos hídricos e possuem escassez de dados com relação às suas capacidades e outras informações técnicas (PEREIRA et al., 2019).

Como exemplo dessa alta densidade de açudes, pode-se observar a Figura 24 que representa a BAJ e identifica mais de 2 mil pequenos e médios açudes, que são utilizados, principalmente, para dessedentação animal, usos indiretos pelas comunidades (lavar roupa, louças etc.), para irrigar pequenas áreas e em último caso para usos nobres como consumo humano.

Figura 24 - localização da Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe e sua densa rede de açudes.



Fonte: Pereira et al. (2023)

Pereira et al. (2019) estimaram em cerca de 20 mil os açudes não estratégicos no Estado do Ceará com áreas de inundação superiores a 1 há, e a dificuldade em obter informações técnicas que ajudassem a compreender a dinâmica e estimar os volumes armazenados com o intuito de inseri-los nos futuros planos de gestão de recursos hídricos do Estado.

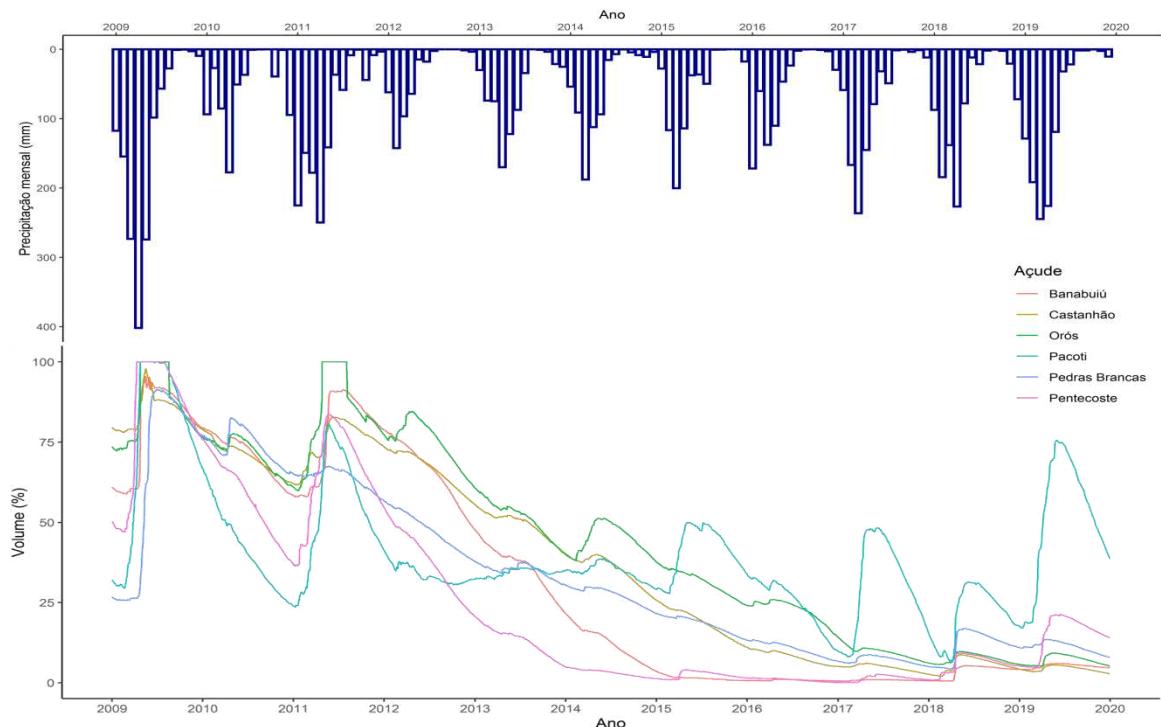
Apesar desse grande número de açudes não estratégicos, estima-se que os mesmos sejam capazes de armazenar menos de 10% da capacidade do Estado, porém são de fundamental

importância para a descentralização dos recursos hídricos e democratização do acesso à água para regiões mais distantes dos centros urbanos. Logo, por escassez de informações de gestão, não é possível quantificar de forma precisa o impacto da seca nos açudes não estratégicos e os impactos sociais e econômicos sentidos pelas comunidades que se abastecem desses equipamentos.

4.3.3 Caracterização hidrometeorológica/física do evento

A área afetada pela seca de 2012-2017 compreendeu todo o Estado do Ceará e ao observar a Figura 25, onde estão apresentados os totais mensais de precipitação de 23 postos pluviométricos distribuídos por todo o Estado, é possível destacar que o ano de 2009 apresentou precipitação acima da média, particularmente durante o período caracterizado como chuvoso na região (fevereiro a maio). Destacam-se também as precipitações abaixo da média durante a seca, particularmente no período de 2012 a 2015. A Figura 25 apresenta os volumes armazenados em seis açudes estratégicos, incluindo o Castanhão, indicando que a acumulação se encontra próximo a 100% nos anos de 2009 e 2011.

Figura 25 - a) precipitação mensal entre os anos de 2009-2019; b) variação do volume diária de seis reservatórios entre os anos de 2009-2019

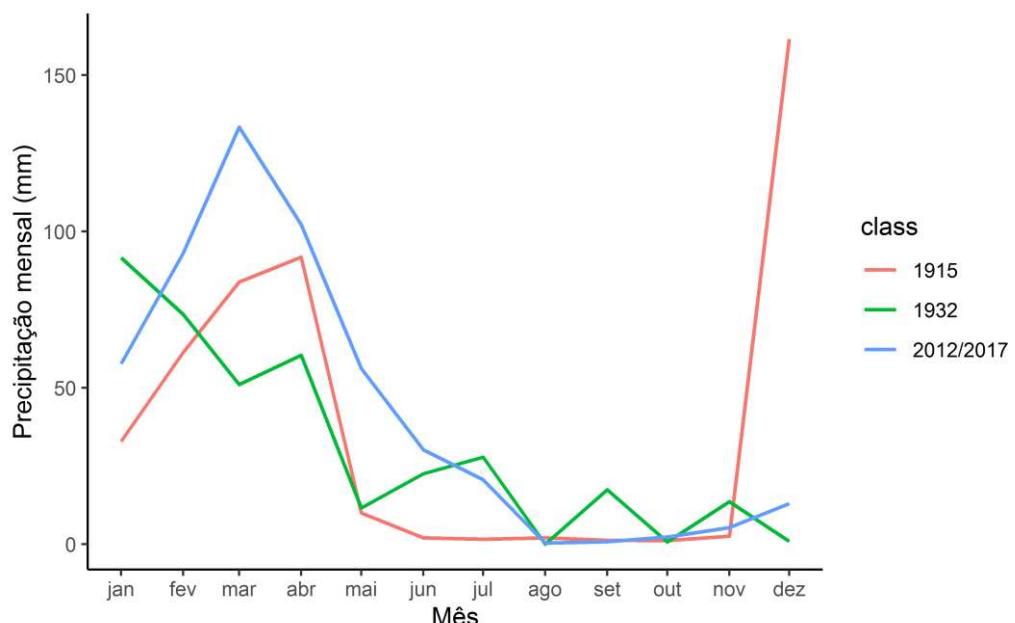


Fonte: Pereira et al. (2023)

No recorte da seca de 2012 a 2017 (Figura 26), observa-se que em 2012 as médias mensais de precipitação foram extremamente baixas durante a quadra chuvosa, principalmente entre os meses de março até maio com 96,6 mm, 64,1 mm e 14,6 mm, respectivamente, comparadas com as médias das Normais Climatológicas (INMET, 2022) para os meses em questão: 216,2 mm, 199,6 mm e 114,8 mm, sendo o total anual precipitado de 302 mm (FUNCENE, 2022). Em 2013 a precipitação continuou abaixo da média, destacando os meses de fevereiro com 74,0 mm e março com 74,8 mm e um total precipitado de 364 mm. Nos anos de 2014, 2015 e 2016 as médias continuaram na mesma ordem com totais precipitados anualmente de 460 mm, 419 e 327mm, respectivamente. Em 2017 observou-se um ganho pluviométrico e o total precipitado do ano foi de 552 mm, porém ainda abaixo da média.

Na Figura 25 também é possível observar a variação de armazenamento em seis açudes estratégicos: Banabuiú, Castanhão, Orós, Pacoti, Pedras Brancas e Pentecoste. No dia 31/12/2011 esses açudes armazenavam 78,9 %, 73,6 %, 77,4 %, 41,4%, 56,8 % e 54,9%, respectivamente. Logo, é clara a tendência de queda a partir de 2012 e alguns açudes, como o Pentecoste e Banabuiú, apresentavam volumes próximos a 0% entre os anos de 2015 e 2017. Por sua vez, o açude Castanhão terminou o ano 2017 apenas com 2,7% da sua capacidade total e o segundo maior açude do Estado, o Orós, apenas com 6,2%.

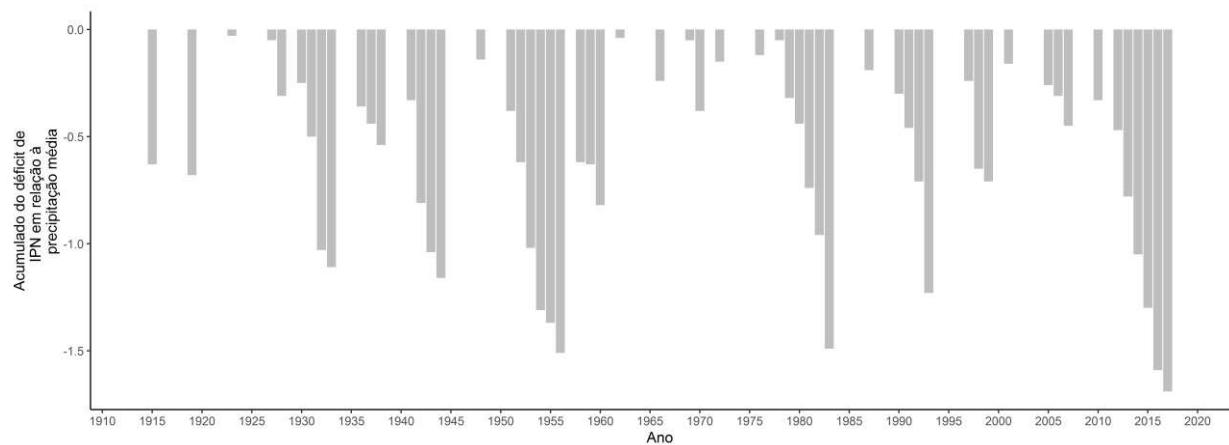
Figura 26 - Totais mensais de precipitação nos anos de 1915, 1932 e entre os anos de 2012-2017.



Fonte: Pereira et al. (2023)

Analisando as médias mensais de precipitação de secas históricas como a seca de 1915, conhecida como a Seca do Quinze, e a seca de 1932, percebe-se que durante a quadra chuvosa os totais mensais entre 2012-2017 foram superiores aos dos meses das secas históricas já citadas. A tendência de queda a partir do mês de junho é característica hidrológica na região, apresentando baixa pluviometria. Desta forma, é relevante destacar que, para a classificação das secas, diante da caracterização meteorológica, utilizou-se o Índice de Porcentagem Normal (IPN). O IPN consiste no cálculo da razão entre a precipitação acumulada no respectivo ano e a precipitação média anual de longo período. Quanto maior a extensão do período do denominador, maior a segurança estatística do índice.

Figura 27 - Acumulado do déficit percentual em relação à precipitação média, para sequências de anos secos.



Fonte: Nunes e Medeiros (2020)

Para a média aritmética presente foram contabilizados os registros de 105 anos, de 1912 a 2017 (NUNES e MEDEIROS, 2020). Além do mais, os registros históricos sobre o fenômeno das secas corroboram para a caracterização apontada pelo IPN (GUERRA, 1981; NEVES, 2007; SARMENTO, 2005; RÊGO, 2008). Assim, a partir da Figura 27 identificam-se os anos de 1915, 1919 e 1958 como anos secos que marcaram a história do Ceará. Já para os períodos com anos seguidos de precipitações abaixo da média: 1930-1933, 1979-1983, 1990-1993; o mais longo foi o de 2012-2017.

4.3.4 Caracterização socioeconômica do evento

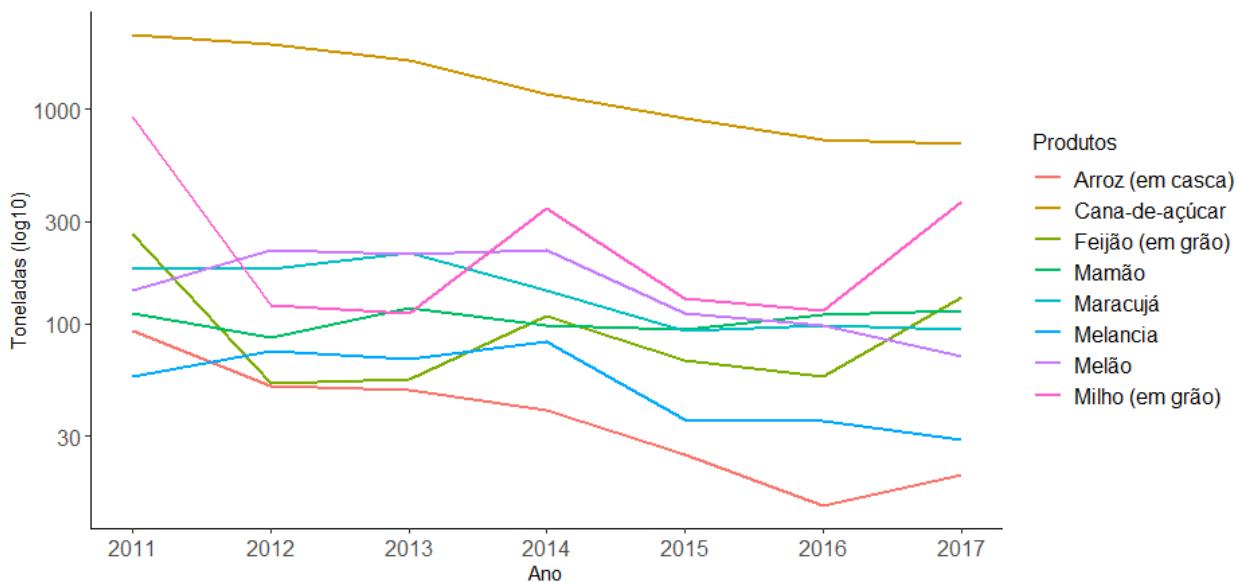
A seca de 2012 a 2017 não provocou grandes migrações do campo para as cidades, como se observou nas secas do início do século XX. Isso se deve à implantação da infraestrutura hidráulica, que aliviou os efeitos da seca sobre a sociedade. Ou seja, os anos de seca mais intensa ocorridos nas primeiras décadas do século XX, foram anos de seca isolados, contudo, constituindo-se catastróficos para a sociedade cearense, quando o capital hidráulico ainda era incipiente. Já na seca entre 2012 a 2017, quando houve a combinação da extensão no tempo e intensidade, o açude Castanhão, por exemplo, maior obra hidráulica cearense, teve papel fundamental na manutenção do abastecimento da RMF. No entanto, isto não ocorreu com o restante do estado do Ceará, onde a operação carro pipa foi constante.

Por outro lado, a evolução da seca meteorológica para hidrológica, provocando forte redução no armazenamento de água na rede de reservatórios, impactou a produção agrícola no estado. Segundo Cortez et al. (2017), as primeiras localidades afetadas pela seca de 2012 a 2017 foram as pequenas comunidades rurais, uma vez que a maioria não conta com fontes hídricas de capacidade plurianual, além de explorar atividades econômicas diretamente dependentes das chuvas, como a agricultura de sequeiro e a pecuária.

Comparando os dados da produção agrícola de 2011 (último ano com chuvas acima da média) com o período da referida seca, observa-se que houve uma queda na produção de grãos. Em 2011 foram produzidas 915.286 toneladas de milho e em 2012 apenas 122.501 toneladas, ou seja, uma redução de 87%. A produção de arroz, por sua vez, apresentou uma queda de 45% em 2012, nos anos seguintes essa queda continuou até chegar ao seu pior desempenho no ano de 2016, com uma produção 84,6% menor que em 2011.

O feijão, que é uma cultura muito comum na agricultura de subsistência e importante para o Estado, teve uma diminuição de 80% na produção no primeiro ano da seca e em 2013, com 55.630 toneladas. Porém, em 2014 houve um aumento, com relação a 2013, de 95%, ou seja, 108.998 toneladas e nos anos seguintes, 2015 e 2016, a produção retornou a diminuir e 2017 apresentou a maior produção do período de seca com 133.225 toneladas, porém, 50% a menos do que no ano de 2011, antes do início da seca.

Figura 28 - Produção agrícola, em toneladas, das principais culturas do Estado do Ceará

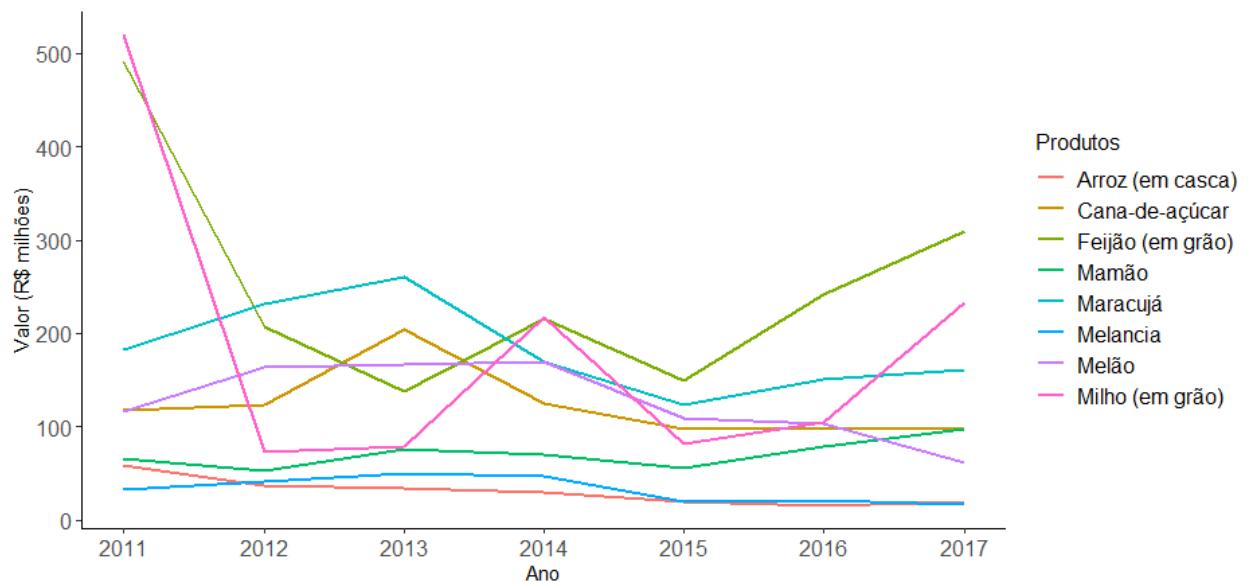


Fonte: Pereira et al., (2023)

O Estado do Ceará apresenta uma grande produção de Cana-de-açúcar para diversos fins (açúcar, cachaça, rapadura etc.) e no ano de 2011 foram produzidas 2.209.852 toneladas. Em 2012 houve uma redução de 9,6% na produção, no entanto essa queda foi acentuada nos demais anos da seca: 2013 (24,2%), 2014 (46,7%), (2015) 58,9%, (2016) 67,6%, (2017) 68,8%.

Com relação à produção de frutas, como por exemplo, a melancia e o melão com produção em 2011 de 56.910 toneladas e 143.466 toneladas, respectivamente, tiveram aumento na produção nos anos de 2012, 2013 e 2014 em relação ao ano de 2011. Essas culturas só sofreram o impacto da seca a partir de 2015 até 2017, quando ocorreu a evolução da seca meteorológica para seca hidrológica, e os açudes perderam volume. Neste período a produção foi inferior à de 2011, com quedas na produção de melancia de 37%, 37,6% e 69,4%, respectivamente. Com relação ao melão, as quedas na produção para os anos de 2015 a 2017 foram, respectivamente, de 22,3%, 31,3% e 50,8%.

Figura 29 - valor da produção agrícola em R\$ das principais culturas do Estado do Ceará.



Fonte: Pereira et al., (2023)

Na Figura 29 destacam-se os valores (R\$) de produção das culturas no período de seca em comparação com o ano de 2011. A produção de milho no Estado do Ceará em 2011 alcançou um valor de R\$ 519,1 milhões e nos anos iniciais da seca, 2012 e 2013, os valores da produção foram de R\$ 73,4 milhões e R\$ 78,4 milhões, ou seja, uma redução de 85,8% e 84,8%, respectivamente. Entretanto, em 2014 houve um ganho no valor de produção, R\$ 217,4 milhões, em comparação com os dois anos anteriores, mas que ainda representou uma redução de 58,1% em relação a 2011. Porém, em 2015 e 2016 o valor tornou a diminuir para R\$ 82,3 milhões e R\$ 105,5 milhões, respectivamente, e 2017 apresentou o maior valor de produção do período de seca, com R\$ 233,2 milhões, mas novamente ainda inferior ao registrado no ano de 2011, anterior ao início da seca.

Por sua vez, a cultura do arroz, que teve o valor de produção em 2011 de R\$ 58,8 milhões, apresentou queda em todos os anos entre 2012 e 2017, sendo os anos de 2016 e 2017 os menores valores nesse período, de R\$ 16,4 milhões e 19,7 milhões, respectivamente. Da mesma forma, houve uma diminuição no valor do feijão logo no ano de 2012 com R\$ 207,4 milhões enquanto no ano anterior o valor da produção foi de R\$ 490,6 milhões, sendo que o ano de 2013 apresentou o menor valor da série arrecadando cerca de R\$138,6 milhões e nos demais anos, 2014 até 2017, o valor de produção sofreu pequenas variações finalizando o último ano da seca com R\$ 309,8 milhões.

A cana-de-açúcar se comportou diferente dos demais itens citados acima e, mesmo havendo queda na produção entre os anos de 2012 e 2017, os valores de produção entre os anos

de 2012 e 2014 foram superiores aos R\$ 118,2 milhões do ano de 2011. Entretanto, a partir de 2015 até 2017 os valores da produção da cultura diminuíram apresentando os seguintes valores: R\$ 98,4 milhões, R\$ 98,4 milhões e R\$ 99,0 milhões, respectivamente.

Com relação à produção de frutas, a variação dos valores de produção apresentou uma dinâmica distinta dos grãos e da cana-de-açúcar. No ano de 2011 a produção de mamão foi de R\$ 66,2 milhões e, no período de seca, apenas os anos de 2012 e 2015 apresentaram valores abaixo, R\$ 52,8 milhões e R\$ 55,5 milhões, respectivamente. Mesmo nos anos em que a produção em tonelada foi inferior a produção de 2011, por exemplo 2014 e 2016, o valor de produção foi superior. A produção de melancia e de melão apresentaram impactos positivos no valor da produção na primeira metade da seca, entre 2012 e 2014, enquanto na segunda metade, entre 2015 e 2017, os valores foram inferiores ao valor total de cada produção para o ano de 2011. Possivelmente isso se deve às flutuações do mercado, podendo haver aumento de preço de produtos agrícolas em períodos de baixa oferta, como durante eventos de seca.

4.3.5 Ações realizadas antes, durante e após o evento

Pré-evento

A construção dos reservatórios hídricos no semiárido brasileiro surgiu como uma das primeiras alternativas políticas de combate ou mitigação dos efeitos produzidos pela seca, sendo um dos sistemas de engenharia mais antigos implantados na região (PEREIRA NETO, 2017). Por exemplo, o açude Cedro foi construído no Município de Quixadá entre os anos de 1890 e 1906, em resposta aos impactos sociais oriundos da seca de 1877-1879.

Durante o século, os governos têm buscado consolidar um arcabouço legal e institucional, visando a gestão não apenas da oferta, mas também da demanda, englobando a formalização do direito de uso, a cobrança de água, as campanhas educativas e a descentralização das decisões através do incentivo da participação dos usuários nos comitês de bacias. A política de recursos hídricos do Ceará foi uma das pioneiras no país e vem sendo marcada pela busca de um modelo próprio ao semiárido brasileiro. O aparato legal, acompanhado de decretos e normativos, se iniciou com a Lei Estadual Nº 11.966/1992 e revogada pela Lei Nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010.

Para a efetivação das ações de gestão, foi criada em 1993, pela Lei Nº 12.217/1993, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH, vinculada à Secretaria de Recursos Hídricos – SRH, com o intuito de desempenhar o papel de agência executiva e operacional, nas funções de coordenação, regulação e controle do gerenciamento das águas de todo o Estado.

O modelo brasileiro de gestão das águas, inspirado no modelo francês, preconiza a gestão descentralizada, participativa e integrada (MORAIS et al., 2018) e está expresso na Lei nº 9.433/97, a Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que confere poder de gestão a grupos ligados a cada uma das principais bacias hidrográficas do país, criando os Comitês de Bacias Hidrográficas. Assim como no âmbito federal, os comitês do Estado do Ceará têm poder consultivo e deliberativo e arbitram sobre os conflitos de uso da água e aproximam as demandas das comunidades locais da tomada de decisão. As negociações nos comitês de bacia hidrográfica para serem efetivas, é necessário que todos os interessados nos recursos hídricos da bacia tenham os seus interesses representados e que, além disso, eles sejam passíveis de discussão e deliberação em igualdade de condições (MESQUITA, 2018).

Mesmo com a ampla e efetiva atuação dos Comitês de Bacias no Estado do Ceará, ainda se constatava a dificuldade para se obter a participação e representação de todos e a ação local, para tanto, foram instituídas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, as Comissões Gestoras de Açudes, devendo ser compostas por usuários, representantes da sociedade civil e representantes do poder público (Resolução CONERH Nº 02, de 20/11/2007). Atualmente, as comissões gestoras funcionam como organismos locais de gerenciamento, conduzindo em nível local as discussões sobre o gerenciamento e o desenvolvimento sustentável dos mananciais onde o processo foi instalado. Além disso, funcionam como comissões específicas ligadas aos comitês de bacia, sendo responsáveis por conduzir a alocação negociada de água, educação ambiental e mediação de conflitos. O modelo tem servido, também, para a gestão de água subterrânea (FROTA et al., 2013).

A partir de 2003, o Ministério do Desenvolvimento Social (MDS) financia o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais (Programa Cisternas) que prioriza a região semiárida brasileira e que busca amenizar os efeitos da escassez hídrica bem como melhorar a convivência com a seca, sendo o público alvo do programa famílias rurais de baixa renda, com prioridade para povos e comunidades tradicionais, atingidas pela seca ou falta regular de água e com o objetivo de instalação de 1 milhão de cisternas, que foi alcançado em 2014 (BRASIL, 2013).

A tecnologia mais empregada pelo programa são as cisternas de placas, que são reservatórios de água em formato cilíndrico, semienterrado, coberto e com capacidade de armazenamento de 16 mil litros, no caso de cisternas instaladas em escolas da zona rural essa capacidade é de 52 mil litros. A água armazenada é oriunda de chuvas que são captadas a partir do escoamento nos telhados das casas por meio de calhas de zinco ou PVC.

No Estado do Ceará, até junho de 2012 haviam sido instaladas 49.124 mil cisternas e outras 15.808 estavam em andamento. O programa foi contínuo durante a seca de 2012-2017 e até fevereiro de 2017 haviam sido instaladas 337 mil unidades de 16 mil litros e 65 mil de 52 mil litros. Porém, ainda ocorre déficit no atendimento a famílias rurais e em determinadas comunidades fazem uso das cisternas de vizinhos. Apesar de o programa ter ganhado o prêmio de Política para o Futuro da ONU em 2017, nos anos seguintes houve cortes no orçamento e nos anos de 2019 e 2020, no Estado do Ceará, houve apenas finalizações de obras conveniadas entre 2017 e 2018. Em relação a 2014, houve uma redução de 94,5% no orçamento entre os anos de 2015 e 2020 (DIÁRIO DO NORDESTE, 2017).

Durante o evento

Durante a evolução do evento de seca de 2012 a 2017, o Governo do Estado do Ceará adotou ações de governança, ou como definiram Medeiros e Sivapalan (2020), medidas não estruturais para amenizar e adotar estratégias para o cenário de escassez hídrica. Em 2012 através do Decreto n.º 30.909, de 02 de maio de 2012, O Governo do Estado instituiu o Comitê Integrado de Combate à Seca, com a finalidade, como descrito no seu Artº 1, de coordenar as atividades de enfrentamento aos efeitos da seca e de amparo às populações atingidas. Esse comitê é formado por 18 membros, sendo: 01 (um) representante da Secretaria do Desenvolvimento Agrário - SDA; 02 (dois) representantes da Secretaria Nacional de Defesa Civil; 01 (um) representante do Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA; 01 (um) representante do Ministério do Desenvolvimento Social - MDS; 01 (um) representante do Ministério de Minas e Energia; 01 (um) representante do Exército; 01 (um) representante da Defesa Civil do Estado do Ceará; 01 (um) representante da Secretaria de Recursos Hídricos - SRH; 01 (um) representante da Secretaria das Cidades; 01 (um) representante da Superintendência de Obras Hidráulicas - SOHIDRA; 01 (um) representante da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE; 01 (um) representante da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará - EMATERCE; 01 (um) representante da Secretaria do Trabalho e Desenvolvimento Social - STDS; 01 (um) representante da Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social - SSPDS; 01 (um) representante da Associação dos Municípios do Estado do Ceará - APRECE; 01 (um) representante da Federação dos Trabalhadores e Trabalhadoras na Agricultura do Estado do Ceará - FETRAECE e 01 (um) representante da Federação da Agricultura e Pecuária do Estado do Ceará - FAEC.

Em 2015 foi criado o Grupo de Contingência para agilizar as tomadas de decisões para o enfrentamento aos efeitos da seca, sendo formado por secretários de diversas pastas que se reuniam com frequência semanal, contando de forma sistemática com a presença do Governador do Estado em atividade até 2022. Uma das primeiras ações do grupo foi o programa de Adutoras de Montagem Rápida (AMR) em parceria com o Ministério da Integração, Governo do Estado do Ceará, COGERH, SRH e Defesa Civil. Segundo Cortez et al. (2017), a integração dos diversos órgãos que trabalharam com a convivência com secas no semiárido e a gestão dos recursos hídricos produziu resultados significativos para o Ceará, no que diz respeito à mitigação dos impactos da seca.

Ainda no ano de 2015 o Governo do Estado, em parceria com o Governo Federal, elaborou o Plano Estadual de Convivência com a Seca que constitui em documento com medidas emergenciais e estruturantes para cinco eixos de atuação: segurança hídrica, segurança alimentar, benefícios sociais, sustentabilidade econômica e conhecimento e inovação. O plano foca na mudança de paradigma entre as medidas estruturais e não estruturais uma vez que, a primeira vem sendo desenvolvida ao longo dos anos e se mostra insuficiente em períodos de escassez hídrica. E, no sentido de buscar gestões mais eficientes, as medidas de resiliência à seca se baseiam em três pilares: 1) Monitoramento robusto e previsão/alerta precoce; 2) Vulnerabilidades/resiliência e avaliação de impactos; 3) Mitigação e planejamento de resposta e medidas (CEARÁ, 2015).

Para o município de Fortaleza e RMF, a CAGECE estabeleceu, a partir do ano de 2015, uma tarifa de contingência, ou seja, uma taxa para os clientes que não reduzissem em 20% o seu consumo, sendo parte do recurso arrecadado destinada a obras e ações de segurança hídrica. Somente ficaram isentos dessa tarifa os clientes com enquadramento padrão básico ou regular que consumissem até 10 m³ por mês. A CAGECE afirma que 77% dos usuários de Fortaleza e RMF passaram a consumir dentro da meta estabelecida e que a tarifa tem viés educativo e já foi assimilada pela população. Até fevereiro de 2019, o valor total arrecadado com o pagamento da tarifa de contingência foi de R\$ 297 milhões, onde aproximadamente R\$ 75 milhões foram destinados a impostos, R\$ 154 milhões investidos em ações de segurança hídrica e o montante acumulado seria usado em ações de abastecimento de água no município de Fortaleza e RMF.

Em regiões em que houve um cenário mais crítico de escassez hídrica, por exemplo o sertão central, a operação carro pipa era a fonte de água para a população cujas cisternas estavam vazias e para as casas que não foram contempladas com esse programa do governo

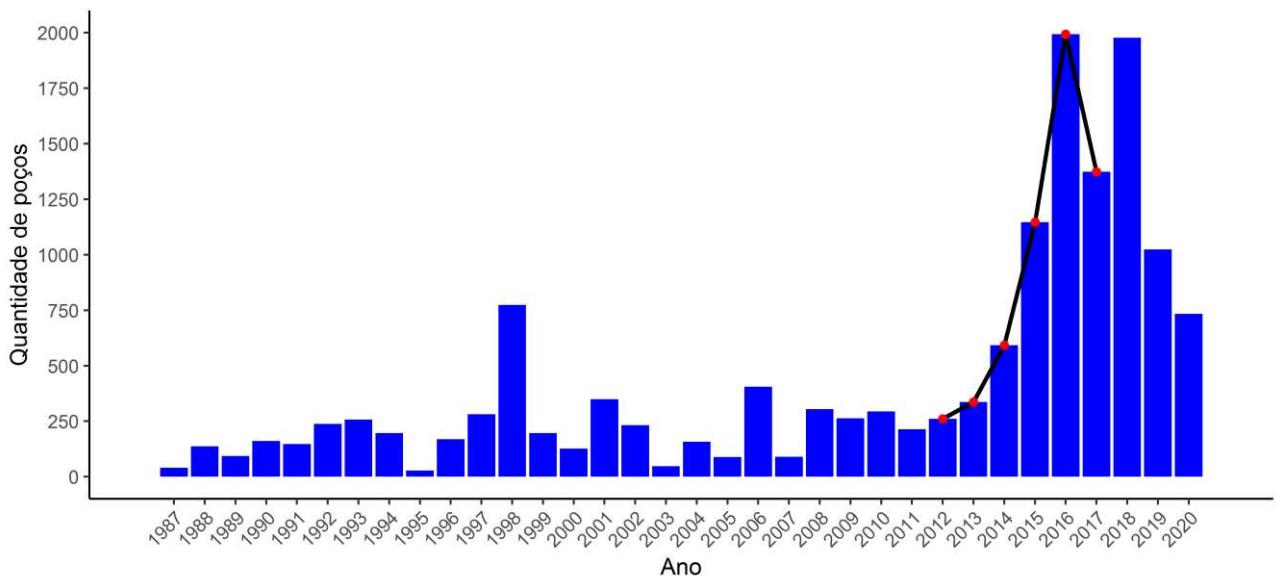
federal. Segundo Nunes e Medeiros (2020), entre anos de 2012 até setembro de 2017 foram gastos no Estado do Ceará aproximadamente 864 milhões de reais com a operação carro pipa, sendo o ano de 2012 com a maior taxa de municípios atendidos (97%) e o ano de 2016 com o maior valor gasto anualmente, chegando a quase 250 milhões de reais.

Após o evento

O Projeto Malha d'Água consiste de sistemas de adutoras de água tratada onde a captação é realizada de mananciais com elevada garantia hídrica, tendo como objetivo ampliar a segurança hídrica para abastecimento humano no Estado do Ceará e abrange 179 municípios. O projeto tem horizonte de 25 anos (2016 – 2041) contemplando 35 sistemas adutores principais, planejados com uma estação de tratamento de água em cada um deles, totalizando 4,3 mil km de linhas adutoras principais e 305 estações de bombeamento. O projeto tem a previsão de atender uma população urbana de 6,35 milhões de habitantes com a vazão de projeto de 16,5 m³/s, 05 sistemas adutores de integração com 97 km e vazão de projeto de 2,1 m³/s e investimento estimado em R\$ 5,55 bilhões (CEARÁ, 2020).

Com a elevada taxa de construção de açudes no Ceará no final do século XX e a ampliação da capacidade de armazenamento hídrico, o sistema passou de uma condição de restrição hidráulica (quando a disponibilidade hídrica é limitada pela baixa capacidade de acumulação) para restrição hidrológica (quando a limitação é de natureza hidrológica) (MEDEIROS e SIVAPALAN, 2020). Nesse contexto, construir novos açudes não traria um ganho considerável para a disponibilidade hídrica, assim, uma das ações adotadas mais intensamente foi a perfuração de poços. Na Figura 30 observa-se que, no período da seca de 2012-2017, houve um rápido crescimento no número de perfurações de poços, alcançando aproximadamente dois mil poços somente no ano de 2017. Por exemplo, em 1993 e 1998, anos de seca extrema e severa, respectivamente, houve também perfurações de poços, porém mais comedidas.

Figura 30 - Poços perfurados no Estado do Ceará pela SOHIDRA no período de 1987 a 2020.



Fonte: Pereira et al. (2023)

Em 1993, a principal solução adotada para diminuir os efeitos da seca, particularmente quando ao abastecimento da capital Fortaleza, o Governo do Estado construiu o Canal do Trabalho em apenas 90 dias. O canal possui 113 km de extensão e tinha o objetivo de captar água do Rio Jaguaribe e, por gravidade, levar até o açude Pacajus para abastecer a RMF. Durante a seca objeto deste trabalho, com o intuito de aumentar a disponibilidade hídrica de Fortaleza e da RMF, bem como diminuir a pressão sobre a rede de reservatórios, em janeiro de 2017 o Governo do Estado do Ceará publicou a resolução do CGPP nº 06/2016 que dispõe sobre a autorização para a publicação de aviso de manifestação de interesse para estudos referente à implantação, operação e manutenção de uma planta de dessalinização de água marinha. Em julho de 2021 o Governador do Estado assinou a ordem de serviço e com projeção de início de operação para 2025. A usina de dessalinização será localizada na Praia do Futuro e com capacidade de produção de 1 m³/s, beneficiando 720 mil pessoas, ou seja, aumentando a capacidade hídrica de Fortaleza e RMF em 12%. O projeto é uma parceria público-privada e foi celebrado entre CAGECE e Águas de Fortaleza S.A com o valor de investimento de aproximadamente 500 milhões de reais, sendo o total de 3 bilhões de reais em contraprestações, pagas após o início da operação da usina.

4.3.6 *Lições oriundas do evento*

O evento de seca ocorrido de 2012 a 2017 no Ceará, o mais longo registrado nos últimos 100 anos, demonstra os benefícios proporcionados pela implantação de uma infraestrutura hidráulica ao longo do século XX, notadamente a densa rede de reservatórios estratégicos e não estratégicos, e as obras de transferência hídrica. Ainda que a população rural difusa foi impactada pela escassez hídrica, tendo que recorrer ao abastecimento por carros pipa, e que o setor agrícola tenha tido perdas significativas de produção, os impactos sociais da referida seca foram muito reduzidos se comparados aos de secas do início do século 20 (por exemplo, as secas de 1915 e 1919), quando parcela considerável da população migrou para a capital e milhares de mortes ocorreram.

Apesar da relevância do capital hidráulico adquirido, a seca de 2012 a 2017 indica que ainda há necessidade de medidas para reduzir a vulnerabilidade da população a secas, particularmente no que diz respeito à gestão. Uma das principais lições oriundas deste evento diz respeito ao racionamento hídrico e à decisão de quando iniciá-lo. No evento ora analisado, a irrigação foi o único setor a sofrer racionamento (iniciado em setembro de 2013 e persistindo até o final da seca), enquanto os demais setores usuários não sofreram redução no abastecimento, demonstrando uma característica de orientação de um sistema de abastecimento hídrico edificado para servir ao centro metropolitano, deixando as periferias do sistema reféns de políticas que fomentam o mecanismo da indústria das secas, como os carros pipas, oriundas de um modelo paternalista. Assim, o sacrifício unicamente da irrigação, aumentou a vulnerabilidade de abastecimento humano e animal, em dissonância com a Lei das Águas e com a própria Constituição que estabelecem os mesmos como usos prioritários em situações de escassez.

Os usos de tecnologias e modelos, como também a obtenção de informações técnicas e construtivas, que possam aumentar a eficiência no uso da água desses açudes é imprescindível, como por exemplo o modelo NeStRes (BRASIL e MEDEIROS, 2020) que simula a eficiência do uso do açude para plantação de determinadas culturas e qual o retorno financeiro desse uso. Assim, podem dar suporte financeiro às comunidades, com o uso eficiente em períodos de cheia, em períodos de seca.

Enfim, importante ressaltar que, diante de um fenômeno natural e característico da região semiárida, mostra-se imprescindível oportunizar a seca, como por exemplo, promovendo o desassoreamento de açudes quando os mesmos se encontrarem secos, portanto sem a

necessidade de realização de dragagem. Araújo et al. (2006) estimam que os reservatórios do Estado do Ceará perdem em média aproximadamente 1,6% da capacidade a cada década. Além disso, os nutrientes adsorvidos ao sedimento contribuem com o processo de eutrofização dos reservatórios e degradação da qualidade da água, funcionando como fontes internas de nutrientes (LIMA NETO et al., 2022). Nesse contexto, pesquisas têm demonstrado a viabilidade de reuso de sedimento para fertilização de solos (BRAGA et al., 2017; BRAGA et al., 2019), remoendo o material do leito de açudes secos e transferindo de volta para a bacia hidrográfica. Essa prática também apresenta potencial recuperar parcialmente a capacidade de acumulação perdida por assoreamento, bem como de promover melhorias na qualidade da água pela retirada de nutrientes adsorvidos ao sedimento (LIRA et al., 2020).

Ainda sobre a gestão dos recursos hídricos e alternativas de fontes hídricas, é imprescindível considerar a opção de reuso do esgoto tratado, ainda pouco explorada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Notadamente prioriza-se a opção de projeto com custos elevados e de potencial impacto ambiental de operação, a dessalinização.

Por fim, considerando que os pequenos açudes não são estruturas capazes de contribuir em situações extremas de seca, pois são os primeiros a secar, devido as altas taxas de evaporação, mesmo que não se utilize sua água, tem-se a necessidade de existir fontes hídricas múltiplas, como por exemplo: sistemas adutores interligados (projeto Malha d'Água); sistemas de dessalinização; sistema de reuso; poços; e cisternas, que podem ser associadas ao abastecimento por carros-pipa em situações emergenciais. Já na área da gestão, pode-se destacar a importância do monitoramento contínuo do regime hidrológico e das vazões nos reservatórios, para a adoção de medidas em tempo e adequadas. No mais, o comitê de secas criado pelo governo do estado constitui um bom exemplo de instrumento para avaliação e elaboração de políticas de gestão hídrica, que pode ser aprimorado, apesar do retardo na decisão sobre racionamento e o foco em um único setor da economia (agrícola), que gerou conflitos e risco de desabastecimento das demandas prioritárias humana e animal.

5 CONCLUSÃO

A Bacia do Rio Jaguaribe (BRJ), uma área semiárida de 75.000 km² localizada no Polígono das Secas no Brasil, historicamente sofreu secas intensas que moldaram o desenvolvimento social. Uma política focada na construção de açudes prevaleceu como uma estratégia importante para lidar com a escassez de água, e uma rede densa e complexa de reservatórios foi estabelecida, combinando a implementação liderada pelo governo de grandes reservatórios estratégicos e a construção espontânea de pequenas barragens pela sociedade.

Apesar de enfrentar vários desafios, incluindo um crescimento populacional significativo, a região demonstrou uma evolução na dinâmica do sistema humano-água, permitindo que milhões de habitantes prosperem em um ambiente semiárido. Essa resiliência sugere que a região tem potencial como um campo de aprendizado para a socio-hidrologia, oferecendo lições valiosas para a compreensão das interações entre a sociedade e os recursos hídricos.

Embora os primeiros impactos, principalmente nas secas históricas, tenham sido devastadores, resultando em milhares de vítimas e graves perdas agrícolas, a experiência nesta região demonstra que esses desafios podem ser enfrentados por meio da implementação de estratégias de longo prazo e esforços colaborativos. No entanto, é essencial reconhecer que o desenvolvimento dessas políticas foi, às vezes, marcado pela desumanidade, notadamente no caso dos Campos de Concentração usados como resposta a grandes movimentos migratórios e a exploração de refugiados da seca como força de trabalho para a construção de reservatórios e utilizadas também em obras privadas.

A chamada Política de Barragens persistiu na busca de diferentes aspectos da segurança hídrica por todo o século XX, e quatro eras puderam ser definidas com base na principal restrição para atingir esse objetivo e no estágio de desenvolvimento da rede de reservatórios. Na Era 1, o suprimento era limitado pela disponibilidade de água com alta confiabilidade, portanto, a construção das primeiras barragens marcou o início da Política de Barragens e os benefícios associados. Durante a Era 2, a disponibilidade de água melhorou completamente, mas os poucos reservatórios estratégicos existentes e o acesso negado de camponeses a reservatórios localizados em terras privadas impuseram uma restrição à acessibilidade, e as fontes de água foram controladas pela elite em um processo conhecido como Indústria da Seca.

A partir da Era 3, a sociedade expandiu a rede de reservatórios construindo espontaneamente suas próprias represas agrícolas, mas a aceitabilidade do sistema de água se tornou um desafio, pois essas pequenas estruturas não conseguiam fornecer água com alta confiabilidade, criando desigualdades no abastecimento de água. Durante a atual Era 4, a qualidade da água se destaca como a principal restrição e, juntamente com uma limitação hidrológica para aumentar ainda mais a disponibilidade de água por meio do represamento de rios, levou ao abandono gradual da Política de Represas.

Este trabalho demonstrou que as Eras de avanço da segurança hídrica se encaixam na estrutura AAAQ (Disponibilidade, Acessibilidade, Aceitabilidade e Qualidade) dos padrões de direitos humanos. Embora tenha havido avanços inegáveis na disponibilidade e acessibilidade à água, as interações entre humanos e hidrologia continuaram a representar desafios para atingir totalmente a segurança hídrica, como: i) desigualdade promovida pelo sistema existente, especialmente para grupos minoritários que dependem de pequenos reservatórios, e ii) degradação da qualidade da água. Além disso, a dependência excessiva de barragens como única solução expõe a sociedade à escassez em tempos de secas severas, como a de 2012-2017 no BRJ, aumentando a vulnerabilidade do sistema devido ao chamado efeito reservatório.

A continuação da política da açudagem por mais de um século, enquanto a segurança hídrica foi avançada progressivamente na BRJ, ilustra a natureza dinâmica das expectativas sociais no atendimento aos direitos humanos. À medida que as necessidades sociais básicas, como a disponibilidade de água, são atendidas nos estágios iniciais da implementação das políticas, novos aspectos dos direitos à água são exigidos, forçando a adaptação (ou continuação, como no BRJ) da estratégia original. A experiência no BRJ fornece um exemplo de um possível caminho para a operacionalização dos direitos à água dentro da estrutura da AAAQ em bacias secas.

REFERÊNCIAS

- A ORDEM. O flagelo do Norte. **A Ordem**, Sobral, 14 mai. de 1932, ano 16, n 1.004, p 1. Disponível em:
<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=234702&pesq=%22campo%20de%20concentra%C3%A7%C3%A3o%22&hf=memoria.bn.br&pagfis=3401>. Acesso em: 23 out. 2023.
- A ORDEM. Transferência do Campo de Concentração. **A Ordem**, Sobral, 27 abr. de 1932, ano 16, n 1.000, p 1. Disponível:
<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=234702&pesq=%22campo%20de%20concentra%C3%A7%C3%A3o%22&hf=memoria.bn.br&pagfis=3382>. Acesso em: 23 out. 2023.
- A RAZÃO. A Dignidade de uma administração. **A Razão**, Fortaleza, 29 out. de 1936, ano 1, n. 135, p 15. Disponível em:
<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=764450&pesq=%22campo%20de%20concentra%C3%A7%C3%A3o%22&hf=memoria.bn.br&pagfis=7409>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- ADECE. **Eixão das Águas**. Fortaleza, 11 de jun. de 2014. Disponível em:
<https://www.adece.ce.gov.br/2014/06/11/canal-da-integracao>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- ALENCAR, J. M. P. de. Seccas. **Revista Trimensal do Instituto do Ceará - 1887 a 1900**. Fortaleza, 1889. p 263. Disponível em:
<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=144843&pesq=pr%C3%AAmio%20a%C3%A7ude&hf=memoria.bn.br&pagfis=3635>. Acessado em: 13 abr. 2023.
- ALENCAR, P. H. L.; PATON, E. N. How do we identify flash droughts? A study case in Central Europe Croplands. **Hydrology Research**, London, v. 53, n. 9, p. 1150-1165, 2022. <https://doi.org/10.2166/nh.2022.003>
- ALVES, J. **História das secas** (séculos XVII a XIX). Fortaleza: Fundação Waldemar Alcântara, 2023.
- ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; SERVAIN, J. Reservoir management using coupled atmospheric and hydrological models: The Brazilian Semi-Arid case. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 26, n. 5, p. 1365–1385, 2012. doi:10.1007/s11269-011-9963-2
- ALVES, V. **Campos de Concentração da Seca de 1932 no Ceará**: Múltiplas visões e reverberações contemporâneas. Ed. Expressão Gráfica e Editora. Fortaleza, 2023.
- ALMEIDA, J. A. **A Bagaceira**. 23 ed. João Pessoa: Secretaria de Educação do Governo do Estado da Paraíba, 1987.
- ANA. **Reservatórios do Semiárido Brasileiro**: hidrologia, balanço hídrico e operação. Relatório Final. Brasília: ANA, Engecorps Engenharia S.A, 2016.
- ARAÚJO, G. M.; LIMA NETO, I. E.; BECKER, H. Phosphorus dynamics in a highly

polluted urban drainage channel-shallow reservoir system in the Brazilian semiarid. *Ann. Brazil. Acad. Sci.*, Rio de Janeiro, v. 91, n. 3, e20180441, 2019.

ARAÚJO, J. A. de A. **Barragens no Nordeste do Brasil**: Experiência do DNOCS em barragens na região semiárida. 2 ed. Fortaleza: DNOCS, 1990. 328 p.

ARAÚJO, J.C. de.; BRONSTERT, A. A method to assess hydrological drought in semi-arid environments and its application to the Jaguaribe River basin, Brazil, **Water International**, London, v. 41, n. 2, p. 213-230, 2016. <https://doi.org/10.1080/02508060.2015.1113077>

ARAÚJO, J. C. de.; DÖLL, P.; GÜNTNER, A.; KROL, M.; ABREU, C. B. R.; HAUSCHILD, M.; MENDIONDO, E. M. Water Scarcity Under Cenarios for Global Change and Regional Development in Semiarid Northeastern Brazil. **Water International**, London, v. 29, n. 2, p. 209-220, 2004. <https://doi.org/10.1080/02508060408691770>

ARAÚJO, J. C. de.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006. 10.1623/hysj.51.1.157

ARAÚJO, J. C. de.; MAMEDE, G. L.; LIMA, B. P, de. Hydrological guidelines for reservoir operation to enhance water governance: application to the Brazilian Semiarid Region. **Water**, Basel, v. 10, n. 11, 1628, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10111628>.

ARAÚJO, J. C. de.; MEDEIROS, P. H. Impact of Dense Reservoir Networks on Water Resources in Semiarid Environments. **Australasian Journal of Water Resources**, Canberra, v. 17, p. 87-100, 2013. <https://doi.org/10.7158/13241583.2013.11465422>.

ARAÚJO, J. C. de.; PIEDRA, J. I. G. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. **Hydrological Processes**, Hoboken, v. 23, p. 1169-1178, 2009. <https://doi.org/10.1002/hyp.7232>

ARAÚJO, R. A. de.; FILHO, E. T. F. O campo de concentração do Ipu no contexto da revolução de 1930. In: ALVES, V (org.). **Campos de Concentração da Seca de 1932 no Ceará: Múltiplas visões e reverberações contemporâneas**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2022. p. 13-37.

BAKER, T. J.; CULLEN.; DEBEVEC, L.; ABEBE, Y. A socio-hydrological approach for incorporating gender into biophysical models and implications for water resources research. **Applied Geography**, Amsterdam, v. 62, p. 325-338, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.05.008>.

BARBOZA E. H. L. **Ida ao inferno verde**: experiências da migração de trabalhadores do Ceará para a Amazônia (1942/1945). 2005. 182 p. Dissertação (Mestrado em História Social) Programa de Pós-Graduação em História, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2005.

BEZERRA, E. **A terra e a irrigação no Nordeste**. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, p. 116, 1996.

BOELENS, R.; SHAH, E.; BRUINS, B. Contested knowledges: large dams and mega-hydraulic development. **Water**, Basel, v. 11, n. 3, 416, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11030416>.

BRAGA, B. B.; NUNES JÚNIOR, F.; BARBOSA, R.; BRITO, P.; MARTINS, K.; MEDEIROS, P.; GONDIM, F. Biomass Production and Antioxidative Enzyme Activities of Sunflower Plants Growing in Substrates Containing Sediment from a Tropical Reservoir. **Journal Agriculture Science**, Ontario, v. 9, n. 5, 2017. DOI: 10.5539/jas.v9n5p95

BRAGA, B. B.; CARVALHO, T. R. A.; BROSINSKY, A.; FOERSTER, S.; MEDEIROS, P. H. A. From waste to resource: Cost-benefit analysis of reservoir sediment reuse for soil fertilization in a semiarid catchment. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 670, p. 158-169, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.083>.

BRASIL. **Lei nº 12.873, de 24 de outubro de 2013**. Autoriza a Companhia Nacional de Abastecimento a utilizar o regime diferenciado de contratações públicas – RDC. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/Lei/L12873.htm. Acesso em: 18 abr. 2022.

BRASIL, P.; MEDEIROS, P. H. A. NeStRes – Model for Operation of Non-Strategic Reservoirs for Irrigation in Drylands: Model Description and Application to a Semiarid Basin. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 34, p. 195-210, 2020.

BRASIL, T. P. de S. **O Ceará no começo do Século XX**. Fortaleza: Typo-Lithographia a Vapor, 1909. 893 p. Disponível em: <https://ufdc.ufl.edu/AA00000246/00001/1j>. Acesso em: 05 fev. 2021.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados** [online]. 2014, v. 28, n. 82, p. 65-88. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142014000300005>. Acesso em 10 mai. 2022.

CAMPOS, J. N. B. Paradigms and public policies on drought in Northeast Brazil: a historical perspective. **Environmental Management**, London, v. 55, n. 5, p. 1052-1063, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0444-x>

CAMPOS, J. N. B.; STUDART; T. M. C.; LUNA, R.; FRANCO, S. Hydrological Transformations in Jaguaribe River Basin during the 20th Century. In: 20th Hydrological Days, Fort Collins, CO. **Anais** [...] Proceedings of the 20th Annual American Geophysical Union. Fort Collins, Co: Hydrology Days Publications, 2000 v. 1, p. 221-227. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237725873_Hydrological_Transformations_in_Jaguaribe_River_Basin_during_20th_Century. Acesso em: 10 jan. 2024.

CEARÁ. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará**. Capítulo 6: Balanço hídrico concentrado. Fortaleza: SRH, 2005. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/12/0281013-PLANERH-DIAGN%C3%93STICO-Capitulo-6-Balanco-Hidrico-Concentrado.pdf> Acesso em: 18 ago. 2024.

CEARÁ. **Plano Estadual de Convivência com a Seca**: ações emergenciais e estruturantes. Ceará, CE. Governo do Estado do Ceará, 2015. Disponível em: http://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2016/05/Plano_Convivencia_com_a_Seca_02_03_2015-1.pdf. Acesso em:

14 mar. 2022.

CEARÁ. Portal hidrológico. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/>. Acesso em: 14 mar. 2022.

CEARÁ. Apresentação. 2023. Disponível em:

<https://www.srh.ce.gov.br/apresentacao/#:~:text=A%20Secretaria%20dos%20Recursos%20H%C3%ADdricos,Pol%C3%ADtica%20P%C3%ABlica%20de%20Recursos%20H%C3%ADdricos>. Acesso em: 25 abr. 2023,

CEARÁ. Projeto Malha D’água. 2020. Disponível em:

https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2020/07/APRESENT_MALHA-DAGUA_Sintese_2020_A4.pdf. Acesso em: 03 mar. 2022

COLOMBO, P.; RIBEIRO NETO, G. G.; COSTA, A. C.; MAMEDE, G. L.; VAN OEL, P. R. Modeling the influence of small reservoirs on hydrological drought propagation in space and time. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 629, 130640, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130640>.

CONERH. Resolução N° 2, de 20 de novembro de 2007. Dispõe sobre as Comissões

Gestoras de Sistemas Hídricos. Lex. Disponível em:

<http://www.srh.ce.gov.br/legislacao/legislacao-estadual>. Acesso em: 16 abr. 2022.

CORTEZ, H. dos S.; LIMA, G. P. D.; SAKAMOTO, M. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. **Parc. Estrat.** Brasília-DF. v. 22, n. 44, p. 83-118. 2017.

CUNHA, E. **Os sertões**: campanha de Canudos. 39 ed. Rio de Janeiro, Publifolha, 2000.

DI BALDASSARRE, G.; VIGLIONE, A.; CARR, G.; KUIL, L.; SALINAS, J. L.; BLÖSCHL, G. Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions, **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, Göttingen, v. 17, p. 3295–3303, 2013. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3295-2013>.

DI BALDASSARRE, G.; VIGLIONE, A.; CARR, G.; KUIL, L.; YAN, K.; BRANDIMARTE, L.; BLÖSCHL, G. Debates-Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes. **Water Resour. Res.**, Washington, v. 51, p. 4770–4781, 2015. doi:10.1002/2014WR016416.

DI BALDASSARRE, G.; WANDERS, N.; AGHAKOUCHAK, A.; KUIL, L.; RANGECROFT, S.; VELDKAMP, T. I.; GARCIA, M.; VAN OEL, P. R.; BREINL, K.; VAN LOON, A. F. Water shortages worsened by reservoir effects. **Nature Sustainability**, London, v. 1, n. 11, p. 617–622, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0159-0>.

DIÁRIO DO NORDESTE. Programa de cisterna registra redução de 94% em seis anos.

Diário do Nordeste, Fortaleza, 20 set. de 2017. Disponível em:

<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/novas-cisternas-estao-ameacadas-1.1822825>. Acesso em: 18 abr. 2022

DIÁRIO DO NORDESTE. Estudo inédito estima a existência de quase 90 mil barragens no Ceará. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 24 jun. de 2020. Disponível em:

<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/estudo-inedito-estima-a-existencia-de-quase-90-mil-barragens-no-ce-1.2969982>. Acesso em: 20 mar. 2022

DUARTE. R. Os relatórios do ETENE sobre a seca de 1958. **Caderno de Estudos Sociais**, Recife, v. 19, n. 1, p. 7-16, Jan/jun, 2003.

DUQUE, J. G. **Solo e água no Polígono das Secas**. Ed. Ministério da Viação e Obras Públicas, Fortaleza: Departamento Nacional de Obras contra as Secas, 1953.

EHRLICH, P. R.; RAVEN, P. H. Butterflies and plants: a study in coevolution. 973 **Evolution**, v. 18, p. 586-608, 1964.

ELSHAFEI, Y.; SIVAPALAN, M.; TONTS, M.; HIPSEY, M. R. A prototype framework for models of socio-hydrology: identification of key feedback loops and parameterisation approach. **Hydrol. Earth Syst. Sci**, Göttingen, v. 18, p. 2141–2166, 2014.

<https://doi.org/10.5194/hess-18-2141-2014>.

ENGLE, N. L.; JOHNS, O. R.; LEMOS, M. C.; NELSON D. R. Integrated and adaptive management of water resources: tensions, legacies, and the next best thing. **Ecol Soc**, Dedham, v. 16, n. 9, 2011. 10.5751/ES-03934-160119.

FALKENMARK, M. The Massive Water Scarcity Now Threatening Africa: Why Isn't It Being Addressed? **Ambio**, Berlim, v. 18, p. 112-118, 1989.

FIGUEIREDO, J. V.de.; ARAÚJO, J. C. de.; MEDEIROS, P. H. A.; COSTA, A. C. Runoff initiation in a preserved semiarid Caatinga small watershed, Northeastern Brazil. **Hydrological Processes**, Hoboken, v. 30, n. 13, p. 2390-2400, 2016.

<https://doi.org/10.1002/hyp.10801>

FIGUEIREDO, R. de.; FILHO, A. Campo de concentração do Buriti: Vida e Morte. In: ALVES, V (org.). **Campos de Concentração da Seca de 1932 no Ceará: Múltiplas visões e reverberações contemporâneas**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2022. p. 61-72.

FILHO, W. L.; TOTIN, E.; FRANKE, J. A.; ANDREW, S. M.; ABUBAKAR, I. R.; AZADI, H.; NUNN, P. D.; OUWENEEL, B.; WILLIAMS, P.A.; SIMPSON, N. P. Understanding responses to climate-related water scarcity in Africa. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 806, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150420>.

FINAN, T. J.; NELSON, D. R. Making rain, making roads, making do: public and private adaptations to drought in Ceará, Northeast Brazil. **Climate Research**, Oldendorf, v. 19, n. 2, p. 97-108, 2001. <http://dx.doi.org/10.3354/cr019097>.

FISCHER, I.; ALBUQUERQUE, L. 139-A mulher e a emergência da seca do Nordeste do Brasil. **Textos para Discussão**, 2002.

FOUCAULT, M. **Em defesa da sociedade**. Curso no Collège de France (1975-1976). São Paulo: Martins Fontes, 2005. 400 p.

FREIRE, L. L.; COSTA, A. C.; LIMA NETO, I. E. Effects of rainfall and land use on nutrient responses in rivers in the Brazilian semiarid region. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 195, n. 6, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11281-y>.

FREITAS, G. S. Um gótico nordestino? A estética gótica em “Êxodo” (1890), de Rodolfo Teófilo. In: FIORONI, J. F.; MOREIRA, M. E. R.; PEREIRA, V. C. (org). **Poéticas da proximidade**: Literatura e outros saberes. 1 ed. Belo Horizonte, MG: Tradição Planalto produções visuais e editoriais, p. 58-68, 2023.

FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J. C.; SANTIAGO, M. M. F. Water Resources of Ceará and Piauí. In: GAISER, T.; KROL, M.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J. C. de. (org). **Global Change and Regional Impacts**. Berlin: Springer, p. 87-94, 2003. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55659-3_6.

FROTA, P. V.; SILVA, U. P. A.; SALES, C. de A. J.; SOUSA FILHO, F. de A. **Comissões Gestoras de Sistemas Hídricos do Estado do Ceará**. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/e68a2819929a4f0237f79dd3835f52dc_84146c79ee432b3e2d7cf85a72dc6392.pdf. Acesso em: 16 abr. 2022.

FUNCENE. **Portal Hidrológico**. 2022. Disponível em: <http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/>. Acesso em: 19 fev. 2022.

FUNCENE. **Sistemas Meteorológicos Causadores de Chuva na Região Nordeste do Brasil**. Fortaleza, 2002. Disponível em: http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Grafico_chuvas_postos_pluviometricos/entender/entender2.htm. Acesso em: 21 fev. 2022

FURTADO, C. **Seca e poder**: entrevista com Celso Furtado. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 1998.

G1. Primeiro açude do país, Cedro busca título de patrimônio mundial. **G1**. Fortaleza, 05 de abr. de 2015. Disponível em: https://g1.globo.com/ceara/noticia/2015/04/primeiro-acude-do-pais-cedro-busca-titulo-de-patrimonio-mundial.html?utm_source=whatsapp&utm_medium=share-bar-desktop&utm_campaign=share-bar. Acesso em: 03 abr. 2023.

GAISER, T.; KROL, M.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J. C. de. (Eds.). **Global change and regional impacts**. Berlin: Springer, 2003.

GANEM, R. S. **Caatinga: Estratégias de Conservação**. Estudo Técnico. Consultoria Legislativa, 2017.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). **Towards Water Security**: A Framework for Action. GWP, 2000.

GOBER, P.; Wheater, H. S. Debates—Perspectives on socio-hydrology: Modeling flood risk as a public policy problem, **Water Resour. Res.**, Washington, v. 51, p. 4782–4788, 2015. doi:10.1002/2015WR016945.

GUERRA, P de B. **A Civilização da Seca**: o Nordeste é uma história mal contada. Brasil, Fortaleza: Ministério do Interior, DNOCS, p. 324, 1981.

GÜNTNER, A.; KROL, M. S.; ARAÚJO, J. C. De.; BRONSTERT, A. Simple water balance modelling of surface reservoir systems in a large data-scarce semiarid region/Modélisation

simple du bilan hydrologique de systèmes de réservoirs de surface dans une grande région semi-aride pauvre en données. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 49, n. 5, 918, 2004. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.5.901.55139>.

HJELMSTAD, A.; GARCIA, M.; LARSON, K. Effect of Drought Policies on Los Angeles Water Demand. **World Environmental and Water Resources Congress**, Watershed Management, Irrigation and Drainage, and Water Resources Planning and Management - Pittsburgh, United States, p. 239-250, 2019.

HOMER, C. S. E.; CASTRO LOPES, S.; NOVE, A.; *et al.* Barriers to and strategies for addressing the availability, accessibility, acceptability and quality of the sexual, reproductive, maternal, newborn and adolescent health workforce: addressing the post-2015 agenda. **BMC Pregnancy Childbirth**, London, v. 18, n. 55, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12884-018-1686-4>

IAHS. **Update on the IAHS HELPING Science for Solutions Decade**. Disponível em: <https://iahs.info/News/news/update-on-the-iahs-helping-science-for-solutions-decade/>. Acesso em: 25 de ago. 2024.

IBGE. **Índice de Desenvolvimento Humano**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/pesquisa/37/30255?ano=2010>. Acesso em: 25 de ago. 2024.

IBGE. **Panorama municipal**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>. Acesso em: 25 de ago. 2024.

IFOCS. **Relatório dos trabalhos realizados no triênio 1931-1933**. Fortaleza: v.1. Tipografia Minerva, 1934.

IMPRENSA POPULAR. Massacrados pela polícia cearense os trabalhadores do açude Araras. **Imprensa Popular** [online], Rio de Janeiro, 6 nov. de 1953. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=108081&pesq=%22a%C3%A7ude%20araras%22&pasta=ano%20195&hf=memoria.bn.br&pagfis=4876>. Acesso em: 21 mai. 2023.

IMPRENSA POPULAR. À custa de muita miséria está sendo construído o açude Araras. **Imprensa Popular** [online], Rio de Janeiro, 17 nov. de 1953. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=108081&pesq=%22a%C3%A7ude%20araras%22&pasta=ano%20195&hf=memoria.bn.br&pagfis=4947>. Acesso em: 21 mai. 2023.

INMET. **Nomal Climatológica**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em 13 mai. 2022.

IPECE. **Perfil Municipal**: Quixeramobim. Fortaleza, 2017. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Quixeramobim_2017.pdf. Acesso em: 21 fev. 2022.

IPU EM JORNAL. O cearense e a seca. **Ipu em Jornal**, Ipú, 30 de abr. de 1958. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=494712&pesq=seca&hf=memoria.bn.br&pagfis=27>. Acesso em: 14 set. 2022.

IPU EM JORNAL. **Êxodo. Ipu em Jornal.** Ipu, 28 de fev. de 1958. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=494712&pesq=seca&hf=memoria.bn.br&pagfis=20>. Acesso em: 14 set. 2022.

JENSEN, M. H.; VILLUMSEN, M.; PETERSEN, T. D. **The AAAQ Framework and the Right to Water:** International indicators for availability, accessibility, acceptability and qualityed. 2014. Disponível em: https://www.humanrights.dk/files/media/migrated/aaaq_international_indicators_2014.pdf. Acesso em: 25 de mar. 2024.

JESUS, T. S.; LANDRY, M. D.; DUSSAULT, G. *et al.* Human resources for health (and rehabilitation): Six Rehab-Workforce Challenges for the century. **Hum Resour Health**, London, v. 15, n. 8, 2017. <https://doi.org/10.1186/s12960-017-0182-7>.

JIANG, Y. China's water scarcity. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 90, n. 11, p. 3185-3196, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.016>.

JOHNSON, R. M. F.; KEMPER, K. R. Institucional and Policy analisys of river basin management: The Jaguaribe River Basin, Ceará, Brazil. **World Bank Policy Research Paper**, Washington, v. 3649, 2005. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/cfd74439-3965-5fa5-a996-ba0eeaada5d>. Acesso em: 25 de mar. 2024.

KANDASAMY, J.; SOUNTHARARAJAH, D.; SIVABALAN, P.; CHANAN, A.; VIGNESWARAN, S.; SIVAPALAN, M.: Socio-hydrologic drivers of the pendulum swing between agricultural development and environmental health: a case study from Murrumbidgee River basin, Australia. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, Göttingen, v. 18, p. 1027–1041, 2014. <https://doi.org/10.5194/hess-18-1027-2014>, 2014.

KENDALL, T.; SRIRAM, P.; PARMAR, A.; NORMAN, V. W. Canadian Newspapers Support Mifepristone Medication Abortion to Improve Fulfillment of the AAAQ Right to Health Framework (2015–2019). **Women's Health Issues**, Washington, v. 33, n. 6, p. 592-599, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.whi.2023.05.008>.

KHAGRAM, S. **Dams and development: transnational struggles for water and power.** Cornell University Press, 2018.

KONAR, M.; GARCIA, M.; SANDERSON, M. R.; YU, D. J.; SIVAPALAN, M. Expanding the scope and foundation of sociohydrology as the science of coupled human-water systems. **Water Resources Research**, Washington, v. 55, p. 874–887, 2019.

KUIL, L.; CARR, G.; VIGLIONE, A.; PRSKAWETZ, A.; BLÖSCHL, G. Conceptualizing socio-hydrological drought processes: The case of the Maya collapse. **Water Resources Research**, Washington, v. 52, n. 8, p. 6222-6242, 2006. <https://doi.org/10.1002/2015WR018298>.

KUMAR, P.; AVTAR, R.; DASGUPTA, R.; JOHNSON, B. A.; *et al.* Socio-hydrology: A key approach for adaptation to water scarcity and achieving human well-being in large riverine islands. **Progress in Disaster Science**, Amsterdam, v. 8, 100134, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100134>.

LIBERATO BARROSO, J. Mensagens do Governador do Ceará para Assembléia - CE) – 1891 a 1930. 1916. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=872830&pesq=%22campo%20de%20concentra%C3%A7%C3%A3o%22&hf=memoria.bn.br&pagfis=1628>. Acesso em: 17 abr. 2023.

LIMA, J., R., de.; MAGALHÃES, A. R. Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Parc. Estrat**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 46, p. 191-212. jan-jun, 2018.

LIMA, J. A. B de.; SOUSA NETO, F. C. da. Campo de concentração de Quixeramobim: A Seca de 1932 e o curral da fome. In: Alves, V (ed.). **Campos de Concentração da Seca de 1932 no Ceará: Múltiplas visões e reverberações contemporâneas**. Ed. Expressão Gráfica e Editora. Fortaleza. p. 117-142, 2022.

LIMA NETO, I. E.; MEDEIROS, P. H. A.; COSTA, A. C.; WIEGAND, M. C.; BARROS, A. R.; BARROS, M. U. G. Assessment of phosphorus loading dynamics in a tropical reservoir with high seasonal water level changes. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 815, 152875, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152875>.

LIMA, T. B.; MEDEIROS, P. H.; MAMEDE, G. L.; ARAÚJO, J. C. de. Impact of intensive water use from farm dams on the storage dynamics in Strategic Reservoirs. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 68, n. 16, 2422–2434, 2023. <https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2272669>

LIRA, C. C. S.; MEDEIROS, P. H. A.; NETO, I. E. L. Modelling the impact of sediment management on the trophic state of a tropical reservoir with high water storage variations. **Acad Bras Ciênc**, Rio de Janeiro, v. 92, n. 1, e20181169, 2020. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181169>.

LIU, Y.; TIAN, F.; HU, H.; SIVAPALAN, M. Socio-hydrologic perspectives of the co-evolution of humans and water in the Tarim River basin, Western China: the Taiji–Tire model. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, Göttingen, v. 18, p. 1289–1303. <https://doi.org/10.5194/hess-18-1289-2014>, 2014.

LÔBO, J. B. B. Campo de Concentração do Buriti – Currais do Governo. In: Alves, V (ed.). **Campos de Concentração da Seca de 1932 no Ceará: Múltiplas visões e reverberações contemporâneas**. Ed. Expressão Gráfica e Editora. Fortaleza. p. 87-95, 2022.

LU, Y.; TIAN, F.; GUO, L.; BORZÌ, I.; PATIL, R.; WEI, J.; LIU, D.; WEI, Y.; YU, D. J.; SIVAPALAN, M.: Socio-hydrologic modeling of the dynamics of cooperation in the transboundary Lancang–Mekong River, **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, Göttingen, v. 25, p. 1883–1903, 2021. <https://doi.org/10.5194/hess-25-1883-2021>.

LUCERO, L. J. **Water and Ritual**: The Rise and Fall of Classic Maya Rulers. University of Texas Press, 2006.

LUCERO, L. J. Ancient Maya reservoirs, constructed wetlands, and future water needs. **PNAS**, v. 120, n. 42, 2023. <https://doi.org/10.1073/pnas.230687012>.

MALVEIRA, V.; ARAÚJO, J. C. de.; GÜNTNER, A. Hydrological Impact of a High-Density Reservoir Network in Semiarid Northeastern Brazil. **Journal of Hydrologic Engineering**, Reston, v. 17, n. 1, p. 109-116, 2012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000404](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000404).

MANZI, M. **Fighting against or coexisting with drought?**: Conviviality, inequality, and peasant mobility in Northeast Brazil. Routledge, p. 143-157, 2020.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.; AVALA, R.; BRITO, S.; MORAES, O. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** [online], 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/aabc/v90n2s1/0001-3765-aabc-201720170206.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2023.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 129, n. 3, 1189-1200, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>.

MARENGO, J. A.; GALDOS, M. V.; CHALLINOR, A.; CUNHA, A. P.; MARIN, F. R.; VIANNA, M. dos; ALVALA, R. C.; ALVES, L. M.; MORAES, O. L.; BENDER, F. Drought in Northeast Brazil: A review of Agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, Hoboken, v. 1, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.1002/cli2.17>.

MCLEAN, J. Water injustices and potential remedies in indigenous rural contexts: A water justice analysis. **Environmentalist**, Dordrecht, v. 27, p.25–38, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9012-0>.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C. de. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. **J Soils Sediments**, Heidelberg, v. 14, p. 1216–1223, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0809-9>.

MEDEIROS, P.; SIVAPALAN, M. From hard-path to soft-path solutions: Slow–fast dynamics of human adaptation to droughts in a water scarce environment. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 65, n. 11, p. 1803–1814, 2020. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1770258>.

MEDINA-ELIZALDE, M.; BURNS, S. J.; LEA, D. W.; ASMEROM, Y.; VON GUNTEN, L.; POLYAK, V.; VUILLE, M.; KARMALKAR, A. High resolution stalagmite climate record from the Yucatán Peninsula spanning the Maya terminal classic period. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 298, n. 1-2, p. 255-262, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.08.016>.

MEIRA NETO, A. A., MEDEIROS, P., ARAÚJO, J. C., PEREIRA, B., SIVAPALAN, M. Evolution of Drought Mitigation and Water Security through 100 Years of Reservoir Expansion in Semi-Arid Brazil. **Water Resources Research**, Washington, v. 60, n. 9, p. 1-23, 2024. <https://doi.org/10.22541/essoar.169755397.70685279/v1>.

MELO, N. R. de. **Todas as 130 secas registradas no espaço geográfico do semiárido do Nordeste do Brasil**. 2016. Disponível em: <http://natalgeo.blogspot.com.br/2016/02/todas-as-128-secas-registradas-no.html>. Acesso em: 2 jun. 2023.

MESQUITA, L. F. G. Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. **Rev. Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 45, p. 56-80, abril 2018.

MESQUITA, P. S.; WITTMAN, H.; AROUDO MOTA, J. Climate variability, agricultural livelihoods and food security in Semi-arid Brazil. **Sustainability in Debate**, Brasilia, v. 7, 38–51, 2016. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v7n0.2016.18749>.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 391, n. 1–2, p. 202–216, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>.

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

MOURA, D. S.; LIMA NETO, I. E.; CLEMENTE, A.; OLIVEIRA, S.; PESTANA, C.; MELO, M. A.; CAPELO-NETO, J. C. Modeling phosphorus exchange between bottom sediment and water in tropical semiarid reservoirs. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 246, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125686>.

NAÇÃO. O Crato invadido por uma onda de famintos dos Estados vizinhos – Os roubos se sucedem. **Nação**, Fortaleza, 09 de jan. de 1932. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=800090&pesq=seca&pagfis=40>. Acesso em: 14 set. 2022.

NAÇÃO. Juazeiro, em angustias, dirige-se ao chefe do governo. **Nação**, Fortaleza, 22 de jan. de 1932. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=800090&pesq=seca&pagfis=12>. Acesso em: 14 set. 2022.

NASCIMENTO: Ausência de símbolos ‘apaga’ existência de campos de concentração em Fortaleza. **Diário do Nordeste**. Fortaleza, 20 de jul. de 2019. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/metro/ausencia-de-simbolos-apaga-existencia-de-campos-de-concentracao-em-fortaleza-1.2125438>. Acesso em: 21 mai. 2023.

NASCIMENTO, A. T.; CAVALCANTI, N. H.; CASTRO, B. P.; MEDEIROS, P. H. Decentralized Water Supply by reservoir network reduces power demand for water distribution in a semi-arid basin. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 64, n. 1, p. 80–91, 2019. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1566728>.

NEVES, F. de C. A seca na história do Ceará. In: SOUZA, Simone (Coord.) **História do Ceará**: 4 ed. Fortaleza: Fundação Demócrata Rocha, 2007.

NEVES, F. de. A Miséria na literatura: José do patrocínio e a seca de 1878 no Ceará. **Tempo**, v. 11, n. 22, p. 80–9, 2007. <https://doi.org/10.1590/s1413-77042007000100005>.

NOGUEIRA: Ainda a Emigração para S. Paulo. **Correio de Juazeiro**, Juazeiro do Norte, ano

1, n. 13, 10 de abr. de 1949. Disponível em:

<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=830208&pesq=seca&hf=memoria.bn.br&pagfis=72>. Acesso em: 22 jun. 2023.

NUNES, L.; MEDEIROS, P. Análise Histórica da Severidade de Secas no ceará: Efeitos da Aquisição de Capital Hidráulico sobre a Sociedade. **Revista de Gestão de Água Da América Latina**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.21168/rega.v17e18>.

O BOHEMIO. A salvação do Ceará. **O Bohemio**. Fortaleza, 5 de dez. de 1900. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=778923&pesq=&pagfis=13>. Acesso em: 03 abr. 2023.

O CEARENSE. Secca. **O Cearense** [online], Fortaleza, 18 fev. de 1877. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=709506&pesq=a%C3%A7ude&hf=memoria.bn.br&pagfis=11556>. Acesso em: 3 mai. 2023.

O JORNAL. Açudes inaugurados. **O Jornal**, Sobral, 22 de set. de 1933. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=720631&pesq=pr%C3%AAmio%20a%C3%A7ude&hf=memoria.bn.br&pagfis=145>. Acesso em: 04 abr. 2023.

O PÃO DA PARADIA ESPIRITUAL. As Manchas do sol e as secas II. **O Pão da padaria espiritual**, Fortaleza, 01 de mar. De 1895. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=706965&pesq=seca&hf=memoria.bn.br&pagfis=75>. Acesso em: 20 dez. 2022.

O POVO. Padre Cícero e o Fenômeno do Caldeirão (III). **O Povo** [online], Fortaleza, Janaury, 1938. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=763853&Pesq=seca&pagfis=59>. Acesso em: 03 de abr. 2023.

O SERTÃO. Panorama do Brasil. **O Sertão**, Baixio, 30 de jan. de 1949. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=830194&pesq=seca&hf=memoria.bn.br&pagfis=16>. Acesso em: 2 nov. 2022.

O SITIÁ. O grande açude de Quixadá. **O Sitiá** [online], Quixadá, 28 jun. de 1925. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=829986&pesq=%22a%C3%A7ude%20Cedro%22&hf=memoria.bn.br&pagfis=191>. Acesso em: 02 abr. 2023.

OGILVIE, A.; RIAUX, J.; MASSUEL, S.; MULLIGAN, M.; et al. Socio-hydrological drivers of agricultural water use in small reservoirs. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 218, p. 17-29, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.001>.

PALHARINI, R. S. A.; VILA, D. A. Climatological Behavior of Precipitating Clouds in the Northeast Region of Brazil. **Advances In Meteorology**, [s.l.], v. 2017, p. 1-12, 2017. DOI:10.1155/2017/5916150.

PANDE, S.; SAVENIJE, H. H. G. A sociohydrological model for smallholder farmers in Maharashtra, India. **Water Resources Research**, Washington, v. 52, n. 3, p. 1923-1947, 2016. <https://doi.org/10.1002/2015WR017841>

PANDE, S.; SIVAPALAN, M. Progress in socio-hydrology: a meta-analysis of challenges and opportunities. **WIREs Water**, Hoboken, v. 4, n. 4, 2017. <https://doi.org/10.1002/wat2.1193>

PANTALENA, A. F.; MAIA, L. P. Marcas da ação antrópica na história ambiental do Rio Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada/ Journal of Integrated Coastal Zone Management**, Lisboa, v. 14, n. 3, p. 459-469, 2014. Doi:10.5894/rgci431.

PATROCÍNIO, J. **Os retirantes**. 1 ed. Joinville: Editora Clube de Autores, 2022.

PEKEL, J. F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, Berlim, v. 540, p. 418-422, 2016. <https://doi.org/10.1038/nature20584>.

PEREIRA, G. R.; CUELLAR, M. Z. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, **Estado do Ceará. Estud**, Fortaleza, v. 29, n. 84, p.115-137, 2015. 10.1590/S0103-40142015000200008.

PEREIRA, B.; MEDEIROS, P.; FRANCKE, T.; RAMALHO, G.; FOERSTER, S.; ARAÚJO, J. C. de. Assessment of the geometry and volumes of small surface water reservoirs by remote sensing in a semi-arid region with high reservoir density. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 64, n. 1, p. 66–79, 2019. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1566727>.

PEREIRA, B. S.; NUNES, L. F. C. V.; ALEXANDRE, D. M. B.; ARAÚJO, J. C. de; MEDEIROS, P. H. A. Seca no Ceará 2012-2017. In: ZANANDREA, F.; KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P.; FLEISCHMANN, A.; COLLISCHONN, W. (eds.). **Desastres e água: eventos históricos no Brasil**. 1 Ed. ABRHidro. Porto Alegre, 2023. p. 315-334.

PEREIRA, B. S.; UCHÔA, J. G. S. M.; FREITAS, G. S.; MEIRA NETO, A. A.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. C.; MENDIONDO, E. M.; MEDEIROS, P. H. A. Hydrological Heritage: A Historical Exploration of Human-Water Dynamics in Northeast Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 70, n. 4, p. 546-558, 2025. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2446272>.

PEREIRA NETO, M. C. Perspectivas da Açudagem no Semiárido Brasileiro e suas Implicações na Região do Seridó Potiguar. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 285-294, 2017.

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

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

PINHEIRO, E. A. R.; METSELAAR, K.; van LIER, Q. de J.; ARAÚJO, J. C. de. Importance of soil-water to the Caatinga biome, Brazil. **Ecohydrology**, London, v. 9, n. 7, p. 1313-1327, 2016. <https://doi.org/10.1002/eco.1728>.

PROVÍNCIA DO CEARÁ. A secca e a escravidão. **Província do Ceará**, Fortaleza, 25 de mar. de 1885. Disponível em:
<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=814520&pesq=seca&hf=memoria.bn.br&pagfis=3>. Acesso em: 19 dez. 2022

PRUDHOMME, C. *et al.* Hydrological droughts in the 21st century: hotspots and uncertainties from a global multi-model ensemble experiment. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, [s.l.], v. 111, n. 9, p. 3262–3267, 2014. Doi:10.1073/pnas.1222473110

QUEIROZ, R. **O quinze**. 110 ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 2019.

RABELO, U. P.; DIETRICH, J.; COSTA, A. C.; SIMSHÄUSER, M. N.; SCHOLZ, F. E.; NGUYEN, V. T.; LIMA NETO, I. E. Representing a dense network of ponds and reservoirs in a semi-distributed dryland catchment model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 603, 127103, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127103>.

RAMOS, G. **Vidas secas**. 45 ed. Rio de Janeiro: Record, 1980.

RAULINO, J. B.; SILVEIRA, C. S.; LIMA NETO, I. E. Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality of large semi-arid reservoirs in Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 66, n. 8, p. 1321–1336, 2021.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1933491>.

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

RÊGO, Thereza Christina Citó César. **Proposta metodológica para gestão de secas: o caso da bacia do Alto Jaguaribe, Ceará**. 2008. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

RELATÓRIO DOS PRESIDENTES DOS ESTADOS BRASILEIROS. **Mensagem à Assembleia Legislativa do Estado do Ceará**. 1901. Disponível em:
[https://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=720372&pasta=ano%20190&pesq=&pagfis=1106](http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=720372&pasta=ano%20190&pesq=&pagfis=1106). Acesso em: 2 mai. 2023.

RIBEIRO NETO, G. G.; MELSEN, L. A.; COSTA, A. C.; WALKER, D. W.; CAVALCANTE, L.; KCHOUK, S.; *et al.* Clash of drought narratives: A study on the role of small reservoirs in the emergence of drought impacts. **Earth's Future**, Washington, v. 12, n. 7, 2024. <https://doi.org/10.1029/2023EF004311>.

RIBEIRO NETO, G. G.; MELSEN, L. A.; MARTINS, E. S. P. R.; WALKER, D. W.; van OEL, P. R. Drought cycle analysis to evaluate the influence of a dense network of small reservoirs on drought evolution. **Water Resources Research**, Washington, v. 58, n. 1, p. 1–21, 2021. doi:10.1029/2021WR030799.

RIOS, K. S. **Isolamento e Poder**: Fortaleza e os campos de concentração da Seca de 1932. Imprensa Universitária. Brasil, Fortaleza. p. 144, 2014.

- ROCHA, M. A.; BARROS, M. U.; COSTA, A. C.; FILHO, F. de.; NETO, I. E. Understanding the Water Quality Dynamics in a Large Tropical Reservoir under Hydrological Drought Conditions. **Pré-print**. 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3289720/v1>.
- ROCHA M de J. D.; LIMA NETO, I. E. Modeling flow-related phosphorus inputs to tropical semiarid reservoirs. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 295, 113123, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113123>.
- ROOBAVANNAN, M.; KANDASAMY, J.; PANDE, S.; VIGNESWARAN, S.; SIVAPALAN, M. Sustainability of agricultural basin development under uncertain future climate and economic conditions: A socio-hydrological analysis. **Ecological Economics**, Amsterdam, 174, 106665, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106665>.
- ROOBAVANNAN, M.; VAN EMMERIK, T. H. M.; ELSHAFEI, Y.; KANDASAMY, J.; SANDERSON, M. R.; VIGNESWARAN, S.; PANDE, S.; SIVAPALAN, M.: Norms and values in sociohydrological models, **Hydrol. Earth Syst. Sci**, Göttingen, v. 22, p. 1337–1349, 2018. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1337-2018>.
- ROSA, L.; CHIARELLI, D. D.; RULLI, M. C.; DELL'ANGELO, J.; D'ODORICO, P. Global Agricultural Economic Water Scarcity. **Science Advances**, Washington, v. 6, n. 18, 2020. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz6031>.
- SALINAS, C. E. T.; OLIVEIRA, V. P. V. D.; BRITO, L.; FERREIRA, A. V.; ARAÚJO, J. C. de. Social impacts of a large-dam construction: the case of Castanhão, Brazil. **Water International**, London, v. 44, n. 8, p. 871-885, 2019. <https://doi.org/10.1080/02508060.2019.1677303>.
- SANTOS, J. A.; MARINS, R. V.; AGUIAR, J. E.; CHALAR, G.; SILVA, F. A. T. F.; LACERDA, L. D. Hydrochemistry and trophic state change in a large reservoir in the Brazilian northeast region under intense drought conditions. **J. Limnol**, Pavia, v. 76, n. 1, p. 41–51, 2017. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1433>.
- SARABI, G. S.; DAVARY, K.; GHAHRAMAN, B.; SHAFIEI, M. A perceptual socio-hydrological model of co-evolutionary coupled human–water system based on historical analysis, Mashhad basin, Iran. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 66, n. 3, p. 355–372, 2021. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1873345>.
- SARASATE, P. **Mensagem apresentada à Assembleia Legislativa**. Fortaleza, 15 de mar. de 1956. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=800015&pesq=pr%C3%AAmio%20a%C3%A7ude&hf=memoria.bn.br&pagfis=701>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- SARMENTO, F. J. **Transposição do Rio São Francisco – Realidade e obra a construir**. EDICEL, Brasília, 2005.
- SCHNEIDER, T., BISCHOFF, T., HAUG, G. H. Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone. **Nature**, London, v. 513, n. 7516, p. 45-53. 2014. <https://doi.org/10.1038/nature13636>.

SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F.; RODERICK, M. L. Little change in global drought over the past 60 years. **Nature**, Londo, v. 491, n.7424, p. 435–438, 2012. Doi:10.1038/nature11575.

SILVA, E. M. R.; ALMEIDA, L. G.; MEDEIROS, P. H. A.; LIMA, G. D.; ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, J. C. de. Reservoir eutrophication in the Brazilian semiarid: modeling of sediment removal and control of external loads as remediation measures. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 32, p. 7663-7679, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36183-z>

SILVERS, M. B. **Voices of Drought**: The Politics of Music and Environment in Northeastern Brazil. University of Illinois Press, 2018. <https://doi.org/10.5406/j.ctv80cb3g>.

SIVAPALAN, M.; KONAR, M.; SRINIVASAN, V.; CHHATRE, A.; WUTICH, A.; SCOTT, C. A.; WESCOAT, J. L.; RODRÍGUEZ-ITURBE, I. Socio-hydrology: Use-inspiredwater sustainability science for theAnthropocene, **Earth's Future**, Washington, v. 2, p. 225–230, 2014. doi:10.1002/2013EF000164.

SIVAPALAN, M.; SAVENIJE, H.H.; BLÖSCHL, G. Socio-hydrology: A new science of people and water. **Hydrol. Process**, London, v. 26, n. 8, p. 1270-1276, 2012. <https://doi.org/10.1002/hyp.8426>

SMITH, H. H. **Brazil, the Amazons and the Coast**. C. Scribner's Sons. 678 p, 1879.

SOHIDRA. Programa de perfuração de poços no Estado do Ceará. 2021. Disponível em: <https://www.sohidra.ce.gov.br/2021/01/07/programa-de-perfuracao-de-pocos-no-estado-do-ceara-3/>. Acesso em: 07 mai. 2023.

SOHIDRA. **Institucional**. Disponível em: <https://www.sohidra.ce.gov.br/institucional/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SONG, S.; VIJAY P. S.; XIAOYAN SONG, YAN KANG. A probability distribution for hydrological drought duration. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 599, 126479, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126479>.

SRINIVASAN, V. Reimagining the past – use of counterfactual trajectories in socio-hydrological modelling: the case of Chennai, India, **Hydrol. Earth Syst**, Göttingen, v. 19, p. 785–801, 2015. <https://doi.org/10.5194/hess-19-785-2015>.

SRINIVASAN, V.; LAMBIN, E. F.; GORELICK, S. M.; THOMPSON, B. H.; ROZELLE, S. The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies. **Water Resources Research**, Washington, v. 48, n. 10, 2012. <https://doi.org/10.1029/2011WR011087>.

SRINIVASAN, V.; SANDERSON, M.; GARCIA, M.; KONAR, M.; BLÖSCHL, G.; SIVAPALAN, M. Moving socio-hydrologic modelling forward: unpacking hidden assumptions, values and model structure by engaging with stakeholders: reply to “What is the role of the model in socio-hydrology?”*. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 63, n. 9, p. 1444–1446, 2018. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1499026>.

SUDENE. **Delimitação do Semiárido – 2021**. Recife, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

TAMBURINO, L.; DI BALDASSARRE, G.; VICO, G. Water management for irrigation, crop yield and social attitudes: a socio-agricultural agent-based model to explore a collective action problem. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 65, n. 11, p. 1815–1829, 2020. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1769103>

TANARHTE, M.; de VRIES, A. J.; ZITTIS, G.; CHFADI, T. Severe droughts in North Africa: A review of Drivers, impacts and management. **Earth-Science Reviews**, Cambridge, v. 250, 104701, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104701>.

TEÓFILO, R. **A seca de 1915**. Edições UFC, Fortaleza, p. 135, 1980.

TEÓFILO, R. **A fome**: Cenas da seca do Ceará. São Paulo: Editora Tordesilhas, 2011.

TRIBUNA DO POVO. Manifesto de convocação. **Tribuna do Povo** [online], Maranhão, 7 ago. de 1954. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=763950&Pesq=%22a%3%a7ude%20araras%22&pagfis=309>. Acesso em: 22 mar. 2023.

TRIBUNA DO POVO. A polícia organiza o massacre dos flagelados. **Tribuna do Povo** [online], Maranhão, 14 nov. de 1953. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=763950&pasta=ano%20195&pesq=&pagfis=100>. Acesso em: 22 mar 2023.

TROY, T. J.; PAVAO-ZUCKERMAN, M.; EVANS, T. P. Debates—Perspectives on socio-hydrology: Socio-hydrologic modeling: Tradeoffs, hypothesis testing, and validation. **Water Resour. Res.**, Washington, v. 51, p. 4806–4814, 2015. doi:10.1002/2015WR017046.

UCHÔA, J. G.; BERTOTTO, L. E.; dos SANTOS, M. S.; REIS, A.; MENDIONDO, E. M.; WENDLAND, E. C. Tropical Cities Research Boundaries: A bibliometric analysis to bridge the gaps through multi-dimensional and cross-disciplinary features. **Frontiers in Sustainable Cities**, Lausanne, v. 5, 2023. <https://doi.org/10.3389/frsc.2023.1154667>.

UOL. Desde os anos 80, o Banco Mundial atua no Ceará. **UOL** [online], São Paulo, 27 abr. de 2015. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/04/17/desde-os-anos-1980-o-banco-mundial-atua-no-ceara.htm>. Acesso em: 25 mai. 2023.

VAN LANGEN; S. C.; COSTA, A. C.; RIBEIRO NETO, G. G.; VAN OEL, P. R. Effect of a reservoir network on drought propagation in a semi-arid catchment in Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 66, n. 10, p.1567–1583, 2021. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1955891>.

VANGUARDA. Aos Bons Padres Cearenses. **Vanguarda** [online], Crato, 25 abr. de 1888. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=765724&pesq=seca&hf=memoria.bn.br&pagfis=180>. Acesso em: 28 abr. 2023.

VICENTE-SERRANO, S.M.; LOPEZ-MORENO, J.-I.; BEGUERÍA, S.; LORENZO-LACRUZ, J.; SANCHEZ-LORENZO, A.; GARCÍA-RUIZ, J. M.; AZORIN-MOLINA, C.; MORÁN-TEJEDA, E.; REVUELTO, J.; TRIGO, R.; COELHO, F.; ESPEJO, F. Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 9, n. 4, 2014. doi:10.1088/1748-9326/9/4/044001.

VILLA, M. A. **Vida e morte no sertão**: história das secas no Nordeste nos séculos XIX e XX. 1 ed. Fortaleza: Editora Ática, p. 269, 2000.

VOZ OPERÁRIA. 800 trabalhadores não vêem a côr do dinheiro. **Voz Operária** [online], Rio de Janeiro, 25 set. de 1954. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=154512&pesq=%22a%C3%A7ude%20pentecostes%22&pasta=ano%20195&hf=memoria.bn.br&pagfis=3281>. Acesso em: 23 mar. 2023.

WIEGAND, M. C.; NASCIMENTO, A. T. P. do.; COSTA, A. C.; LIMA NETO, I. E. Trophic state changes of semi-arid reservoirs as a function of the hydro-climatic variability, **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v. 184, 104321, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104321>.

WILHITE, D.A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. **Water International**. Abingdon, v. 10, p. 111–120. 1985.

WILHITE, D.A.; SVOBODA, M.D.; HAYES, M. J. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. **Water Resour Manage**, Washington, v. 21, p. 763–774, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9076-5>.

WU, X. D.; GUO, J. L.; LI, C. H.; SHAO, L.; HAN, M. Y.; CHEN, G. Q. Global socio-hydrology: An overview of virtual water use by the world economy from source of exploitation to sink of final consumption. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 573, p. 794-810, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.080>.

ZHANG, S.; FOERSTER, S.; MEDEIROS, P.H.A.; ARAÚJO, J.C. de.; DUAN, Z.; BRONSTERT, A.; WASKE, B. Mapping regional surface water volume variation in reservoirs in northeastern Brazil during 2009-2017 using high-resolution satellite images. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 789, 147711, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147711>