UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Segurança hídrica no semiárido, recursos hídricos na agropecuária e adaptação às mudanças do clima: serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas e aquíferos no Brasil

OSVALDO ALY JUNIOR

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

Tese de Doutorado

Nº 606

COMISSÃO JULGADORA

Dr. Ricardo César Aoki Hirata

Dr. Fernando Gaiger Silveira

Dr. José Luiz Albuquerque Filho

Dr. Luiz Octavio Ramos Filho

Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

SÃO PAULO
2019

Dedico este trabalho à Cida e à Bel

Primeiramente pela paciência de vocês duas

Segundo ao enorme apoio nesta jornada do doutorado

Isso não se faz sem amor e querer bem

Sei que isto significou abrir mão de muitas coisas

Amor e Gratidão

Aos meus pais

Por tudo que me ensinaram,

Por seu amor e pela torcida

Agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador e amigo Ricardo Hirata, pelo desafio e pelo convite para fazer o doutorado no IGc, pela disposição em pegar uma pessoa madura que já tem seus vícios. Recebeu-me e orientou-me neste mundo da hidrogeologia e da gestão das águas subterrâneas. Pelas boas parcerias que desenvolvemos no tema da segurança hídrica no país, em especial a que ocorreu entre a Universidade de São Paulo e o Programa Água Doce e na organização de mesas temáticas no Fórum Alternativo Mundial da Água (FAMA).

Meu agradecimento à CAPES pela bolsa de doutorado que possibilitou desenvolver este trabalho. Também agradeço à CPRM por haver facilitado o acesso ao conjunto dos dados de poços existentes no país.

À Gabriela L. Marin pelo trabalho de apoio na elaboração das estatísticas, foi muito além do que o inserido neste trabalho. À Carolina L. Lorensini, grata surpresa, deu vida à frieza dos números elaborando os mapas apresentados neste trabalho. À Cida pelo engajamento e apoio na revisão do texto e à Bel pelo apoio na elaboração do powerpoint.

Meu reconhecimento às pessoas que me estimularam, instigaram e foram parceiras nesta caminhada no mundo da gestão das águas subterrâneas e da segurança hídrica e alimentar. Agradeço ao Prof. José Juliano de Carvalho Fº e ao Elio Neves pelas ricas conversas sobre a importância do tema e o uso das águas subterrâneas na agricultura. Ao meu amigo e irmão Tarugo, que a vida nos roubou muito cedo, pelo papo, as caminhadas, as aventuras e conversas que muito me ajudaram nesta decisão, muitas saudades.

Minha querida chefa-amiga-companheira Profa. Vera Botta Ferrante, pessoa rara, cativante, apaixonante, de uma solidariedade e amizade ímpar, por todo o seu apoio, carinho e paciência. Aos demais chefes e colegas da Pós da UNIARA, pela paciência e apoio nesta trajetória. Não esquecendo da Ivani, da Silvinha, da Fernanda e dos amigos do NUPEDOR.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da USP, o PROCAM, e ao meu orientador do Mestrado, Prof. José Eli da Veiga, que desmistificaram e mostraram a importância da questão ambiental e do desenvolvimento despertando para a importância estratégica das águas.

Aos Profs. Paulo Sinisgalli e Marcos Folegatti minha gratidão pela recepção quero destacar a importância da Vossa disciplina na construção deste projeto de pesquisa.

Aos meus colegas da pós-graduação e de trajetória no mundo da gestão das águas subterrâneas: Bruno P. Conicelli, Paulo Galvão, Daniela Barbatti, Rafael Terada, Mateus Simonatto (agradeço o apoio quando a Bel esteve internada), Pinhatti e a Mariana. Aos professores Reginaldo e Veridiana pelos belos papos, belas pessoas e ótimos almoços que tivemos ao longo destes anos. Ao Reginaldo um agradecimento especial por me permitir aprender e incorporar parte do aprendido neste doutorado, trabalho este realizado junto com o Bruno Puga. O desenvolvimento do tema da segurança hídrica e sua relação com a segurança alimentar devo à Renata Menasche, Maria Emilia Pacheco Lisboa e à Elisabeta Recine pela oportunidade de colaborar com o CONSEA (Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional). Ao querido Guilherme Delgado que me fez nadar pelos temas do sistema agroalimentar, agricultura, questão agrária e água.

Á Andrea Carestiero, Renato Saraiva, Henrique Veiga, Solange e Rafael do Programa Água Doce, pela parceria e vínculo criado. Obrigado por ensinar-me a relevância da dessalinização. À Andrea um carinho especial pela paixão contagiante pelo tema. Ao Edson Silva parceiro na luta das águas no FAMA. Ao Cliff por suas dicas e indicações californianas.

Aos amigos e amigas de caminhada: Gabiru, Paulinho, Fernando Gaiger, Raimundo Bombril, Tavico, Newtão, Porpeta, Pedro Ramos, Storel, Pilar, Carlos Vacaflores, Juan Warren e Luciano Conchero, Cláudia Grecco, Raimundo Palmeira, Guilherme Cyrino e Juliano Matos e aos amigos da ABRA.

Muitas vezes o caminho da ciência parece ser uma coisa solitária. Não concordo, considero que sem as pessoas que aqui citei e as que esqueci este trajeto não teria sido possível.

Meu reconhecimento a todos vocês.

RESUMO

Esta tese destaca a importância dos serviços ecossistêmicos, de provisão e regulação, das águas subterrâneas e dos aquíferos relacionados com a segurança hídrica e a produção agropecuária no meio rural do Brasil. Ele apresenta algumas iniciativas que podem ser adotadas pela gestão de recursos hídricos visando à adaptação às mudanças climáticas globais. Fazendo uso de dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017 foi calculado o Índice de Insegurança Hídrica a partir dos municípios e da ausência de fontes de água no interior dos estabelecimentos agropecuários, e foram classificados em muito baixo, baixo, moderado, grave e agudo, permitindo avaliar o resultado das políticas públicas de segurança hídrica e melhora da infraestrutura hídrica. Ainda, partindo dos dados sobre poços tubulares nos estabelecimentos, foi calculado o volume de água subterrânea consumido pela agropecuária por bacia hidrográfica e por aquífero e foi possível identificar o setor agropecuário que mais consome água subterrânea através desses poços. Concluiu-se que (i) o principal usuário de águas subterrâneas, via poços tubulares, na agropecuária é a pecuária (bovina, aves e suínos); (ii) com as mudanças climáticas, no caso do semiárido, o consumo de água subterrânea salobra e salina terá papel estruturante na segurança hídrica dessa região uma vez que a redução do volume de chuvas irá limitar o armazenamento de água de chuva em cisternas; (iii) a gestão sustentável dos aquíferos no meio rural está relacionada com a adoção de práticas sustentáveis pela produção agropecuária.

Palavras chave: aquíferos e águas subterrâneas, serviços ecossistêmicos, agropecuária, segurança hídrica, mudanças climáticas

ABSTRACT

This thesis shows the importance of ecosystem services, provision and regulation, of the groundwater and aquifers related to water security and agricultural production in rural areas in Brazil. It outlines that some initiatives can be taken by water resources management to adapt to the global climate change. Using data from the 2006 and 2017 Agricultural Census, the Water Insecurity Index (IIH) was calculated for the municipalities and from the absence of water sources within the agricultural establishments that were classified as very low, low, moderate, severe and acute. This Index helps the evaluation of the outcome of public water security policies and the improvement of water infrastructure. Also, based on the data of wells inside the establishments, the volume of groundwater consumed by agriculture per river basin and aquifer was calculated and it was possible to identify which agricultural sector consumes more groundwater through these wells. It was concluded that (i) the main user of groundwater, via wells, in agriculture is livestock (cattle, poultry and swine); (ii) that due to climatic changes that will affect the semiarid the consumption of brackish and saline groundwater will have a structuring character in the water security of this region since the reduction of rainfall will limit the storage of rainwater in cisterns; (iii) the sustainable management of rural aquifers is related to the adoption of sustainable practices by agricultural production.

Keyword: aquifers and groundwater, ecosystem services, agriculture, water security, climate change

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Intervalos do Índice de Insegurança Hídrica 20

Tabela 2.2 Graus de Insegurança Hídrica 21

Tabela 3.1 Área de Afloramento e Recarga e Potencial Explotável dos Aquíferos Brasileiros 33

Tabela 3.2 Distribuição do Consumo de Águas Subterrâneas, Base SIAGAS 36

Tabela 4.1 Estabelecimentos e Fontes de Recursos Hídricos 2006 e 2017, Brasil e Regiões. 62

Tabela 4.2 Porcentagem dos Municípios por IIH por Região do País 71

Tabela 4.3 Índice de Insegurança Hídrica: Municípios por Região 71

Tabela 4.4 Variação da Média Municipal de Recursos Hídricos por Estabelecimento Agropecuário (M-RHEA) 2006 e 2017 74

Tabela 4.5 Evolução da Média de Recursos Hídricos (RHEA) em Municípios com Índice de Insegurança Hídrica (IIH) Grave e Agudo, entre 2006-2017 75

Tabela 4.6 Evolução das Fontes de Recursos Hídricos por Municípios, entre 6006-2017 78

Tabela 5.1 Número de Estabelecimentos e Área Irrigada por Região, período 2006 - 2017 80

Tabela 5.2 Estabelecimentos Agropecuários, Fontes de Recursos Hídricos e Atividade Principal 2006 8

Tabela 5.3 Bacias Saturadas pela Captação Superficial de acordo com a ANA (2017), Quantidade de poços e Vazão Explotada em 2006 e 2017 92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 Poços tubulares em 2106 e 2017, por Região e Brasil 64

Gráfico 4.2 Poços tubulares por estado 2006 e 2017 66

Gráfico 5.1 Participação Regional no Total da Área Irrigada no País, período 1996, 2006 e 2017 81

Gráfico 5.2 Razão entre poços tubulares e estabelecimentos irrigados 87

Gráfico 5.3 Relação entre poços tubulares e estabelecimentos irrigados em 2006 e 2017 88

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Sistemas Aquíferos Brasileiros 31

Figura 3.2 Aquíferos Brasileiros 32

Figura 3.3 Funções Ecossistêmicas das Águas Subterrâneas e dos Aquíferos. 41

Figura 3.4 Funções e serviços ecossistêmicos dos aquíferos e águas subterrâneas 46

Figura 3.5 Serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas e aquíferos 47

Figura 3.6 Métodos de valoração ambiental – VERA . 52

Figura 3.7 Valor de uso direto 53

Figura 3.8: Valor de Uso Indireto . 54

Figura 4.1 Mapa da Ocorrência de Secas na Região Nordeste 2013-2017 60

Figura 4.2 Caracterização Hidrológica e Sócioeconômica das Fontes de Recursos Hídricos" 61

Figura 4.3 Mapa Concentração de Poços Tubulares por Sub-Bacias, 68

Figura 4.4 Mapa Concentração de Poços Tubulares por Sub-Bacias 69

Figura 4.5 Mapa Situação do IIH para os Municípios Brasileiros 72

Figura 4.6 Mapa Porcentagem dos Benefícios Recebidos do Programa Bolsa Família 73

Figura 4.7 Mapa Média Municipal das Fontes de Recursos Hídricos por Estabelecimento Agropecuário (M-RHEA) Brasil 2006 76

Figura 4.8 Mapa Média Municipal das Fontes de Recursos Hídricos por Estabelecimento Agropecuário (M-RHEA) Brasil ano 2017 77

Figura 5.1 Consumo de Água pelos Diferentes Setores no Brasil 90

Figura 5.2 Tipologia da Utilização da Terra no Meio Rural no Brasil 93

Figura 5.3 Produção agropecuária e concentração de poços tubulares segundo o Atlas do Espaço Rural Brasileiro 94

Figura 5.4 Áreas Irrigadas por Município 95

Figura 6.1 Principais Eleitos das Mudanças Climáticas 100

Figura 6.2 Uso do Solo na Agricultura na Arábia Saudita 1975 - 2013. 105

Figura 6.3 Municípios com alta concentração do poços tubulares anos 2006 e 2017 109

Figura 6.4 Poços Tubulares por Microrregiões do Brasil com Destaque para o Cerrado e o Arco do Desmatamentos. Fonte: IBGE, 2017, organizado pelo autor. 110

Figura 6.5 Localidades Prioritárias a Serem Selecionadas para Implantação do Programa “Água Doce” 120

Figura 6.6 Elementos Chave da Seleção Localidades Prioritárias para Implantação do Programa “Água Doce” 121

Figura 6.7 Potencial de Aproveitamento dos Lodos da Dessalinização nos Poços do PAD 122

Figura 6.8 Teor de Salinidade e Uso Potencial das Águas Residuárias dos Dessalinizadores 122

Figura 6.9 Localidades e Implantação de Dessalinizadores no Semiárido Brasileiro 123

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A Número de Municípios no estado por Faixa de IIH, Brasil e Estados 161

Apêndice B Mapa Poços Por Domínios Aquíferos e 2006 162

Apêndice C Mapa Poços Por Domínios Aquíferos e 2017 163

Apêndice D Quantidade de municípios do mais de 50% dos EA com poços tubulares, base Censo Agropecuário 2006 e 2017 164

Apêndice E M-RHEA e Variação para os Estados anos 2006 e 2017 165

Apêndice F Fontes de água semi árido 2006-2017 166

Apêndice G número de estabelecimentos agropecuários com recursos hídricos (Unidades) 167

Apêndice H Aquíferos Brasileiros Quantidade de Poços de Acordo com o Censo do IBGE 2006 e 2017. 172

Apêndice I Brasil Microbacias com Poços e Vazão de Água Subterrânea Extraída nos EA de acordo com o IBGE 2006 e 2017 176

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 1

CAPÍTULO 1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA 5

1.1 Hipótese 8

1.2 Objetivo Geral 9

1.3 Objetivos Específicos 9

CAPÍTULO 2 METODOLOGIA 11

2.1 Base de Dados do Censo Agropecuário 14

2.2 Fontes de recursos hídricos presentes nos estabelecimentos agropecuários 17

2.3 Índice de Insegurança Hídrica (IIH) 17

2.4 Índice Média Municipal das Fontes de Recursos Hídricos por Estabelecimentos Agropecuários (M-RHEA) 21

2.5 Mapas da Distribuição de Poços Tubulares por Bacias Hidrográficas, Aquíferos e Microrregião 22

2.6 Cálculo da Vazão Explotada em Aquíferos e Bacias Hidrográficas 22

2.7 Vazão Explotada e Criticidade em Aquíferos em 2006 e 2017 e 2050 24

2.8 Municípios e Ocorrência de Uso Intensivo de Águas Subterrâneas 25

CAPÍTULO 3 AQUÍFEROS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL 27

3.1 Aquíferos no Brasil: Localização e Uso dos Recursos. 28

3.2 Funções e Serviços Ecossistêmicos das Águas Subterrâneas 37

3.2.1 Funções ecossistêmicas 38

3.2.2 Serviços ecossistêmicos 42

3.3 Valoração de Serviços Ecossistêmicos de Aquíferos e Águas Subterrâneas 48

3.3.1 Valores de uso 53

3.3.2 Valores de não uso 54

3.4 Valoração das Águas Subterrâneas na Agricultura Irrigada na Promoção da Segurança Hídrica 55

CAPÍTULO 4 SEGURANÇA HÍDRICA E OS CENSOS AGROPECUÁRIOS 2006 E 2017 57

4.1 Introdução 57

4.2 Disponibilidade de Fontes de Água nos Estabelecimentos Agropecuários Segundo os Censos Agropecuários de 2006 e 2017 58

4.3 Índice de Insegurança Hídrica nos Estabelecimentos Agropecuários em 2006 70

4.4 Análise da Média Municipal das Fontes de Recursos Hídricos por Estabelecimentos Agropecuários (M-RHEA) 74

CAPÍTULO 5 AGROPECUÁRIA E O CONSUMO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS CONFORME OS DADOS DOS CENSOS 2006 E 2017.... 79

5.1 Introdução 79

5.2 Agricultura Irrigada e o Consumo de Água Subterrânea Via Poço Tubular na Agropecuária. 80

5.2.1 Determinação da proporção de consumo de água subterrânea pela agropecuária em 2006..... 82

5.2.2 Determinação da proporção de consumo de água subterrânea pela agropecuária em 2017..... 86

5.3 O Consumo de Água Subterrânea na Agropecuária Brasileira 89

5.4 A Produção Agropecuária e o Uso da Água Subterrânea 93

CAPÍTULO 6 SEVIÇOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E A GESTÃO DOS AQUÍFEROS PARA A ADAPTAÇÃO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS 97

6.1 Aspectos de Gestão das Águas Subterrâneas e Adaptação às Mudanças do Clima 101

6.1.1 Uso intensivo de águas subterrâneas: a experiência internacional e indicativos para o caso brasileiro..... 104

6.1.2. Uso Integrado e Conjuntivo das diferentes fontes de água, conjuntivo, práticas agrícolas e recarga de aquíferos 111

6.1.3 Gerenciamento de água na irrigação 114

6.1.4 O programa "Água Doce" e a política de adaptação às mudanças do clima para o semiárido 116

CAPITULO 7 DISCUSSÃO FINAL 125

7.1 Os Dados do Censo Agropecuário do IBGE Sobre as Fontes de Água nos Estabelecimentos Agropecuários 125

7. 2 Serviços Ecossistêmicos e a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA) como Parâmetro de Análise do Uso das Águas Subterrâneas no Meio Rural .. 127

7.2.1 Serviços ecossistêmicos de aquíferos e águas subterrâneas e a segurança hídrica no meio rural 128

7.2.2 Serviços ecossistêmicos dos aquíferos e o consumo de água pelas atividades agropecuárias via poços tubulares 130

7.2.3 Ações com vistas à adaptação às mudanças climáticas globais e serviços ecossistêmicos dos aquíferos 133

7. 3 Políticas Públicas de Segurança Hídrica no Semiárido: Programas Água Doce e Um Milhão de Cisternas 135

7.4 Gestão de Bacia Hidrográfica e Gestão Estadual de Recursos Hídricos Estimulando Práticas Associativas..... 137

8. CONCLUSÕES 139

- O IBGE é uma Fonte Importante de Dados para a Gestão de Águas Subterrâneas e Aquíferos no Meio Rural 139
- O Consumo de Água Subterrânea pela Agropecuária é Importante e Cresceu no Período 2006 – 2017 140
- Os Aquíferos Contribuem para a Redução da Insegurança Hídrica no Meio Rural 140
- Mudanças Climáticas e a Gestão Sustentável de Águas Subterrâneas e da Produção 141

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 145

APÊNDICES 161

Apêndice A Número de Municípios no estado por Faixa de IIH, Brasil e Estados 161

Apêndice B - Mapa Poços Por Domínios Aquíferos 2006 162

Apêndice C - Mapa Poços Por Domínios Aquíferos 2017 163

Apêndice D Quantidade de municípios do mais de 50% dos EA com poços tubulares, base Censo Agropecuário 2006 e 2017 164

Apêndice E– M-RHEA e Variação para os Estados anos 2006 e 2017 165

Apêndice F Fontes de água semiárido 2006-2017 166

Apêndice G Número de estabelecimentos agropecuários com recursos hídricos (Unidades) 167

Apêndice H - Aquíferos Brasileiros Quantidade de Poços de Acordo com o Censo do IBGE 2006 e 2017 172

Apêndice I Brasil Microbacias com Poços e Vazão de Água Subterrânea Extraída nos EA de acordo com o IBGE 2006 e 2017 176

APRESENTAÇÃO

O interesse pelo tema do consumo de recursos naturais pela agropecuária no Brasil tem crescido bastante desde o final dos anos 1990, quando o país passou a investir no processo de obtenção de divisas a partir da exportação de commodities minerais e agropecuárias, tornando-se um ator importante no comércio internacional de grãos e proteínas de origem animal (Aly Jr, 2017). Paralelamente, as discussões sobre os cenários provocados pelas mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global têm aspectos que não podem ser negligenciados.

Ciente que mundialmente é a agropecuária o principal setor consumidor de água, a publicação "Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil", editada anualmente pela Agência Nacional de Águas (ANA), desde a sua primeira publicação em 2009, tem buscado aprimorar os cálculos para estabelecer os volumes de água consumidos por esse setor da economia brasileira. Entretanto, ainda não distingue a origem se superficial ou subterrânea (ANA, 2009).

Porém, quando se compara volumes consumidos de águas superficiais com aqueles consumidos de águas subterrâneas, as diferenças em termos quantitativos levam muitos gestores a subestimar a importância dessa última fonte.

Ao se identificar e ressaltar o valor da relação e o grau de conectividade entre águas superficiais e subterrâneas nas diferentes bacias hidrográficas e da sua importância para a manutenção da vazão de base dos rios e dos diferentes ecossistemas é necessário abordar o tema da gestão, pois o consumo desordenado pode comprometer os serviços ecossistêmicos que esse recurso natural desempenha no meio ambiente, como de fato acontece em países nos quais o uso é intensivo. O consumo de água proveniente de aquíferos deve ser analisado, também, a partir das potencialidades e da sustentabilidade que os diferentes sistemas aquíferos possuem, sob pena de comprometer o seu uso presente e futuro.

A presente pesquisa se insere na proposta metodológica que trata da aplicação da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA) aos serviços prestados pelos aquíferos e busca destacar a importância e o papel desses recursos naturais na reservação e fornecimento de água para o ambiente, bem como para

promover a segurança hídrica e abastecer de água a pecuária e a agricultura irrigada no Brasil.

O MEA foi um relatório de um grande esforço em âmbito planetário organizado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) que tratou dos impactos da ação humana sobre os ecossistemas e das consequências que as mudanças nos ecossistemas acarretam para o bem estar humano

O intuito é também contribuir com dados, propostas e informações para o aprimoramento da implementação de políticas públicas de gestão de águas especialmente as subterrâneas e os aquíferos e para as políticas relacionadas com a adaptação à mudança climática global no tema da segurança hídrica dos estabelecimentos agropecuários.

Organizou-se a base conceitual relacionada com as funções e os serviços ecossistêmicos para as águas subterrâneas e identificando seu papel para a segurança hídrica da população rural, a pecuária e a agricultura irrigada; quantificando a água subterrânea explotada que é consumida pela agropecuária, identificar os aquíferos nos quais o uso atual se caracterize como intensivo e validar o uso dos dados do Censo Agropecuário do IBGE e do SIAGAS da CPRM para a produção de informações para a gestão da água no meio rural.

A partir dos Censos Agropecuários dos IBGE 2006 e 2017 foram elaboradas caracterizações e diagnósticos da situação da segurança hídrica nos estabelecimentos agropecuários pela presença ou ausência de fontes de água e qual delas prevalece, caracterizando a evolução do uso das águas subterrâneas, o que permitiu a elaboração de mapas por bacia hidrográfica a partir da distribuição municipal dos poços tubulares no país. Os mapas têm como finalidade identificar as áreas de concentração de poços tubulares com o uso predominante do solo pela agricultura irrigada e pela pecuária.

Para analisar a segurança hídrica elaborou-se um Índice de Insegurança Hídrica (IIH), para os municípios do país, a partir da disponibilidade ou não de fontes de água nos estabelecimentos agropecuários. No caso do IIH, quanto maior a quantidade de estabelecimentos agropecuários sem nenhuma fonte de recursos hídricos, maior é o grau de insegurança hídrica. Essa insegurança hídrica foi classificada em cinco níveis: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Grave e Aguda ou Severa.

Esse índice aqui proposto é uma ferramenta que permite a avaliação da implementação de políticas públicas de segurança hídrica, assim como os efeitos das mudanças climáticas no acesso a água nos estabelecimentos.

Pela proposta de cálculo da média municipal de fontes de recursos hídricos por estabelecimentos agropecuários (M-RHEA) desenvolvida na presente pesquisa, a partir dos dados dos Censos Agropecuários 2006 e 2017, foi possível identificar a melhora das condições médias de segurança hídrica no semiárido brasileiro decorrente do aumento da infraestrutura hídrica nos estabelecimentos agropecuários.

A melhora foi decorrente, principalmente, do crescimento de dois tipos de estruturas hídricas: as cisternas e os poços tubulares. A primeira resultante de uma política pública de apoio e a segunda, na sua maioria, por iniciativa dos próprios agricultores. Ainda, foram calculados os volumes de águas subterrâneas consumidos no meio rural e o volume explotado pela agropecuária.

Foi efetuada a análise acerca da relação entre águas subterrâneas, aquíferos e a gestão com vistas à adaptação às mudanças climáticas, e assim, identificou-se a possibilidade de estar ocorrendo o uso intensivo desse recurso e foram encontrados casos de uso intensivo em aquíferos decorrendo desse fato a sugestão feita de que sejam realizados estudos mais específicos, no âmbito dos municípios e das bacias hidrográficas, pelos comitês e órgãos estaduais de gestão de recursos hídricos.

Analisou-se a possibilidade de ocorrência de algumas situações de uso intensivo de águas subterrâneas através da realização de entrevistas qualitativas com atores chave. Dessa maneira considerou-se que a ocorrência de concentrações de poços tubulares superior a 50% (ocorrência de mais de 50 % de estabelecimentos agropecuários com poço tubular no município) no município pode ser um indicativo para a análise do uso intensivo de águas subterrâneas.

Desta forma a presente tese resulta de pesquisa em base dados e informações técnicas, a partir das quais são propostos alguns indicadores que contribuam com a implementação de políticas públicas de gestão de recursos hídricos no Brasil, especialmente as águas subterrâneas, fortalecendo objetivos da sustentabilidade dos ecossistemas e a segurança hídrica.

CAPÍTULO 1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Os aquíferos e as águas subterrâneas possuem um conjunto de funções ecológicas e ofertam serviços aos ecossistemas que, em sua maioria, são desconhecidos pela sociedade e em decorrência disso, não são devidamente valorizados e valorados. Enquanto as funções estão relacionadas ao papel desempenhado pelos aquíferos e pelas águas subterrâneas no funcionamento dos ecossistemas, os serviços ecossistêmicos estão relacionados com a sua capacidade proporcionar o bem-estar e qualidade de vida para os seres humanos (Cook e Spray, 2012; Daly e Farley, 2008; Rebouças, 2006; Danielopol et al, 2004).

São serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas: a manutenção de reserva de grandes quantidades de água (96% do total de "água doce" da superfície da terras desconsiderando-se as geleiras), a perenização de rios (os aquíferos respondem aproximadamente por 30-50% de sua vazão total), a sustentação dos habitats, a oferta de água doce para os diferentes tipos de uso, entre outros. No Brasil para entender parte da magnitude dos serviços ofertados, basta dizer que as reservas renováveis de água subterrânea alcançam 42.289 m^3/s e correspondem a 24% do escoamento dos rios em território nacional (vazão média anual de 179.433 m^3/s). Na estiagem essa proporção sobe, chegando a 49% da vazão. Somente os 27 principais aquíferos sedimentares, que ocupam 32% da área do país, totalizam 20.473 m^3/s. Essa grande vazão é distribuída, de forma simplificada, em dois grandes grupos: aquíferos de rochas e materiais sedimentares, e aquíferos de rochas fraturadas (ANA, 2013 b; Hirata et al, 2019).

Sendo os aquíferos os maiores reservatórios naturais de água doce do planeta, eles são condicionadores geológicos do bom funcionamento dos ecossistemas, da economia e do bem-estar humano. Em muitos países são quase que a única fonte de água que movimenta a economia e o abastecimento urbano.

No Brasil, historicamente, o consumo de água subterrânea tem sido complementar ao da água superficial e da água de chuva (é o caso da agricultura irrigada que é complementar à de sequeiro) dada à relativa boa distribuição e boa regularidade das chuvas no território nacional, especialmente nas regiões

Norte e Centro-Sul. As duas grandes exceções estão localizadas no semiárido nordestino e na região oeste dos estados da região Sul.

O aumento no consumo da água subterrânea em geral está relacionado com o crescimento populacional, a expansão das grandes cidades, a expansão de atividades produtivas e a sua dispersão no território nacional e, mais recentemente, em função das mudanças climáticas globais, com incidência de períodos de seca persistentes. Em razão disso, quando ocorrem limitações qualitativas ou quantitativas da disponibilidade hídrica superficial, os grandes consumidores buscam as águas subterrâneas para garantir seu abastecimento.

O consumo de água no meio rural é para atender a uma população de mais de 76,85 milhões de pessoas (37 % do total do país), a dessedentação animal e a irrigação, que crescem juntamente com a elevação da participação do Brasil na exportação mundial de produtos agropecuários. Nos últimos 20 anos, o peso da agricultura e da pecuária de exportação na formação do superávit primário do país cresceu substancialmente, saindo de 28% em 2001 e chegando a 45 %, em 2016 (Aly Jr., 2017). Consequentemente houve a expansão da área e da produção, principalmente, de soja, milho, cana-de-açúcar, pecuária bovina de carne, aves, suínos e reflorestamento.

As principais culturas de exportação são os grãos e, no Brasil, a maior parte dessa produção provém de culturas de sequeiro. Já a agricultura irrigada de grãos viabiliza a obtenção de até quatro colheitas e, no país, ela ocupa uma área inferior a 10 % da área agropecuária, gerando um valor bruto de produção superior a 35 %, o que revela que parcela significativa da produção obtida pela produção irrigada tem maior valor de mercado (IBGE, 2006).

Nos últimos anos vários estudos de diferentes áreas têm destacado o tema do consumo de água pela agricultura e pela pecuária, assim como os conflitos decorrentes das disputas pelo acesso e uso dos recursos hídricos e vem colocando este tema na agenda da gestão das águas. No primeiro caso destacam-se: ANA (2018 a); ANA (2018 b); ANA (2017 a) e ANA (2017 b); ANA, 2016; Visentin, 2017 e, no segundo caso merece destaque o trabalho que é realizado pela Comissão Pastoral da Terra (CPT) desde 2002 no seu relatório anual sobre a violência no campo.

O consumo de água da agricultura irrigada e da pecuária respondem por 54% da vazão de retirada e 78% do consumo de águas no país. Já o da

população rural é responsável por pouco mais de 1,6% da vazão retirada e por 2,4% da água consumida. Esses volumes, no Conjuntura de Recursos Hídricos da ANA, são considerados originários de águas superficiais, pois é desconhecida a participação das águas subterrâneas no abastecimento deste setor (ANA, 2017).

No meio rural nem todos os estabelecimentos agropecuários possuem fontes de recursos hídricos em seu interior ficando em situação vulnerável e totalmente dependente do ciclo das chuvas. Em 2006 esse número foi superior a 1,9 milhões de estabelecimentos ou 37 % do total. Na área da garantia de acesso a água para a população do meio rural de aproximadamente 9,5 milhões de pessoas, o país, nas duas últimas décadas, desenvolveu algumas iniciativas de segurança hídrica relacionadas com a segurança alimentar e que busca atender a população mais pobre do meio rural. Essas iniciativas atenderam prioritariamente a população localizada na região semiárida (Nordeste e norte de Minas Gerais), e promovem a reservação de água de chuva e dessalinização de águas subterrâneas, como os programas “Um Milhão de Cisternas” e o Água Doce.

O primeiro programa instalou cisternas, reabilitou poços e construiu barragens subterrâneas atendendo cerca de cinco milhões de pessoas e o segundo instalou dessalinizadores que permitiram a utilização da água subterrânea no semiárido nordestino, atendendo a mais de 230 mil pessoas, situadas em 131 municípios (Ferreira, 2018).

O país carece de dados e informações relacionados com a disponibilidade, o uso e o consumo de águas subterrâneas no meio rural para o abastecimento humano, a irrigação e a dessedentação animal, isso subestima o potencial desse recurso na agenda de políticas públicas (UNESCO, 2015).

Em que pese a maior disponibilidade de informações relacionadas com a situação dos aquíferos brasileiros localizados em domínios metropolitanos, a ANA e os órgão estaduais têm apoiado a pesquisa para o conhecimento de aquíferos importantes localizados no meio rural como o Sistema Aquífero Urucuia-Areado, localizado no oeste baiano e que abrange estados como Goiás, Tocantins, e Maranhão. Também, pode-se destacar o trabalho relacionado com a gestão da área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (Albuquerque Filho, 2011; Hirata et al, 2015; Consórcio Engecorps-Walm, 2017).

É preciso considerar as dificuldades que resultam da falta de um conhecimento detalhado sobre recursos hídricos subterrâneos e é necessário realizar simultaneamente algumas ações: aumentar a produção de informações de caracterização dos sistemas aquíferos, gerar dados para a gestão das águas subterrâneas, buscar estabelecer um estado da arte do consumo de águas subterrâneas no meio rural, elaborar propostas para a gestão e o gerenciamento dos aquíferos e as águas subterrâneas com vistas à adaptação às mudanças climáticas.

Assim, considerando-se a manutenção das atividades agropecuárias e na segurança hídrica da população rural do país, e também o cenário dos efeitos das mudanças climáticas, o presente projeto de doutorado formulou as seguintes perguntas:

- *Qual a importância dos serviços ecossistêmicos ofertados pelos aquíferos e pelas águas subterrâneas e como eles podem e poderão contribuir para manter a produção agropecuária e promover a segurança hídrica da população rural, no presente e no futuro?*
- *Qual a proporção de águas subterrâneas empregada na pecuária e na agricultura irrigada no Brasil? Quais as principais regiões que fazem uso desse recurso para o desenvolvimento desta atividade produtiva?*
- *Com vistas a promover iniciativas de adaptação às mudanças climáticas globais e garantir a produção agropecuária e a segurança hídrica da população rural, qual o potencial desses serviços ecossistêmicos (dos aquíferos e das águas subterrâneas) no desenho destas políticas?*
- *O Censo Agropecuário do IBGE e o SIAGAS podem ser considerados como uma boa base de dados para o planejamento e a gestão do consumo de água subterrânea na agropecuária e a segurança hídrica do meio rural?*

1.1 Hipótese

A manutenção dos serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas e dos aquíferos é fundamental para promover a melhora das condições de vida da população rural e garantir a produção agropecuária no Brasil. Entretanto, o potencial desses serviços, essencial para a adaptação às mudanças climáticas

globais, poderá ser comprometido caso continue secundarizado pelas políticas de gestão de recursos hídricos.

1.2 Objetivo Geral

Mostrar a relevância dos serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas e dos aquíferos para a segurança hídrica e a produção agropecuária no meio rural do Brasil e propor iniciativas para a sua gestão visando à adaptação às mudanças climáticas globais.

1.3 Objetivos Específicos

(i) Produzir uma base conceitual sobre as funções e os serviços ecossistêmicos para as águas subterrâneas e o seu papel, na atualidade, para garantir a segurança hídrica da população rural e a agricultura irrigada no Brasil, no futuro;

(ii) Aplicar os conceitos de serviços e funções ecossistêmicas das águas subterrâneas para analisar as políticas de segurança hídrica no meio rural voltadas para a população (especialmente na região Nordeste) e a sustentabilidade do uso da água subterrânea na agropecuária;

(iii) Validar a importância da gestão integrada de recursos hídricos (GIRH) para atenuar situações de *stress* hídrico geradoras de conflitos e garantir os usos múltiplos das águas subterrâneas em bacias hidrográficas brasileiras;

(iv) Quantificar a água subterrânea explotada que é consumida pela agropecuária no Brasil;

(v) Estabelecer as regiões hidrogeológicas nas quais o uso atual da água subterrânea poderá vir a comprometer a disponibilidade futura em termos qualitativos e quantitativos para os demais usos e os ecossistemas; e

(vi) Avaliar a validade das bases de dados do Censo Agropecuário e do SIAGAS como insumo para a produção de dados relativos ao uso de águas subterrâneas e para a avaliação de serviços ecossistêmicos relacionados com a segurança hídrica e a produção agropecuária.

CAPÍTULO 2 METODOLOGIA

A gestão de recursos hídricos é central para a elaboração de políticas públicas de adaptação às mudanças climáticas globais. As previsões informam que haverá regiões nas quais a temperatura e a precipitação poderão ser elevadas ou reduzidas, os ciclos de chuva tendem a ser mais curtos e intensos (Hirata, Conicelli, 2012). Essas mudanças irão interferir na oferta de águas superficiais e irão alterar os processos e os volumes de água na recarga dos aquíferos.

Nesse contexto, a capacidade de reservação e fornecimento de água pelos aquíferos se tornarão muito importantes, uma vez que a depender dos volumes armazenados é possível garantir segurança hídrica, a produção econômica e a manutenção dos ecossistemas por um longo período. Com o retorno das chuvas os aquíferos terão como recuperar seus volumes armazenados.

Dessa forma a presente pesquisa propôs organizar e avaliar as circunstâncias relacionadas à oferta de serviços ecossistêmicos de provisão e regulação das águas subterrâneas, no meio rural, que contribuem para a segurança hídrica e a oferta de água para a realização da produção agropecuária.

O desafio é contribuir para a gestão de recursos hídricos superando a carência de dados sobre o uso da água subterrânea e seus serviços ecossistêmicos, no meio rural. O país conta com uma coleta de dados primários sistemática com potencial para apoiar a gestão das águas subterrâneas e dos aquíferos. O presente trabalho testou a base de dados do Censo Agropecuário do IBGE e do SIAGAS – que é o cadastro nacional de poços mantidos pela CPRM, para esse fim.

O esforço é para se conhecer e melhor gerenciar as águas subterrâneas produzindo dados e informações que permitam situar a explotação do recurso. Nesse caso há uma convergência com a proposição metodológica da UNESCO via o DPSIR (*Driving force–Pressure–State-Impact-Response*) que lida com os vetores de pressão, a pressão em si, a análise dos impactos desta pressão, e quais as respostas apresentadas. De acordo com a UNESCO, a DPSIR:

> "garante o estabelecimento da relação entre as questões políticas e econômicas e as questões mais importantes no desenvolvimento e gestão das águas subterrâneas. Esta metodologia é usada para identificar e especificar os indicadores básicos da água e permite a identificação de indicadores que são relevantes diretamente para a situação da água subterrânea e indiretamente para outras áreas de desafio do WWAP - Programa de Avaliação da Água das Nações Unidas[1]" (UNESCO, 2007, p 02).

A UNESCO considera que o DPSIR não é um fim em si mesmo, mas possibilita uma visão multidisciplinar e uma atuação integrada e de troca de conhecimentos e informações no processo de gestão. A proposta deste estudo é coincidente com o DPSIR e se propõe a trabalhar com diferentes fontes de dados e inclui dados de consumo para o meio rural, com destaque para a agricultura irrigada, a produção animal e a segurança hídrica.

As bases de dados utilizadas foram os Boletins de Conjuntura de Recursos Hídricos e estudos relacionados com o consumo de água no meio rural editados pela ANA; os dados dos Censos Agropecuários do IBGE de 2006 e 2017, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE, e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS – disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM – que é um cadastro nacional de poços.

Outras fontes de dados secundários são analisadas, também, para a avaliação qualitativa das informações censitárias, incluindo uma pesquisa qualitativa que foi realizada junto a atores chave via e-mail e telefone.

A metodologia desta tese está organizada da seguinte maneira:

(i) Levantamento da segurança hídrica nos estabelecimentos agropecuários, nos estados e municípios, identificando primeiramente, por município, as principais fontes de recursos hídricos e análise de qual a participação (ou importância) das águas subterrâneas para os estabelecimentos agropecuários. Determinou-se o número de estabelecimentos que não possuem nenhuma fonte de água em seu interior, os quais foram considerados em situação de insegurança hídrica, pois dependem exclusivamente da água de chuva.

A segurança hídrica foi considerada como a existência de ao menos uma fonte de recurso hídrico que permita a dessedentação humana, animal e a produção irrigada. Uma vez que esta pesquisa não trabalhou com microdados

[1] Tradução do autor

dos Censos Agropecuários 2006 e 2017, o que demandaria recursos financeiros e humanos não previstos nessa pesquisa. Assim, alguns dados como os volumes de fontes de águas subterrâneas como nascentes e poços comuns não foram detalhados.

(ii) Cálculo dos volumes explotados de água por unidade aquífera e por bacia hidrográfica e por aquífero, a partir das quantidades de poços tubulares existentes nos municípios nos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Para estabelecer estes volumes em um determinado domínio hidrogeológico ou bacia hidrográfica adotou-se como base dos cálculos a vazão média proposta por Hirata et al. (2019) e também a "vazão SIAGAS-RURAL". Buscou-se com essa metodologia aproximar a estimativa da agua explotada à realidade existente no meio rural (Hirata et al, 2019). A meta era indicar para as atividades agropecuárias o grau de consumo de águas subterrâneas.

(iii) Elaboração de critérios para a valoração dos serviços ecossistêmicos dos aquíferos e das águas subterrâneas de acordo com a sua presença e participação na composição das fontes de recursos hídricos nos estabelecimentos agropecuários, da sua participação volumétrica na produção agropecuária, do seu uso intensivo, do potencial de prover segurança hídrica frente às mudanças climáticas, o gerenciamento dos processos de recarga e reservação de água para potencializar o seu papel nos períodos de seca e escassez. Buscou–se averiguar se a base de dados do IBGE permitia este conjunto de interpretações.

(iv) A partir dos resultados obtidos e empregando estudos relacionados com as mudanças climáticas globais e suas tendências estabeleceu-se para o ano 2050, para alguns aquíferos brasileiros, o grau de consumo de águas subterrâneas.

A análise dos dados está apoiada no Relatório de Avaliação Ecossistêmica do Milênio (PNUMA, 2005), cujas propostas elaboradas tinham dimensão para além dos territórios nacionais, e trabalhavam a inter-relação entre as áreas biológicas, naturais e sociais. Com os resultados obtidos através dessas quatro linhas de trabalho foi possível apresentar alguns aspectos relevantes do ponto de vista da gestão das águas subterrâneas em sua interação

com as águas superficiais e as meteóricas e, também, em relação ao uso e ocupação do solo que possam ser incorporadas nas políticas de adaptação às mudanças climáticas.

A seguir apresentam-se as bases de informações, dados e as análises geradas.

2.1 Base de Dados do Censo Agropecuário

Os dados apresentados nos Censos Agropecuários 2006 e 2017 foram obtidos a partir de tabelas disponíveis no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), os quais, juntamente com a literatura revisada sobre o tema de aquíferos e águas subterrâneas, permitiram considerar a sua disponibilidade e consumo em um estabelecimento agropecuário.

As informações do Censo Agropecuário 2006 e 2017 foram empregadas para: (i) calcular o Índice de Insegurança Hídrica (IIH); (ii) estimar a média de recursos hídricos por estabelecimento agropecuário; (iii) verificar a relação entre a quantidade de estabelecimento que possuem poços tubulares com os que praticam a agricultura irrigada e com a área irrigada; (iv) identificar qual o principal setor consumidor de água subterrânea em 2006 a partir da atividade produtiva principal dos estabelecimentos agropecuários; (v) identificar o tamanho do rebanho pecuário brasileiro entre 2006 e 2017 na Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do IBGE; (vi) identificar a presença das fontes de recursos hídricos superficial, subterrânea e meteórica na matriz hídrica dos estabelecimentos agropecuários; (vii) destacar os aquíferos e as bacias hidrográficas que mais consomem águas subterrâneas; e (viii) fazer projeções de consumo para 2050.

O termo "*Estabelecimento Agropecuário" (EA),* de acordo com IBGE (2006), págs. 40 – 41 é toda unidade de produção dedicada, total ou parcialmente, às atividades agropecuárias, florestais e aquícolas, subordinada a uma única administração: a do produtor ou a do administrador. Independente de seu tamanho, de sua forma jurídica ou de sua localização em área urbana ou rural, tendo como objetivo a produção para subsistência e/ou para venda, constituindo-se assim numa unidade recenseável.

Por sua vez o IBGE (2006) investiga junto aos estabelecimentos a presença de recursos hídricos naturais (nascentes, rios, riachos, lagos naturais e açudes), considerando apenas a parte que se encontrava nos limites do estabelecimento, e se são protegidos ou não por matas. Investiga, também, a presença de poços comuns, artesianos ou semiartesianos, tubulares e cisternas (IBGE, 2006, págs. 50-51). Abaixo são apresentadas as definições dadas pelo IBGE com algumas complementações.

"Poços comuns ou cacimba", de acordo com IBGE (2006), são perfurações no solo para captar água do lençol freático, com até 40 metros de profundidade e construídos manualmente ou com ajuda de instrumentos. Consideram-se também neste quesito os chamados minipoços e miniartesianos. A revisão sobre o tema poços comuns, diferentemente do IBGE, mostrou que muitos poços comuns chegam até os 70 metros, possuem 1 a 2 metros de diâmetro e suas paredes laterais podem ou não serem revestidas. Destaca-se que a água desse tipo de poço provém do aquífero freático (Vasconcelos, 2014; ABAS, 2017). O IBGE não informa, mas considerou-se que a água extraída desses poços na maioria dos casos se destina para o uso e consumo doméstico e para irrigar pequenas hortas, pomares e criação de animais, geralmente relacionados com a produção de autoconsumo. O termo adotado pelo presente trabalho foi o de poços comuns para evitar uma possível confusão com as cacimbas construídas no Nordeste e que armazenam água de chuva.

O que a presente pesquisa denominou como "*Poços Tubulares"*, em 2006 o IBGE considerou como sendo os *"*poços construídos por introdução de um tubo (metálico ou plástico) na camada rochosa, para retirar a água confinada", referindo-se à condição da água e não do aquífero. Por sua vez considerou como *Poços artesianos ou semiartesianos* – aqueles "em que a água jorra por si só - água confinada sob pressão" (IBGE, 2006, p. 53).

Para o ano de 2017, o Manual do Entrevistador do IBGE (2017), considerou como sendo "o P*oço Tubular* profundo cuja pressão da água é suficiente para fazê-la subir à superfície, sendo desnecessário o uso de bombas para extraí-la. Pode ser chamado também de *Poço Jorrante ou Poço Surgente*".

O *Poço Semiartesiano* foi considerado como sendo "o poço tubular profundo, que não é jorrante, no qual a pressão da água não é suficiente para fazê-la subir à superfície, sendo necessário o uso de bombas para extrair a água.

A grande maioria dos poços tubulares profundos existentes no Brasil é deste tipo, embora também sejam chamados erroneamente de artesianos".

Assim, na presente pesquisa as denominações: "poços artesianos" ou "semiartesianos", "jorrante" ou "não jorrante", foram unificadas como sendo "poços tubulares", dos quais a água extraída é para uso majoritário para a irrigação de lavouras ou para a dessedentação animal. Considerou-se que o consumo humano é satisfeito pelo consumo de águas de nascentes ou de poço comum.

Com relação às *"Nascentes"* o documento do IBGE (2006) não apresenta nenhuma conceituação, porém como o que se pretende destacar é a presença das águas subterrâneas na segurança hídrica e na produção agropecuária, considera-se que estas são originárias de aquíferos que afloram, através de zonas de descargas. Também as águas de nascentes podem ter parte de sua vazão desviada por meio de sulcos para irrigar pequenas hortas e pomares, dessedentação de animais ou mesmo consumo humano.

Por último, observa-se que, com relação às "*Cisternas"* o IBGE (2006) as considera enquanto reservatórios impermeabilizados, normalmente de alvenaria, para armazenar água.

Já com relação aos "*Tanques, Lagos ou Açudes"*, essas estruturas foram consideradas como de armazenamento de água superficial e foram apresentadas apenas no Censo 2006 e no Censo 2017 não são consideradas e apresentadas enquanto fontes de água.

No caso dos "*Métodos de Irrigação"* e das "*Terras Irrigadas"* o IBGE (2006) pesquisou a área total irrigada e os respectivos métodos de irrigação empregados, também perguntou se havia sido realizada mais de uma safra, no caso das culturas anuais, e quando a resposta era positiva indagou quantas vezes havia obtido colheita na mesma área irrigada e se durante essas safras os métodos de irrigação empregados variaram. O IBGE (2006) também perguntou a origem da fonte de água empregada na irrigação, se a mesma provinha do próprio estabelecimento ou se era bombeada de fontes situadas fora da área do estabelecimento, se era obtida de terceiros, ou de projetos de irrigação particulares ou comunitários.

O Censo Agropecuário de 2006 considerou como irrigação: "a prática de aplicar água, que não a da chuva, diretamente à superfície do solo cultivado com

pastos ou culturas, em quantidades e intervalos determinados, com a finalidade de fornecer água às plantas em condições apropriadas ao seu crescimento e produção" (IBGE, 2006, p. 51).

É importante ressaltar que a presente pesquisa considerou, ainda, a atividade principal desenvolvida no estabelecimento agropecuário que, segundo o IBGE, foi obtida pelo conjunto de informações referentes à composição da produção e do valor da produção informados pelo produtor

2.2 Fontes de recursos hídricos presentes nos estabelecimentos agropecuários

Na primeira análise dos dados foram usados os dados das tabelas que apresentam as diferentes fontes de recursos hídricos presentes nos estabelecimentos agropecuários. Ela também apresenta o total de estabelecimentos que possuíam ao menos uma fonte de água. Dessa forma foi possível obter o total de estabelecimentos agropecuários que não possuíam nenhuma fonte em seu interior, através da subtração do total de estabelecimentos existentes no município do total daqueles que possuíam ao menos uma fonte de água (IBGE 2006, IBGE 2017 a).

Esse cálculo foi realizado para os estados, regiões e o país. Essa tabela permitiu classificar as diferentes fontes em subterrânea, superficial ou meteórica, e identificar a importância de cada uma dessas fontes para os estabelecimentos.

Considera-se que a presença de ao menos uma fonte de água indica a existência de segurança hídrica no EA. Entretanto, essa informação não permite identificar se a fonte de recursos hídricos é suficiente ou insuficiente para as necessidades de dessedentação humana, animal ou produção agrícola irrigada.

2.3 Índice de Insegurança Hídrica (IIH)

O cálculo do IIH, elaborado pelo autor, para o presente trabalho e foi realizado para cada município abrangido pelo Censo de 2006, assim como estados e regiões. A finalidade do IIH é calcular o grau de insegurança hídrica existente nos municípios brasileiros em função da situação dos estabelecimentos agropecuários e a condição que se dá a partir da ausência de fonte de recursos hídricos no interior dos mesmos. Como resultado essa

condição coloca os agricultores totalmente dependentes do ciclo natural de chuvas e em regiões que estão sendo impactadas pela redução da precipitação em volume e em número de meses, a insegurança hídrica tende a se acentuar.

Considerou-se que o IIH como um bom indicador para estabelecer a situação de criticidade dos estabelecimentos em função da ausência de fontes de água, que pode contribuir com as políticas públicas de segurança hídrica. O impacto da ausência de fonte de água pode interferir no desenvolvimento local, principalmente no caso dos municípios nos quais o IIH é elevado e cuja base econômica seja a agricultura.

O cálculo foi resultado da seguinte fórmula:

$$IIH = \frac{[Total\ de\ EA\ no\ município - EA\ com\ ao\ menos\ uma\ fonte\ de\ RH]}{Total\ de\ EA\ no\ município}$$

Onde:
IIH – Índice de Insegurança Hídrica Municipal (pode ser calculada para municípios, estados e regiões)
RH – recursos hídricos
EA – estabelecimentos agropecuários

O IIH foi calculado apenas para o ano de 2006, pois o IBGE ainda não havia disponibilizado os dados de 2017. Para poder avaliar o resultado das políticas de segurança hídrica utilizou-se outro indicador que será apresentado mais adiante.

A partir dos resultados do cálculo do IIH houve a classificação dos mesmos em: IIH Agudo, IIH Grave, IIH Mediano, IIH Baixo e IIH Muito Baixo (ver Apêndice A). Considerou-se que essa classificação pode ser empregada na orientação das políticas públicas relacionadas com a segurança hídrica.

Foi feita uma análise estatística (Tabela 2.1) calculando-se a quantidade mínima de fontes de recursos hídricos por estabelecimento por município, também a média, a mediana e os valores máximos. Esse índice variou de 0 até 0,98 tendo média de 0,28 e mediana 0,1835. Os resultados do IIH por município, estado e para o país são apresentados e permitiu a seguinte classificação:

Mín: apresentou-se para o estado o cálculo do menor valor do IIH, os estados tiveram ao menos um município descrito na coluna "Município Mín", ou seja, a porcentagem de estabelecimentos com pouco ou nenhuma fonte de recurso

hídrico;

1ro: foram classificados 25 % dos municípios cujos estabelecimentos estavam situados no intervalo com a menor disponibilidade de fontes de recursos hídricos;

Med: apresentou a mediana, o valor do indicador que separou o conjunto dos municípios em duas metades, a com mais e a com menos fontes de água;

Méd: é o valor médio encontrado para os estabelecimentos de acordo com a presença ou ausência de fontes disponíveis por município por estado;

3ro: 25 % dos municípios que tiveram índices acima ou igual daquele valor, ou seja, continham os municípios com a maior quantiadde de estabelecimentos sem fontes de água em seu interior; e

Máx: este dado apresentou para cada estado qual foi o maior valor do IIH e significa que existe ao menos um município com essa porcentagem de estabelecimento rural sem nenhuma fonte de recurso hídrico.

Adotou-se como padrão para definir os intervalos do IIH os valores encontrados para o país. Ficou estabelecido o valor de 40 %, pouco abaixo dos municípios com maior percentual de estabelecimentos sem fontes de água, como o valor limite para as situações mais críticas de IIH, os IIH Grave e Agudo.

Tabela 2.1: Intervalos do Índice de Insegurança Hídrica *

Estado	**Mín**	**1ro**	**Med**	**Méd**	**3ro**	**Máx**
RO	0,00	0,02	0,03	0,05	0,05	0,24
AC	0,02	0,05	0,10	0,19	0,37	0,57
AM	0,04	0,31	0,50	0,49	0,69	0,93
RR	0,01	0,03	0,08	0,19	0,20	0,84
PA	0,01	0,07	0,18	0,23	0,32	0,90
AP	0,00	0,04	0,15	0,20	0,24	0,90
TO	0,00	0,03	0,07	0,09	0,13	0,39
MA	0,03	0,34	0,58	0,54	0,74	0,97
PI	0,08	0,49	0,62	0,61	0,76	0,96
CE	0,10	0,45	0,57	0,56	0,67	0,94
RN	0,04	0,29	0,46	0,48	0,69	0,98
PB	0,03	0,28	0,46	0,45	0,62	0,94
PE	0,05	0,41	0,56	0,54	0,69	0,92
AL	0,07	0,32	0,49	0,49	0,69	0,92
SE	0,27	0,56	0,66	0,66	0,77	0,96
BA	0,00	0,31	0,54	0,51	0,69	0,98
MG	0,00	0,09	0,15	0,18	0,23	0,86
ES	0,00	0,06	0,09	0,11	0,13	0,57
RJ	0,00	0,06	0,11	0,14	0,21	0,58
SP	0,00	0,07	0,11	0,14	0,17	0,88
PR	0,02	0,13	0,18	0,21	0,27	0,62
SC	0,00	0,05	0,08	0,12	0,13	0,78
RS	0,00	0,10	0,14	0,16	0,20	0,67
MS	0,03	0,07	0,14	0,17	0,23	0,64
MT	0,00	0,03	0,06	0,09	0,13	0,57
GO	0,00	0,05	0,08	0,11	0,13	0,81
BR	**0,00**	**0,09**	**0,18**	**0,28**	**0,43**	**0,98**

Fonte: IBGE, 2006

*Obs.: como o DF não possui municípios assim o seu resultado para o Índice de Insegurança Hídrica foi de 0,21.

Estabeleceu-se 9 % como o limite para indicar a “Insegurança Hídrica Muito Baixa”, desse valor até o limite próximo da mediana (20 %) como o intervalo IIH “Insegurança Baixa”, entre 20 % e 40 % a situação “Insegurança Moderada”. Os dois níveis “Insegurança Hídrica Grave” e “Insegurança Hídrica Aguda“ foram arbitrados com intervalos de 30 % para cada um, assim IIH Grave ficou situado entre 40 % e 70 % e o Agudo com IIH superior aos 70 %. Essas informações estão sintetizadas na Tabela 2.2

Tabela 2.2 Graus de Insegurança Hídrica

IIH	Intervalos IIH
Insegurança Hídrica Muito Baixa	≤ 9%
Insegurança Hídrica Baixa	> 9% à ≤ 20%
Insegurança Hídrica Moderada	> 20% à ≤ 40%
Insegurança Hídrica Grave	> 40% à ≤ 70%
Insegurança Hídrica Aguda	> 70%

Fonte: Baseada em dados do IBGE, 2006.

Inicialmente a proposta era comparar os resultados do IIH 2006 com o de 2017 e identificar as principais fontes de recursos hídricos responsáveis pela melhora das condições de segurança hídrica e avaliar se elas poderiam ser atribuídas como resultantes da ação dos Programas "Um Milhão de Cisternas" e o "Água Doce". Como explicado anteriormente isto não foi possível, assim, buscou-se outra base de cálculo que permitisse analisar o que ocorreu principalmente com os municípios classificados como IIH Grave e IIH Agudo, o que foi feito através do cálculo da média municipal das fontes de recursos hídricos por estabelecimentos agropecuários (M-RHEA) por município, que é explicado a seguir.

2.4 Índice Média Municipal das Fontes de Recursos Hídricos por Estabelecimentos Agropecuários (M-RHEA)

O cálculo da média do total de fontes de recursos hídricos dividido pelo total de estabelecimento agropecuários existentes no município (M-RHEA) foi um recurso metodológico desenvolvido para contornar a situação explicada anteriormente. Ele resultou da média da somatória de todas as fontes de água de um município, divididos pelo total de estabelecimentos agropecuários daquele município. Tem-se a noção de que a média não possibilita visualizar a situação dos estabelecimentos agropecuários que ainda não possuem ao menos uma fonte de recursos hídricos, mas o seu incremento no tempo indicou uma melhora:

$$M\text{-}RHEA = \frac{[\Sigma\ Fontes\ de\ RH\ do\ Município]}{Total\ de\ EA\ no\ município}$$

Onde:

M-RHEA – média das fontes de recursos hídricos por estabelecimento para o município
RH – recursos hídricos
EA – estabelecimentos agropecuários

Essa média foi aplicada para os municípios considerados em situação mais crítica, ou seja, aqueles classificados com IIH Grave e IIH Agudos, para

averiguar se a média de infraestrutura hídrica no município cresceu entre no período 2006-2017.

Ademais, para os municípios em situação mais crítica, as informações permitiram identificar quais foram as fontes de recursos hídricos (subterrânea, superficial ou meteórica) que mais contribuíram para a elevação da média de fontes de recursos hídricos. Esse indicador apresentou qual a realidade da possibilidade do uso múltiplo das diferentes fontes de água, em especial as subterrâneas.

Com esses dados procedeu-se a análise das políticas de segurança hídrica informadas no item 2.3 averiguando em que medida o Censo possibilitou avaliar o resultado dessas políticas públicas em questão.

2.5 Mapas da Distribuição de Poços Tubulares por Bacias Hidrográficas, Aquíferos e Microrregião

Para a elaboração dos mapas utilizou-se a quantidade de poços tubulares existentes nos Censos 2006 e 2017 e foram elaborados pelo autor. É importante esclarecer que os mesmos não informaram a quantidade de poços existentes e sim que o estabelecimento possuía aquela fonte e dessa forma criou-se a equivalência entre um poço tubular e um estabelecimento com poço tubular, mesmo tendo ciência que em muitos estabelecimentos existe mais do que um poço tubular.

As quantidades de poços tubulares existentes em cada município foram enquadradas de acordo com a porcentagem da área do município que se encontrava em uma ou mais de uma bacia ou aquífero. Essas quantidades de poços foram plotadas em mapas. Os mapas permitiram a visualização do crescimento da quantidade e de sua localização por município para os anos 2006 e 2017 (APÊNDICE B e C).

2.6 Cálculo da Vazão Explotada em Aquíferos e Bacias Hidrográficas

A partir da base construída para a elaboração dos mapas de poços por bacias e por aquíferos aplicou-se o cálculo de vazão extraída em 2006 e 2017. As vazões adotadas foram a vazão média apresentada por Hirata et al (2019) e a "vazão SIAGAS-RURAL" calculada nesta pesquisa.

Esse valor foi multiplicado por seis, considerado como o número total de horas de funcionamento de uma bomba, e foi multiplicado também por trinta, equivalendo a um mês de funcionamento. Então, para o caso da pecuária foi multiplicado por doze (meses) e para o caso da agricultura foi multiplicado por seis (meses), exceto para a horticultura para a qual também considerado o uso 12 meses por ano.

A determinação da vazão destinada para a pecuária e a agricultura irrigada foi identificada pela comparação entre estabelecimentos que praticam a irrigação e o total de estabelecimentos com poços tubulares. Os estabelecimentos que praticavam irrigação eram a metade do total de estabelecimentos que possuíam poço tubular, assim consideraram-se aqueles que não se dedicavam a produção irrigada e possuíam poço tubular faziam uso desta água para a dessedentação animal. Em 2006 esta separação também foi possível considerando a atividade principal do estabelecimento.

Desta forma, obteve-se ao total de vazão extraída (VE) para os anos de 2006 e 2017 para aquíferos e bacias hidrográficas:

$$VE = VP\ x\ Tt\ PçTub\frac{Bacia}{Aquífero}x\ HFD\ x\ Dias\ no\ Mês\ x\ \ Meses$$

Onde:

VE – Vazão Extraída da Bacia ou Aquífero
VP -Vazão média do poço
Tt Pç Tub bacia/aquífero -Total de Poços Tubulares Existentes na Bacia/aquífero
HFD -Horas de funcionamento da bomba por dia
Dias *no Mês* – Quantidade de dias que a bomba trabalha no mês
Mês – Quantidade de meses

Para os cálculos foram consideradas as vazões extraídas de 4 m^3/h utilizada por Hirata et al (2019) e 7 m^3/s "vazão SIAGAS-RURAL", as horas de funcionamento consideradas foram de 6 horas por dia, os dia foram no total de 30, valores adotados por Hirata et al (2019) e a quantidade de meses de trabalho foram de 6 meses para a agricultura irrigada e de 12 meses para a pecuária para a horticultura, atividades que consomem água durante o ano todo, pois uso da água não é complementar, é integral.

O SIAGAS é um sistema de informações de águas subterrâneas desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) com a finalidade de alcançar a gestão adequada da informação hidrogeológica e a sua integração

com outros sistemas, de sorte a manter uma base nacional compartilhada para armazenagem, manuseio, intercâmbio e difusão de informações sobre águas subterrâneas.

Nesta pesquisa, o cálculo da “vazão SIAGAS-RURAL" realizado com o cálculo da mediana das vazões de estabilização dos poços na área rural com menos de 30 anos, equipados e funcionando.

Da base de dados do SIAGAS escolheram-se primeiramente os poços com menos de trinta anos de data de perfuração; na sequência foram escolhidos os poços que estavam funcionando, os bombeando e equipados. A partir de então os poços foram organizados de acordo com o tipo de uso, sendo que para o presente trabalho o interesse foi para os poços tubulares localizados no meio rural. Daí então foi efetuado o cálculo da vazão mediana por município, e com esse resultado, foi calculada posteriormente, a mediana das medianas a partir das vazões de estabilização dos poços tubulares localizados no meio rural.

2.7 Vazão Explotada e Criticidade em Aquíferos em 2006 e 2017 e 2050

A partir de algumas modelagens relacionadas com a mudança do clima no Brasil, Hirata e Conicelli (2012) calcularam a recarga e a vazão explotável para 24 sistemas aquíferos brasileiros, como também os efeitos sobre a precipitação e a evapotranspiração em diferentes regiões do país. Esse trabalho fez uma comparação utilizando as vazões de 4 m^3/h e 7 m^3/h para o ano de 2050 avaliando a ocorrência de uso intensivo das águas desses aquíferos.

Também foi comparado o uso intensivo da água com a vazão explotável sustentável indicada pela ANA para os anos 2006 e 2017 para os diferentes aquíferos do país (ANA 2017c).

Para estimar-se a quantidade de poços existentes em 2050, primeiramente calculou-se a razão do crescimento anual de poços tubulares entre 2006 e 2017 que foi de 63.044 poços/ano e para alcançar 2050 faltam trinta e três anos. Essa multiplicação resultou em 2.080.446 novos poços até aquela data, o que totalizaria 3.097.117 poços tubulares em 2050. Outro cálculo foi realizado para checar estes resultados.

Para identificar, em 2017, quantos seriam os agricultores em condições de pagar pela instalação de um poço tubular sem acesso ao crédito, ou seja,

com condições de alavancar um financiamento bancário, recorreu-se a um estudo que tipificou a agricultura brasileira, o Projeto UTF/BRA/036. Esse projeto dividiu primeiramente os estabelecimentos em patronais e familiares, sendo 25% dos estabelecimentos classificados como patronais e 75% como familiares (FAO/INCRA, 1996).

Por sua vez, os familiares foram subdivididos em consolidados, transição ou periféricos. Os consolidados representaram 26,5% desse total. Partindo destas informações sobre o segmento patronal e o familiar consolidado e aplicando ao total de estabelecimentos existentes no Censo 2017 chegou-se a um total de 2.276.128 estabelecimentos, ou seja, a quantidade de poços tubulares naquele ano foi de 1.016.671, 45% daquele valor (FAO/INCRA, 1996).

Ao aplicar essa porcentagem sobre os 2.080.446 encontrados no cálculo anterior chegou-se ao valor de 936.201 novos poços tubulares. Esses somados aos 1.016.671 poços tubulares existentes em 2017 totalizaram 1.952.872 poços em 2050. Esse valor foi arredondado para dois milhões de poços. Número que parece estar mais próximo das condições financeiras existentes no meio rural do Brasil (FAO/INCRA, 1996).

2.8 Municípios e Ocorrência de Uso Intensivo de Águas Subterrâneas

Em entrevista qualitativa realizada com técnico que atua junto a produtores de algodão irrigado, o mesmo relatou ocorrência de seca de poço como consequência do rebaixamento do nível freático e isso resultou da adoção da irrigação e perfuração de poços tubulares em estabelecimentos situados no seu território de trabalho.

Ao analisar os municípios citados e a relação de estabelecimentos com poços tubulares identificou-se que esses representavam praticamente a metade do total de estabelecimentos do município, e ,desta forma, optou-se por estabelecer o recorte de 50 % ou mais de estabelecimentos com poços tubulares como um indicativo de uso intensivo de água subterrânea.

A partir dessa identificação, foi elaborado um mapa destacando os municípios que se encontravam nessa condição em 2006, em 2017 e, numa terceira categoria, aqueles que se encontravam nessa situação nos dois levantamentos censitários.

CAPÍTULO 3 AQUÍFEROS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL

Este capítulo trata primeiramente da caracterização geral dos domínios aquíferos brasileiros, da sua distribuição no território nacional e seu potencial de oferta de águas subterrâneas. Posteriormente, são apresentadas as funções e os serviços ecossistêmicos (SE) relacionados às águas subterrâneas e aquíferos baseados na Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005). Por fim, é feita uma apresentação sobre a sua importância e quais os métodos empregados para a valoração dos SE prestados por esses importantes recursos naturais, considerando a relação entre segurança hídrica e aquíferos.

Os aquíferos e as águas subterrâneas são elementos vitais para o funcionamento dos ecossistemas e se constituem numa importante fonte para o abastecimento de água e o funcionamento da economia. No Brasil o número de pessoas que dependem de água subterrânea é desconhecido, pois a quantidade de poços não registrados é significativa. De acordo com Hirata et al (2019), a estimativa seja que a informalidade é superior a 90 % do total de poços perfurados no país. Consequentemente, também se desconhece como e onde ocorre a utilização dessa água e qual é a sua relevância nos processos produtivos (indústria, agricultura, lazer, alimentação).

Além do desconhecimento do seu papel no abastecimento público e privado, a compreensão sobre o papel que estes recursos naturais desempenham no funcionamento dos ecossistemas também é precária. Diferentes estudos têm feito o esforço de tirar as águas subterrâneas e aquíferos da invisibilidade e assim, fazer com que o seu potencial de uso seja deixe de ser subestimado (ANA, 2005; Rebouças, 2006; Bergkamp e Cross, 2006; Tuinstra e Wensen, 2014; Hirata et al, 2015; Hirata et al, 2019).

As atividades desenvolvidas pelos seres humanos, na zona rural e urbana, interferem na dinâmica do ciclo hidrológico: em seus processos de recarga natural, na relação com as águas superficiais e a descarga dos aquíferos, nos processos de contaminação entre outros. O país tem carência de informações quantitativas e qualitativas mais precisas sobre os processos de recarga e descarga dos aquíferos, em que pese os avanços dos vários estudos realizados pela Agência Nacional de Águas e pelas agências de fomento à

pesquisa nos últimos quinze anos (ANA, 2005; ANA, 2013; ANA, 2017 b, 2017 c).

A quantificação da recarga e da descarga também é necessária já que são a base informacional para os processos de outorga a fim de garantir a explotação sustentável das águas subterrâneas, pois a explotação interfere nos volumes das descargas dos aquíferos nos corpos de água superficial e em seus fluxos de base (Hirata et al, 2015).

A carência de informações é maior quando o foco é o meio rural, uma vez que os estudos sobre os tipos de uso da água subterrânea ainda são incipientes e em geral são locais que se concentra principalmente em temas como contaminação de águas subterrâneas por agrotóxicos e adubos nitrogenados ou sobre a natural salinidade dessas águas (Barroso et al, 2011; Robertson et al, 2012). Merecem destaque os recentes estudos sobre o Urucuia viabilizados pela ANA (Consórcio Engecorps-Walm, 2017). Estudos relacionados ao tema da gestão integrada das águas e o uso das águas subterrâneas para a irrigação e pecuária ainda são poucos e em sua maioria são estudos de caso (Gondim et al, 2011; Mantovani, Fritzsons, Wrege, 2016).

A importância de estudos sobre este recurso natural é reforçada pelo fato de aproximadamente 90% dos rios brasileiros serem perenizados e terem seu fluxo de base proveniente da descarga dos aquíferos. A exceção ocorre no semiárido brasileiro cujos aquíferos fraturados do cristalino não fornecem fluxo de base suficiente para perenizá-los (ANA, 2017 c).

3.1 Aquíferos no Brasil: Localização e Uso dos Recursos.

O primeiro mapa nacional hidrogeológico elaborado no país foi feito pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em 1983. Em 1988 Rebouças fez uma síntese das informações disponíveis sobre os aquíferos mais importantes do país. Posteriormente, em 2005, a Agência Nacional de Águas (ANA) publicou dois relatórios que fizeram uma síntese de dados regionais sobre a qualidade das águas, reservas e produtividade dos principais sistemas aquíferos do país. Mais recentemente, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) apresentou um mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos em um sistema de informações geográficas, na escala 1:2.500.000. Nos anos 2013 e

2017 a ANA atualizou os dados relativos às reservas e disponibilidades hídricas e as características dos principais sistemas aquíferos do país. Vê-se assim que as informações sobre os aquíferos do país passaram a ser sistematizadas há apenas três décadas (ANA, 2013 b, ANA 2017 b, ANA 2017, c).

O Brasil detém não só a maior rede hidrográfica do planeta que representa 12% de toda a água doce do mundo, como também detém um bom potencial hídrico subterrâneo com cerca 112.311 km^3 e o consumo anual está em torno de 17.580 Mm^3/ano ficando em 9º entre os 10 maiores consumidores (Hirata et al, 2019, Borghetti et al, 2017).

De forma geral, em quase toda a extensão territorial do Brasil, os aquíferos apresentam água de boa a excelente qualidade natural. A Figura 3.1 apresenta a localização dos principais sistemas aquíferos do país. Regionalmente é possível identificar problemas associados ao excesso de alguns íons que podem limitar a utilização das águas do aquífero. Nos terrenos cristalinos, os problemas de qualidade natural das águas subterrâneas estão concentrados no semiárido nordestino e referem-se à alta salinidade.

Os aquíferos situados em terrenos de rochas sedimentares ocupam cerca de 4,13 milhões de km^2, 48,3% do território nacional. Nesses terrenos encontram-se 27 sistemas aquíferos de porosidade granular; seguido dos aquíferos cársticos e fraturados, estes possuem uma área de afloramento ou recarga de 2,76 milhões de km^2, 32% do país, (Figura 3.1) (ANA, 2005).

A Bacia do São Francisco é a principal bacia sedimentar proterozóica e compreende dois importantes sistemas aquíferos com dimensões regionais: o sistema aquífero Bambuí (Neoproterozóico) e sistema aquífero Urucuia-Areado (Cretáceo), totalizando 175 mil km^2 (ANA, 2013 b).

Por sua vez, as maiores bacias brasileiras têm idade paleozoica são elas:

- Bacia do Amazonas (Ordoviano e Terciário) com 1,3 milhões de km^2, com os sistemas aquíferos Boa Vista, Solimões e Alter do Chão.

- Bacia do Paraná (Ordoviano e Cretáceo) com 1 milhão de km^2 na porção brasileira, com destaque para os sistemas aquíferos: Bauru-Caiuá, Guarani, Tubarão, Ponta Grossa e, Furnas;

- Bacia do Parnaíba (Siluriano a Cretáceo) com 600 mil km^2, onde se destacam os sistemas aquíferos: Itaperuçu, Corda, Motuca, Poti-Piauí, Cabeças e Serra Grande;

As bacias sedimentares do Mesozoico têm dimensões menores que as do Paleozoico e se concentram nas regiões costeiras ou próximas a elas e geralmente são de grande espessura, podendo alcançar milhares de metros.

Os aquíferos fraturados se localizam em terrenos pré-cambrianos e ocupam uma área de cerca de 4,38 milhões de km^2 (aproximadamente 51,5% do território nacional). Eles coincidem, em grande parte, com o Cráton do Amazonas e com os cinturões de dobramento do Neoproterozoico, englobando parte do embasamento do Cráton do São Francisco. Os basaltos e diabásios da Formação Serra Geral (Eocretáceo) da Bacia do Paraná, em conjunto com as rochas pré-cambrianas, constituem os principais aquíferos fraturados do país (ANA, 2005).

Entre os principais domínios aquíferos do Brasil, o destaque que recebe o Sistema Aquífero Guarani (SAG) se deve à sua extensão e à sua localização. Ele se encontra sob área de influência de uma população aproximada de 24,9 milhões de habitantes, em território que engloba estados do Centro-Sul, indo até a Argentina, o Uruguai e o Paraguai.

O SAG pertence à Bacia Sedimentar do Rio Paraná, a mais importante província hidrogeológica do Brasil, com cerca de 22% das reservas explotáveis de água subterrânea do território nacional (Tabela 3.1). Em razão do volume de água armazenada, do potencial de liberar grandes quantidades de água e por encontra-se situado nas imediações das regiões mais populosas e economicamente mais desenvolvidas do país, esse aquífero desempenha um papel estratégico em termos de segurança hídrica, sendo importante destacar também que, por ser confinado, o tempo de recarga em muitos lugares é milenar.

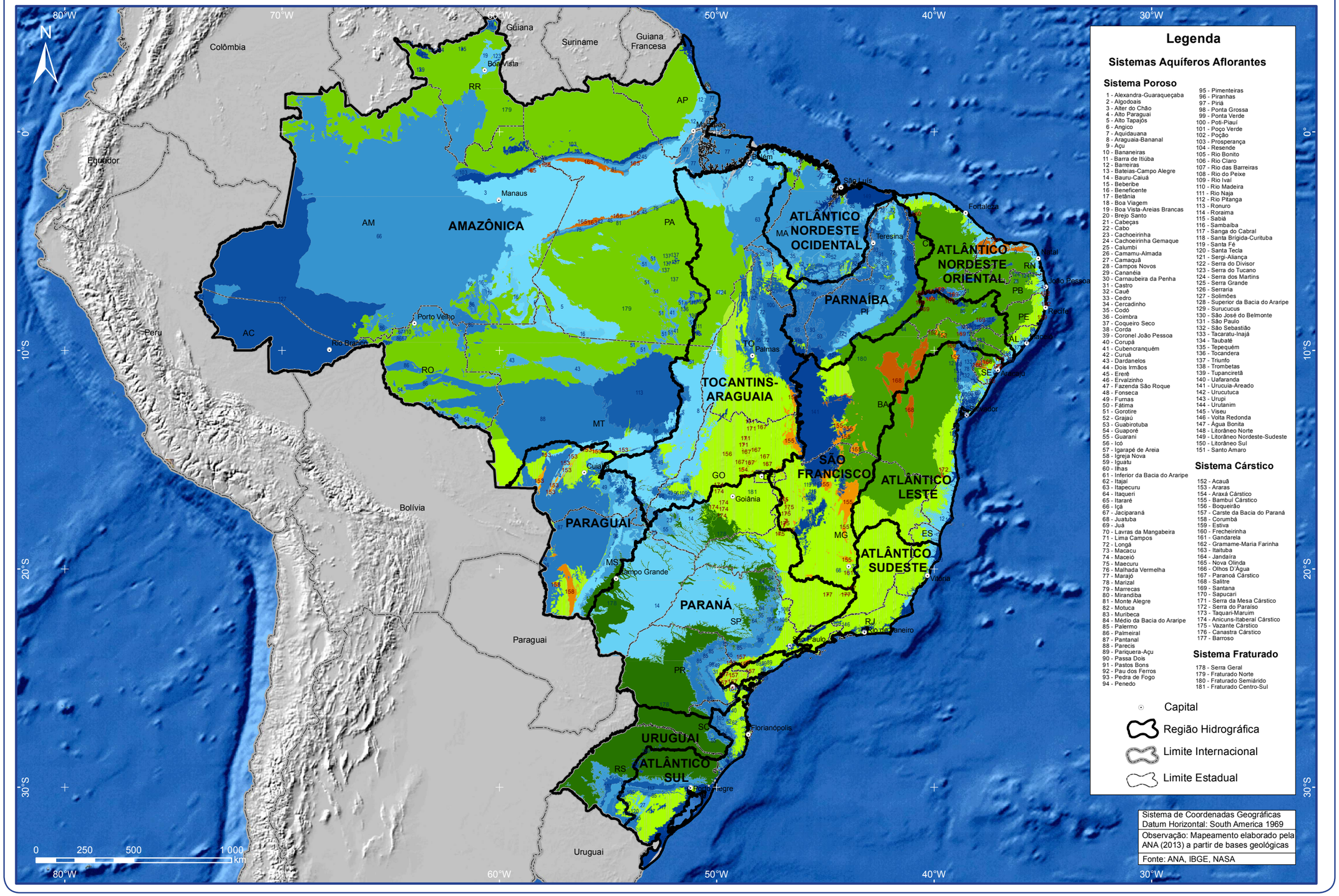
Quanto às reservas renováveis de água, as que têm processos anuais de renovação ou de recargas efetivas alcançam 42.650 m^3/s. No Brasil (1.345 km^3/ano) estas recargas correspondem a 24% do escoamento dos rios em território nacional, cuja vazão média anual é de 179.433 m^3/ano. Já a vazão considerada sustentável, ou seja, explotável é estimada em 14.650 m^3/s (Tabela 3.1) (ANA, 2005; Hirata et al, 2006; ANA, 2017 c).

Sistemas Aquíferos

Atlas Geográfico de Recursos Hídricos do Brasil

ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Ministério do **Meio Ambiente**



Sistema Poroso			
1 - Alexandra-Guaraqueçaba	48 - Fonseca	95 - Pimenteiras	142 - Urucutuca
2 - Algodoais	49 - Furnas	96 - Piranhas	143 - Urupi
3 - Alter do Chão	50 - Fátima	97 - Piriá	144 - Urutanim
4 - Alto Paraguai	51 - Gorotire	98 - Ponta Grossa	145 - Viseu
5 - Alto Tapajós	52 - Grajaú	99 - Ponta Verde	146 - Volta Redonda
6 - Angico	53 - Guabirotuba	100 - Poti-Piauí	147 - Água Bonita
7 - Aquidauana	54 - Guaporé	101 - Poço Verde	148 - Litorâneo N
8 - Araguaia-Bananal	55 - Guarani	102 - Poção	149 - Litorâneo NE -SE
9 - Açu	56 - Icó	103 - Prosperança	150 - Litorâneo S
10 - Bananeiras	57 - Igarapé de Areia	104 - Resende	151 - Santo Amaro
11 - Barra de Itiúba	58 - Igreja Nova	105 - Rio Bonito	
12 - Barreiras	59 - Iguatu	106 - Rio Claro	**Sistema Cárstico**
13 - Bateias-Campo Alegre	60 - Ilhas	107 - Rio das Barreiras	152 - Acauã
14 - Bauru-Caiuá	61 - Inferior da Bacia do Araripe	108 - Rio do Peixe	153 - Araras
15 - Beberibe	62 - Itajaí	109 - Rio Ivaí	154 - Araxá Cárstico
16 - Beneficente	63 - Itapecuru	110 - Rio Madeira	155 - Bambuí Cárstico
17 - Betânia	64 - Itaqueri	111 - Rio Naja	156 - Boqueirão
18 - Boa Viagem	65 - Itararé	112 - Rio Pitanga	157 - Carste da Bacia do Paraná
19 - Boa Vista-Areias Brancas	66 - Içá	113 - Ronuro	158 - Corumbá
20 - Brejo Santo	67 - Jaciparaná	114 - Roraima	159 - Estiva
21 - Cabeças	68 - Juatuba	115 - Sabiá	160 - Frecheirinha
22 - Cabo	69 - Juá	116 - Sambaíba	161 - Gandarela
23 - Cachoeirinha	70 - Lavras da Mangabeira	117 - Sanga do Cabral	162 - Gramame-Maria Farinha
24 - Cachoeirinha Gemaque	71 - Lima Campos	118 - Santa Brígida-Curituba	163 - Itaituba
25 - Calumbi	72 - Longá	119 - Santa Fé	164 - Jandaíra
26 - Camamu-Almada	73 - Macacu	120 - Santa Tecla	165 - Nova Olinda
27 - Camaquã	74 - Maceió	121 - Sergi-Aliança	166 - Olhos D'Água
28 - Campos Novos	75 - Maecuru	122 - Serra do Divisor	167 - Paranoá Cárstico
29 - Cananéia	76 - Malhada Vermelha	123 - Serra do Tucano	168 - Salitre
30 - Carnaubeira da Penha	77 - Marajó	124 - Serra dos Martins	169 - Santana
31 - Castro	78 - Marizal	125 - Serra Grande	170 - Sapucari
32 - Cauê	79 - Marrecas	126 - Serraria	171 - Serra da Mesa Cárstico
33 - Cedro	80 - Mirandiba	127 - Solimões	172 - Serra do Paraíso
34 - Cercadinho	81 - Monte Alegre	128 - Superior da Bacia do Araripe	173 - Taquari-Maruim
35 - Codó	82 - Motuca	129 - Surucucus	174 - Anicuns-Itaberaí Cárstico
36 - Coimbra	83 - Muribeca	130 - São José do Belmonte	175 - Vazante Cárstico
37 - Coqueiro Seco	84 - Médio da Bacia do Araripe	131 - São Paulo	176 - Canastra Cárstico
38 - Corda	85 - Palermo	132 - São Sebastião	177 - Barroso
39 - Coronel João Pessoa	86 - Palmeiral	133 - Tacaratu-Inajá	
40 - Corupá	87 - Pantanal	134 - Taubaté	**Sistema Fraturado**
41 - Cubencranquém	88 - Parecis	135 - Tepequém	Sistema Poroso
42 - Curuá	89 - Pariquera-Açu	136 - Tocandera	178 - Serra Geral
43 - Dardanelos	90 - Passa Dois	137 - Triunfo	179 - Fraturado Norte
44 - Dois Irmãos	91 - Pastos Bons	138 - Trombetas	180 - Fraturado Semiárido
45 - Ererê	92 - Pau dos Ferros	139 - Tupanciretã	181 - Fraturado Centro-Sul
46 - Ervalzinho	93 - Pedra de Fogo	140 - Uafaranda	
47 - Fazenda São Roque	94 - Penedo	141 - Urucuia-Areado	

Figura 3.2 – Aquíferos Brasileiros. Fonte: ANA 2013

Tabela 3.1 Área de Afloramento, Recarga e Potencial Explotável dos Aquíferos Brasileiros

Região Hidrográfica	Principais Aquíferos na Região Hidrográfica	Área Afloramento na RH (%)	Recarga Potencial Direta - RPD (m³/s)	Reserva Potencial Explotável - RPE (m³/s)
Amazônica	Amazonas	46,00%	17.050	6.820
	Aquidauana	0,10%	52	21
	Barreiras	0,30%	106	21
	Boa Vista-Areias Brancas	0,40%	155	62
	Fraturado Centro-Sul	0,70%	50	20
	Fraturado Norte	36,20%	3.840	1.536
	Litorâneo	0,10%	62	12
	Parecis	5,40%	5.181	1.036
	Ronuro	3,00%	1.403	281
		92,30%	***27.898***	***9.809***
Tocantins /Araguaia	Amazonas	5,40%	469	188
	Aquidauana	4,20%	343	103
	Araguaia-Bananal	11,60%	972	194
	Bambuí Cárstico	1,00%	40	12
	Barreiras	5,70%	418	84
	Fraturado Centro-Sul	29,80%	562	225
	Fraturado Norte	15,00%	339	136
	Furnas	1,00%	56	22
	Itapecuru	6,40%	323	65
	Urucuia	2,40%	181	36
		82,40%	***3.702***	***1.064***
Atlântico NE Ocidental	Barreiras	8,20%	161	32
	Corda	7,20%	23	9
	Fraturado Norte	3,90%	29	12
	Itapecuru	52,60%	663	133
	Litorâneo	11,90%	188	38
		83,70%	***1.064***	***223***
Parnaíba	Cabeças	13,10%	36	14
	Fraturado Semiárido	12,90%	5	5
	Poti-Piauí	29,40%	444	178
	Serra Grande	8,90%	52	21
		64,30%	***537***	***218***
Atlântico NE Oriental	Açu	1,50%	2	1
	Barreiras	12,00%	114	23
	Fraturado Centro-Sul	10,00%	44	17
	Fraturado Semiárido	66,40%	21	21
	Jandaíra	3,70%	14	14
	Litorâneo	1,50%	18	4
		95,10%	***213***	***79***
São Francisco	Areado	2,30%	92	18
	Bambuí Cárstico	4,90%	101	30
	Fraturado Centro-Sul	27,80%	287	115
	Fraturado Semiárido	40,60%	27	27
	Marizal	0,90%	5	2
	Salitre	4,50%	52	16
	Urucuia	15,60%	630	126
		96,60%	***1.194***	***334***
Atlântico Leste	Barreiras	8,50%	130	26
	Fraturado Centro-Sul	24,80%	143	57
	Fraturado Semiárido	55,00%	25	25
	Litorâneo	1,70%	32	6
	Marizal	3,40%	15	6
	Salitre	1,30%	13	4
	São Sebastião	1,50%	30	12
		96,30%	**388**	**137**

CONTINUAÇÃO

Região Hidrográfica	Principais Aquíferos na Região Hidrográfica	Área Afloramento na RH (%)	Recarga Potencial Direta - RPD (m³/s)	Reserva Potencial Explotável - RPE (m³/s)
Atlântico Sudeste	Barreiras	*2,70%*	*21*	*4*
	Fraturado Centro-Sul	88,7%	336	134
	Litorâneo	5,20%	45	9
		96,60%	**402**	**148**
Paraná	Aquidauana	0,60%	46	18
	Bauru-Caiuá	37,20%	2526	505
	Fraturado Centro-Sul	23,30%	400	160
	Furnas	0,50%	25	5
	Guarani	3,20%	227	91
	Itararé	3,70%	141	56
	Rio Bonito	0,50%	24	10
	Serra Geral	25,30%	1.584	634
		94,3%	3.388	1.479
Paraguai	Aquidauana	6,40%	234	70
	Bauru-Caiuá	4,60%	179	36
	Fraturado Centro-Sul	14,80%	76	31
	Furnas	4,00%	136	27
	Guarani	8,20%	311	62
	Pantanal	0,449	919	184
	Parecis	0,038	161	32
	Serra Geral	0,033	20	8
		0,898	2036	450
Uruguai	Fraturado Centro-Sul	0,018	6	2
	Guarani	0,101	156	62
	Serra Geral	0,779	920	368
		0,897	1082	433
Atlântico Sul	Fraturado Centro-Sul	0,306	117	47
	Guarani	0,051	85	34
	Itararé	0,026	41	16
	Litorâneo	0,154	134	27
	Rio Bonito	0,045	49	20
	Serra Geral	0,265	320	128
		0,847	746	272
TOTAIS			34413	11430

FONTE: ANA (2017 b).

As reservas de águas subterrâneas foram calculadas para os aquíferos mais relevantes para cada uma das regiões hidrográficas. Estes aquíferos são considerados estratégicos, pois possuem reservas em condições de suprir o consumo humano, animal e agrícola e suportam o desenvolvimento de atividades econômicas na localidade ou na região no presente e no futuro (ANA, 2013 b, p. 59).

Na Tabela 3.1 os valores da Recarga[2] Potencial Direta (RPD)[3] apresentados correspondem à parcela da precipitação pluviométrica média anual que infiltra no solo e que efetivamente chega aos aquíferos livres, constituindo a Reserva Renovável Reguladora (ANA, 2013 b, p.59).

A Reserva Potencial Explorável estimada (RPE) corresponde à parcela da RPD indicada pelo coeficiente de sustentabilidade que está relacionada ao percentual de RPD a qual poderá ser explotada de forma sustentável. A questão é que a RPE considera o volume total disponível em determinado aquífero sem descontar os volumes atualmente explotados; para se conhecer a disponibilidade real de água subterrânea, os quantitativos em extração devem ser abatidos da RPE (ANA, 2013 b, p. 64).

Por sua vez, o coeficiente de sustentabilidade está relacionado com a transmissividade dos aquíferos. Naqueles nos quais ela é elevada a vazão de base representa uma parte importante da vazão dos rios, desta forma a ANA indica adotar um coeficiente baixo de forma a minimizar os riscos de redução dessas vazões:

> "O Sistema Aquífero Urucuia é um exemplo clássico, (...) a vazão de base representa de 50 a 90% da vazão total dos rios nele entalhados. Para aquíferos (localizados) em regiões litorâneas, onde há riscos de intrusão de cunha salina, deve-se considerar igualmente um CS de 0,2. Nos sistemas aquíferos cársticos que alimentam rios perenes também é razoável considerar o coeficiente de sustentabilidade de maneira conservadora, sugere-se 0,3" (ANA, 2013 b, p. 65).

Dependendo da taxa de explotação, das mudanças nas formas de uso e ocupação do solo e, mais recentemente, das mudanças do clima, a vazão de base (responsável pela perenização dos rios) poderá ser fortemente reduzida e isto, no limite, poderá implicar que um dado rio venha a tornar-se intermitente, secar em períodos críticos de estiagem (ANA, 2013 , p.64).

A própria ANA informa que os valores dos coeficientes de sustentabilidades sugeridos para os diferentes aquíferos brasileiros no Boletim Conjuntura de Recursos Hídricos 2013 são indicativos iniciais. Ela considera que os órgãos gestores de recursos hídricos dos estados deverão, posteriormente,

---

[2] A recarga depende fundamentalmente do regime pluviométrico (volume de chuva), do equilíbrio entre a infiltração, o escoamento e a evaporação. Sendo assim, a topografia da área, a natureza e as práticas de conservação do solo e a situação da cobertura vegetal têm papel fundamental na recarga dos aquíferos (ANA 2017 c).

[3] A RPD corresponde a da vazão de base (Q_B), dos volumes de água subterrâneas em explotação (V_{EX}) e com ada recarga profunda (R_{prpof})

calibrar melhor estes valores a partir da ampliação do conhecimento sobre estes aquíferos, sobre as reservas em uso, bem como da interação rio-aquífero (ANA, 2013 b, p.65).

Com relação aos tipos de uso das águas subterrâneas (Tabela 3.2) apresentam a partir dos dados de poços cadastrados no SIAGAS a distribuição dos diferentes tipos de uso das águas subterrâneas, cabe destacar que nesta tabulação foram desconsiderados 117.658 poços para os quais não havia informação sobre o tipo de uso:

As águas subterrâneas participam do abastecimento público suprindo total ou parcialmente mais de 51% dos núcleos urbanos brasileiros, isto equivale a mais de 89 milhões de habitantes (Villar, 2016). No Estado de São Paulo, mais de 75% de seus municípios são supridos total ou parcialmente com águas subterrâneas (Hirata et al, 2015).

Destaca-se o avanço relacionado à gestão das águas subterrâneas no abastecimento público nos últimos anos (Viviani-Lima, 2007; Simonato, 2013; Conicelli, 2014; Galvão, 2015. Batista, 2015). Porém, ainda no setor privado urbano (comércio, serviços e indústria) e no meio rural as informações não estão disponíveis. No caso do meio rural, um dos objetivos deste trabalho é contribuir para superar parte desta lacuna no que tange ao consumo de água subterrânea pela agropecuária e as fontes de água que abastecem os estabelecimentos agropecuários (EA).

Tabela 3.2 – Distribuição do Consumo de Águas Subterrâneas, SIAGAS

Tipo de uso	Total	%
abastecimento doméstico	53.024	30,81
abastecimento doméstico /animal	22.179	12,89
abastecimento doméstico/irrigação	1.974	1,15
abastecimento industrial	16.887	9,81
abastecimento múltiplo	23.165	13,46
abastecimento urbano	26.328	15,30
doméstico/irrigação/animal	4.733	2,75
irrigação	8.415	4,89
outros (lazer etc.)	7.431	4,32
pecuária	4.555	2,65
sem uso	3.410	1,98
total*	172.101	100

*não foram incluídos os poços para os quais não havia informação sobre o tipo de uso

Fonte : SIAGAS/CPRM (2017)

Segundo os dados do SIAGAS (Tabela 3.2) o meio rural responde por

cerca de 25% dos poços cadastrados indicando que o consumo de água subterrânea seria predominantemente urbano. No entanto a grande informalidade não permite saber ao certo qual a real proporção do uso entre rural, urbano, indústria e serviços.

A realidade do país revela que o conhecimento da hidrodinâmica e da hidroquímica dos sistemas aquíferos são, também, limitados em função do monitoramento disponível. Ao contrário do que é observado em relação às águas superficiais, cuja rede de monitoramento fluviométrico conta com cerca de 5.800 estações em funcionamento, em 2017 para as águas subterrâneas, de acordo com ANA, existiam 374 poços da Rede Integrada de Monitoramento do Águas Subterrâneas que não dá conta da distribuição territorial dos aquíferos (ANA, 2017 b).

A lacuna de conhecimento sistemático da situação das águas subterrâneas no país, não permite identificar e delimitar a extensão dos problemas que afetam os aquíferos e os seus usuários. A contaminação antrópica e o uso intensivo de aquíferos são descritos pontualmente pelo território, mas sem uma sistematização que permita extrapolar as suas reais dimensões ou identificar outras áreas com igual potencialidade. (ANA, 2017 b)

3.2 Funções e Serviços Ecossistêmicos das Águas Subterrâneas

A origem do conceito de serviços ecossistêmicos data dos anos 1970 e que buscou organizar e tipificar os diferentes benefícios e usos das funções dos ecossistemas na promoção do bem-estar humano (Gómez-Baggethun et al, 2010). Ele foi introduzido por Ehrlich e Ehrlich e, até meados dos anos 1980, tinha um viés preponderantemente pedagógico, para mostrar como a superexploração dos recursos naturais com a possível desaparição da biodiversidade afetaria diretamente as funções dos ecossistemas que sustentam serviços essenciais para o bem-estar humano revelando como nossa condição de vida esta atrelada à natureza (Ehrlich e Ehrlich, 1981).

Na mesma direção, Daily (1997) considera que os serviços ecossistêmicos são aqueles prestados pelos ecossistemas e espécies que os habitam para a sustentação das condições da vida humana na Terra (Daily, 1997; Ministério Público Estadual, 2011).

No caso dos aquíferos e das águas subterrâneas, as funções e os serviços ecossistêmicos estão diretamente relacionados às condições de ocorrência dessas águas em uma determinada região, da interação entre os fatores climáticos (irregulares no tempo e no espaço) e os fatores geológicos - cuja variabilidade também é muito grande em função da dimensão da área estudada (Rebouças, 2006; Danielopol et al, 2004; DeFries et al, 2004).

Entre outros aspectos relevantes para a avaliação das funções e dos serviços das águas subterrâneas podem ser incluídas as áreas onde se localizam as zonas de recarga ou descarga dos aquíferos; o tipo de uso e ocupação do solo; a adequação ou não na deposição de resíduos; a existência de fontes não convencionais de recursos hídricos; e a ocorrência (ou não) de impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (Rebouças, 2006; Danielopol et al, 2004; DeFries et al, 2004).

No estudo dos serviços ecossistêmicos para a valoração ambiental e econômica deve-se partir primeiramente da identificação das funções ecológicas fundamentais, através da qual, mediante diferentes e distintas interações, ocorrem os diferentes serviços ecossistêmicos (Cook e Spray, 2012; Daly e Farley, 2008; Rebouças, 2006; Danielopol et al, 2004).

3.2.1 Funções ecossistêmicas

As funções ecossistêmicas podem ser definidas como o resultado ou o produto das interações existentes entre os elementos estruturais da natureza ou de um ecossistema, incluindo a transferência de energia, a ciclagem de nutrientes, a relação climática e o ciclo da água. Estas funções são consideradas um subconjunto dos processos ecológicos e das estruturas ecossistêmicas (Daly e Farley, 2008; Andrade e Romeiro, 2009).

A compreensão destas funções demanda a análise das interconexões existentes entre seus diferentes componentes, que criam suas várias interações cujo somatório é maior que as partes individualmente, uma função pode gerar mais de um serviço. Da mesma forma, ao se pensar nas contribuições dos ecossistemas para a vida humana, pode-se entender como as funções ecossistêmicas geram serviços para a humanidade. Assim, as diferentes e variadas funções dos ecossistemas irão prover serviços ecossistêmicos que são

o resultado de uma complexa relação de suporte à vida humana (Daly e Farley, 2008; Andrade e Romeiro, 2009).

O estudo das funções ecossistêmicas deve ser feito de acordo com as diferentes escalas espaciais e temporais, o que torna esta tarefa ainda mais complexa. Estas funções segundo a literatura podem ser agrupadas em quatro grupos: Regulação, Habitat, Produção e Cultural, quais sejam:

- *Função de Regulação*

Entre as funções de regulação podem ser citadas a de regular a biota em escala global, a composição química da atmosfera, dos oceanos e da biosfera como um todo. Bem como o equilíbrio entre o oxigênio e dióxido de carbono, a manutenção da camada de ozônio etc. A função de regulação é mantida por processos biogeoquímicos que são influenciados pelos componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas. Estas funções também se relacionam com os aspectos estruturais dos ecossistemas como: a capacidade de prevenção (ou mitigação) de distúrbios ou danos naturais; capacidade de absorção de água; a capacidade de filtragem e estocagem de água que regulam a sua disponibilidade ao longo das estações climáticas (Daily, 1997).

As funções ecossistêmicas dos aquíferos e das águas subterrâneas são apresentadas no Figura 3.3.

Função de Produção

As funções de produção estão relacionadas com a capacidade de fornecer alimentos para o consumo humano e animal, através de processos como a fotossíntese, sequestro de nutrientes e também de ecossistemas trabalhados pela sociedade, como é o caso das terras cultivadas. As funções de produção se relacionam com a extração e coleta de alimentos, de matérias primas (ceras, gomas, tintas naturais, gorduras, folhagens etc.), recursos genéticos, medicinais e ornamentais. Independentemente do tipo de ecossistema é possível se obter recursos da parte biótica e abiótica, incluindo os recursos minerais (Figura 3.3) (Andrade e Romeiro, 2009; Daily, 1997).

- *Função de Habitat*

Estas funções são essenciais para a conservação biológica, genética e a preservação de processos evolutivos. Destacando-se as funções de refúgio e berçário, que fornecem espaço e abrigo para espécies animais e vegetais,

contribuindo para a manutenção da diversidade genética e biológica. É o caso da interação entre os ecossistemas costeiros, lacustres, várzeas, áreas inundáveis, entre outras e as espécies comerciais que habitam e se reproduzem nestes ecossistemas; esta interação torna os ecossistemas espaços ideais para a reprodução e perpetuação das diferentes espécies que aí habitam (Figura 3.3) (Andrade e Romeiro, 2009).

- *Função Cultural*

A função cultura ou informação se relacionam com a formação de valores humanos. Esta é uma função difícil de ser mensurada, dada a dificuldade de defini-la e avaliá-la corretamente; são funções relacionadas à interação entre os ecossistemas naturais e a manutenção da saúde humana, mediante a oferta de possibilidades de reflexão, de enriquecimento espiritual, de aspectos lúdicos, recreativos, reflexivos e estéticos da vida etc. (Andrade e Romeiro, 2009; Daily, 1997).

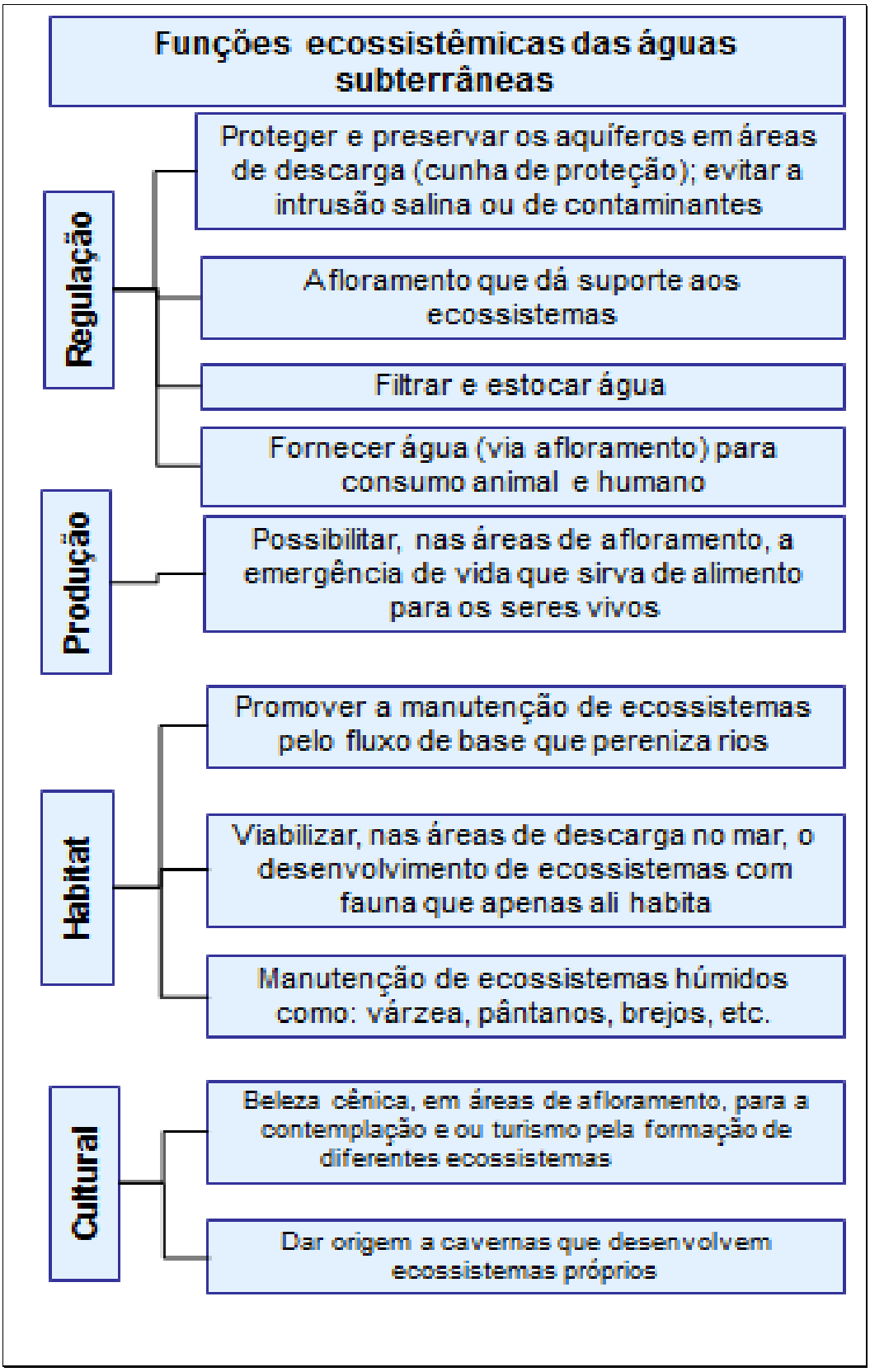


Figura 3.3 Funções Ecossistêmicas dos Aquíferos. Fonte: Aly Jr et al, 2015.

3.2.2 Serviços ecossistêmicos

Os serviços ecossistêmicos são definidos como os bens e os benefícios proporcionados pelos ecossistemas aos seres humanos que promovem o seu bem-estar (Bergkamp e Cross, 2015). Eles são derivados das funções de diferentes sistemas naturais que formam uma complexa relação de suporte à vida humana. Este conceito parte do pressuposto da existência de uma correlação positiva entre bem-estar humano e bem-estar ambiental, ou seja, existe uma relação direta entre a existência humana e a manutenção das funções dos ecossistemas.

A MEA considera que o "*ecossistema é um complexo de comunidades vegetais, animais, microrganismos e seu respectivo meio que interagem como uma unidade funcional*" (MEA, 2005).

Os serviços ecossistêmicos são o resultado das interações entre as diferentes funções ecossistêmicas e podem ser resultados de uma ou mais funções ecológicas, ademais uma função ecossistêmica pode gerar mais de um serviço ecossistêmico (Constanza et al, 1997 apud Andrade e Romeiro, 2009; Daily, 1997).

Partindo da noção que os ecossistemas naturais oferecem gratuitamente serviços essenciais, sobre os quais se apoiam a vida e as atividades humanas, é que se busca construir os modelos para valorar esses serviços e, também, avançar nas avaliações ambientais a partir de critérios ecológicos não utilitaristas.

O termo serviço ecossistêmico introduzido por Erlich e Erlich, em 1981, cuja finalidade inicial estava relacionada com os aspectos pedagógicos passa, a partir dos anos 1990, a ser usado pelas correntes da economia ambiental e da economia ecológica[4] (Gómez-Baggethun et al, 2010).

Muitos serviços ecossistêmicos têm uma ligação direta com o armazenamento de águas subterrâneas, a sua recarga e afloramento. A água da

---

[4] Economia Ambiental: ramo da economia neoclássica que analisa o meio ambiente com o propósito de internalizá-lo no cálculo econômico, ou seja, dar condição de refletir valores hipotéticos para serviços e funções da natureza nos preços .
Economia ecológica: é a alicerçada no pensamento Georgescu-Roegen que atribuem à natureza a condição de suporte insubstituível de tudo o que a sociedade pode fazer e que se encontra cada vez mais ameaçada e busca orientar o uso sustentável da natureza – Cavalcanti, 2010

chuva, o degelo, os rios e lagos são os meios através dos quais ocorre a recarga natural dos aquíferos e influenciam (e também são influenciadas) a conformação dos diferentes tipos de ecossistema existentes. Por sua vez, os ecossistemas também influenciam a quantidade e a qualidade da recarga; e o afloramento das águas subterrâneas funciona como suporte para o desenvolvimento de ecossistemas de alto valor em termos de biodiversidade e na oferta de serviços ecossistêmicos.

Os aquíferos, por exemplo, estão ligados à conformação da paisagem na sua relação com a biodiversidade e a conformação da bacia hidrográfica, que incluem as áreas adjacentes ribeirinhas, os ecossistemas terrestres, e os topos das bacias hidrográficas circundantes (NRC, 2004 apud Bergkamp, Cross, 2015).

Os serviços ecossistêmicos ofertados pelas águas subterrâneas sustentam parte da vegetação terrestre, sistemas de fluxo de base do rio, a estrutura dos poros dos aquíferos evitando a subsidência de terrenos, ecossistemas das cavernas, zonas úmidas, faunas terrestres e estuarinas, e os ecossistemas próximos da costa marítima.

As águas subterrâneas e superficiais são indispensáveis para manter a boa saúde dos ecossistemas e a qualidade de vida das pessoas. Não se trata apenas de uma matéria-prima utilizável, pois desempenha também um papel na regulação do clima e do tempo e, por essa via, do funcionamento do Planeta. É o caso das zonas úmidas que prestam serviço de purificação da água e absorção do carbono (MEA, 2005).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente lançou o Relatório de Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA), ou Avaliação do Milênio (PNUMA, 2005), que foi o primeiro esforço em escala planetária e interligado com diferentes escalas: local, bacias hidrográficas, nacional, regional e tratar das consequências que as mudanças nos ecossistemas acarretam para o bem-estar humano. Este relatório advertiu que a escala muito ampla do estudo dificultou a proposição de ações efetivas, sobretudo na interação das áreas biológicas, naturais e sociais, como também impediu que se aprofundasse as diferenças existentes entre os conceitos de funções ecossistêmicas e de serviços ecossistêmicos.

O ponto de referência da MEA é o homem enquanto parte integrante dos ecossistemas que interage com as outras partes dos ecossistemas, desta forma a ação humana interfere direta e/ou indiretamente sobre o funcionamento dos ecossistemas e, portanto, produz e sofre alterações.

Cook e Spray (2012) consideram que faltou apresentar qual seria o nível mínimo de recursos bióticos e abióticos necessários para garantir o funcionamento dos ecossistemas, já que, para obter seu bem-estar, a humanidade depende de todos os processos subjacentes.

No que diz respeito às águas subterrâneas e os serviços ecossistêmicos, a MEA (2005) destacou serviços como o fornecimento de água, como componente integral do ciclo da água, e a sua relação com a regulação do clima. Por sua vez, é importante reconhecer os ecossistemas fornecem serviços que são essenciais para manter os sistemas de águas subterrâneas. Por exemplo, aquíferos são recarregados por outras partes do ciclo da água, tais como zonas úmidas, rios e precipitação (Figura 3.4).

A perturbação ou alteração nos serviços de regulação, como é o caso a mudança do clima, poderá ocasionar um impacto importante sobre as águas subterrâneas e sobre o armazenamento de água; a elevação da frequência e da gravidade das secas, consequentemente, incidirá sobre a demanda e a recarga natural de água subterrânea; o aumento da frequência e da gravidade na ocorrência de inundações e intrusão salina em aquíferos costeiros, em razão do aumento do nível do mar e da redução da vazão de afloramento (Bergkamp, Cross, 2015).

As formas de uso e ocupação do solo (Figura 3.4) também influenciam significativamente o processo de recarga e de consumo de águas subterrâneas. Muito embora a cobertura florestal e vegetal cumpra o papel de reduzir o escoamento superficial e elevar a infiltração de água, o seu efeito sobre os níveis de água subterrânea não ocorre de forma tão direta (FAO, 2003). A elevação das taxas de recarga do aquífero está relacionada com o aumento da infiltração propiciado pela cobertura vegetal, pelo controle de erosão e de conservação de solos e da água e as mudanças relativas às taxas de evapotranspiração (FAO, 2003).

O conceito de serviços ecossistêmicos pode ser subdividido em quatro categorias: Provisão, Regulação, Suporte e Cultural e são apresentados a seguir.

- *Serviços de regulação*

Os serviços de regulação (Figura 3.5) se relacionam com as características regulatórias dos processos ecossistêmicos, como manutenção da qualidade do ar, regulação climática, purificação de água, tratamento de resíduos, regulação de doenças humanas, regulação biológica e proteção de desastres naturais, sendo derivados quase que exclusivamente das funções ecossistêmicas classificadas na categoria de regulação (Ministério Público Estadual, 2011; Tuinstra e Wensen, 2014; Daily, 1997).

- *Serviços de provisão*

O termo serviços de provisão (Figura 3.5) refere-se aos "produtos fornecido, obtidos ou extraídos dos ecossistemas", ele inclui os alimentos e as fibras, as fontes de energia, os recursos genéticos, os produtos bioquímicos, medicinais e farmacêuticos, os recursos ornamentais e hídricos. Sua sustentabilidade não deve ser medida apenas em termos de fluxos, ou melhor, pela quantidade de produtos obtidos em determinado período. É necessário observar os limites impostos pela capacidade de suporte do ambiente natural (em termos físicos, químicos e biológicos), de maneira a evitar que a intervenção antrópica comprometa irreversivelmente a integridade e o funcionamento apropriado dos processos naturais (Daily, 1997; MEA, 2005; Ministério Público Estadual, 2011; Ward e Robinson, 1990, apud Bergkamp, Cross, 2015).

- *Serviços de suporte*

Serviços de suporte (Figura 3.5) são definidos como "serviços necessários para a produção dos demais serviços ecossistêmicos”. Eles diferenciam-se dos demais na medida em que seus impactos sobre o ser humano são indiretos e/ou ocorrem em longo prazo. Como exemplos, pode-se citar a produção primária, produção de oxigênio atmosférico, formação e retenção de solo (contribuindo para o controle da erosão), ciclagem de nutrientes, ciclagem da água e provisão de habitat (Ministério Público Estadual, 2011; MEA, 2005 b).

- *Serviços culturais*

Os serviços culturais (Figura 3.5) são definidos como os "benefícios imateriais que as pessoas obtêm dos ecossistemas, incluindo aí a diversidade cultural, resultado da própria diversidade dos ecossistemas que influencia a multiplicidade das culturas, os valores religiosos e espirituais, a geração de conhecimento (formal e tradicional), valores educacionais e estéticos entre outros" (MEA, 2005). Esses serviços estão intimamente ligados a valores e comportamentos humanos, bem como às instituições e padrões sociais, características que fazem com que a percepção desses serviços seja diferente para os vários grupos de indivíduos, dificultando sobremaneira a avaliação de sua provisão (Ministério Público Estadual, 2011; Daily, 1997).

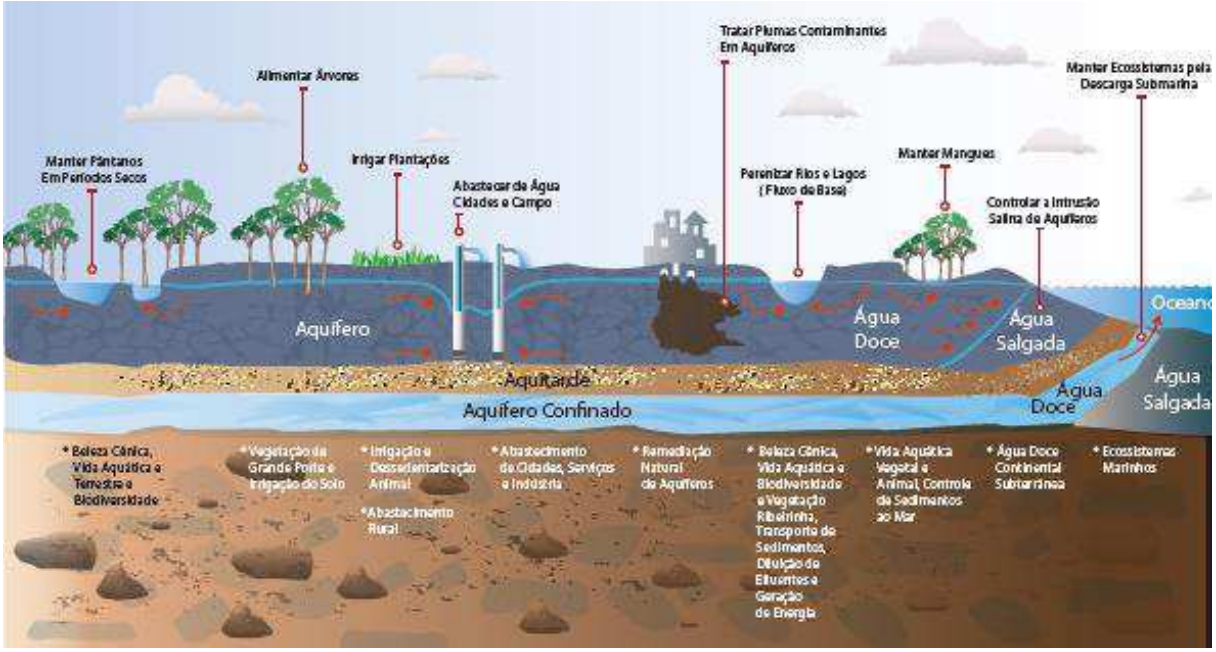


FIGURA 3.4 Funções e serviços ecossistêmicos dos aquíferos e águas subterrâneas Fonte: Hirata et al, 2019.

Quanto mais complexas e tecnologicamente avançadas são as sociedades humanas, mais se desenvolve a noção enganosa e perigosa da sua independência em relação aos sistemas naturais, pois uma coisa é distanciar-se da natureza, a outra é ser independente dos serviços que ela provê. Esta postura traz como consequência o declínio dos SE, da capacidade dos ecossistemas proverem, principalmente, os serviços de regulação, de suporte e culturais. Muitos consideram a degradação dos fluxos de SE como parte de uma armadilha social, com base na organização da economia, e que é responsável pela destruição dos serviços de suporte à vida oferecidos "gratuitamente" pelos ecossistemas.

Serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas	
Regulação	- Reter, armazenar e liberar água. - Purificar e tratar resíduos, - Reduzir processos naturais de erosão e controlar enchentes - Regular o clima - Prevenir a subsidência dos solos e manter a estabilidade das edificações mediante pela manutenção dos níveis dos aquíferos; - Sustentar, pelo afloramento, o fluxo de base dos rios, nascentes e áreas úmidas como pântanos e mangues. - Sustentar vazões durante a estação e grandes períodos de seca - Controlar o aumento da salinidade dos solos - Filtrar/depurar (sistema aquífero-solo), na recarga artificial ou na captação em áreas situadas ao longo dos rios. - Filtrar/depurar (sistema aquífero-solo), tratamento de contaminantes, dada a presença de microrganismos associados ao solo e aos aquíferos - Filtragem/depuração e atenuação de pluma contaminante por dissolução, dificultar e restringir o movimento.
Provisão	- Fornecer água potável (extração) para consumo humano, engarrafada ou encanada; - Prover água não potável para irrigação, uso industrial, limpeza urbana , etc.; - Sustentar o fluxo de base que dilui esgoto e transporta sedimentos (evita o assoreamento e a ocorrência de enchentes), garante transporte fluvial, irrigação, pesca aquicultura, lazer, geração de energia, entre outras atividades; - Estabelecer nas áreas de descarga no mar a formação de ecossistemas que possibilita o desenvolvimento atividades econômicas a eles relacionadas. Ex.: Mediterrâneo; - Produzir energia térmica
Suporte	- Armazenar água de chuva ou tratada mediante a recarga artificial (reserva de água subterrânea); - Fornecer água, mediante o afloramento, para o pleno desenvolvimento dos ecossistemas; - Solubilizar e disponibilizar nutrientes para o bom funcionamento dos ecossistemas;
Cultural	- Atração turística por possibilitar a formação de beleza cênica e a contemplação; - Lazer e turismo relacionado com águas termais e minerais; - Cavernas para turismo e contemplação; - Fontes e locais de inspiração religiosa e turística;

Figura 3.5 Serviços ecossistêmicos das águas subterrâneas e aquíferos. Fonte: Bergkamp, Cross, 2015; FAO, 2003; MEA, 2005.

Existe um consumo de serviços prestados pelos ecossistemas em escala que não é sustentável. Em muitos casos ele poderá crescer juntamente com a elevação do PIB Global e poderá interferir no funcionamento dos ecossistemas com consequências negativas principalmente por conta de dois vetores: as mudanças do clima e a carga excessiva de nutrientes oriundos das atividades aquícolas e agrícolas. Os cenários estudados pela MEA revelaram a necessidade de se viabilizar mudanças significativas nas políticas públicas, nas instituições e na forma de agir de forma a mitigar as consequências negativas da pressão sobre os ecossistemas. Daí a importância e o interesse de, neste contexto, valorar e estimar os tipos de uso que vem sendo feito das águas subterrâneas pela agropecuária, bem como qual o papel que ela cumpre na segurança hídrica dos estabelecimentos agropecuários no Brasil.

3.3 Valoração de Serviços Ecossistêmicos de Aquíferos e Águas Subterrâneas

Os serviços ecossistêmicos são um conceito antropocêntrico e se definem em função dos diferentes serviços ofertados ou prestados para o bem-estar humano. Eles têm algumas características que os tornam extremamente importantes economicamente, já que é improvável que se consiga desenvolver substitutos para a maioria destes serviços, incluindo o fornecimento de habitat adequado para os seres humanos (Daly e Farley, 2016, p.161).

Um aspecto bastante ressaltado pela economia ecológica é que toda produção econômica requer um fluxo de recursos naturais gerado por um recurso biótico ou abiótico (capital natural), pois se considera impossível criar algo a partir do nada. Taxas elevadas de extração comprometem a disponibilidade e a capacidade futura dos ecossistemas em fornecer o recurso e, ainda, compromete os serviços prestados pelos ecossistemas. Desta forma fica patente que a produção econômica, por exemplo, via uso intensivo de água subterrânea de maneira geral tem um impacto nos serviços ecossistêmicos. (Daly e Farley, 2016, p.162)

Na maioria dos casos, ainda compreende-se muito pouco como os serviços ecossistêmicos são gerados e não se conhece todos eles. Muitas vezes é justamente quando se perde um serviço que se conhece a sua dimensão.

A valoração ambiental faz uso de diferentes métodos com a finalidade de estimar a sua importância, os custos dos serviços ecossistêmicos impactados ou perdidos em consequências da ação antrópica sobre o patrimônio natural. Este patrimônio por sua vez é um recurso estratégico dos povos e nações e constitui a base do seu bem-estar, da sua identidade cultural e do seu desenvolvimento e crescimento econômico (Andrade, 2010; Dunford, 2000; Job, 2010; Mota, 1997; Mota, 2006; Mota et al, 2010).

A valoração foi desenvolvida pela economia ambiental e seu arcabouço teórico está relacionado com a microeconomia do bem-estar que desenvolve cálculos econômicos para avaliar por meio de diferentes métodos os impactos ambientais e as respostas dos ecossistemas à ação antrópica e as interferências ou consequências que elas trarão para o bem-estar humano.

A internalização do componente ambiental no planejamento e na gestão do desenvolvimento, bem como os seus custos ecológicos paradigmas da teoria econômica colocam uma série de interrogações metodológicas, dada a existência de interesses opostos, que ainda não foram resolvidos, pois, em muitos casos, a racionalidade econômica não incorpora facilmente as externalidades ambientais e nem os princípios do desenvolvimento sustentável (Leff, 2009).

A valoração resulta de um conjunto de ferramentas de suporte à gestão ambiental usadas par estimar de forma preventiva e/ou corretiva o valor e a importância dos serviços prestados pela natureza para a sociedade. Também, ao estimar os resultados e os valores dos impactos ambientais, é possível avaliar as consequências positivas ou negativas das políticas públicas e entender de forma objetiva até que ponto as pessoas estão dispostas a pagar pela preservação ou pela recomposição do ambiente natural bem como o quanto isso poderá impactar as gerações futuras (Mota, 1997; Mota, 2006; Mota et al, 2010).

A valoração está relacionada com as características físicas ou de satisfação de necessidades de bens cuja utilização pode ser feita de forma direta pelos humanos ou para a satisfação de alguma necessidade de ordem material ou imaterial, ela não implica, exclusivamente, em valor monetário (Abril Cultural, 1985). Estas condições diferem do conceito de preço de um bem ou de um serviço, este em um sentido amplo expressa a relação de troca de um bem por outro e ocorre através da troca monetária (Dicionário de Economia, 1985).

Sob a ótica econômica, a degradação ambiental é resultado das diferentes concepções e formas de uso, ocupação, conservação e apropriação de bens públicos ou ativos ambientais disponibilizados pela natureza. Como tais, esses bens e serviços não são comercializados no mercado de compra e venda, eles não possuem preços que podem ser atribuídos às funções e serviços que desempenham.

Ademais, a "precificação" pode induzir a adoção de comportamentos inadequados em termos de gestão ambiental. Os mercados são instituições nas quais, de forma teórica, os sistemas de preços sinalizam a escassez e/ou a abundância de um determinado bem ou serviço. Assim como revelam a importância que possuem determinados bens para conferir bem-estar à humanidade. No caso de bens públicos é reconhecida a limitação dos mercados em cumprir esta atribuição e este limite, no caso da economia ambiental, é denominado de "falhas de mercado".

Muitas vezes os métodos de valoração captam apenas os valores e os bens que a natureza fornece para o bem-estar humano, pois na maioria das vezes se desconsidera a importância do patrimônio natural para a formação da identidade cultural de um povo, para as suas tradições, bem como para as práticas de lazer, para a saúde, o conforto, entre outros (Mota, 1997; Mota, 2006; Mota et al, 2010).

Por exemplo, quando o assunto é aquífero o que se avalia basicamente é o quanto de água subterrânea é possível ser explotada, se desconhece (ou se negligencia) realmente as conexões de cada aquífero com as águas superficiais, com as formações vegetais que ocorrem em seus domínios, seu potencial ou sua vulnerabilidade aos usos do solo em suas áreas de recarga que poderão vir a comprometer os usos dessas águas.

Como forma de contornar o que determinados economistas chamam de "falhas de mercado[5]" foram criadas diversas técnicas para valorar tais serviços não contabilizados. Porém, isto não significa que ao precificar um determinado ativo seria o mesmo que privatizá-lo e nem a precificação irá refletir seu real valor (Mota et al, 2010).

---

[5] "falhas de mercado" é o nome dado às consequências indesejadas no funcionamento da economia, ou externalidades, como poluição do ar ou da água.

Desta maneira, a identificação das funções e dos serviços ecossistêmicos é primordial para se entender as relações entre as perturbações que ocorrem com os componentes ecossistêmicos e as consequências em termos da provisão de serviços ecossistêmicos. Entretanto, a complexidade inerente aos ecossistemas não é captada em sua totalidade, pois, na maioria dos casos, os estudos são muito específicos e não são passíveis de serem generalizados.

Um exemplo do entendimento deste relações ocorre quando a ANA propôs a Reserva Potencial Explotável Sustentável (RPE) e o Coeficiente de Sustentabilidade. Justamente por entender a importância de garantir a vazão de base em aquíferos com elevada conexão com rios e também reter avanços da pluma salgada em aquíferos litorâneos.

As técnicas de valoração (Figura 3.6) são inteiramente dependentes das disponibilidades de dados. Nos últimos anos, os estudos de valoração têm ganhado um refino técnico. No caso dos danos[6] ambientais a valoração está relacionada à recuperação e o retorno à qualidade original do ambiente, isto é, os danos são considerados como uma externalidade que as atividades antrópicas praticam para realizar seus lucros e que em muitos casos degradam, esgotam, poluem ou contaminam o ambiente comum.

Desta forma o que se persegue é refletir que a questão ambiental não está restrita à saúde e o bem-estar humano, ela se estende à saúde do ambiente de acordo com o Artigo 225 da Constituição de 1988:

> "*que considera dano toda forma de intervenção, empreendimento ou atividade que acarrete alteração adversa de quaisquer das características do meio ambiente (...e que...) deve ser reparado, independentemente da licitude da conduta*" (CF, 1988).

O cumprimento deste princípio constitucional pode ocorrer de duas maneiras: uma técnica e a outra financeira, com destaque à primeira, pois do ponto de vista financeiro (produto da valoração), considera-se que o uso dos recursos naturais e ambientais deve ser feito de forma sustentável, considerando a manutenção (no caso dos danos a recuperação e restauração) dos serviços ecossistêmicos e da possibilidade de acesso pelas futuras gerações.

---

[6] é a lesão aos recursos ambientais, com consequente degradação - alteração adversa – do equilíbrio ecológico e da qualidade de vida (Milaré, 2001)

Para realizar o cálculo econômico dos recursos ambientais, adotar-se-á o método da Valoração Econômica do Recurso Ambiental (VERA) que pode ser decomposto em valores de uso (direto, indireto e de opção), e valores de não uso (valor de existência) dos recursos ambientais: VERA = [valor de uso direto + valor de uso indireto + valor de opção + valor de existência], conforme a Figura 3.7 (Andrade, 2010; Dunford, 2000; Job, 2010; Mota, 1997; Mota, 2006; Mota et al, 2010).

De acordo com Maia et al (2004) o valor de uso envolve o valor direto (benefícios econômicos direitos da apropriação dos recursos via extração), valor indireto e valor de opção. Já os valores de não uso se referem aos valores que não são passíveis de serem valorados de forma econômica. Tais valores são comumente atrelados ao valor da existência de determinado bem, não sendo passíveis de valoração de forma monetária por estar associado geralmente a questões culturais.

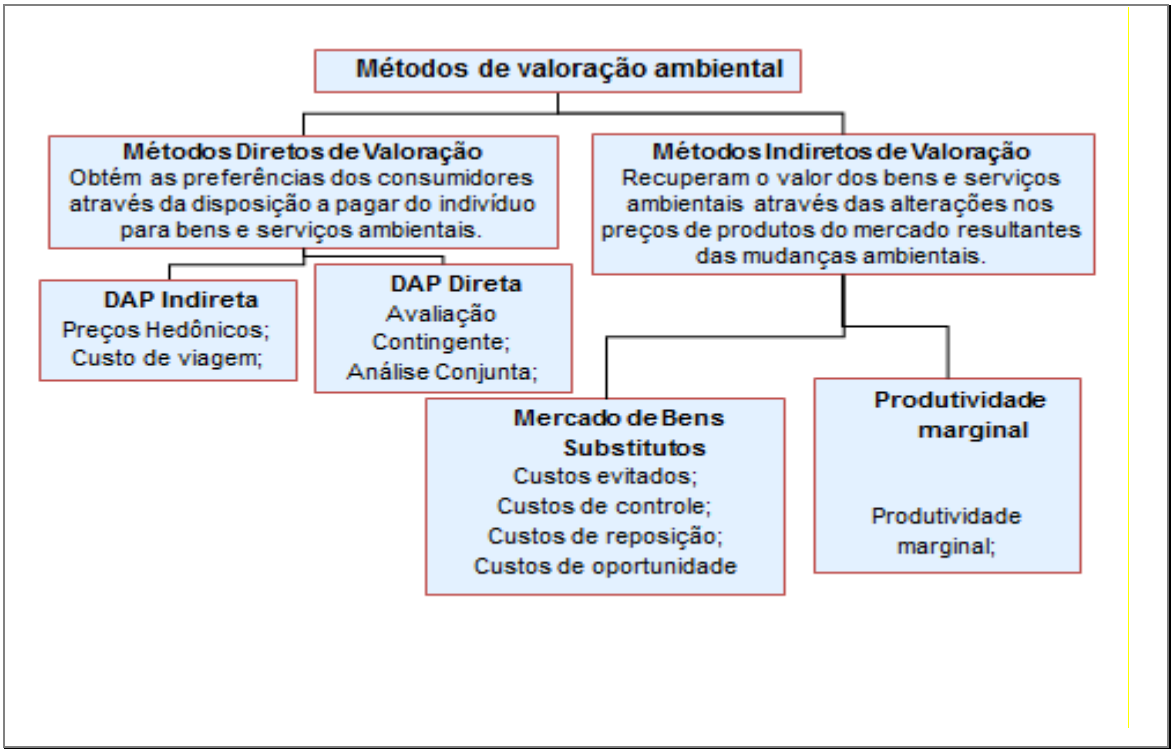


Figura 3.6 Métodos de Valoração Ambiental – VERA. Fonte: Maia et al, 2004.

No Brasil, os estudos de valoração de serviços ecossistêmicos relacionados às águas subterrâneas são incipientes. Os estudos de Bergkamp, Cross (2015) e Tuinstra e Wensen (2014) revelam que o uso da água subterrânea tem tido sua importância relativizada nas questões técnicas, o que

torna a tarefa ainda mais complexa, dado que muitos dos serviços ecossistêmicos não encontram elementos de comparação nos mercados econômicos.

3.3.1 Valores de uso

3.3.1.1 Valor de Uso Direto

É o valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental pelo fato de haver uma apropriação direta deste recurso via extração, visitação ou outra atividade de produção ou de consumo direto (Andrade, 2010; Dunford, 2000; Job, 2010; Mota Et al, 2010; Mota, 2006; Mota, 1997).

Os benefícios são gerados pelo meio ambiente como insumo de produção, de bem de serviço privado, e/ou como objetivo final pelos indivíduos. No caso dos aquíferos considera-se que os valores de uso direto estão relacionados ao uso das águas subterrâneas (Figura 3.7)

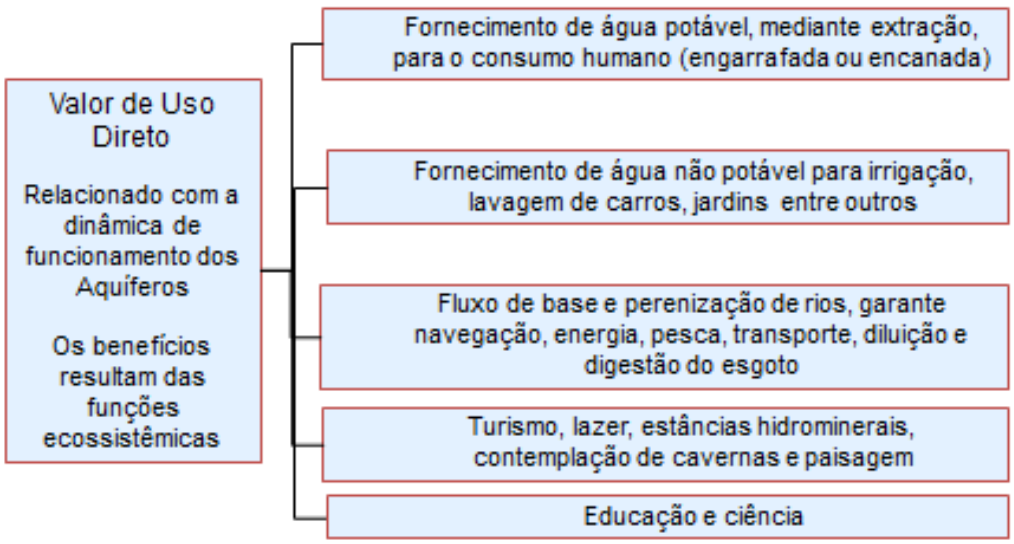


Figura 3.7: Valor de Uso Direto dos aquíferos. Fonte: Aly Jr et al, 2015.

3.3.1.2 Valor de Uso Indireto

Podem ser chamados de valores de uso indireto aqueles benefícios que se relacionam com as funções ecossistêmicas, ou mais relacionados à dinâmica e ao funcionamento dos aquíferos (Figura 3.8).

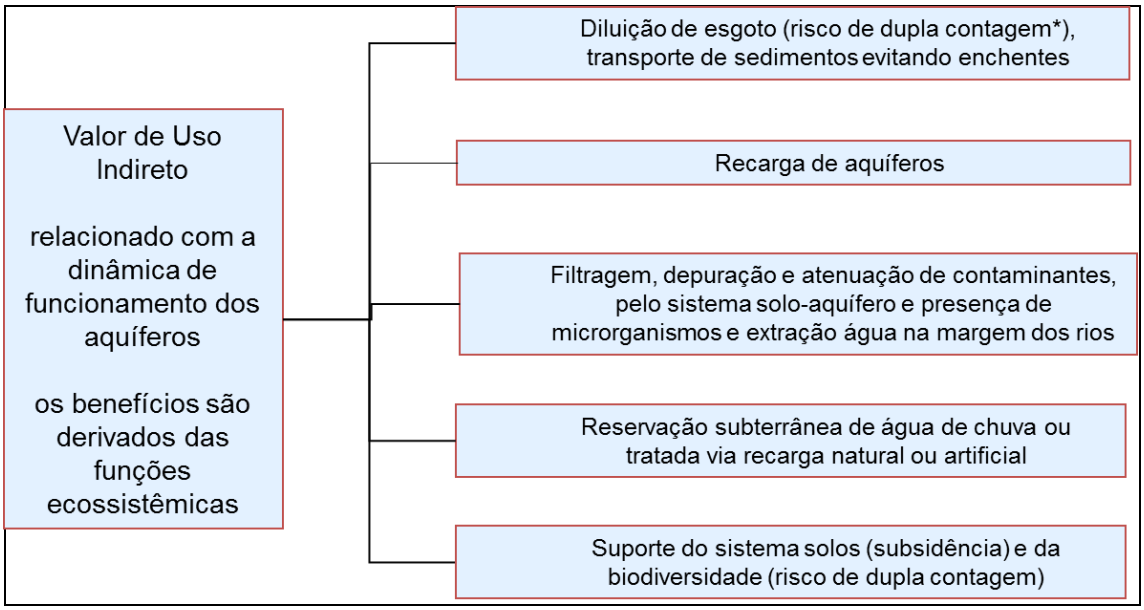


Figura 3.8 Valor De Uso Indireto dos aquíferos. Fonte: Aly Jr, 2015.

3.3.1.3 Valor de Opção

É o valor atribuído à preservação dos recursos naturais e dos ecossistemas que podem estar ameaçados para o uso direto e/ou o uso indireto em um futuro próximo (Andrade, 2010; Dunford, 2000; Job, 2010; Mota et al, 2010; Mota, 2006; Mota, 1997). Todos os serviços anteriormente apresentados e que não são utilizados no momento pela sociedade apresentam um valor de opção, já que estes poderão ser utilizados em algum momento futuro, ou seja, inclui todos os usos dos dois fluxogramas anteriores.

3.3.2 Valores de não uso

3.3.2.1 Valor de Existência

Os valores de existência são intrínsecos dos recursos e estão dissociados ao seu uso. O seu valor é oriundo de uma posição moral, cultural, ética ou altruísta em relação ao direito de existência de espécies que não a humana ou de outras riquezas naturais, mesmo que não representem uso atual ou futuro (Andrade, 2010; Dunford, 2000; Job, 2010; Mota et al, 2010; Mota, 2006; Mota,

1997). Sua mensuração tem elevado grau de subjetividade, uma vez que é obtida mediante pesquisa de opinião realizada com a população.

3.4 Valoração das Águas Subterrâneas na Agricultura Irrigada na Promoção da Segurança Hídrica

Entende-se a segurança hídrica como uma questão da sociedade e ela é o resultado da equação entre a disponibilidade hídrica e a capacidade dos setores, carentes deste recurso, influenciarem a gestão pública de forma a melhorar o seu acesso à água em um determinado território.

Foster, MacDonald (2014) considera que a definição de segurança hídrica de maior aceitação foi dada por Grey e Sadoff (2007) e resulta da disponibilidade de água em quantidade e qualidade de sorte a atender as necessidades nas áreas da saúde, garantir os meios de subsistência, o bom funcionamento dos ecossistemas e a produção de bens.

Ait-Kadi, Arriens (2012) consideram que a segurança hídrica deve vir acompanhada de uma melhora visível na gestão integrada dos recursos hídricos, do investimento em infraestrutura hídrica e a constituição de uma boa estrutura de defesa civil para fazer frente aos eventos extremos da seca e excesso de chuva.

Complementando essas considerações Foster, MacDonald (2014) afirma que a análise da disponibilidade de recursos hídricos é mais adequada se a realização de estudos e análises estiverem referenciadas em unidades territoriais como cidades, sub-bacias e sua área de drenagem ou em aquíferos. Desta forma é possível identificar mais facilmente quais são as situações de risco existentes em um território determinado.

Também Foster, MacDonald (2014) consideram que, apenas pelo fato de existirem, os aquíferos por si só já trazem uma boa contribuição para a segurança hídrica, pois armazenam água e garantem a perenidade de rios e nascentes, a disponibilidade de água nos poços comuns ou cacimbas e permitem a extração via os poços tubulares.

Assim, no estudo da relação entre águas subterrâneas e segurança hídrica deve-se buscar identificar a capacidade de resiliência dos aquíferos, isto é, sua capacidade de armazenar e ofertar água que poderá mudar juntamente com o clima.

Os próximos capítulos tratam de evidenciar as conexões existentes entre os serviços ecossistêmicos da águas subterrâneas e meio rural através de: (i) estimar o papel atual das águas subterrâneas na promoção da segurança hídrica nos estabelecimentos agropecuários; (ii) avaliar se a política de segurança hídrica, aliada a de segurança alimentar, contribuiu para a melhoria da infraestrutura hídrica da população residente nos estabelecimentos rurais do país, especialmente na Região Nordeste; (iii) estimar o consumo de águas subterrâneas pela agricultura irrigada no país, por município, microrregião e domínio aquífero, de acordo com os Censos Agropecuários de 2006 e 2017, e (iv) analisar como as águas subterrâneas e aquíferos podem ser inseridos nas ações das políticas de adaptação à mudança do clima.

CAPÍTULO 4 SEGURANÇA HÍDRICA E OS CENSOS AGROPECUÁRIOS 2006 E 2017

4.1 Introdução

Este capítulo trata dos serviços ecossistêmicos dos aquíferos e das águas subterrâneas relacionados com a segurança hídrica e a oferta de água para o uso agropecuário. A objetivo é sistematizar as informações apresentadas nos Censos Agropecuários de 2006 e 2017 relativas às fontes de água em especial as subterrâneas, buscando identificar seu papel na segurança hídrica dos estabelecimentos e também e analisar o resultado das políticas públicas de gestão e de segurança hídrica.

Neste tópico é apresentado o Índice de Insegurança Hídrica (IIH) para os estabelecimentos que é calculado para os municípios e unidades da federação para o ano 2006. Com a identificação dos municípios em situação ”Grave” e “Aguda” de insegurança hídrica de acordo com o IIH, buscou-se, através da variação na média municipal das fontes de recursos hídricos para os estabelecimento agropecuários (M-RHEA) calculada pra 2006 e 2017, verificar se houve ou não uma melhora no acesso à água.

A água é um recurso sobre o qual cada dia mais aumentam o interesse e os conflitos em torno do direito de acesso e uso. A Comissão Pastoral da Terra (CPT), que monitora desde 2002 os conflitos relacionados à água, em seu relatório de 2018, registrou um total de 278 conflitos que envolveram 73.693 pessoas. A metade destes conflitos teve como causa a disputa pela água entre mineradoras e em 13% envolveu o setor agropecuário. As populações envolvidas nestes conflitos em ordem decrescente de importância foram os ribeirinhos, pescadores, pequenos proprietários, assentados, indígenas entre outros (CPT, 2018).

O Brasil rural vive uma contradição de ao mesmo tempo ser o maior consumidor de água do país, via a agricultura irrigada e a pecuária, e ter 47% de sua população em situação de pobreza extrema (Falcão e da Costa, 2014).

Nesse contexto no meio rural deve ser considerada o fato de que, em 2006, existiam mais de 1,9 milhão de estabelecimentos agropecuários que não contavam com nenhuma fonte de água em seu interior (IBGE, 2006), e que a tendência é o agravamento das condições de oferta de água em consequência

das mudanças climáticas globais. Segundo Hirata e Conicelli (2012), o aumento de seca atingirá a região Norte e se acentuará na região Nordeste. Já nas regiões Sul e Sudeste, as previsões são de elevação da concentração de chuvas, da temperatura, da evapotranspiração e o alargamento do período.

Os números sobre águas subterrâneas no Brasil ainda são muito imprecisos devido ao grau de informalidade existente neste setor. Cardoso et al (2008), utilizando estudos e dados de órgãos gestores estaduais de recursos hídricos e da ANA, estimaram existir no país desde 1958, cerca de 360 mil poços tubulares em funcionamento sem distinguir se eram rurais ou urbanos.

O SIAGAS/CPRM em 2018 apresentou um total de 344.202 poços tubulares, sendo que 41.000 localizados no meio rural.

Essa diferença quantitativa, fez com que, no processo de implantação do "Programa Progestão" a ANA buscasse dados através da aplicação de questionários e entrevistas a órgãos técnicos estaduais de água. Deste levantamento resultou o número de 1,2 milhão de poços (ANA b, ANA 2017 c).

Hirata et al (2019) estimaram a existência de pelo menos 2,5 milhões de poços tubulares no país. Esse número foi obtido foi obtido a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017 que apresenta a existência de 1.016.671 estabelecimentos com poços tubulares na área rural, os autores consideraram ainda informação do SIAGAS de que existem mais poços na área urbana que na rural. Partindo deste número, os autores calcularam que o volume de água explotada superaria os 17.580 Mm^3/ano ou 557 m^3/s. Para a definição destes valores, os autores atribuíram a esses poços um período de funcionamento de 6 horas por dia, com vazões médias de 4m^3/h e 6 meses trabalhando com esta vazão.

4.2 Disponibilidade de Fontes de Água nos Estabelecimentos Agropecuários Segundo os Censos Agropecuários de 2006 e 2017

De acordo com o Censo 2006 existiam naquele ano 5.175.636 estabelecimentos agropecuários, destes, 3.255.643 possuíam ao menos uma fonte de água em seu interior. O IBGE informou que em 2017 o número de estabelecimento foi de 5.072.152[7]. Não foi possível averiguar se a porcentagem

[7] Para o ano de 2017 o IBGE ainda não liberou o dado de quantos estabelecimentos possuem ao menos uma fonte de água em seu interior.

de 37% estabelecimentos sem nenhuma fonte de recurso hídrico em 2006 (Tabela 4.1) foi alterada, pois nem todos os dados foram divulgados.

A resposta para a presença de fontes no estabelecimento agropecuário pode envolver mais de uma fonte como resposta. Assim, o total de fontes subterrâneas citadas no ano de 2006 foi de 3.093.681 que somada com as fontes superficiais e meteóricas totalizou 7.173.715 citações (Tabela 4.1). Em 2017 as citações para águas subterrâneas foram de 3.870.670 e o total das fontes 7.274.108 (IBGE, 2006; IBGE, 2017 a).

Entre 2006 e 2017 houve uma redução de 2% (103.484) no número estabelecimentos no pais (Tabela 4.1). Essa redução esteve concentrada nas regiões Nordeste e Sul, nas demais regiões houve um pequeno crescimento (IBGE, 2006; IBGE, 2017 a).

O total de fontes de água subterrâneas disponíveis para o ano 2006 foi de 3.093.681, as relacionadas com as fontes superficiais[8] foram 3.410.769 e as meteóricas[9], 669.266 (Tabela 4.1) dando às águas superficiais a condição de principal fonte de água. Já em 2017 as águas subterrâneas passaram a ser a fonte mais citada com um total de 3.870.671 seguidas das fontes de água superficial com 2.310.344 e as meteóricas com 1.093.153 sendo que as meteóricas correspondem às cisternas (IBGE, 2006; IBGE, 2017 a).

As indicações das águas subterrâneas cresceram de 43% em 2006 das indicações para 53% em 2017, passando a ser a principal fonte de água presente nos estabelecimentos agropecuários. Em 2006 a participação entre as diferentes fontes de águas subterrâneas deu-se da seguinte maneira: nascentes com 50%, poços comuns 40 % e tubulares com 10%, no ano de 2006. Já em 2017 a distribuição de 40% para as nascentes, 34% para os poços comuns e 26% para os poços tubulares.

A variação superior a 300% ou de mais 693.482 poços tubulares em parte pode ser explicada pelo fenômeno da seca que ocorreu no período em diferentes regiões do país. O monitoramento e o Mapa das Secas elaborado pelo IBGE para o período 2013-2017 envolveu todos municípios brasileiros e constatou que 2.706 (48,6%) foram afetados por secas (Figura 4.1). Este fenômeno climático

[8] Superficiais estão incluídos os rios e riachos e os lagos e açudes

[9] O termo meteórica está referida à Resolução15/2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

pode ser uma das explicações para a expansão da perfuração de poços tubulares, uma vez que os aquíferos são mais resilientes à seca (ANA, 2014; IBGE, 2018).

No entanto este aumento não pode ser atribuído ao resultado de algum incentivo governamental, pois, no meio rural, a liberação de recurso financeiro na linha de investimentos em propriedades rurais, pelos bancos oficiais, exige autorização para a perfuração de poços emitida pelo órgão competente estadual (entrevista com perfurador de poços no estado de Alagoas). O interessado na maior parte dos casos teve que arcar com os custos ou buscar outra forma de financiamento que não o bancário.

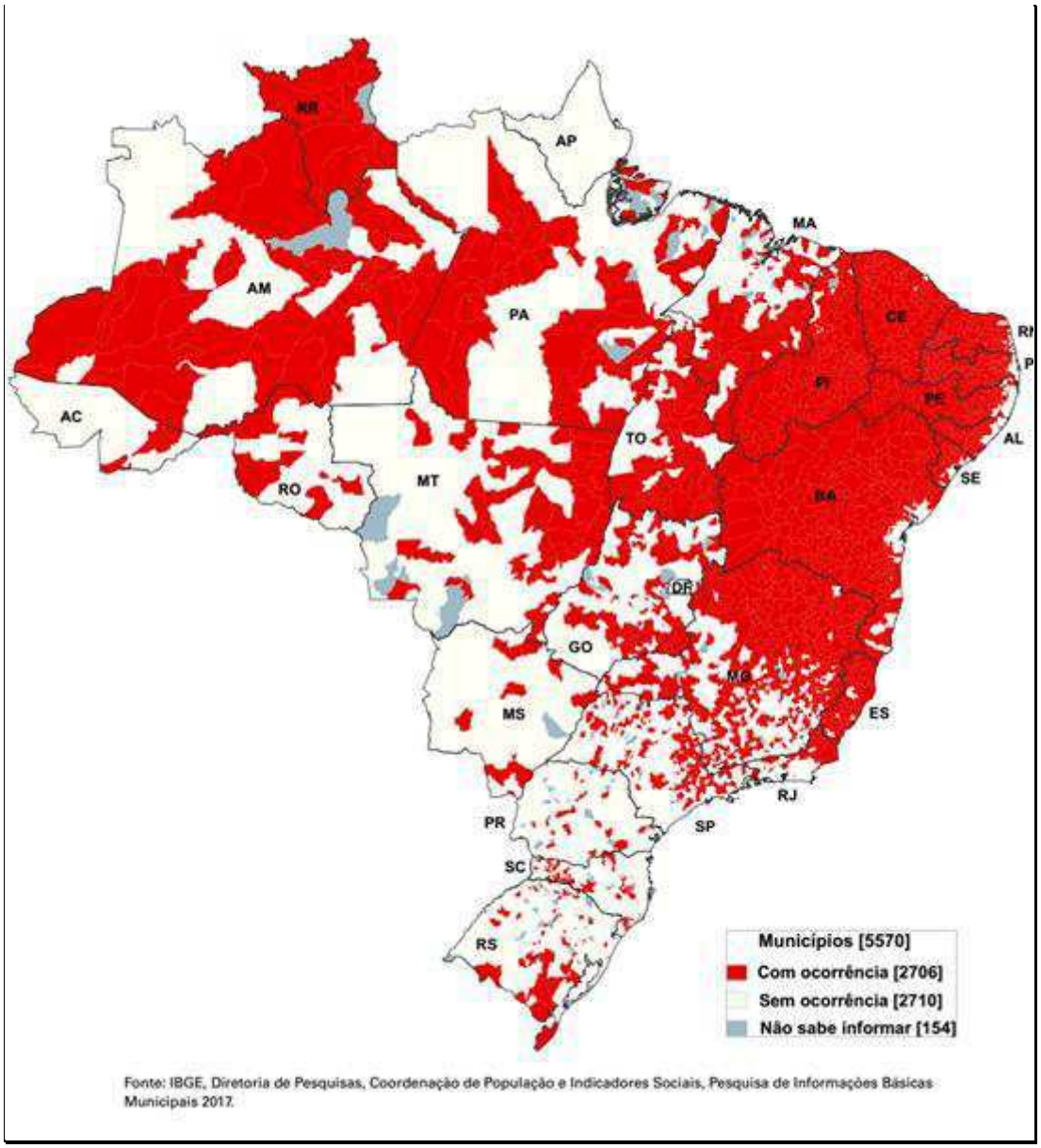


Figura 4.1- Mapa da Ocorrência de Secas no País 2013-2017. Fonte: IBGE, 2017 c.

Já o crescimento das cisternas na região Nordeste entre 2006 e 2017 pode ser considerado como resultado da execução do Programa “Um Milhão de Cisternas” desenvolvido na região Nordeste (UOL, 2019).

As diferentes fontes de água, subterrânea, superficial e meteórica têm variadas características e quando se trata do planejamento e gestão com vistas à segurança hídrica estas devem ser levadas em consideração. No caso das cisternas estas, diferentemente dos aquíferos, dependem diretamente do ciclo de chuvas (Figura 4.2).

O quadro “Caracterização Hidrológica e Socioeconômica da Fontes de Recursos Hídricos” (Figura 4.2) descreve a forma de ocorrência, a qualidade, características, potencial do uso, de gestão, da sensibilidade do público etc. para as diferentes fontes de água para a segurança hídrica em áreas urbanas e rurais.

Tipo de Recurso Hídrico	**Águas Subterrâenas**	**Águas Superficiais**	**Água de Precipitação**
	Características Hidrológicas		
Capacidade de Armazenamento	Grandes Volumes	Volumes Pequenos a moderados	Volumes pequenos
Extensão Territorial	Maior dispersão	Condicionada ao leito dos rios	Praticamente irrestrito
Taxas de Vazão	Baixa ou muito baixa	Moderada a alta	Demanda estrutura de retenção
Tempo de Armazenamento	Geralmente décadas ou séculos	Maior parte semanas ou meses	Horas ou dias
Influência dos Perídos Secos	Geralmente baixa	Geralmente alta	Alta
Perdas por Evaporação	Pequena e localizada	Elevada nos reservatórios	Alta
Impacto da Extração do Recurso	Não é imediato e de forma dispersa	Imediato	Baixo
Qualidade Natural	Geralmente é boa (nem sempre)	Variável e geralmente precisa tratamento	Geralmente elevada ou moderada
Vulnerabilidade à Poluição	Possui uma proteção natural variável	Muito vulnerável	Associado com a poluíção atmosférica
		Fatores Sócio-Econômicos	
Percepção pelo Publico	Não é muito conhecido do público	É conhecido e buscado para a contemplação	Moderadamente conhecido
Custos para Extração	Geralmente modesto	Na maioria dos casos elevado	Pode ser elevado, depende dos volumes

Figura 4.2 Características Hidrológicas e Socioeconômicas das Fontes de Recursos Hídricos. Fonte: Hirata e Conicelli, 2012; Willaarts, B.A., Garrido, A., Llamas, M.R., 2014; Tuinhof et al, 2006, traduzido e adaptado pelo autor.

Tabela 4.1: Estabelecimentos e Fontes de Recursos Hídricos 2006 e 2017, Brasil e Regiões.

Unidade	Nascentes	Subterrâneas		TOTAL Subterrâneas	Superficiais[3]	Meteóricas (Cisternas)	Total de fontes citadas	Estabelecimentos Agropecuários	
		Poço comum	Poço tubular					Com recurso na unidade[1]	Total de estabelecimentos[2]
2006									
Brasil	1.544.916	1.225.576	323.189	**3.093.681**	3.410.769	669.265	7.173.715	3.255.643	**5.175.636**
Norte	187.827	198.264	14.306	**400.397**	367.986	17.274	785.657	367.338	**475.778**
Nordeste	199.537	336.307	93.339	**629.183**	1.086.948	476.127	2.192.258	1.011.290	**2.454.060**
Sudeste	446.544	186.145	93.864	**726.553**	743.790	101.416	1.571.759	749.435	**922.097**
Sul	569.125	388.365	79.999	1.037.489	912.375	26.851	1.976.715	847.724	**1.006.203**
Centro Oeste	141.883	116.495	41.681	300.059	299.670	47.597	647.326	279.856	**317.498**
2017	-								
Brasil	**1.539.424**	**1.314.576**	**1.016.671**	**3.870.671**	**2.310.344**	**1.093.153**	**7.274.168**	**n.d**	**5.072.152**
Norte	232.848	258.734	102.979	**594.561**	356.421	14.557	965.539	n.d	**580.446**
Nordeste	196.039	450.814	318.475	**965.328**	669.727	974.154	2.609.209	n.d	**2.322.495**
Sudeste	442.817	203.517	287.399	**933.733**	543.572	86.820	1.564.125	n.d	**969.258**
Sul	515.924	288.487	161.578	**965.989**	522.576	10.036	1.498.601	n.d	**853.232**
Centro-Oeste	151.796	113.024	146.240	411.060	218.048	7.586	636.694	n.d	**346.721**

Fontes: IBGE 2006, IBGE, 2017 a, Organizados pelo autor.
[1] número de estabelecimentos agropecuários com pelo menos um recurso hídrico enquanto a coluna
[2] número total de estabelecimentos agropecuários nas regiões.
[3] "aguas superficiais" somam as fontes rios e riachos, lagos e açudes, protegidos ou não por matas, em 2017 as superficiais foram apenas rios/riachos protegidos ou não por mata, o que explica a drástica redução no número.
n.d = não divulgado

Calculando a média[10] de estabelecimentos usuários de águas subterrâneas nos Censos 2006 e 2017, Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás aparecem como os principais usuários. Também, Piauí, Ceará, Espírito Santo e Mato Grosso são estados nos quais o consumo via poço tubular estava acima da média nos dois censos e no Pará a extração via poço tubular ganha destaque em 2017 (IBGE, 2006; IBGE, 2017 a).

Nos estados de Santa Catarina e Pernambuco as fontes nascentes e poço comum se destacam nos dois Censos. No Maranhão e em Rondônia a fonte importante é o poço comum. Os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Tocantins, Rio Grande do Norte, Paraíba Alagoas, Sergipe, Rio de Janeiro e Distrito Federal ficaram todos abaixo da média nacional.

No caso das águas superficiais[11], a fonte rio/riacho destacaram-se como usuários acima da média nacional, os estados do Pará, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e Goiás. Sendo que Goiás obteve destaque apenas em 2006. No caso dos lagos/açudes, em 2006, os principais estados usuários foram Maranhão, Ceará, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE, 2006; IBGE, 2017 a).

Para as meteóricas os estados que se destacaram em 2006 e 2007 foram Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Bahia e Minas Gerais. O estado de Goiás teve destaque apenas em 2006 (IBGE, 2006; IBGE, 2017 a).

Para os estados do Nordeste é importante relativizar estas situações apresentadas sobre as disponibilidades de fontes de água existentes nos estabelecimentos. A região possui a maior quantidade de estabelecimentos, entretanto, de acordo com o Censo de 2006, os estabelecimentos sem nenhuma fonte de recurso hídrico localizados no semiárido nordestino representavam metade do total do país e 70% do total regional. Isso é resultado, principalmente, das condições naturais de precipitação em torno de 700 mm por ano e

[10] As médias foras as seguintes Censo 2006: nascentes 57.219 estabelecimentos, poço comum 48.688 poços e tubulares foram 11.970. Em 2017 as médias foram de 57.016 para nascentes, 48.688 para poços comuns e 37.654 para os tubulares.

[11] As médias nacionais de estabelecimentos para cisternas foram 24.788 em 2006 e 40.487 em 2017, para rios/riachos em 2006 a média foi de 81.290 e em 2017 85.568. Os lagos/açudes para o ano de 2006 a média foi de 45.035.

hidrogeológicas que e limitam os serviços ecossistêmicos que podem ser ofertados pelos aquíferos nesta região.

Os dados até aqui apresentados ressaltam a relevância alcançada pelas águas subterrâneas no período 2006-2017 e destacam o crescimento do uso de água subterrânea via poços tubulares. Essas captações atingem zonas mais profundas de aquíferos e são menos vulneráveis aos efeitos da seca, como ocorre, por exemplo, com os poços comuns situados na parte superior dos aquíferos.

O crescimento do número de poços tubulares em termos absolutos, nesse período, foi de 693.482 e as regiões (Gráfico 4.1 e 4.2) com aumento em termos absolutos foram a Nordeste e a Sudeste (226.136 e 193.535 novos poços respectivamente), por sua vez a região Norte foi a que obteve o maior crescimento em termos percentuais, sete vezes, seguida da região Centro-Oeste onde o crescimento foi de três vezes e meia (IBGE, 2006; IBGE, 2017 a).

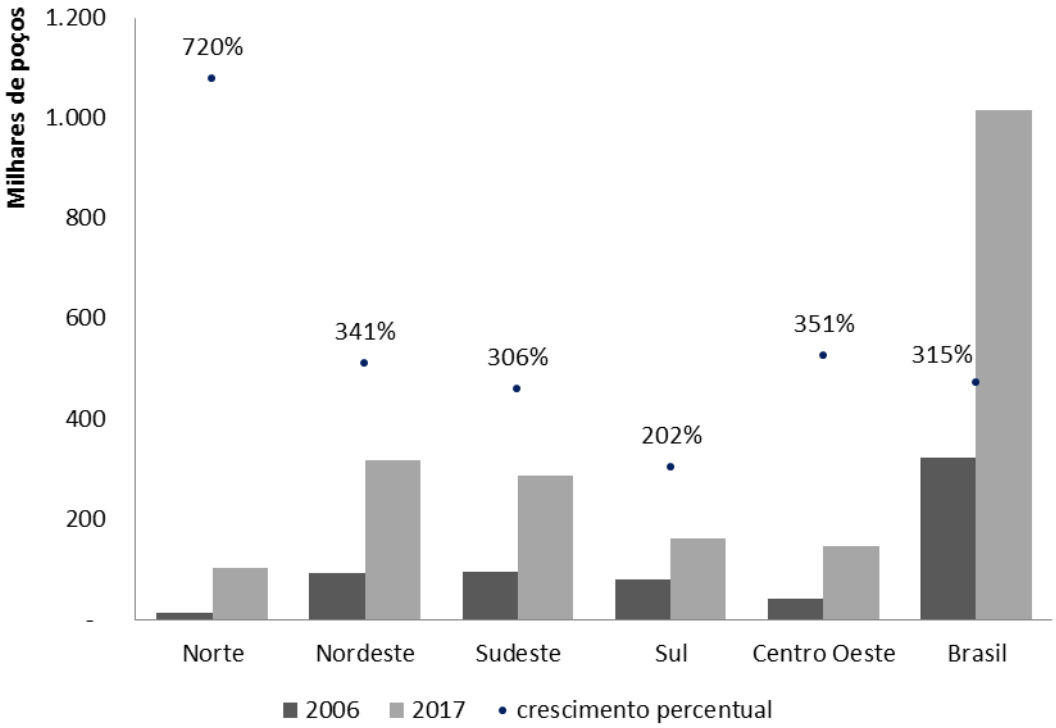


Gráfico 4.1 Poços Tubulares 2006 e 2017, por Região e Brasil (IBGE 2006; 2017 a)

Os estados nos quais o crescimento foi superior à média de 25.685, no período foram: Pará, Piauí, Ceará, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Mato Grosso e Goiás. Em alguns destes estados como os do

Nordeste, Minas e São Paulo a seca pode ter sido o principal vetor. Em outros como Paraná, Mato Grosso, Goiás e Pará pode ser resultado do aumento da participação do país no mercado internacional de commodities, especialmente as proteínas de origem animal (Gráfico 4.2).

No caso da pecuária o país tem como principal fonte de água em seus estabelecimentos as águas superficiais com 49%, seguida das águas subterrâneas com 42% das fontes citadas. No caso das fontes de água subterrânea a participação na pecuária é dividida da seguinte maneira: as nascentes com 50%, os poços comuns a 39% e poços tubulares 11% (IBGE, 2006).

Este aumento da quantidade de poços tubulares no período em análise e apresentados nos Gráficos 4.1 e 4.2, em termos percentuais e numéricos, para o conjunto do país, passaram a representar 26% do total das fontes de água subterrânea utilizadas pelos estabelecimentos agropecuários, em 2006 eles representavam 10%. Este crescimento tornou este segmento relevante para a gestão de recursos hídricos e é necessário entender o papel que cumprem na atualidade e que poderão vir a cumprir em uma política de adaptação às mudanças climáticas no meio rural.

A distribuição destes poços tubulares no país e o seu crescimento entre os Censos 2006 e 2017 são apresentados em mapas de acordo com a sua distribuição por bacias hidrográficas (Figuras 4.3 e 4.4). Nos Apêndices B e C são apresentadas as distribuições para o mesmo período para os aquíferos brasileiros. Esta distribuição dos poços será a base para o cálculo das vazões explotadas apresentadas no Capítulo 5.

Quando se analisa a distribuição e concentração de poços por bacia hidrográfica, a média de poços tubulares por unidade saltou de 1187 para 3723 no período de 2006- 2017. Nas sessenta e oito bacias que concentram a maior quantidade de poços a linha de corte passou de 1619 para 4648, no período. O cálculo da mediana da quantidade de poços por bacia, esta se situava em 765 poços tubulares, 2006, e 2614, em 2017.

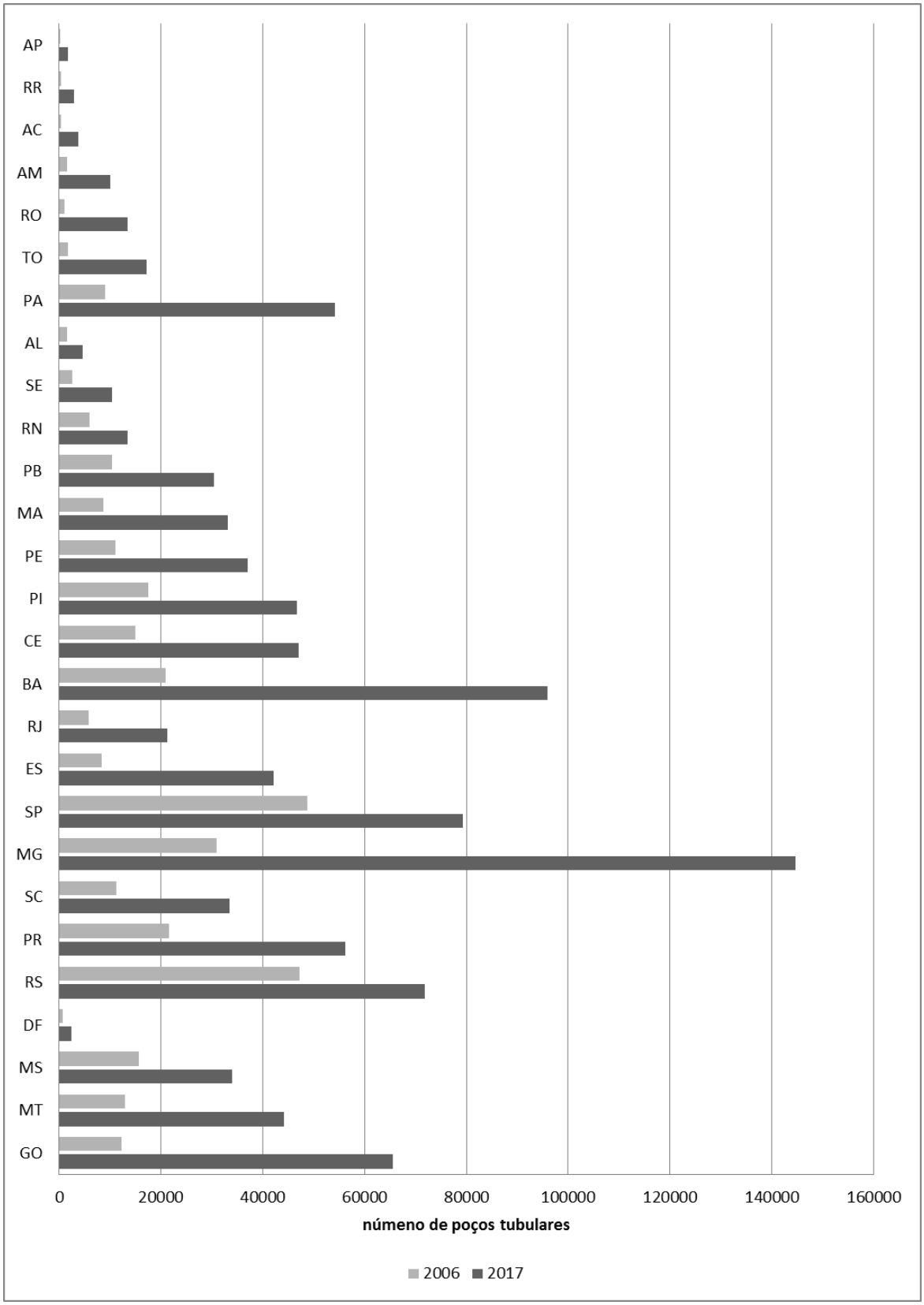


Gráfico 4.2 Poços tubulares por estado 2006 e 2017. Fonte IBGE 2006, IBGE, 2017 a.

Isso revela que existe uma elevada concentração de poços em poucos aquíferos, resultado da extensão dos mesmos. Em 2006 quatro aquíferos

concentravam aproximadamente 65% do total de poços. Em 2017 sete aquíferos concentravam 76 % dos de poços tubulares. Em ordem decrescente, por quantidade de poços. em 2006 o resultado foi o seguinte em ordem decrescente em quantidade de poços: Fraturado-Centro Sul, Bauru-Caiuá, Serra Geral, o Fraturado Semiárido. Em 2017 acrescentou-se o Fraturado Norte e o Itapecuru (Apêndices B e C).

Das 68 principais sub-bacias em quantidade de poços tubulares em 2017, 18 delas possuem mais de 10 mil poços são elas: Araguaia 01 (14.569), Contas 01 (18.540), Corumbá (10.952); Doce 01 (13.995), Doce 05 (11.772), Doce 06 (13.160), Ivaí (11.048), Pajeú (11.030), Paraná 01 (10.095), Parnaíba 05 (13.361); Parnaíba 06 (16.095), Parnaíba 07 (19.592), Piranhas (19.511), São Francisco 04 (14.479), São Francisco 05 (13.976), Tocantins 01 (10.645), Uruguai Nacional (19.286) e Verde Grande (12.286) totalizando 254.395 poços tubulares, ou seja, 25 % do total.

Em 2017 essas bacias concentravam 59% do total de poços, em 2006 63 % do total. No período, o crescimento na quantidade de poços promoveu uma pequena desconcentração.

Em 2006 havia apenas 7 sub-bacias com mais de 5 mil poços: Grande Paraná 13 (6.349), Parnaíba 06 (6.607), Parnaíba 07 (6.614), Taquari (6.650), Tietê 05 (5.235) e Uruguai (8.774).

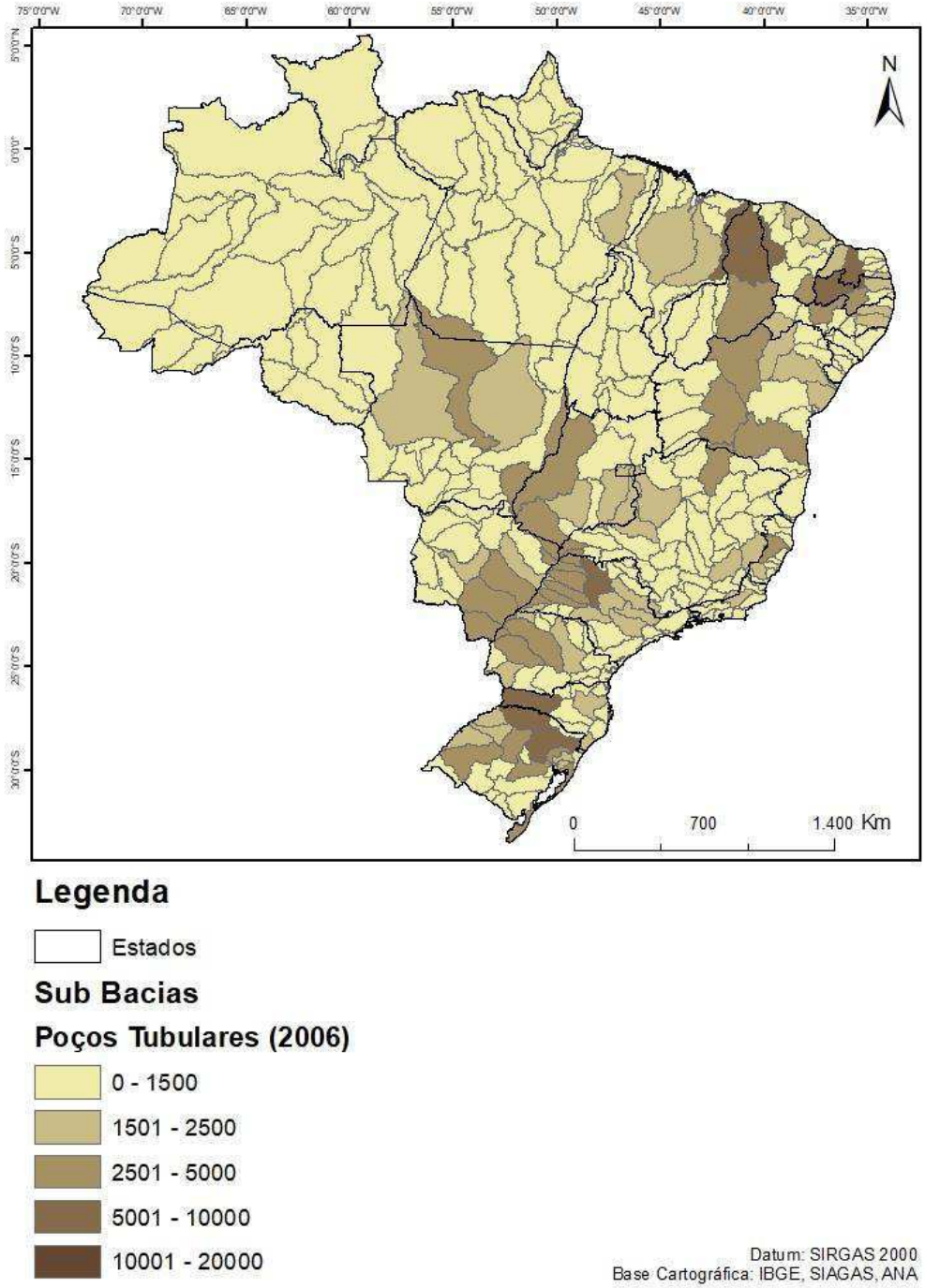


Figura 4.3 Concentração de Poços Tubulares por Sub-Bacias, Censo IBGE, 2006.

Fonte: IBGE 2006, organizado pelo autor.

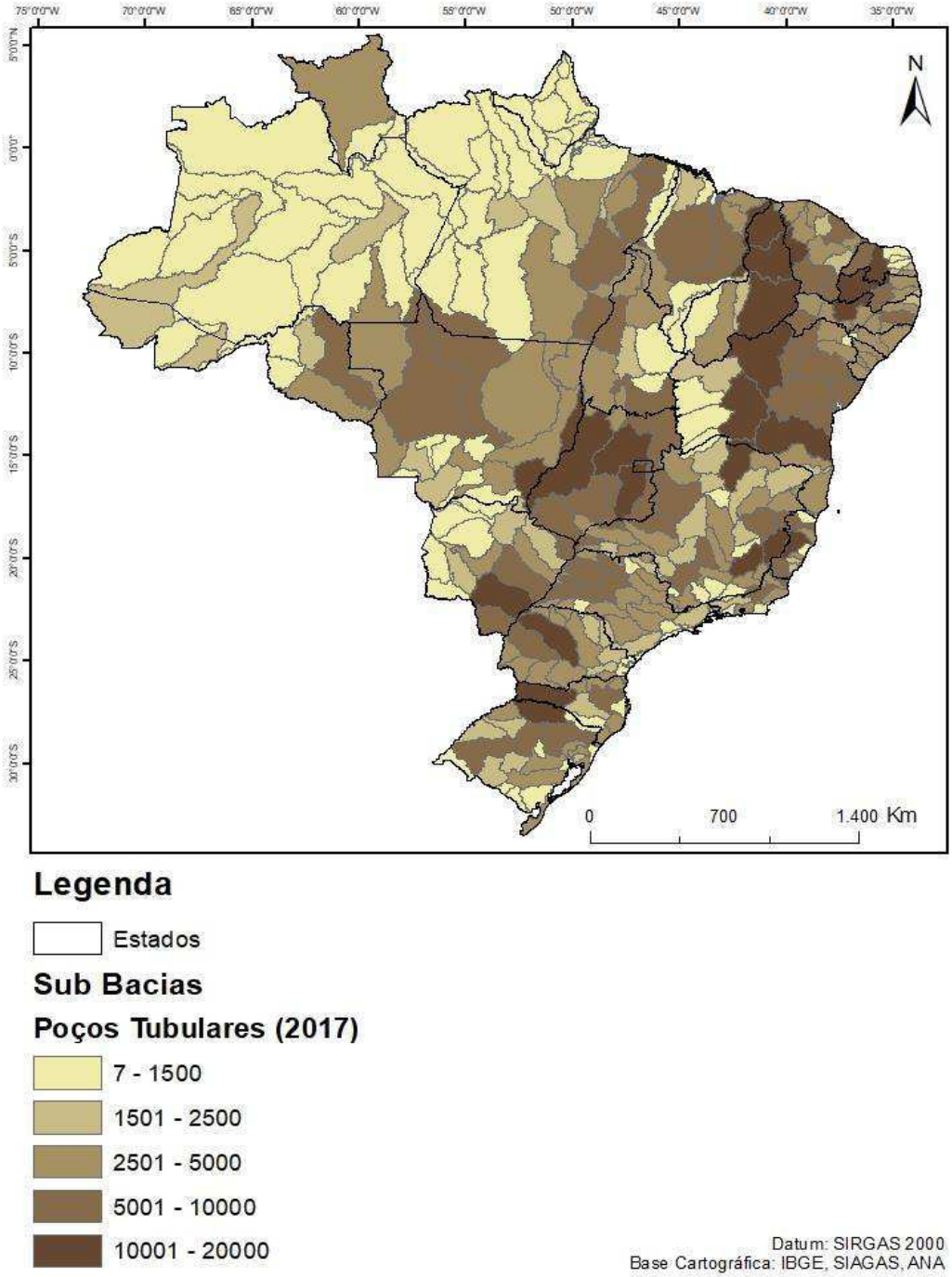


Figura 4.4 Concentração de Poços Tubulares por Sub-Bacias Censo 2017, IBGE.
Fonte: IBGE, 2017 a, organizado pelo autor.

4.3 Índice de Insegurança Hídrica nos Estabelecimentos Agropecuários em 2006

A possibilidade de se estabelecer um indicador da carência de recursos hídricos para os estabelecimentos do meio rural foi o que se perseguiu com a criação do Índice de Insegurança Hídrica (IIH). Este indicador permitiu estabelecer uma relação entre um condicionante natural, a falta de água, e problemas de ordem econômico e social.

O seu cálculo a partir dos municípios foi porque essa é a base informacional do IBGE que indica a quantidade ou a proporção de estabelecimentos que se encontram nesta situação a qual interfere no desenvolvimento local.

Ademais ao tratar dos estabelecimentos é feita uma abordagem diferenciada e capilarizada cujas soluções em termos de infraestrutura de segurança hídrica, muitas vezes, não fazem parte do desenho do planejamento de grandes obras como é o caso da transposição do rio São Francisco e os perímetro irrigados. Diferentemente da transposição que alimentará uma rede de açudes que abastecerão centros urbanos do sertão, irrigantes situados ao longo do leito dos rios e os perímetros irrigados existentes no Nordeste (Nunes, 2012), o IIH busca uma abordagem da segurança hídrica com um olhar para as unidades produtivas individualizadas.

A análise das regiões a partir da distribuição desse índice, juntamente com a existência ou não de aquíferos e mais o clima predominante evidenciam quais os limites e desafios para o planejamento de ações para melhorar a segurança hídrica e aponta para inciativas de gestão pública e uso das diferentes fontes de água para alcançar esta meta.

O cálculo do IIH revelou que 54% dos estabelecimentos que não possuem fonte de água em seu interior estão localizados na região do semiárido onde está localizada a maior quantidade de municípios com IIH Grave e Agudo.

O semiárido possui precipitações que variam de 300-400 mm no período seco e 700-800 mm no período chuvoso. Possui um Índice de Aridez inferior a 0,5 (Thornthwaite), uma taxa média de evapotranspiração anual acima de 2.000 mm e uma média de déficit hídrico diário de 60% (ANA, 2014; Gonçalvez Junior et al, 2019). Diante desta situação a utilização do IIH poderá auxiliar na proposição de iniciativas para prover infraestrutura hídrica.

Conforme explicado no Capítulo 2, este Índice foi calculado para os municípios cobertos pelo Censo Agropecuário de 2006 e os seus resultados mostraram que para um total de 5.546 considerados no cálculo do IIH, 1.523 municípios (27%) encontravam-se em uma situação de IIH Grave ou IIH Agudo (Figura 4.5 e Tabela 4.2), ou seja, a maioria dos estabelecimentos agropecuários dependia diretamente do ciclo de chuvas, do carro pipa ou de fontes externas de água. Por sua vez 2.940 municípios (53%) apresentaram IIH baixos e muitos baixos.

Tabela 4.2 – Porcentagem dos Municípios por IIH por Região do País

Rótulos de Linha	IIH Muito Baixa	IIH Baixa	IIH Moderada	IIH Grave	IIH Aguda
Norte	45,88%	21,16%	16,93%	10,47%	5,57%
Nordeste	2,23%	6,8%	19,19%	46,96%	24,82%
Sudeste	31,27%	43,21%	19,64%	5,27%	0,61%
Sul	25,67%	46,04%	23,91%	4,21%	0,17%
Centro Oeste	54,62%	30,34%	11,61%	3,01%	0,22%

Fonte: IBGE 2006 organizado pelo autor.

Os resultados do IIH para o Nordeste informam que 72% (1523) dos municípios desta Região encontravam-se em situação crítica (IIH Grave e IIH Aguda). No Nordeste, os municípios com IIH Grave e IIH Agudo respondiam respectivamente por 81% e 92% do total, este resultado é superior ao número de municípios situados no semiárido, que totaliza 1.287 municípios.

Tabela 4.3 – Índice de Insegurança Hídrica: Municípios por Região.

Região	**IIH Muito Baixa**	**IIH Baixa**	**IIH Moderada**	**IIH Grave**	**IIH Aguda**	**Total Geral**
Norte	206	95	76	47	25	449
Nordeste	40	122	344	842	445	1793
Sudeste	516	713	324	87	10	1650
Sul	305	547	284	50	2	1188
Centro Oeste	254	142	55	14	1	466
Total Geral	**1321**	**1619**	**1083**	**1040**	**483**	**5546**

Fonte: IBGE, 2006, organizado pelo autor.

Estas informações corroboram a decisão de ações de políticas públicas de segurança hídrica desenvolvidas em parceria entre governo federal, os governos estaduais, municipais e a sociedade civil, em sua interface com a segurança alimentar e o combate à pobreza extrema (Tabelas 4.2 e 4.3).

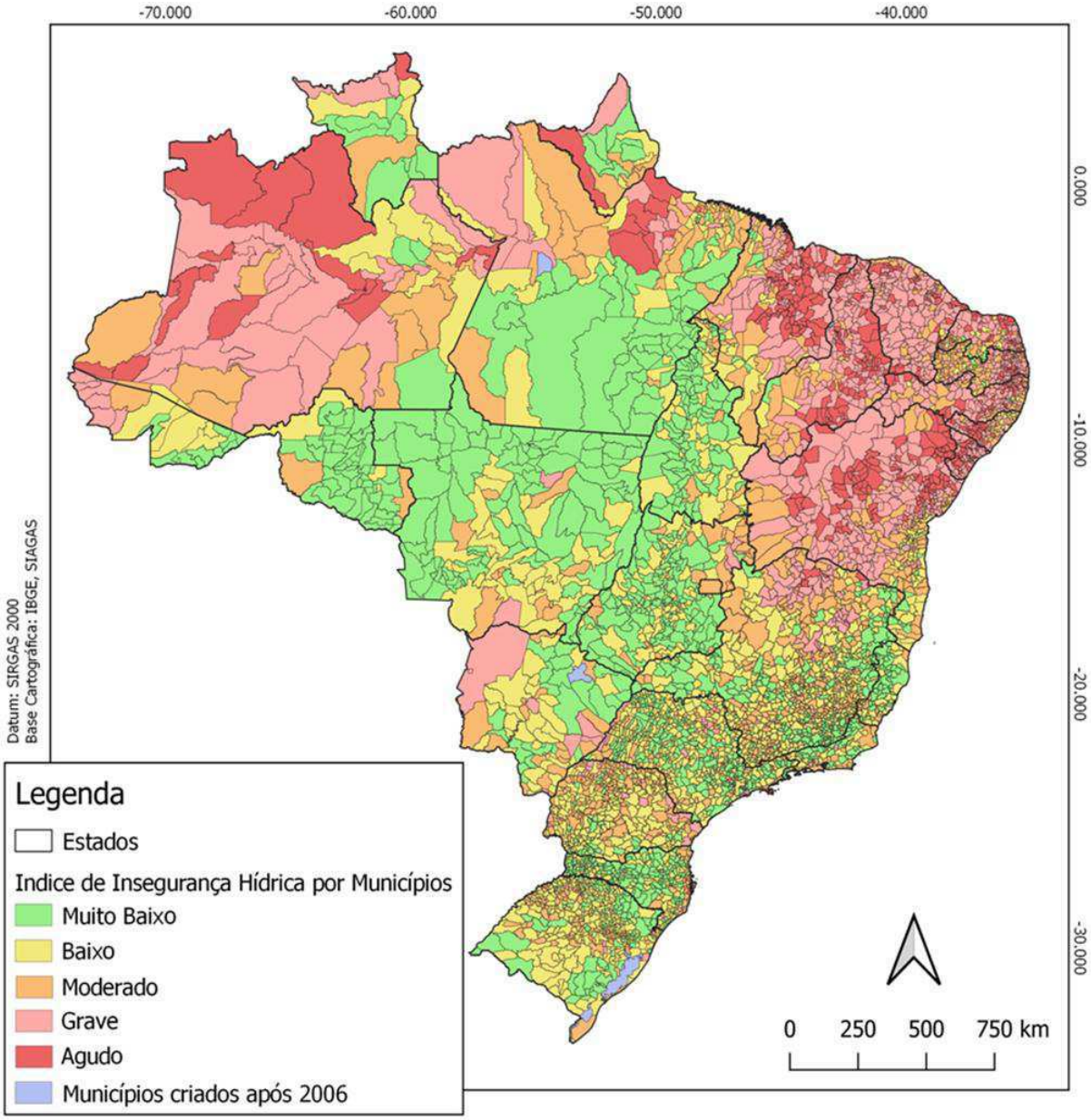


Figura 4.5 - Mapa Situação do IIH para os Municípios Brasileiros

Fonte: IBGE 2006, organizados pelo autor

No caso do IIH Agudo os dez estados da região NE estavam com este valor acima da média nacional. Para o IIH Grave, Alagoas ficou abaixo da média dos demais estados da região (Apêndice A).

Considerou-se como situação ótima de segurança hídrica a porcentagem estadual de 75% de municípios com IIH Baixo e Muito Baixo e os estados que se encontravam nesta condição foram Tocantins, Espírito Santo, São Paulo, Santa Catarina, Mato Grosso e Goiás.

Quando se leva em consideração que os municípios abaixo de 10 mil habitantes tem na agricultura o principal dinamizador da produção econômica, esta situação de insegurança hídrica vai impactar o funcionamento da seu economia, tornando-os dependente de transferências públicas. Assim, na região Nordeste, onde os municípios com IIH grave e agudo representavam 66% do total dos municípios da região, a economia tem sido suportada (em períodos de seca extrema), por transferências de recursos públicos, pois 31% das famílias foram atendidos pelo Bolsa Família, chegando a 48% no Rio Grande do Norte e no Maranhão (Figura 4.6), enquanto a media nacional é de 21% (Agência O Globo, 2019, UOL, 2019 b, Valor, 2018). Outra fonte de sustentação da economia foi a aposentadoria rural (53% do total do país ou seja 3.293 milhões de aposentados).

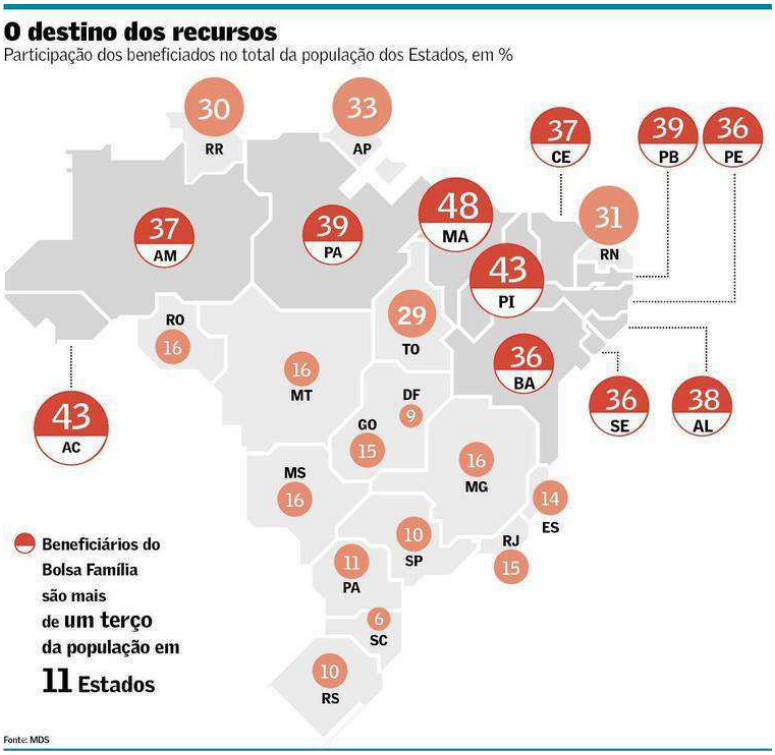


Figura 4.6 - Porcentagem dos Benefícios Recebidos do Programa Bolsa Família em 2018

Fonte: Valor, 2018

Merece destaque (Figura 4.6) o fato de estados como o Acre e Amazonas estarem com IIH de 27% e 63% respectivamente em situação Grave e Aguda de IIH. Nesses estados a presença de beneficiários do bolsa família é bastante alta (43 e 37%, respectivamente).

4.4 Análise da Média Municipal das Fontes de Recursos Hídricos por Estabelecimentos Agropecuários (M-RHEA)

O cálculo desta média foi a ferramenta desenvolvida para analisar se houve ou não uma melhora na disponibilidade hídrica para os estabelecimentos agropecuários analisados pelo Censo, buscou-se outro indicador que esclarece se entre 2006 e 2017 houve a elevação da disponibilidade de fontes de recursos hídricos. Ou seja, as comparações não serão entre o IIH e o M-RHEA, pois são análises diferentes, o que está sendo avaliado para os municípios que estavam em situação de IIH Grave e Agudo é como evolui a M-RHEA

Como ferramenta que permitisse essa analise, foi realizado o cálculo da média municipal das fontes de recursos hídricos por estabelecimentos agropecuários (M-RHEA). Quando o resultado do cálculo é igual ou superior a um (1) ele indica que, na média, existe uma ou mais de uma fonte de recursos hídricos por estabelecimento. Em todas as regiões houve o crescimento da quantidade de fontes citadas divididas pela quantidade de estabelecimentos. A porcentagem indica a variação no período 2006-2017 e o quanto melhorou a disponibilidade média de fontes de recursos hídricos por estabelecimento. Esta média destaca especialmente a melhora ocorrida na região Nordeste, na qual, em 2006, havia menos de uma fonte de água por estabelecimento (Tabela 4.4).

Tabela 4.4- Variação da Média Municipal de Recursos Hídricos por Estabelecimento Agropecuário (M-RHEA) 2006 e 2017.

Unidade	2006	2017	Variação %
Brasil	1,15	1,43	24%
Norte	1,4	1,66	19%
Nordeste	0,71	1,12	58%
Sudeste	1,45	1,61	11%
Sul	1,63	1,75	7%
Centro Oeste	1,73	1,83	7%

Fonte: IBGE, 2006; IBGE, 2017 a, organizado pelo autor.

No caso dos estados, os maiores crescimentos foram aqueles considerados acima dos 50%, ante uma média nacional aproximada de 25%. Os estados que se destacaram foram o Acre, Amazonas e a maioria dos estados nordestinos, exceção do Maranhão, o Piauí e Sergipe (APÊNDICE D).

Quando se fez a comparação entre os resultados obtidos para o crescimento ou redução das médias de M-RHEA com os resultados obtidos para o IIH Grave e Agudo para os estados, constatou-se (Tabela 4.5) que houve uma melhora da disponibilidade das fontes de água por município. Assim, em 1.405 municípios houve a melhora na média, enquanto em 117 ocorreu uma redução na média de recursos hídricos por estabelecimentos agropecuários por municípios (Apêndice E).

O cálculo do M-RHEA para as regiões mostra que houve uma progressão em todo o país, entretanto, no Nordeste, paralelamente a uma sensível melhora neste indicador, em 98 municípios esta média piorou (tabela 4.4).

Tabela 4.5 - Evolução da Média de Recursos Hídricos (RHEA) em Municípios com Índice de Insegurança Hídrica (IIH) Grave e Agudo, entre 2006 - 2017.

	Aumentou o M-RHEA	Diminuiu o M-RHEA
Brasil	1405	117
Norte	70	2
Nordeste	1189	98
Sudeste	79	7
Sul	43	9
Centro Oeste	14	1

Fonte: IBGE, 2017 a, organizado pelo autor.

Os dados mostraram que, para o conjunto do país, houve uma melhora para 92% dos municípios que se encontravam na condição de IIH Grave e Agudo, com o Nordeste se destacando regionalmente com 85% dos municípios que melhoraram sua M-RHEA (Tabela 4.5). Mostram ainda que, nos casos em ocorreu aumento da M-RHEA, as águas subterrâneas contribuíram para a melhora em 70% deles (962).

As figuras 4.7 e 4.8 elaboradas a partir dos dados dos Censos Agropecuários 2006 e 2017 ilustram a evolução e a modificação da situação das médias de recursos hídricos por município para as diferentes regiões do país.

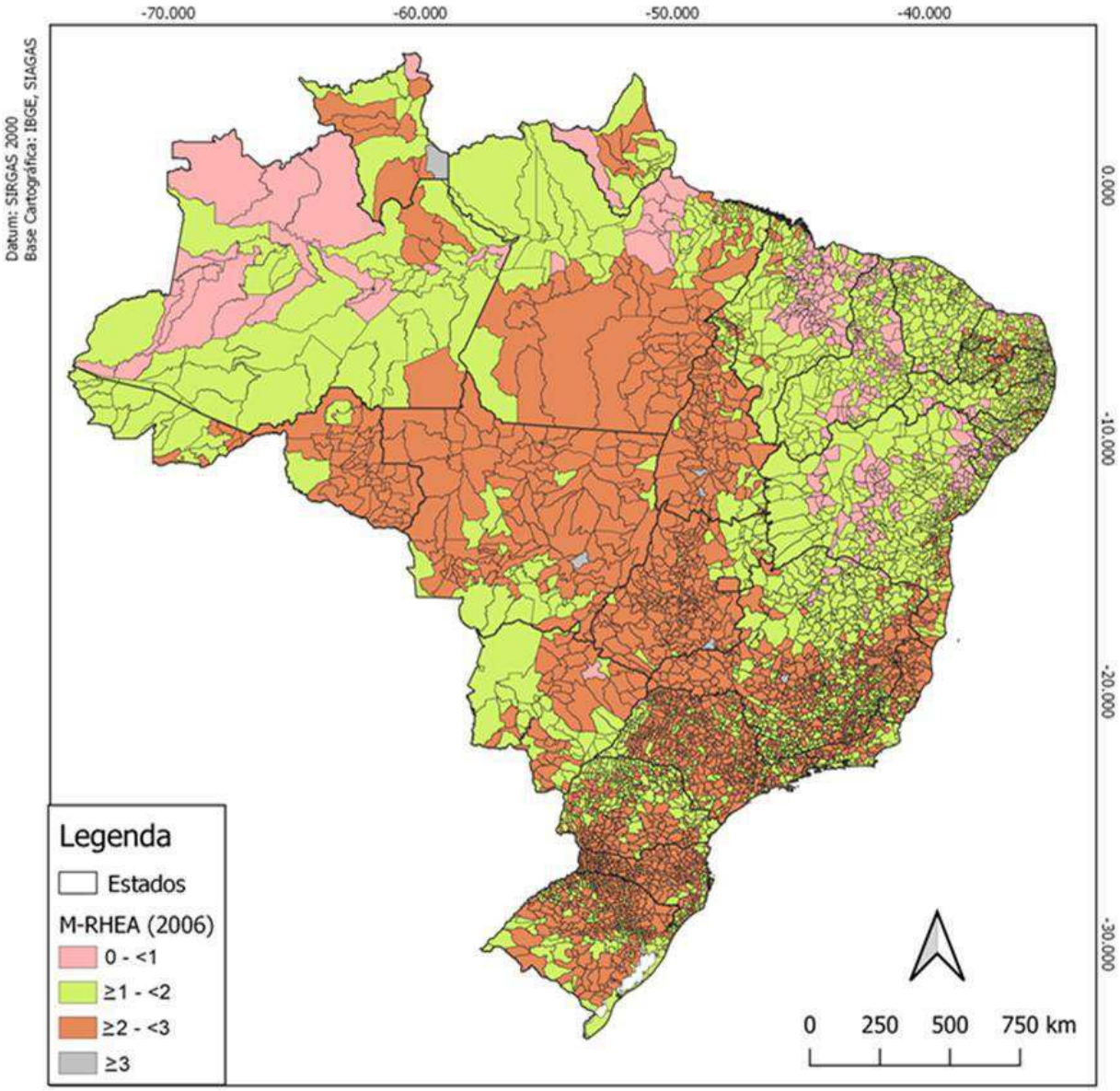


Figura 4.7 – Média Municipal das Fontes de Recursos Hídricos por Estabelecimento Agroécuário (M-RHEA) Brasil 2006
Fonte: Censo Agropecuário 2006

Considerando que a maior parte dos municípios IIH Grave ou Agudo estava localizada na região do semiárido, destaca-se que para o conjunto da região as cisternas dobraram a sua quantidade. O crescimento da quantidade de poços tubulares passou de 15% em 2006 para 33% em 2017, do total das fontes subterrâneas de águas da região nordestina (Apêndice F) (IBGE, 2006; IBGE, 2017 a).

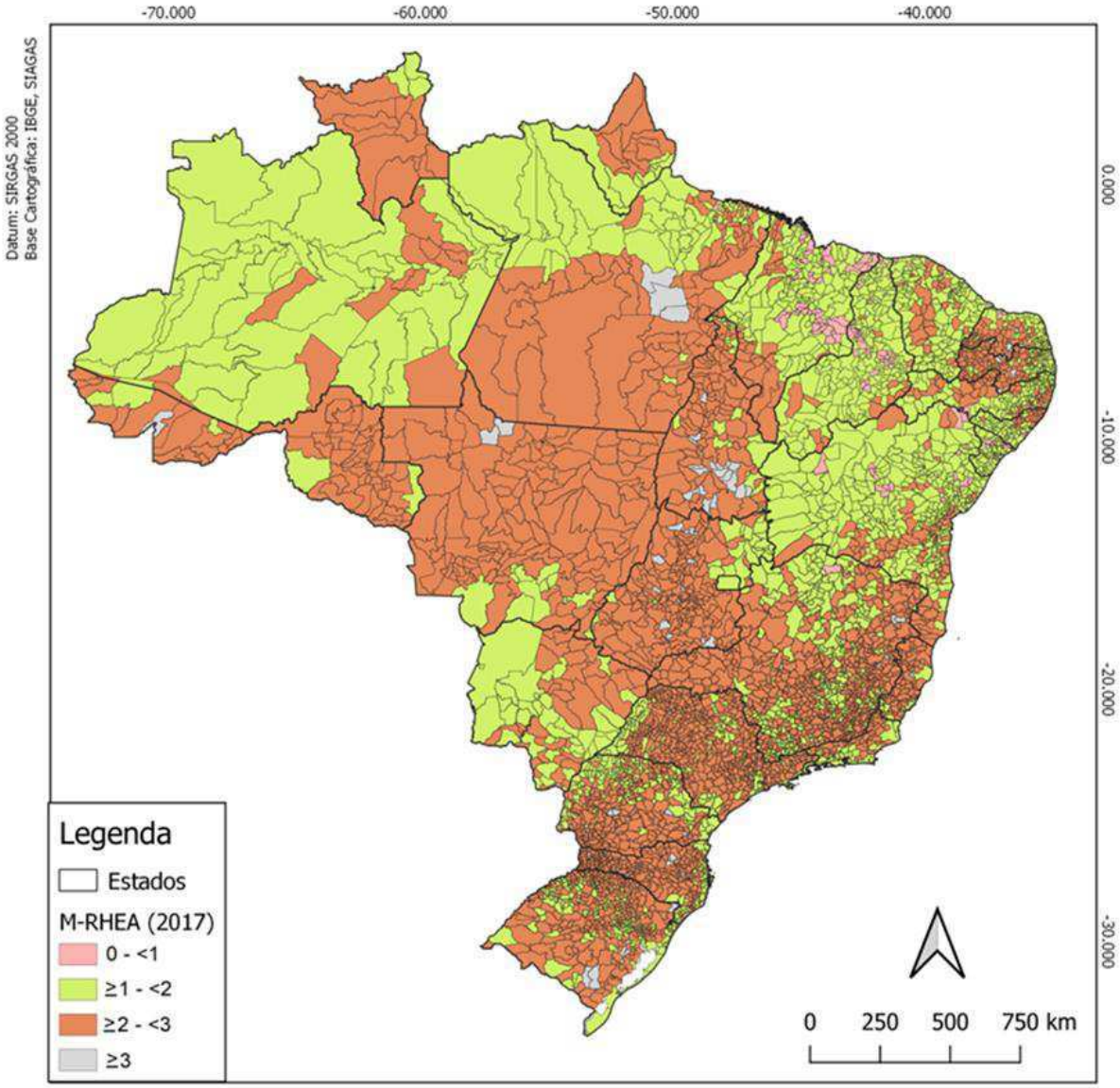


Figura 4.8 - Média Municipal das Fontes de Recursos Hídricos por Estabelecimento Agroécuário (M-RHEA) Brasil 2017
Fonte: Censo Agropecuário 2017

A evolução do M-RHEA (Tabela 4.6) para o país mostra que a melhora esteve relacionada com duas fontes: as cisternas e poços tubulares que resultaram de investimentos públicos e privados. O programa "Um Milhão de Cisternas" foi o responsável pelo aumento de fonte meteórica de água. No caso do aumento da quantidade de poços tubulares o investimento privado foi o responsável, pois não foi identificada a existência um de programa público de financiamento para a construção desta infraestrutura em estabelecimentos agropecuários.

Tabelas 4.6 - Elevação das Fontes de Recursos Hídricos dos Municípios entre 2006 e 2017.

FONTES DE RECURSOS HÍDRICOS	VARIAÇÃO M-RHEA ENTRE 2006 E 2017
Cisterna	305
Cisterna + outros	1
Nascente com mata	104
Nascente com mata + outros	15
Nascente com mata e nascente sem mata	7
Nascente sem mata	64
Nascente sem mata + cisterna	10
Nascente sem mata + outros	5
Poço comum	213
Poço comum + outros	5
Poço tubular	541
Poço tubular + outros	18
Rios não protegidos por matas	33
Rios protegidos por matas	82
Rios protegidos por matas + outros	2
Total do aumento da recursos hídricos-estabelecimentos agropecuários em 2017	1406

Fonte: IBGE, 2006, IBGE 2017 a, organizado pelo autor.

De acordo com entrevistas realizadas, o banco para liberar o financiamento exige a autorização para perfuração de poços e ela é emitida pelo órgão competente. Como a maioria dos poços são informais os agropecuaristas tiveram que recorrer à sua capacidade de endividamento para realizar este tipo de investimento.

Assim, sem desconsiderar a importância das cisternas neste resultado, as informações mostraram também o aumento da presença das águas subterrâneas na elevação do M-RHEA, ou seja, destaca o papel crescente dos serviços ecossistêmicos prestados pelos aquíferos que melhoram qualitativamente a segurança hídrica nos estabelecimentos agropecuários dada a sua resiliência à seca, mesmo se tratando majoritariamente de aquíferos fraturados do cristalino (MEA, 2005; Foster, 2014).

.

CAPÍTULO 5 AGROPECUÁRIA E O CONSUMO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS CONFORME OS DADOS DOS CENSOS 2006 E 2017

5.1 Introdução

Os estudos que tratam do tema do consumo de água pela agropecuária (ANA, 2018 a; ANA, 2018 b; ANA, 2017 a; ANA, 2017 b; ANA, 2016; Borghetti et al, 2017; Visentin, 2017) fazem pouca ou nenhuma distinção quanto à origem deste recurso o que trás consequências para a sua gestão.

A depender da região, da bacia ou do aquífero, haverá maior ou menor grau de conexão e dependência entre as águas superficiais e subterrâneas, que podem gerar interferências mútuas. É o caso de uso intensivo das águas subterrâneas interferirem na vazão de base de rios ou no secamento de poços na área do entorno, por exemplo.

A primeira parte deste capítulo apresenta dados sobre o consumo de água no meio rural. Em seguida apresentam-se os dados dos Censos 2006 e 2017 do IBGE relacionados ao consumo de água pela agropecuária e os cálculos das vazões de água subterrâneas extraídas por bacia hidrográfica e por aquífero. Por ultimo compara-se a distribuição de poços tubulares por sub-bacias hidrográficas em 2006 e 2017 (Figuras 4.3 e 4.4) com as atividades agropecuárias apresentadas pelo Atlas do Espaço Rural Brasileiro (IBGE, 2011) e agricultura irrigada no Brasil (Figuras 5.2 e 5.4) e no Atlas da Irrigação (Ana, 2017 a) e busca-se identificar quais podem ser as principais atividades usuárias da água subterrâneas.

Na sequência é feita uma comparação dos números das águas subterrâneas com os números gerais para o meio rural e outros que tratam dos usos e consumos de águas subterrâneas no Brasil. Por último analisam-se os cálculos das vazões extraídas por bacia hidrográfica e por aquíferos.

5.2 Agricultura Irrigada e o Consumo de Água Subterrânea Via Poço Tubular na Agropecuária.

O Brasil está situado entre os dez países que possuem as maiores áreas irrigadas, lista que é encabeçada pela China e Índia, cada uma com cerca de 70 milhões de hectares irrigados, seguido dos Estados Unidos com 26,7 milhões de hectares e o Paquistão com 8,7 milhões de hectares. Em 2006, o país possuía uma área de agricultura irrigada em torno de 4,5 milhões de hectares, 7% da área agrícola. Em 2017, esta área cresceu para 6,9 milhões de hectares. Estes números são explicados, em parte, pelas boas condições climáticas existentes no território nacional que sustentam o desenvolvimento da agricultura de sequeiro (Paulino et al., 2011; IBGE, 2017 a).

As áreas irrigadas estão organizadas em dois sistemas de exploração: (i) privado que representa 96% do total da área irrigada e (ii) o público localizado nos perímetros públicos de irrigação (IBGE, 2006; IBGE, 2017 a; ANA, 2018).

Tabela 5.1 Número de Estabelecimentos e Área Irrigada por Região em 2006 e 2017.

	Estabelecimentos com irrigação			Área irrigada em ha.		
	2006	2017	Variação	2006	2017	Variação
Brasil	331.990	505.503	52,26	4.545.534	6.902.960	51,86
Norte	11.733	35.705	204,31	109.582	372.530	239,96
Nordeste	140.924	229.949	63,17	1.007.657	1.269.136	25,95
Sudeste	114.003	162.133	42,22	1.607.681	2.666.816	65,88
Sul	50.847	59.370	16,76	1.238.812	1.731.517	39,77
Centro-Oeste	14.483	18.346	26,67	581.801	862.961	48,33

Fonte: IBGE, 2006; IBGE, 2017 b, organizado pelo autor.

A variação nacional de expansão da área e da quantidade de estabelecimentos irrigados foi similar (Tabela 5.1). Quando é feita uma análise regional constata-se algumas diferenças e estas podem estar relacionadas a três motivos: *primeiro* a seca como indutora (Figura 4.1), *segundo* o aumento da produção de proteínas para exportação e *terceiro* a saturação da capacidade de captação de águas superficial em algumas sub-bacias.

Em termos da quantidade de estabelecimentos que praticavam a irrigação (Tabela 5.1) nos anos 2006 e 2017 respectivamente, o Nordeste aparece com a maior quantidade de estabelecimentos, com 42% e 45%, seguido pelo Sudeste, com 34% e 32%. Já em área irrigada o destaque foi para o Sudeste e o Sul o

primeiro ficando com 35% e 39% e o segundo com 27% e 25%, respectivamente para 2006 e 2017.

Em todas as regiões, excetuando-se o NE, o crescimento foi maior em área que em número de estabelecimentos. No caso do Nordeste e do Sudeste houve um crescimento quantitativo que pode estar relacionado com as consequências do longo período de seca experimentado por estas duas regiões última década, o crescimento na quantidade estabelecimentos irrigados foi de 63% e 42% para estas duas regiões.

A seca também pode ser a explicação para o aumento da quantidade em número estabelecimentos e em área irrigada na região Norte, mesmo considerando-se que nacionalmente estes valores sejam pequenos.

Os destaques obtidos pelas regiões Sudeste e Sul para a sua participação relativa no total de área irrigada se explicam, no caso do Sudeste, pela inclusão da lavoura de cana irrigada (com vinhaça) no cômputo das áreas irrigadas e, no caso do Sul, por esta região ser a principal produtora de arroz irrigado do país (Paulino et al, 2011).

De acordo a Borghetti (2017), as principais áreas ocupadas pelas culturas irrigadas no país são a cana de açúcar com 1,7 milhão de hectares, o arroz com 1,1 milhão de hectares, a soja com 805 mil hectares, o milho com 541 mil hectares, o café com 251 mil hectares, o trigo com 64,6 mil hectares e o algodão com 58,5 mil hectares.

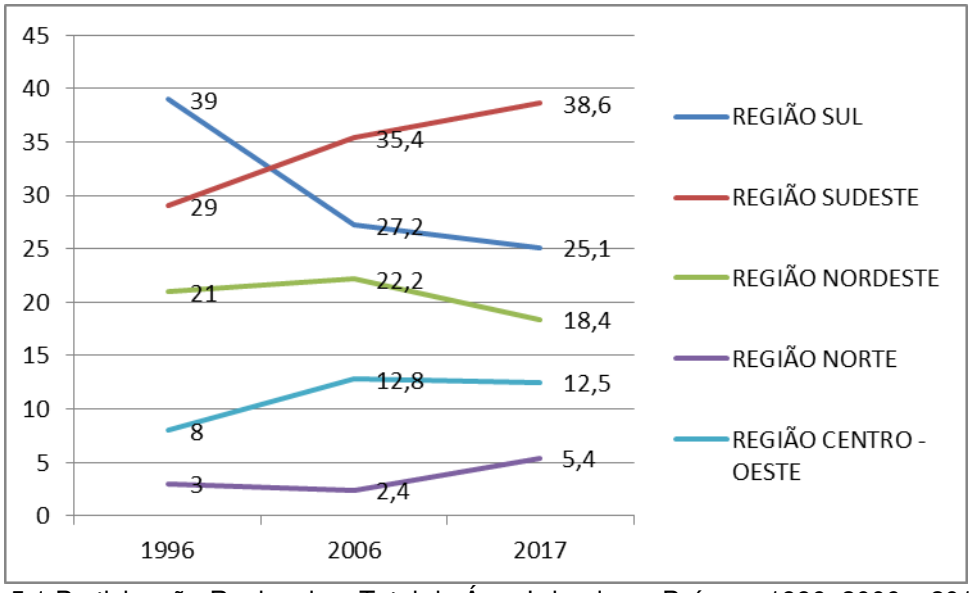


Gráfico: 5.1 Participação Regional no Total da Área Irrigada no País em 1996, 2006 e 2017.
Fonte: IBGE, 1996; IBGE, 2006; IBGE, 2017 a, organizado pelo autor.

O aumento da área irrigada no país (Figura 5.1) confirma o que já foi informado a respeito do predomínio da irrigação privada sobre os perímetros irrigados públicos, uma vez que estes em sua maioria estão localizados na região Nordeste. Como também destaca o avanço da irrigação na cana-de-açúcar na região Sudeste.

Em alguns estados o crescimento da área irrigada foi acima da média: Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Ceará e Tocantins, porém, nestes estados, não ocorreu o aumento do número de estabelecimentos, portanto o aumento de área irrigada ocorreu em estabelecimento que já praticavam agricultura irrigada. A seca pode explicar parcialmente esta situação. No caso de estados produtores de grãos como Goiás, Mato Grosso e Tocantins isso pode resultar da expansão das áreas cultivadas.

5.2.1 Determinação da proporção de consumo de água subterrânea pela agropecuária em 2006

Recorrendo ao censo 2006 e recuperando os dados que relacionam atividade agropecuária principal com a fonte de águas identificou-se que, naquele ano, era a atividade principal em 50% dos estabelecimentos que possuíam ao menos uma fonte de água, seguido das lavouras temporárias, 30%, as permanentes, com 12% e a horticultura e floricultura com 4% (Tabela 5.2). As demais atividades reúnem a produção de sementes e mudas, reflorestamento natural ou plantado, pesca e aquicultura (IBGE, 2006).

Na pecuária as águas subterrâneas respondem por 41% das fontes de água e as águas superficiais por 48%. Dentro das águas subterrâneas a principal fonte são as nascentes, seguida dos poços comuns e por último os poços tubulares (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Estabelecimentos Agropecuários, Fontes de Recursos Hídricos e Atividade Principal 2006.

		Total EA com fontes	Nascentes	Poços Comuns	Poços Tubulares	total subterrânea	superficial	meteórica
Brasil	**Total**	**3.255.643**	**1.544.916**	**1.225.576**	**323.189**	**3.093.681**	**3.410.769**	**669.265**
	Lavouras temporárias	988.252	437.458	406.497	84.434	928.389	989.390	212.517
	Horticultura e floricultura	134.365	62.078	51.496	18.716	132.290	122.206	19.405
	Lavouras permanentes	391.589	215.112	120.987	37.269	373.368	363.674	55.556
	Pecuária	1.628.040	779.757	610.557	173.833	1.564.147	1.816.690	364.676
	outras atividades	113.397	50.511	36.039	8.937	95.487	118.809	17.111
Norte	**Total**	**367.338**	**187.827**	**198.264**	**14.306**	**400.397**	**367.986**	**17.274**
	Lavouras temporárias	92.572	39.929	43.904	3.225	87.058	79.857	2.241
	Horticultura e floricultura	7.298	2.687	3.851	1.010	7.548	6.011	321
	Lavouras permanentes	49.160	21.554	28.360	1.861	51.775	42.263	701
	Pecuária	192.641	112.942	114.973	7.453	235.368	213.963	13.561
	outras atividades	25.667	10.715	7.176	757	18.648	25.892	450
Nordeste	**Total**	**1.011.290**	**199.537**	**336.307**	**93.339**	**629.183**	**1.086.948**	**476.127**
	Lavouras temporárias	345.307	53.769	126.177	27.782	207.728	339.621	177.020
	Horticultura e floricultura	31.959	8.768	11.318	4.792	24.878	26.234	8.746
	Lavouras permanentes	128.028	48.743	38.555	9.844	97.142	113.781	34.961
	Pecuária	467.102	80.840	146.595	47.481	274.916	565.810	242.382
	outras atividades	38.894	7.417	13.662	3.440	24.519	41.502	13.018
Sudeste	**Total**	**749.435**	**446.544**	**186.145**	**93.864**	**726.553**	**743.790**	**101.416**
	Lavouras temporárias	116.265	59.877	30.234	13.683	103.794	113.386	17.289
	Horticultura e floricultura	54.167	28.523	17.610	7.425	53.558	50.662	6.785
	Lavouras permanentes	166.621	113.501	37.057	19.872	170.430	161.049	17.084
	Pecuária	396.629	235.815	98.272	51.377	385.464	402.377	57.977
	outras atividades	15.753	8.828	2.972	1.507	13.307	16.316	2.281
Sul	**Total**	**847.724**	**569.125**	**388.365**	**79.999**	**1.037.489**	**912.375**	**26.851**
	Lavouras temporárias	397.678	266.681	190.753	32.335	489.769	421.453	10.868
	Horticultura e floricultura	31.451	18.416	14.520	4.007	36.943	30.413	1.377
	Lavouras permanentes	41.938	28.681	13.916	5.062	47.659	41.175	2.043
	Pecuária	347.478	233.720	157.996	36.006	427.722	388.497	11.802
	outras atividades	29.179	21.627	11.180	2.589	35.396	30.837	761
Centro-Oeste	**Total**	279.856	141.883	116.495	41.681	300.059	299.670	47.597
	Lavouras temporárias	36.430	17.202	15.429	7.409	40.040	35.073	5.099
	Horticultura e floricultura	9.490	3.684	4.197	1.482	9.363	8.886	2.176
	Lavouras permanentes	5.842	2.633	3.099	630	6.362	5.406	767
	Pecuária	224.190	116.440	92.721	31.516	240.677	246.043	38.954
	outras atividades	3.904	1.924	1.049	644	3.617	4.262	601

FONTE: IBGE, 2006 organizado pelo autor.

No caso da pecuária o país tem como principal fonte as águas superficiais com 49%, seguida das águas subterrâneas com 42% das fontes citadas. No caso das fontes de água subterrânea a participação na pecuária é dividida da seguinte maneira: as nascentes com 50%, os poços comuns a 39% e poços tubulares 11% (IBGE, 2006).

Nas lavouras temporárias as águas subterrâneas respondem por 44% das fontes enquanto as águas superficiais ficam 46%. Dentre as fontes oriundas dos aquíferos a participação foi a seguinte: 47% de nascentes, 44% de poços comuns e 9% de poços tubulares (IBGE, 2006).

Para as lavouras permanentes a distribuição ficou em 47% para a participação das águas subterrâneas e 46% para as águas superficiais. A maior participação das águas subterrâneas na irrigação de lavouras permanentes está relacionada com os sistemas empregados, geralmente micro-aspersão e gotejamento que tem uma demanda menor de água que pode ser atendida pela menor vazão obtida das fontes subterrâneas de água. Dentre as fontes subterrâneas as nascentes ficaram com 58% das citações, os poços comuns com 32% e os poços tubulares com 10%.

Esses dados para as atividades produtivas principais do IBGE (2006) no caso variaram regionalmente da seguinte maneira: nas regiões Sul e Nordeste, que são regiões de predomínio da agricultura familiar, o uso da água predominou para as lavouras temporárias e a pecuária, sendo importante destacar que esta agricultura muitas vezes tem processos integrados de produção de pequenos animais e grãos para consumo próprio.

No Sudeste o destaque foi o uso da água para as lavouras permanentes e a pecuária. A região Norte se destaca o uso para a lavoura temporária e a pecuária e na região Centro Oeste 80% das fontes tem como destino o uso na pecuária (IBGE, 2006).

Em termos do consumo de águas subterrâneas para a fonte de água “nascentes” as regiões e as atividades produtivas que são destacaram foram: (i) Nordeste: pecuária, (ii) Sudeste: pecuária, (iii) Sul: lavouras temporárias e a pecuária, e (iv) Centro-Oeste e Norte: pecuária.

No caso dos poços comuns o destaque foi o seguinte: (i) região Norte: lavoura permanente, (ii) Nordeste: lavouras temporárias, horticultura, lavoura permanente e pecuária. (iii) Sudeste: horticultura e lavoura permanente, (iv) Sul:

lavouras temporárias, horticultura e pecuária, (v) na região Centro-Oeste e Norte: pecuária.

No caso dos poços tubulares o seus usuários em termos de atividade principal nacionalmente estão divididos em pecuária 54%, lavouras temporárias 26%, lavouras permanentes 12% e horticultura 6%.

Regionalmente no consumo de água de poço tubular se destacam as regiões: (i) Nordeste com 51% dos seus poços relacionados com a pecuária e 30% relacionados com as lavouras temporárias, (ii) Sudeste com 55% dos poços relacionados com a pecuária, 21% as lavoura permanente, e o (iii) Sul onde as lavouras temporárias utilizam 40 desta fonte para este fim, seguidas da pecuária 45%. Nas regiões Norte e Centro-Oeste o destaque do consumo de águas subterrâneas é a pecuária.

Com relação aos estados alguns casos merecem destaque é o caso de Rondônia, ali 21% do consumo de água tem como destino a irrigação de lavouras permanentes, e a principal lavoura nesse estado é o café, que deve receber irrigação complementar e a principal água é oriunda de aquíferos é via o poço comum. O Maranhão também destaca a irrigação da lavoura temporária e a principal fonte de água subterrânea é de poço comum.

No Espírito Santo a irrigação de lavouras permanentes ocorre no café e fruticultura, e a principal fonte são as nascentes. Por último o estado do Mato Grosso, pois 79% das fontes se destinam para a pecuária, sendo as principais fontes subterrâneas as nascentes e os poços comuns. No Apêndice G é apresentada a Tabela para os estados.

O cálculo das proporções em termo de qual atividade principal predomina o uso de água proveniente de poço tubular é importante para a definição da quantidade total de meses que é feita a explotação de água para seu abastecimento. O fato da pecuária deter 54% dos poços tubulares, as lavouras temporárias 26 %, as lavouras permanentes 12 % e a horticultura com a floricultura 6% leva a organizar o cálculo da vazão da seguinte forma: 60 % funcionam durantes 12 meses e reúne a pecuária e a horticultura e 40 % s funcionam durante 6 meses, para a irrigação complementar de lavouras temporárias e permanentes.

5.2.2 Determinação da proporção de consumo de água subterrânea pela agropecuária em 2017

O Censo Agropecuário 2017 ainda não divulgou a relação entre fonte de água e a atividade principal dos estabelecimentos agropecuários. Assim, fez-se a determinação pela comparação dos resultados do cálculo da razão entre a quantidade de estabelecimentos que possuem poços tubulares e os estabelecimentos que praticam a agricultura irrigada.

No Brasil no ano de 2017 a média da razão identificada foi de 2:1, ou seja, dois estabelecimentos com poços tubulares para um praticando a irrigação. Em 2006 a razão era aproximadamente 1:1, não significando, no entanto, que 100 % dos estabelecimentos com poços tubulares fizessem uso para a irrigação, haja vista que estes polos estavam situados em estabelecimentos cuja atividade principal era a pecuária. Desta forma, a exemplo do que foi identificado para o Censo 2006, pode-se concluir que os aquíferos estão garantindo água para a dessedentação da pecuária. Essa participação numa primeira análise é de no mínimo 50% e com uma grande variação regional, sendo importante destacar o Centro-Oeste o qual tem uma razão que é de 8:1.

É possível identificar pelos resultados da razão (Gráfico 5.2) que a seca não foi o principal vetor do aumento desta razão para a quantidade de poços tubulares já que o Sudeste e o Nordeste os dois estados mais atingidos pela seca o resultado da razão é inferior à média nacional. As duas regiões nas quais a razão cresceu acima da média (Centro-Oeste e Norte) são regiões de expansão da pecuária, no caso do Centro-Oeste há uma mistura entre bovinos, aves e suínos com destaque para bovinos, porém na região Norte o motivo principal é certamente o rebanho bovino.

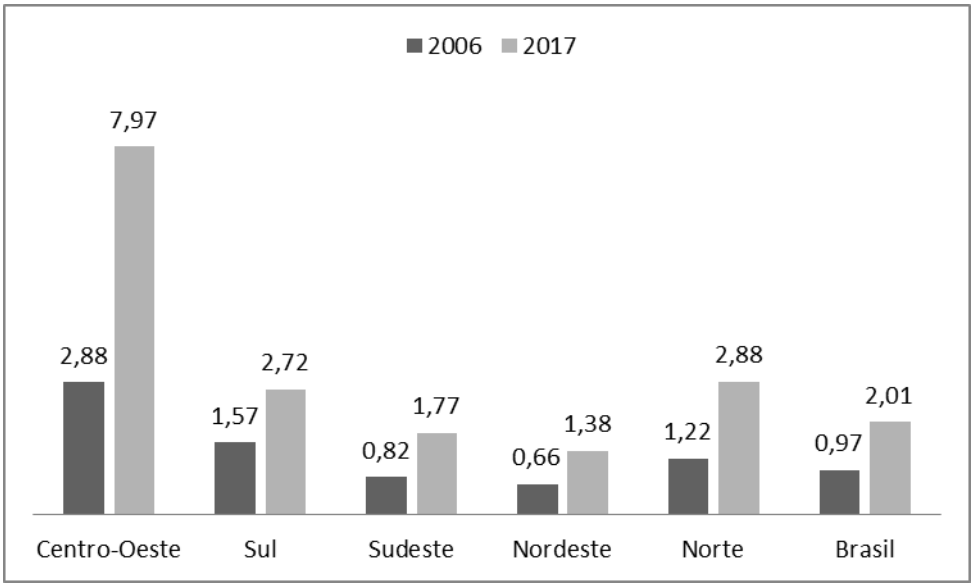


Gráfico 5.2 – Razão entre Estabelecimentos com Poços Tubulares e os com Agricultura Irrigada 2006-2017, Brasil e Regiões. Fonte: IBGE, 2006; IBGE, 2017 a, organizado pelo autor.

Quando se analisam os dados da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do IBGE para o tamanho dos rebanhos da pecuária, a variação na quantidade de cabeças de bovinos, suínos e aves nas regiões Norte e Centro-Oeste ela não explica o aumento da razão em favor da pecuária.

Principalmente para os bovinos, o crescimento da participação das regiões Norte e Nordeste ante as demais regiões do país em número de cabeças foi de 54,20% em 2006 para 57,05% em 2017. Ao analisar o que ocorreu com a quantidade de suínos, de galináceos e galinhas criados o crescimento foi maior nas regiões Sul e Sudeste (PPM/IBGE, 2018).

A taxa de abate de bovinos cresceu em torno de 40% entre 2006 e 2017, saindo dos 23 milhões de cabeças abatidas em 2006, para 39 milhões de cabeças abatidas em 2017. O que para a proporção que representa a região Centro Oeste no conjunto do rebanho nacional (50%) significa abater entre 18% e 20% do rebanho, ou seja, 22 milhões de cabeças (Fernandes, 2018).

Assim, a explicação para o crescimento do uso de água de poços tubulares pela pecuária pode estar associada a um conjunto de fatores: o aumento da taxa de abate, um aumento do rebanho, mesmo que pequeno, e também a mudança da fonte de captação de água para a dessedentação animal.

Neste último caso seria resultado da redução da captação de água de fontes como nascentes, poços comuns e rios e elevação da captação de poços

tubulares para a dessedentação animal (Silva et al, 2014). Inclusive porque melhora o rendimento das pastagens, com a maior rotação dos animais aproveita-se mais o potencial de alimentação à pasto, reduz a superlotação e a degradação das pastagens, além de cumprir a legislação ambiental e que pode explicar parte do aumento de rios e nascentes protegidos no país e nas regiões.

Dos sete estados nos quais a razão poço tubular e agricultura foi maior, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Maranhão, Pará e Paraná, a pecuária é a atividade de destaque (Gráfico 5.3).

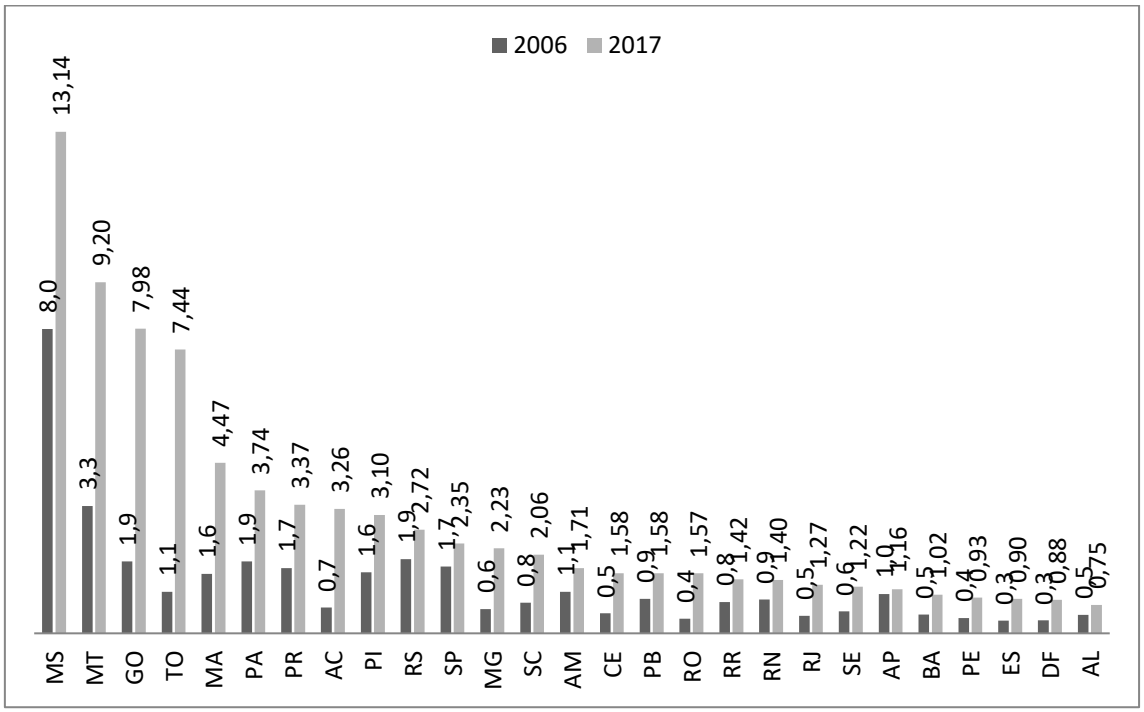


Gráfico 5.3 - Razão entre Estabelecimentos com Poços Tubulares e os Irrigados, 2006 e 2017, Estados. Fonte: IBGE, 2006; IBGE, 2017 a, organizado pelo autor.

Assim, com base na razão média do país de 2:1 (poços tubulares por estabelecimentos com agricultura irrigada) é possível afirmar que somente a pecuária representa mais de 50% dos estabelecimentos com poços tubulares. Esta consideração reafirma o que foi constatado em 2006 que a pecuária era responsável por 54% da extração via poços tubulares e quando a razão entre poços tubulares foi favorável aos estabelecimentos irrigados (razão de 0,97).

Agregando-se a este valor o consumo de água subterrânea pela horticultura que em 2006 era de 6%, é possível afirmar que a vazão extraída via poços tubulares por um período de 12 meses ao ano é no mínimo de 60%.

5.3 O Consumo de Água Subterrânea na Agropecuária Brasileira

Este tópico trata de apresentar os resultados encontrados sobre a participação da pecuária e da agricultura irrigada na explotação de água dos aquíferos. Mesmo ciente que existem muitos estabelecimentos que possuem mais de um poço, os resultados apresentados são uma primeira aproximação e contribuem para o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos.

A produção agropecuária é baseada, centralmente, em um tripé solo-água-sol. Quanto mais intensiva esta atividade se torna, maior será o consumo de água em função das taxas de evapotranspiração. O mesmo ocorre com a pecuária: a intensificação da produção eleva a quantidade de água consumida na dessedentação animal.

Quando se analisa o aumento no volume das exportações brasileiras de soja, carne e açúcar, por exemplo, constata-se o aumento do volume de água embutido nesta produção conclui-se sobre a necessidade de se avaliar qual o custo ambiental embutido nestes processo produtivos, inclusive os recursos hídricos. Entre 1997 e 2005, o volume de água empregado na produção e exportação apenas nestes três produtos saltou de 27,1 bilhões de litros para 460,1 bilhões de litros.

Para se ter uma ideia do que representa o consumo de água nas principais cadeias agropecuárias, empregando-se a metodologia da Pegada Hídrica[12], para produzir uma tonelada de legumes, trigo, soja e gado bovino, o consumo de água é respectivamente 1 milhão de litros; 1,45 milhões de litros; 1,8 milhões de litros e; entre 15 e 42,5 milhões de litros. Outra forma na qual o consumo de água pode ser analisado é pela renda gerada em dólar por quilograma vendido, no caso dos legumes a média é de U$ 0,50 por litro de água utilizado; para o trigo é de U$ 0,08 e; a carne bovina é U$ 0,005 (Aly Jr, 2017).

Partindo dos dados da ANA (2017 b) são apresentadas as principais vazões retiradas, consumidas e retornadas no Brasil (Figura 5.1), para o ano de

[12] A pegada hídrica é considerada como volume total de água doce que é utilizada para produzir os bens e serviços consumidos pelo indivíduo, comunidade ou produzidos pelas empresas. Ela avalia o seu uso de forma direta e indireta (Chapagain, Tickner, 2012).

2016. A irrigação, o consumo animal e consumo rural, respectivamente, aparecem como primeiro, segundo e sétimo colocados no consumo de água no país, sem distinguir qual a origem dessa água. Ele destaca o uso consultivo sem considerar as perdas por evaporação dos grandes reservatórios.

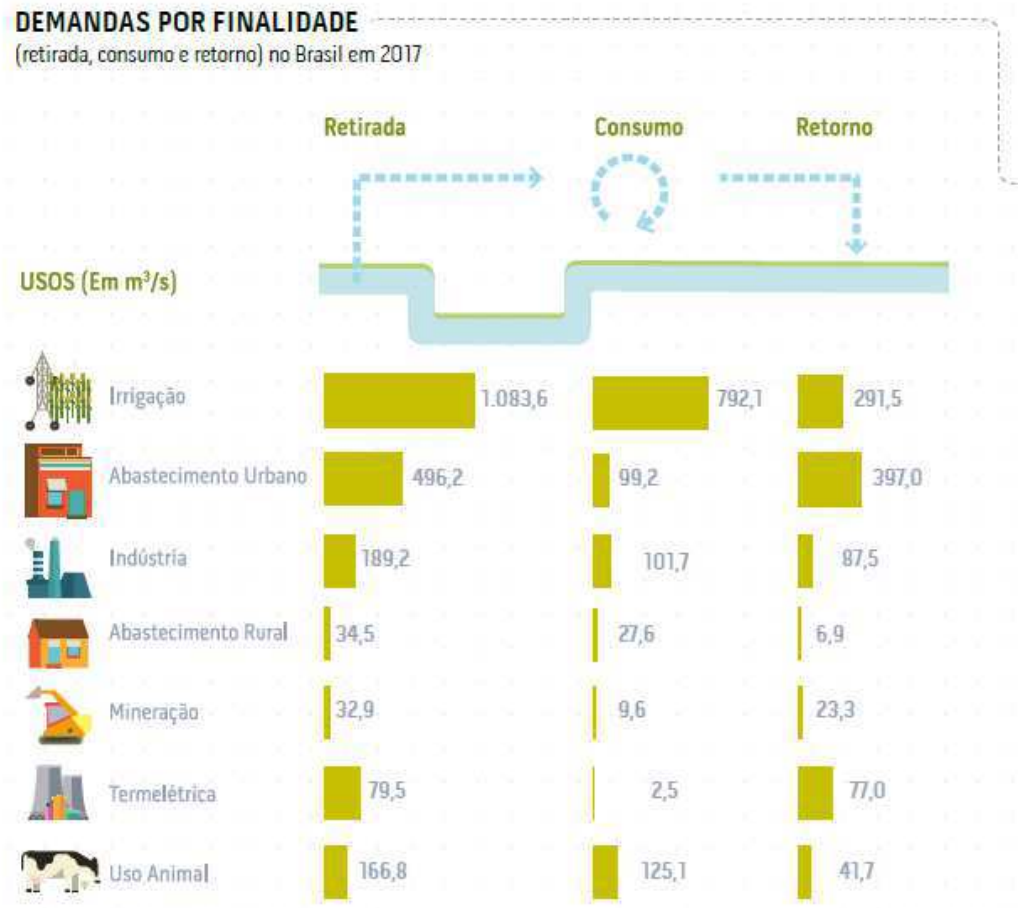


Figura 5.1- Consumo de Água pelos Diferentes Setores no Brasil. Fonte: ANA, 2017 b.

Em 2010, comparativamente à 2006, de acordo com a ANA, houve um aumento de 29% da retirada total de água no país. Esse aumento ocorreu principalmente em função da vazão de retirada realizada pela irrigação que passou de 866 m³/s, 47% do total, para 1.270 m³/s, 54% do total (ANA, 2013).

A partir do que foi calculado e identificado nesta tese, a vazão explotada de aquíferos, para o total de 323.189 poços tubulares, pela agropecuária, em 2006, foi de 2.239 Mm^3/ano com a vazão Hirata et al (2019). Utilizando-se a "vazão SIAGAS-Rural" a vazão total explotada foi de 4.245 Mm^3/ano. Sendo que a pecuária representa 54% desta vazão retirada com 1.209 Mm^3/ano e 2.292

Mm^3/ano, respectivamente, enquanto a agricultura irrigada que responde por 46% da vazão retirada ficou com 1.030 Mm^3/ano e 1.952 Mm^3/ano, respectivamente.

No ano de 2017 a vazão total explotada de aquíferos pelos 1.016.387 poços tubulares pela agropecuária foi de 7.025 Mm^3/ano, de acordo com a vazão empregada por Hirata et al, (2019) e, 12.531 Mm^3/ano com a "vazão SIAGAS-Rural". Já a pecuária retirou, respectivamente, 3.793 Mm^3/ano e 6.766 Mm^3/ano e a agricultura irrigada 3.231 Mm^3/ano e 5.764 Mm^3/ano.

Esses valores quando comparados com a vazão anual de 17.580 Mm^3/ano encontrada por Hirata et al (2019) para águas subterrâneas em 2019 no país representam 40 % para a vazão calculada por estes mesmos autores e 70% do total quando é utilizada a "vazão SIAGAS"-Rural. Os valores aqui encontrados vêm agregar ao que foi realizado por estes autores, uma vez que nesta tese foi identificado o peso proporcional de algumas atividades que consomem água durante doze meses, como é o caso da pecuária e da horticultura.

Ajustando os dados encontrados por Hirata et al, 2019, os novos valores deveriam ficar em 20.386 Mm^3/ano quando é utilizada a mesma vazão estimada por aqueles autores ou então em 25.892 Mm^3/ano quando se utilizada a "vazão SIAGAS-Rural", um aumento de 16% no primeiro caso e de 47% no segundo.

Ainda, a ANA vem acompanhando o aumento do tensionamento do uso das águas superficiais em várias bacias hidrográficas do país em função do seu consumo pela agricultura e pela pecuária. Em 2015 a ANA estimou que a região do Paraná foi a que mais retirou água para esta finalidade, seguida das regiões Atlântico Nordeste Oriental e Atlântico Sudeste, São Francisco e Uruguai. As menores vazões de retiradas (menos que 100 m^3/s) estavam localizadas nas regiões Atlântico Nordeste Ocidental, Paraguai, Parnaíba, Amazônia e Tocantins-Araguaia (ANA, 2013).

Em 2016, a bacia hidrográfica do Paraná se encontrava em situação de estresse hídrico e 44,1% da sua área agrícola era ocupada com irrigação por pivô central. As do Rio Grande e Verde Grande, ambas situadas na região hidrográfica do São Francisco encontravam-se em situação similar (ANA, 2016).

Ademais, a demanda sazonal de água superficial para a irrigação ocorre justamente nos meses mais secos e de menores vazões, a ANA cita as bacias

dos rios Paranapanema, Grande e Parnaíba, Grande e Verde e também, algumas da região central do país como a São Marcos, Javaés e Preto (ANA, 2016).

Tabela 5.3 - Bacias Saturadas pela Captação Superficial, Quantidade de poços e Vazão Explotada em 2006 e 2017.

Bacias	**Poços 2006**	**Vazão anual 2006 extraída (4 m³/h)**	**Vazão anual 2006 extraída (7 m³/h)**	**Poços 2017**	**Vazão anual 2017 extraída (4m³/h)**	**Vazão anual 2017 extraída (7 m³/h)**
Grande	18.031	124.632.320	222.312.901	44.597	308.256.970	549.853.371
Jaguaribe	6.607	45.670.136	81.464.105	16.095	111.250.246	198.442.626
Paraná RH1	12.279	84.875.003	151.395.786	26.651	184.208.879	328.582.589
Paranapanema	7.845	54.225.872	96.725.399	14.813	102.389.692	182.637.613
Parnaíba Alto	2.602	17.981.952	32.075.307	6.906	47.737.498	85.151.762
Parnaíba Baixo	6.614	45.717.016	81.547.727	19.595	135.440.353	241.591.730
Parnaíba Médio	4.171	28.828.342	51.422.555	13.361	92.347.958	164.725.670
São Francisco Alto	1.091	7.540.421	13.450.226	4.761	32.905.972	58.696.028
São Francisco Médio	11.505	79.525.043	141.852.796	43.048	297.548.029	530.751.297
São Francisco Submédio	1.562	10.793.347	19.252.633	6.275	43.375.155	77.370.433
Tietê	16.179	111.831.530	199.479.491	24.101	166.582.959	297.142.354
Ibicuí	4.395	30.376.708	54.184.453	6.625	45.793.228	81.683.671
Uruguai Alto	8.774	60.647.019	108.179.120	19.286	133.304.936	237.782.680
Uruguai Médio	4.128	28.533.167	50.896.036	6.662	46.050.548	82.142.665
Total geral	105.784	731.177.876	1.304.238.536	252.777	1.747.192.425	3.116.554.487

Fonte: ANA, 2017; IBGE, 2006; IBGE, 2017, organizado pelo autor.

Estas regiões podem estar encontrando nas águas subterrâneas uma alternativa para seu abastecimento. Assim a Tabela 5.3 apresenta, para este conjunto de bacias tensionadas, a variação na quantidade de poços entre 2006 e 2017, como também o volume extraído de água subterrânea em 2017.

A partir destes dados identificou-se que entre 2006 e 2017 o volume retirado e a quantidade de poços, no conjunto dessas bacias, cresceram 240%. Em 2006 este quadro representou 33% do total de poços tubulares e em 2017 sua participação relativa no total nacional caiu para 25%, o mesmo acontecendo com a vazão.

5.4 A Produção Agropecuária e o Uso da Água Subterrânea

Quando os dados dos mapas 4.4 e 4.5 foram comparados com as tipologias da utilização da terra no meio rural no Brasil apresentadas no Atlas do Espaço Rural (Figura 5.2) de 2011 foi possível identificar a coincidência entre algumas das áreas de alta concentração de poços tubulares e a produção agropecuária (Figura 5.3).

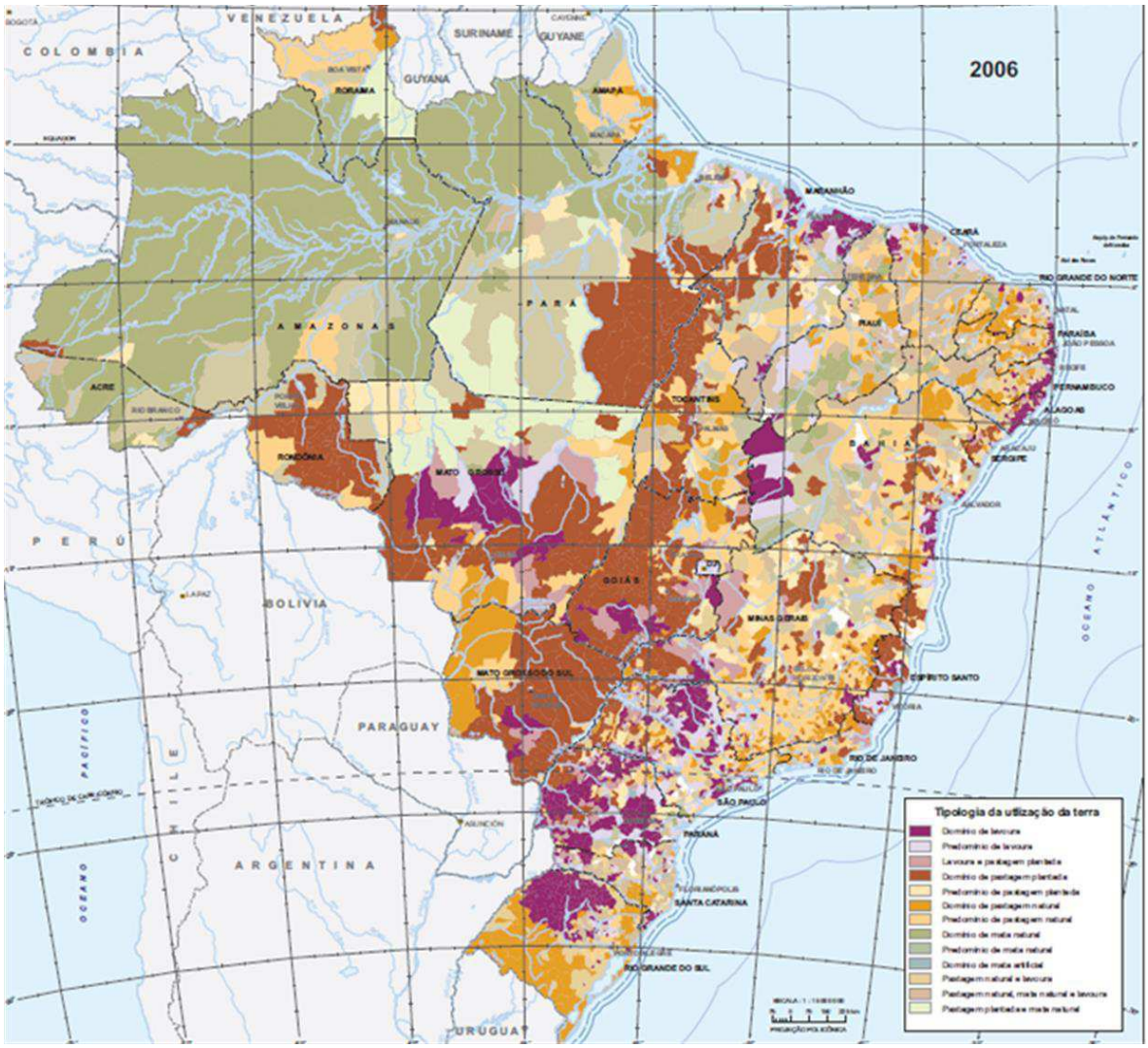


Figura 5.2- Tipologia da Utilização da Terra no Meio Rural no Brasil. Fonte: IBGE, Atlas do Espaço Rural Brasileiro, 2011.

Outra forma de apresentar a concentração de poços tubulares é pela sua distribuição em diferentes biomas brasileiros. Na figura 6.4 destacam-se o Cerrado e a Amazônia, biomas que estão sendo ocupados pela pecuária bovina, suína, avicultura bem como para a expansão da agricultura principalmente com vistas a e exportação.

Produção agropecuária	Concentração de poços tubulares
Soja, milho, aves e suínos	Sudeste do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul Divisa Goiás e Leste do Distrito federal Centro Norte do Mato Grosso
Algodão	Divisa de Goiás e Mato grosso e Mato Grosso do Sul
Café e fruticultura	Espirito Santo
Bovinocultura de corte	Norte do Mato Grosso, Sul do Mato Grosso do Sul e Rondônia, Eixo paralelo ao São Francisco lado direito
Bovinocultura de leite	Noroeste do Rio Grande do Sul, Goiás ao sul do Distrito Federal
Fruticultura diversificada e citricultura	Eixo Norte-sul no centro de São Paulo
Citricultura	Noroeste do Rio Grande Do Sul, Oeste Santa Cataria, Nordeste da Bahia
Domínio pastagem e pastagem com natural mata	Mato Grosso do Sul. Goiás (predomina a da plantada) Mato Grosso e Pará (predomina a pastagem e mata natural) Sul e Nordeste do Rio grande do Sul

Figura 5.3 – Produção agropecuária e concentração de poços tubulares segundo o Atlas do Espaço Rural Brasileiro Fonte: IBGE, 2011; IBGE, 2017, organizado pelo autor.

Na elaboração do Atlas de Irrigação (2017) a ANA identificou as principais áreas irrigadas do país (Figura 5.4), a partir da compilação de informações de imagens, dados censitários e dos órgãos estaduais de gestão de recursos hídricos. Foram identificados 148 municípios que concentravam áreas irrigadas superiores a 10.000 hectares e concentravam praticamente metade da área irrigada do país.

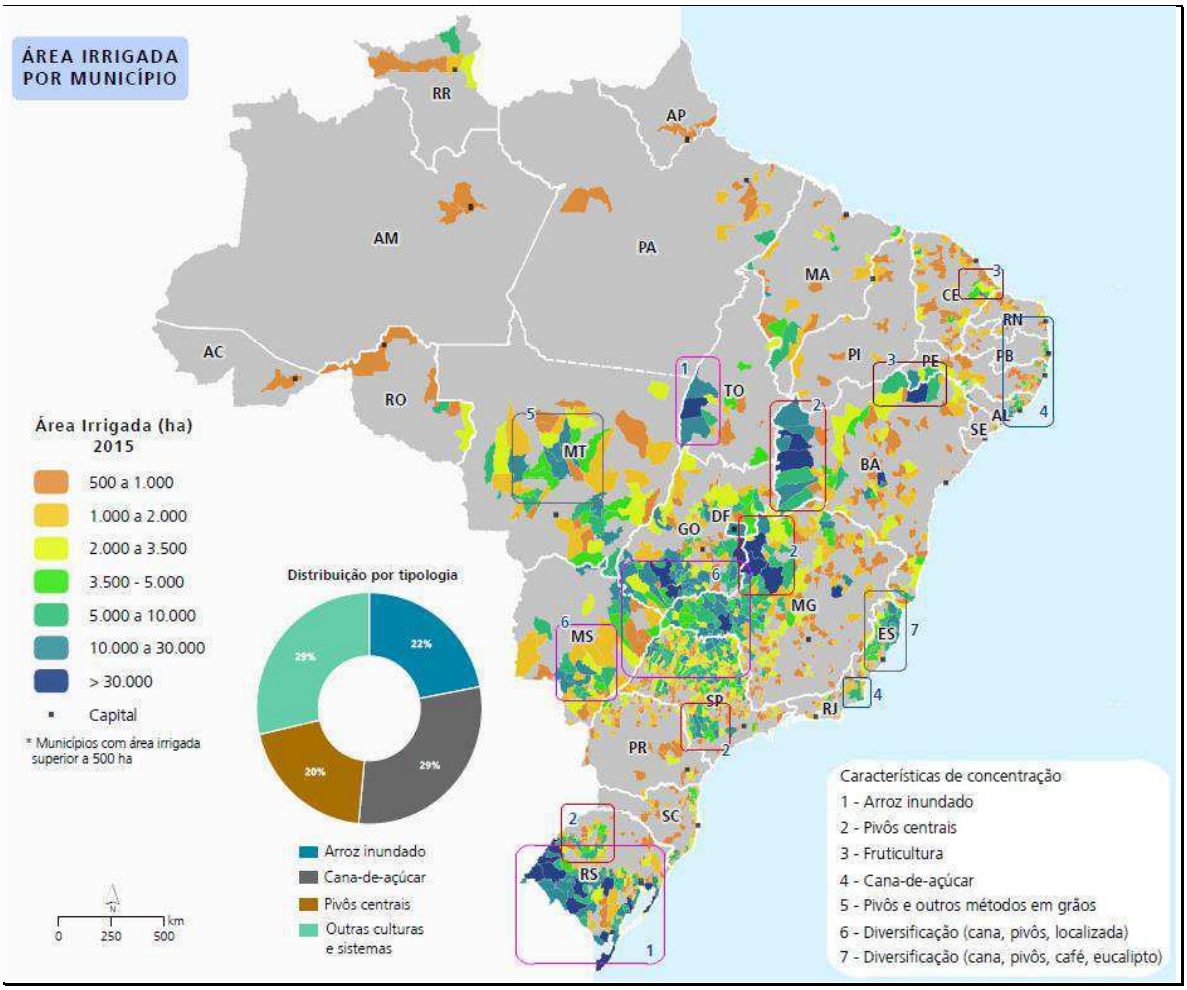


Figura 5.4 Áreas Irrigadas por Município. Fonte: ANA, 2017 a.

Este conjunto foi agregado em quatorze áreas com a descrição na legenda das principais características em termos de sistemas de irrigação e lavouras predominantes. A análise comparativa entre os quatorze polos e a distribuição de poços tubulares por microbacias para o ano 2017 (Figura 5.4) permite destacar as seguintes situações:

- no Rio Grande do Sul, na parte sudoeste do estado, ocorre uma coincidência parcial e que deve ser por que a água subterrânea é uma alternativa ao principal usuário superficial que é a lavoura do arroz.

- na região Sul do Mato Grosso do Sul há uma forte coincidência e esta região, além da cana-de-açúcar e dos pivôs centrais, também desenvolve a irrigação localizada cuja demanda de água pode ser suprida através de poços tubulares;

- na área do grande quadrado que envolve o noroeste paulista, sudoeste mineiro, sul de Goiás e nordeste sul mato-grossense, há uma forte coincidência

entre poços tubulares e irrigação. Esta região também é produtora de cana-de-açúcar, possui lavouras irrigadas com pivô central e possui irrigação localizada;

- na região leste goiana e no entorno do Distrito Federal também ocorre a coincidência, embora no Atlas da ANA o destaque seja para os pivôs centrais;

- a área situada ao leste do Tocantis, também tem uma coincidência parcial, de forma similar pode ser um desafogo para as lavouras irrigadas de arroz inundado;

- a região localizada entre Petrolina e Juazeiro tem uma coincidência maior dentro do território baiano e uma um pouco menor no território pernambucano, esta região se caracteriza pelo desenvolvimento de lavouras permanentes da fruticultura;

- no território do Espírito Santo há uma coincidência completa e a atividade é produção diversificada de cana, presença de pivôs, café, fruticultura e eucalipto;

- a divisa do Espírito Santo e Rio de Janeiro há outra coincidência embora o Atlas de irrigação destaque a lavoura de cana-de-açúcar;

- as regiões para as quais a coincidência foi muito baixa foram: o sudoeste paulista, o leste baiano, nordeste cearense, o litoral do nordeste.

Em algumas áreas que Atlas da irrigação não destacou, pois não alcançaram os 10.000 hectares de área total irrigada, mas a comparação entre os mapas permitiu identificar a coincidência com áreas de concentração de poços tubulares são: sudeste catarinense, o nordeste gaúcho, o nordeste paranaense, o norte goiano, a região central e sul baiana, o sul cearense, o noroeste do Rio Grande do Norte, a divisa mato-grossense e goiana ao sul.

As bases de dados consultadas não permitem conclusões assertivas que estudos em bases de dado mais detalhadas certamente poderiam esclarecer muito mais acerca do papel da águas subterrâneas, na poços tubulares, na produção regional da agropecuária brasileira.

CAPÍTULO 6 SEVIÇOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E A GESTÃO DOS AQUÍFEROS PARA A ADAPTAÇÃO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O tema das mudanças climáticas globais tem relação estreita com este trabalho, uma vez que a água é central nas políticas de adaptação. Consequentemente, as políticas de segurança hídrica e o consumo de água na agropecuária estão fortemente vinculadas às estratégias de adaptação. Desta forma os serviços ecossistêmicos de reservação de água prestados pelos aquíferos são de suma importância para a manutenção da vazão de base dos rios e ademais são reservatórios naturais de água que possuem uma baixa perda por evaporação.

A gestão da água no meio rural é um tema que não se desvincula das mudanças climáticas, pois a tendência é que, em função dessas mudanças, as áreas de agricultura de sequeiro se convertam para irrigadas e a previsão é que a área irrigada poderá chegar a representar até 80% do volume da produção da agricultura (The Economist, 2018).

As mudanças climáticas são um processo global que envolve eventos climáticos adversos e extremos, que em vários países estão causando o aumento da vulnerabilidade e, no meio rural, tem como provocado na agricultura, ameaça à biodiversidade, aumento da frequência e intensidade de enchentes e secas, mudança do regime hidrológico etc. Este resultado é contraditório, uma vez que em determinadas regiões a elevação da temperatura permitirá o desenvolvimento da agricultura.

Estas mudanças tendem a atingir mais severamente os países subdesenvolvidos e as populações mais pobres[13] e implicam, necessariamente, na adoção de medidas e investimentos, em iniciativas de adaptação e mitigação que dependem de recursos financeiros e de desenvolvimento da ciência e de tecnologia que muitos países em desenvolvimento não possuem.

No Brasil, as medidas de enfrentamento às mudanças climáticas passam pela mudança da matriz energética, pela redução da produção do gás metano (produzidos principalmente pelos bovinos e peço lixo domiciliar orgânico), pelo

[13] A população de baixa renda reside em áreas mais vulneráveis como encostas, córregos, margens de rios, palafitas, ou mesmo não possuem recursos para perfurar poços etc.

fim da queima de matéria orgânica e melhor uso da adubação nitrogenada, substituindo-a, ao máximo, pela adubação verde.

Outra frente advém da implantação de políticas de adaptação às mudanças climáticas. De acordo com o Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas e levando-se em conta que a água é o elemento chave para as ações de adaptação, o desafio é planejar a infraestrutura hídrica e as ações necessárias à convivência com a variabilidade do clima e ao aumento da resiliência.

Destacam-se as seguintes medidas importantes de adaptação:

i) melhorar as provisões de disponibilidade de água para a irrigação;

ii) construir infraestrutura que garanta uma oferta integrada de diferentes fontes de água possibilitando o seu uso múltiplo;

iii) investir na produção e coleta de dados e no planejamento da gestão da água;

iv) estimular práticas de conservação de solo, promoção do e elevação da infiltração em áreas de recarga de aquíferos.

Setores relacionados com o fornecimento de insumos, produtos e serviços para a agricultura insistem num discurso produtivista de que a necessidade de alimentos para 9 bilhões de pessoas se resolve mediante o aumento da produção, sem questionar esse modelo produtivo também chamado de “revolução verde”, em sua versão atual é um dos fatores responsáveis pelos impactos ao meio ambiente e sobre a mudança do clima.

O sistema de produção alimentar baseado em sistemas agrícolas monoculturais utilizando muitos aportes de insumos e recursos exigiu um preço alto do dos serviços ecossistêmicos prestados pelo meio ambiente com consequências como degradação dos solos, devastação florestal, contaminação e esgotamento das fontes de água superficial e subterrânea e a destruição da biodiversidade com o discurso que isso era feito para a erradicação da fome (Correio do Povo, 2018; Isto É, 2018).

Recentemente a ONU passou a defender a agroecologia como uma importante política de adaptação às mudanças climáticas, redução dos impactos ambientais e parar com erosão genética e perda de hábitos alimentares (Correio do Povo, 2018; Isto É, 2018).

A partir da adoção do sistema de plantio direto nos anos 1980 o país passou a obter duas safras de grãos baseando-se na agricultura de sequeiro e isso resultou de uma condição climática em consequência da barreira geológica representada pela Cordilheira dos Andes. Ela barra a umidade produzida na Floresta Amazônica e as correntes aéreas que sopram em direção ao sul e ao sudeste trazem esta umidade para precipitar nesta parte do pais. Esta condição ambiental privilegiada vem se alterando com o desmatamento da região Amazônica e com as mudanças climáticas.

Desta maneira, a mudança no ciclo hidrológico, com a redução das chuvas oriundas da Amazônia irá impactar a agricultura de sequeiro. A alteração nesta condição climática, rara no planeta, junto com o avanço da fronteira agrícola para regiões nas quais é menor o período de distribuição de chuvas ao longo do ano terá como resultado o aumento da agricultura irrigada que poderá tencionar o acesso aos recursos hídricos, ampliando os conflitos e as disputas em torno das águas superficiais e subterrâneas no país (Figura 6.1).

Baseando-se IPCC AR4, nos modelos HadCM3 A2 e B2, ECH4M4 A2 e B2, Hirata e Conicelli (2012) afirmam que a região Nordeste e Leste da Amazônia (Figura 6.1) serão as mais impactadas com a redução expressiva da precipitação, consequentemente pressionando um conjunto importante de aquíferos regionais: Barreiras, Alter do Chão, Jandaíra, Beberibe, Itaperucu e Bambuí (Hirata e Conicelli, 2012).

Esses autores, baseando-se nos estudos de Doll, Flork (2005) e Doll (2009), analisaram alguns possíveis impactos das mudanças climáticas sobre os aquíferos brasileiros até 2050. Indicam que na região Nordeste ocorrerá uma redução na taxa de recarga dos aquíferos em torno de 70%, para a região Norte a perspectiva é uma redução situada entre 30% e 70%. As regiões Sul e Sudeste a previsão é de elevação na recarga entre 30% e 100%. Nos estados de São Paulo e Paraná a previsão é de decréscimo da recarga em 30% (Hirata e Conicelli, 2012).

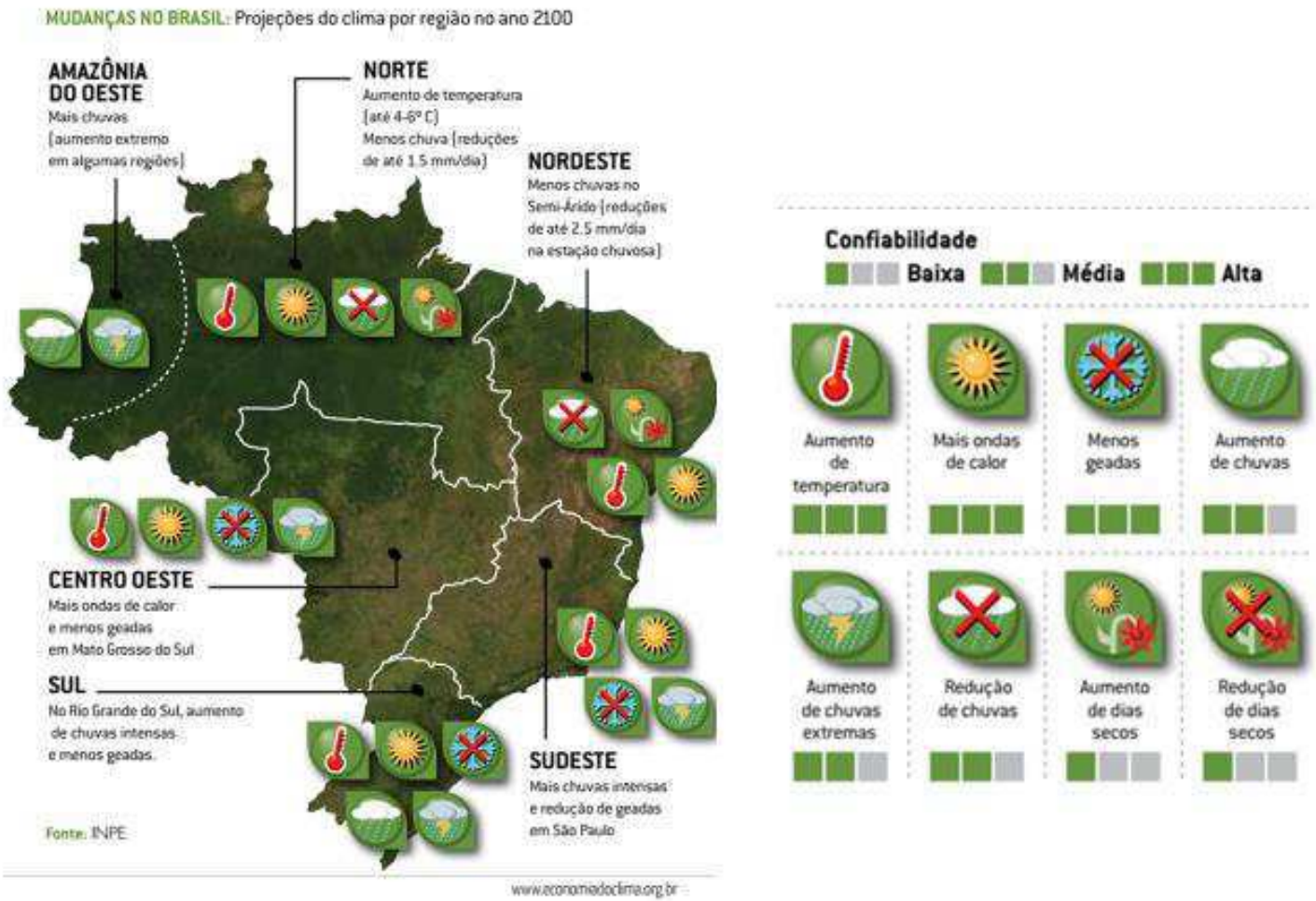


Figura 6.1 Principais Eleitos das Mudanças Climáticas. Fonte: www.economiadoclima.org.br

Nessa situação, os aquíferos aumentam sua relevância, pois desempenharão importantes serviços ecossistêmicos de provisão, regulação e suporte, garantindo a manutenção da vazão de base dos rios e a regularização do abastecimento para as diferentes necessidades humanas e produtivas (Hirata e Conicelli, 2012). Destacam-se especialmente o caso dos aquíferos Guarani, Serra Geral, Bauru-Caiuá, Barreiras, Alter do Chão, Urucuia-Areado, Itapecuru e Bambuí (Hirata e Conicelli, 2012).

Consequentemente, como afirmado anteriormente, o uso intensivo de águas subterrâneas em associação com as mudanças climáticas a redução da precipitação e dos volumes de chuva poderão alterar os processos de recarga e consequentemente, a vazão das nascentes. Nos casos mais graves rios perenes poderão tornar-se rios intermitentes, por conta das mudanças no fluxo de base. Para o caso brasileiro a carência de estudos sobre como as mudanças do clima irão impactar o aumento da demanda de água dos aquíferos com grau de detalhe suficiente para subsidiar programas de gestão das águas subterrâneas (Hirata e Conicelli, 2012).

Com relação ás águas subterrâneas o Atlas da Agricultura Irrigada cita o oeste baiano com forte uso de água subterrânea e que as metodologias aplicadas não captam a situação das mesmas e como as captações podem vir a interferir na vazão de base dos rios. O cálculo da água consumida pela agricultura e pelo pecuária trabalhou com alguns elemento: 1 – que a captação é toda de água superficial, 2 – o volume consumido por espécie animal pelo rebanho total de cada uma dessas espécies, 3 - na agricultura irrigada, a espécie cultivada, a área plantada e a demanda de água no seu ciclo produtivo anual se deu a partir da quantidade e espécie de animais, e sua demanda hídrica e das áreas e culturas irrigadas e sua demanda hídrica, partindo do pressuposto que toda agua advém de captação superficial.

6.1 Aspectos de Gestão das Águas Subterrâneas e Adaptação às Mudanças do Clima

A gestão de recursos hídricos no Brasil em seu arranjo legal e constitucional criou algumas incongruências em termos de dominialidade entre

o que é de responsabilidade dos estados e da União[14] e que rebate na gestão da águas subterrâneas. A Constituição Federal de 1988 definiu as águas como bens de uso comum e definiu a sua dominialidade da seguinte maneira: "*lagos, rios e quaisquer correntes de água* (em terrenos federais), *ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, se estendam a território estrangeiro, ou dele provenham,* (são de domínio da União)*",* (CF, 1988, Art. 20, inciso III).

No caso dos estados e do Distrito Federal as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito fazem parte dos bens dos Estados e do Distrito Federal (CF1988, Art. 26, inciso I). Ou seja, para as águas superficiais há uma dupla dominialidade. A CF 1988 não definiu uma ordem hierárquica e para as águas subterrâneas são de domínio dos estados (Alves Junior e Herrmann, 2016).

A publicação Governança dos Recursos Hídricos no Brasil (OCDE, 2015) destacou o papel do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) como responsável pela gestão federativa da água e seu esforço em incluir critérios para o uso integrado das águas superficiais e subterrâneas. Esse é um tema importante em bacias hidrográficas nas quais a conectividade entre as águas subterrâneas e superficiais é elevada (Alves Junior e Herrmann, 2016; OCED, 2015).

Na maioria dos casos as bacias de águas subterrâneas englobam mais de uma de águas superficiais. O CNRH e o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) vêm buscando contornar esta situação através de suas resoluções. Podem ser citadas como exemplo as resoluções CNRH 15/2001 e CONAMA 386/2008 (Alves Jr, Herrmann, 2016).

No caso do consumo de água pelos estabelecimentos agropecuários dentro de um contexto de uso múltiplo da água e de gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos, superficiais e meteóricos, é necessário ter a noção real da vazão de cada uma dessas fontes, quanto está sendo retirado e

[14] Enquanto os primeiros tem o domínio da gestão das águas, os municípios têmm a dominialidade sobre o uso e a ocupação do território que afetam rios e aquíferos de forma diferenciada. Entretanto, no meio rural, esta dominialidade é compartilhada com o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) que define se a terra perdeu ou não sua função agropecuária (HERRMANN, H., 2016; OECD, 2015)

além de averiguar como os agricultores gerenciam essas diferentes fontes de água e qual o uso que fazer da cada uma delas.

É importante esclarecer uma certa confusão entre os termos uso múltiplo da água e uso integrado da água. Enquanto o primeiro se refere aos diferentes usos consuntivos e não consuntivos que ocorrem ao longo de uma bacia hidrografia e que, de acordo com a Lei 9.433/1997 (Brasil, 1997), é papel dos comitês planejar, o conhecimento e as demandas de consumo, de forma a atender às necessidades existentes, incluindo a vazão dos rios e de seus serviços ecossistêmicos. O segundo termo prevê uma gestão das águas buscando integrar as diferentes fontes de recursos hídricos: superficiais, subterrâneos, meteóricos e inclui as águas de reuso. Proposição esta que se faz presente na Lei por via indireta através de resoluções do CNRH e CONAMA.

A visão da gestão integrada de recursos hídricos (GIRH), assim como a dos serviços ecossistêmicos, integra uma visão sobre o uso dos recursos naturais, especialmente a água com aspectos sócio–econômicos. Ela tem sua origem no Global Water Paternship (GWP) que busca destacar o peso dos fatores sociais e econômicos sobre os fatores físicos e busca demonstrar que a água é uma questão central para o meio ambiente, a sociedade e a economia (Cook, Spray, 2012).

Em situações críticas e que envolvem importantes rios federais, a União, através da ANA, vem financiando estudos na busca construir uma proposta de gestão compartilhada entre a União e os estados. Vale citar o trabalho realizado para o Sistema Aquífero Urucuia (SAU) e o Sistema Areado (SAA), localizados na região hidrográfica do Rio São Francisco, para identificar qual o nível de interferência que os usos de suas águas subterrâneas teriam sobre a vazão do Rio São Francisco. Identificou-se que os mesmos têm uma contribuição média de 30% para a Bacia do Rio São Francisco. Esta contribuição é menos significativa nos meses de dezembro a abril, variando de 10% a 50%. Entretanto, nos demais meses sua contribuição cresce muito, chegando a 80% nos meses de agosto a outubro e até 90% nos meses de setembro e outubro (CONSÓRCIO ENGECORPS-WALM, 2017, p. 21).

Para a gestão deste Aquífero Urucuia que envolve Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Tocantins, Piauí, Goiás e União, a Ana propôs a definição de áreas integradas e compartilhadas. Também propôs a criação de comissões

interestaduais de caráter consultivo, que integrarão um grupo gestor responsável pela avaliação da implantação de resoluções conjuntas e para a troca de experiências entre as Comissões Interestaduais além da definição de medidas de preservação do sistema aquífero. A gestão deve trabalhar na base de instrumentos integrados e compartilhados, através de normativos integrados de administração e planejamento considerando que a disponibilidade hídrica não pode ser uma superficial e outra subterrânea e sim, que se utilizem um balanço integrado (ANA, 2017 a).

6.1.1 Uso intensivo de águas subterrâneas: a experiência internacional e indicativos para o caso brasileiro

A Índia é um caso que se destaca no uso intensivo de águas subterrâneas. Neste país o principal usuário é a agricultura irrigada que responde por 60% a água subterrânea consumida. Esta trajetória teve seu início nos anos 1970 com a “revolução verde” que trouxe o benefício da elevação da produção e da produtividade da agricultura e tornou o país um grande exportador de produtos agrícolas (The Economist, 2018). Esta produção esteve baseada na agricultura irrigada e no consumo de águas subterrâneas com energia elétrica subsidiada e fez da Índia o país que mais consome água subterrânea no planeta. Aquele país vem enfrentando sérios problemas de abastecimento de água e o uso intensivo das águas subterrâneas que têm levado ao aprofundamento dos poços e o aumento do consumo de energia elétrica. Entre 1970 e 1995 a proporção do consumo de energia elétrica consumida pela irrigação cresceu de 10% para 30% (THE ECONOMIST, 2018).

Na China também ocorreu situação semelhante. No final dos anos 1990, o país buscava a segurança e autossuficiência alimentar, a produção se intensifica e como resultado vários aquíferos da região norte foram esgotados e o país passou a importar alimentos. A redução do nível dos aquíferos trouxe sérias consequências para o meio ambiente, vários rios tornaram-se intermitentes, ocorreu o desaparecimento de áreas úmidas, a subsidência de terrenos, a intrusão salina e a perda da qualidade das águas (Alley e Alley, 2017).

Foi justamente do meio para o final dos anos 90 que a China tornou-se um grande comprador de proteínas no mercado mundial e foi nesse período

também que as exportações de commodities do Brasil para aquele começou a crescer.

A Arábia Saudita é outro caso similar. Na busca da segurança alimentar e de tornar-se um grande exportador de trigo, o país nos anos 1970 investiu maciçamente na irrigação desta lavoura, com altos níveis de subsídios. Em 1992, o país tornou-se o sexto maior exportador de trigo no planeta e a persistência nesse tipo de produção em 20 anos aproximadamente levou ao esgotamento dos seus aquíferos. No começo do Século XXI o país abandonou a produção de trigo, pois seus aquíferos, não renováveis, haviam sido exauridos e o país passou a ser importador deste grão (Alley e Alley, 2017; Halverson, 2015) (Figura 6.2).

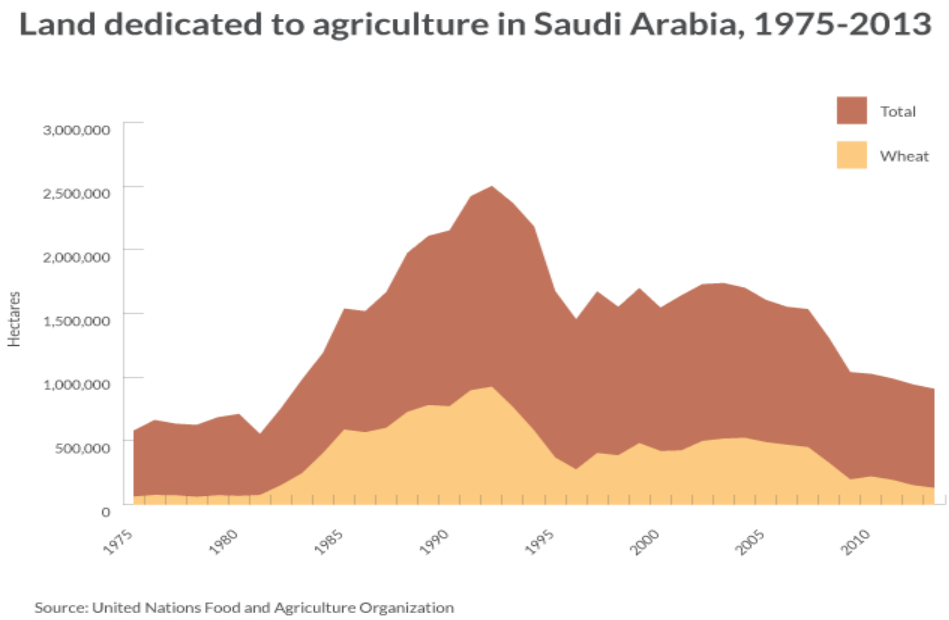


Figura 6.2 Uso do Solo na Agricultura na Arábia Saudita 1975 - 2013. Fonte: Halverson (2015)

Por ter certas características similares na relação de influência do agronegócio na agenda de políticas públicas, escolheu-se também o caso da Califórnia. Este estado americano tem uma população aproximada de 40 milhões de habitantes e aí está localizado o Vale do Silício, que é o território das empresas do ramo de informática. O estado é a principal bacia leiteira dos EUA e produz aproximadamente metade da produção de frutas castanhas (nozes, amêndoas, pistache) e legumes do país e gera uma receita aproximada de U$ 45 bilhões (Alley e Alley, 2017).

Nesse estado, o abastecimento de água tem nas águas subterrâneas 40% de seu suprimento, sendo que deste total 60% é empregado na agricultura irrigada. A Califórnia está localizada numa região semiárida, em consequência há disputa pelo o uso da água entre a área urbana, industrial e agropecuária. No meio urbano 50% do consumo de água, até 2016, tinha como destino a rega dos jardins (Alley e Alley, 2017; Lockwood, 2016).

Durante a seca e crise hídrica de 2013-2017 foi estabelecido um racionamento e um aumento na tarifa de água que atingiu 25 milhões de californianos e mais 300 mil hectares de lavoura irrigada. Em 2015 o consumo doméstico dos EUA caiu 7% em relação a 2010, embora tenha crescido em 14 milhões o número de pessoas atendidas pelo serviços. A Califórnia o foi o principal estado responsável por essa em razão do corte de 25% no fornecimento de água juntamente com a elevação da tarifa (Walton, 2017).

Essa iniciativa reforça a visão de Perry (2018) que considera que somente o aumento as tarifas não dão conta de balancear oferta e consumo de água. É necessário incluir o racionamento. Esta visão é corroborada por Wada (2012) que considera ainda que para alcançar a sustentabilidade no consumo de águas subterrâneas é necessário investir no campo das políticas públicas, na institucionalidade e na economia (Alley e Alley, 2017).

O racionamento da oferta de água superficial, no meio rural levou ao aumento da extração de águas subterrâneas. Em reportagem de um programa de TV indagou-se aos agricultores, cujos poços haviam secado, se aprofundar continuamente seus poços não pioraria ainda mais a situação e a resposta foi que não havia como não fazê-lo sob pena de perder as cultura, é um moto continuo negativo.

Este quadro gerou uma disputa e um conflito por acesso à água e ao aprofundar continuamente poços tubulares elevou-se o custo de bombeamento em função do rebaixamento do nível dos aquíferos e acentuou-se o processo de subsidência. A Califórnia, até 2014, era o único do oeste americano que não possuía uma legislação e nem programa de gestão de águas subterrâneas. Entre a seca de 1976 e a de 2014, as agências locais buscaram introduzir lentamente normativos para restringir o uso da água proveniente dos aquíferos, mas estas iniciativas sofreram oposição do poderoso lobby do agronegócio californiano,

que anulava, a nível estadual, as ações implementadas local e regionalmente (Alley e Alley, 2017; Runsten, 2016).

Nessa seca houve uma grande mobilização no Estado. As agências de água realizaram forte campanha e distribuição de material para medir umidade dos jardins, curso de jardinagem para difundir o cultivo de plantas adaptadas ao semiárido, ampulhetas para o controle do tempo de banho, entre outros. Ainda, a agência de águas pagou a troca de eletrodomésticos que consumiam grandes volumes de água, como máquinas de lavar de roupa e de louças entre outros, para obter a redução do consumo. (Lockwood, 2016).

Com o estímulo proporcionado pelas consequências da seca e as projeções apresentadas dos possíveis efeitos futuros das mudanças climáticas houve uma grande mobilização de setores da sociedade civil organizada, do setor industrial e um forte engajamento dos centros universitários, especialmente a Universidade da Califórnia (Alley e Alley, 2017; Fogg, 2016). Apesar da oposição da Federação Estadual dos Agricultores e demais lobbies setoriais do agronegócio, nesse período da seca o tema central foi a gestão e o consumo das águas (Lockwood, 2016; Hunsten, 2016).

Em 16 de setembro de 2014 o governador Brown assinou a Lei de Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas (SGMA). A Lei focou a gestão nas mais de cem bacias que envolvem a maior parte dos aquíferos do Estado. Elas eram as que se encontravam em situação mais crítica.

Foster e Ait-Kadi (2012) consideram que a gestão de recursos hídricos deve ter como centro a questão da participação de forma a envolver usuários, o setor de planejamento e os gestores em diferentes níveis. Pode-se acrescentar, a partir do que foi citado sobre o caso californiano, o papel e a importância da participação da sociedade organizada, uma vez que, a depender de decisões tomadas, os serviços ecossistemas poderão ser afetados, como também o bem-estar da coletividade.

Durante a realização de entrevistas qualitativas detectou-se que em municípios de Minas Gerais e Bahia estava ocorrendo a seca de poços em consequência da interferência entre poços vizinhos e rebaixamento do nível do aquífero. Identificou-se que aproximadamente metade dos estabelecimentos nesses municípios possuíam poços tubulares.

Assim considera-se que cinquenta por cento dos estabelecimentos de um município possuindo poços tubulares pode ser um indicador de uso intensivo de água subterrânea. Em 2017, esta situação foi encontrada em 760 municípios espalhados pelo país (Figura 6.3), ela é sete vezes e meio superior à encontrada em 2006, quando havia apenas 102 municípios nesta situação (Apêndice D).

Seis estados concentram 81% dos municípios enquadrados nesta situação, em ordem decrescente: São Paulo (32%), Goiás (13%), Minas Gerais (12%), Rio Grande do Sul (9%), Mato Grosso (6%), Mato Grosso do Sul (5%) e Paraná (4%) (IBGE, 2017 a).

Outro indicador de uso intensivo de águas subterrâneas foi calculado a partir da comparação da vazão explotável sustentável determinada pela ANA (2017 b) e que foi comparada com as vazões de quatro m^3/h e 7 m^3/h para o ano de 2017.

Os resultados obtidos foram que em comparação com a vazão explotável sustentável da ANA identificou-se para o aquífero Açu o uso intensivo quando a vazão é de 4 m^3/h, já a vazão de 7 m^3/h identificou-se uso intensivo dos aquíferos Cabeças, Açu e Marizal.

Também, foi realizada a comparação com a projeção de vazão explotável sustentável calculada por Hirata e Conicelli (2012) para 2050 tanto com a vazão de 4 m^3/h e a de 7 m^3/h (com Tabela apresentada no ANEXO). Para o ano 2050, com a estimativa de 2 milhões de poços tubulares e a vazão 4 m^3/h identificou-se a situação de uso intensivo nos Aquíferos Cabeças, Açu, Motuca, Marizal, Jandaíra e Serra Grande. Quando feito o cálculo para 7 m^3/h acrescentou-se o aquífero Corda.

Outra forma de apresentar a concentração de poços tubulares é pela sua distribuição em diferentes biomas brasileiros. Na figura 6.4 destacam-se o Cerrado e a Amazônia, biomas que estão sendo ocupados pela pecuária bovina, suína, avicultura bem como para a expansão da agricultura principalmente com vistas a e exportação.

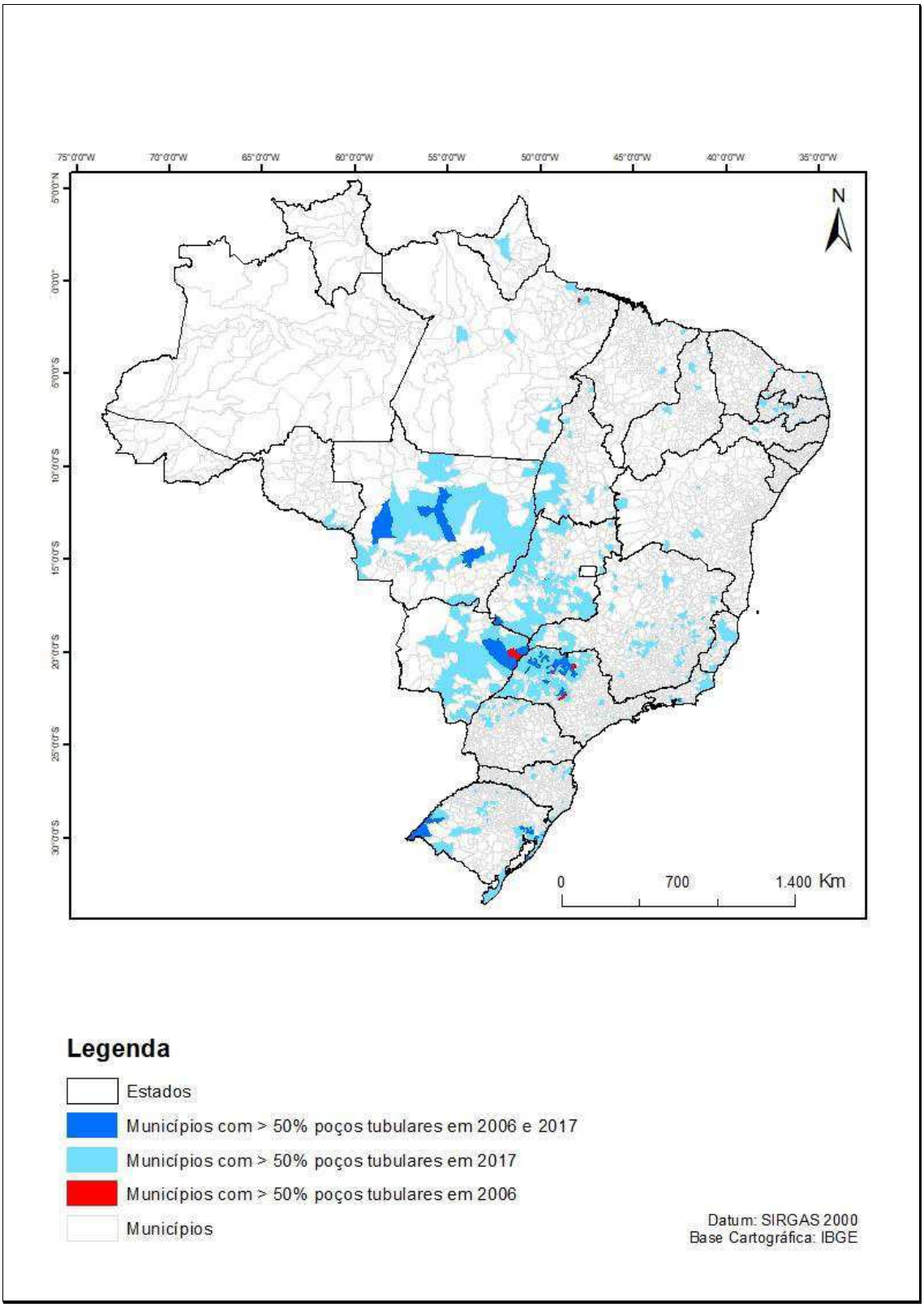


Figura 6.3 Municípios com alta concentração do poços tubulares anos 2006 e 2017. Fonte: IBGE, 2006; IBGE 2017 a, organizado pelo autor.

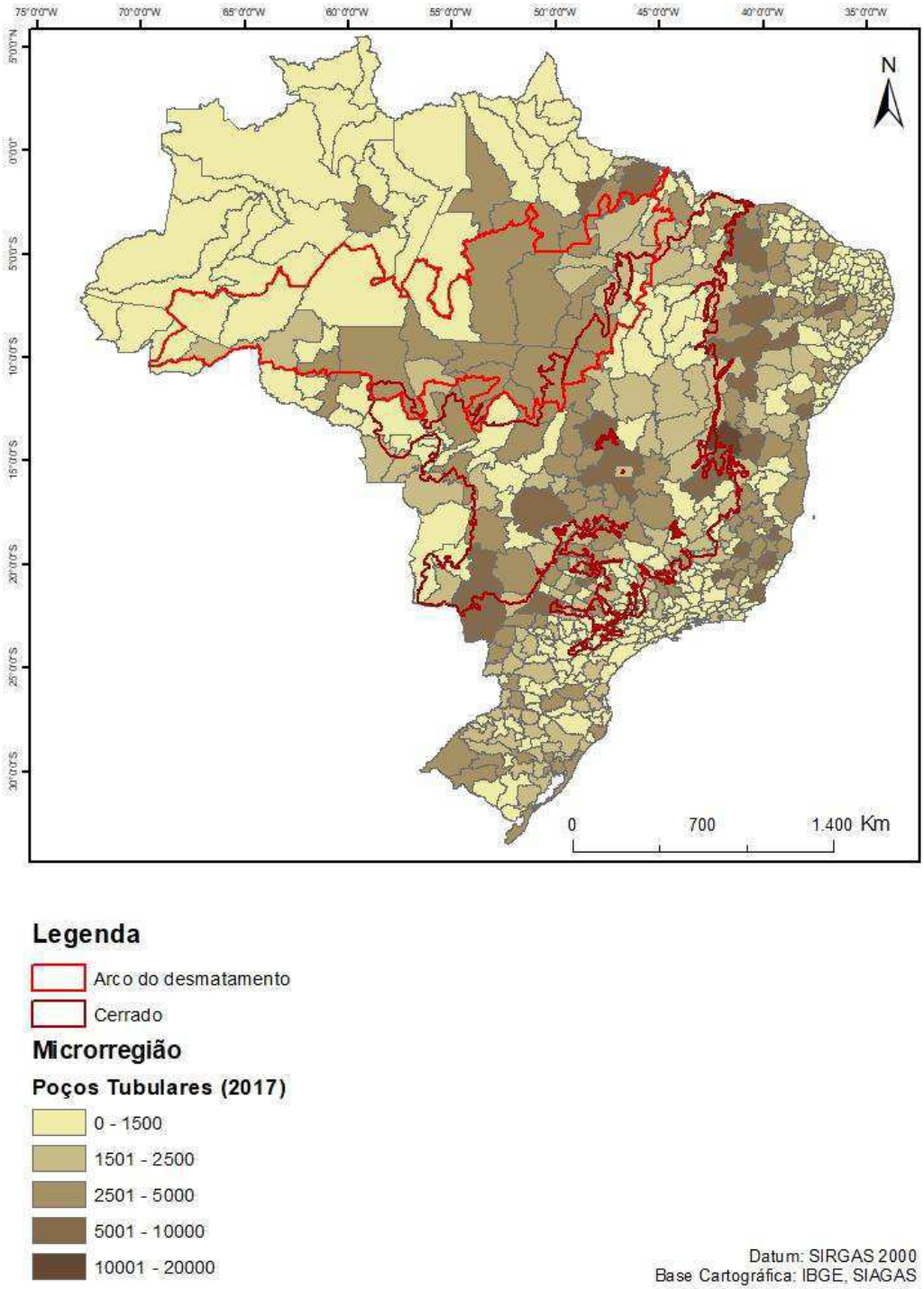


Figura 6.4 Poços Tubulares por Microrregiões do Brasil com Destaque para o Cerrado e o Arco do Desmatamentos. Fonte: IBGE, 2017 a, organizado pelo autor.

6.1.2. Uso Integrado e Conjuntivo das diferentes fontes de água, conjuntivo, práticas agrícolas e recarga de aquíferos

O planejamento e gestão da água subterrânea para uso na agropecuária deve levar em consideração ao menos três aspectos a fim de aumentar a segurança hídrica e a resiliência:

(i) o uso integrado das águas superficiais e subterrâneas

O *uso integrado* é uma forma de incorporar a noção de funções e serviços ecossistêmicos à gestão de recursos hídricos. Este conceito parte da noção que o ciclo hidrológico é naturalmente integrado e que a vazão de base é o elo desta integração. Assim para a prática do uso integrado é preciso conhecer a disponibilidade real de água subterrânea e superficial, pois em casos de uso intensivo as explotações poderão provocar conflitos entre usuários pelo acesso à água, interferir nos volumes outorgáveis da vazão explotável e na vazão de base dos rios (Moraes, Gaspar, 2019).

A gestão integrada busca assegurar o equilíbrio entre o uso econômico, social e a manutenção dos ecossistemas, reduzindo a possibilidade de danos ambientais como a seca de poços e de rios, a salinização de aquíferos costeiros e a subsidência (sobretudo regiões cársticas no Brasil), a fim de enfrentar situações de bacias com demanda elevada e conhecer a disponibilidade hídrica superficial e subterrâneas.

Numa perspectiva de mudanças climáticas a gestão integrada pode ajudar a aumentar a resiliência aos extremos climáticos, neste caso a seca, pois durante este período poderá elevar o valor para o consumo de volumes de água que poderão ser recuperados com o retorno das chuvas.

No caso da gestão da água dentro de um estabelecimento agropecuário que conte com diferentes tipos de fontes, estas podem ter seu uso organizado a partir da qualidade de cada uma delas, dos volumes disponíveis, da praticidade em termos de acesso ou captação, dos custos envolvidos no seu consumo e de qual a finalidade do uso, se dessedentação humana, dessedentação animal, irrigação para a produção de folhosas, lavouras permanentes ou temporárias, e se existe ou não a presença de agroindústria no interior deste estabelecimento.

No caso da produção de folhosas e outro produtos hortícolas e da produção de animais como aves, suínos e bovinos a qualidade da água é

fundamental e possui regras contratuais nos processos de integração com a agroindústria e exigem água isenta de organismos e substâncias prejudiciais à saúde dos animais e dos consumidores. Periodicamente as agroindústrias fazem coletas de água para fiscalizar a qualidade (Silva, et al, 2014).

Na maioria dos casos estas exigências, muitas vezes, descartam a possibilidade do uso de água de rio e poço cacimba e direcionam para a captação de água de nascente e para as águas subterrâneas. A escolha da fonte também levará em conta os volumes disponíveis, a praticidade da captação e os custos envolvidos.

(ii) o uso conjuntivo das águas superficiais e subterrâneas

O uso conjuntivo é uma aplicação do uso integrado de recursos hídricos que busca organizar o uso alternado entre águas subterrâneas e superficiais, ele aproveita a capacidade dos aquíferos de armazenar água para utilizá-la no período da seca, sazonais ou prolongadas, garantindo a segurança hídrica e reduzindo a demanda de água superficial (Evans, 2012).

Este sistema se desenvolve em aquíferos livres onde a recarga ocorre anualmente. Já a sua adoção em aquíferos confinados nos quais a recarga é um processo temporal muito longo este processo é prejudicado, pois estará sendo explotada uma água cujo processo de recarga pode ser centenário ou mesmo milenar.

A recarga nos aquíferos livre é central para viabilizar o uso conjuntivo, desta forma é necessária uma ação coordenada entre uso e ocupação do solo, processos produtivos e os processos de recarga (Foster, Ait-Kadi, 2012).

O uso conjuntivo e o uso da recarga para tal finalidade merece mais estudos, inclusive porque os processos perdas por evaporação são menores que dos mananciais superficiais. O Conjuntura Recursos Hídricos da ANA (2017 b), informou que as perdas totais dos reservatórios superficiais e grandes açudes por evaporação foram de 782 m^3/s, elas são maiores que o uso consuntivo da agricultura de 745 m^3/s.

(iii) a relação entre as práticas agropecuárias e a recarga dos aquíferos

A recarga pode ocorrer naturalmente ou ser induzida de diferentes maneiras. No caso da agricultura e da pecuária, práticas como o aumento e manutenção dos teores de matéria orgânica que agregam o solo, facilitam a infiltração, retém a umidade e diminuem as perdas por evaporação, assim como

também as práticas de conservação de solos, tais como o controle da erosão através do reflorestamento, do terraceamento, da construção de curvas de nível, proteção de talude, construção de bacias de retenção e infiltração de água de chuva no meio da lavoura, são essenciais para promover a recarga natural.

Deve-se ter cuidado com a recarga que ocorre em áreas de cultivos intensivos em solos são arenosos. Estes são muito friáveis[15] e permeáveis, e têm uma baixa capacidade de reter poluentes, o que também reforça a necessidade da normatização das formas de uso e ocupação do solo para manter a qualidade natural das águas (Albuquerque Filho, 2011).

No Brasil a promoção da recarga enquanto uma forma de armazenamento de água, seja por processos naturais ou induzidos, ainda sofre resistências em função do receio da qualidade das águas a serem infiltradas. Porém, em vários países nos quais a dependência de água proveniente de aquíferos é maior existem diferentes experiências de recarga artificial e existem processos de tratamento e de monitoramento da qualidade das águas a serem infiltradas que podem ser provenientes de rios, durante a estação chuvosa, de chuva, ou de reuso.

Na Califórnia, em entrevistas realizadas em 2016 pelo autor com a finalidade de analisar a gestão da crise hídrica naquele Estado, foi possível constatar o resultado da promoção de processos de recarga artificial através do pagamento de serviços ambientais para agricultores, que destinaram parte de sua área produtiva para promover a recarga artificial e ajudar a conter uma pluma de intrusão salina. Esta intrusão resultou do uso intensivo de água subterrânea para a irrigação e as áreas de recarga ficaram localizadas próximas ao mar. O resultado foi a reversão do processo de avanço dessa pluma salina (Lockwood, 2016).

Aproveitando a função ecossistêmica dos aquíferos de armazenar e reter grandes volumes de água por um longo período e conhecendo bem a dinâmica dos diferentes aquíferos existentes no território brasileiro a prática da recarga

[15] A consistência quando úmido é caracterizada pela friabilidade. A friabilidade caracteriza a facilidade de ruptura da massa do solo úmido. As condições para as quais um solo exibe friabilidade são também aquelas ótimas para a aração, e são apresentadas quando a coesão entre as partículas sólidas do solo é mínima. Friável: a massa do solo se rompe entre os dedos, por aplicação de pressão fraca.

pode contribuir em muito, não apenas para o seu uso conjuntivo no meio rural, mas também para o abastecimento urbano.

Esse quadro reforça não apenas o papel da pesquisa, mas também o da popularização e difusão do conhecimento e da informação tanto para reduzir preconceitos como para aumentar a formação da consciência que promova o uso sustentável e proteção da qualidade para o uso presente e futuro das águas subterrâneas. Esta base de informação em períodos de seca, como o vivenciado no país na última década, podem contribuir para avanços na gestão integrada dos recursos hídricos, a exemplo do que ocorreu na Califórnia (Albuquerque Filho, 2011).

6.1.3 Gerenciamento de água na irrigação

Apesar do aumento dos volumes produzidos e do Valor Bruto de Produção, o avanço da agricultura irrigada traz consigo algumas consequências como: a elevação do uso de agrotóxicos por hectare, o aumento do processo erosivo dos solos, a maior incidência de pragas e doenças, a elevação do risco da contaminação dos aquíferos e mananciais superficiais em função da percolação e do escorrimento de fertilizantes e agrotóxicos, a elevação das áreas salinizadas e pode promover o desperdício de água.

Esse avanço pode gerar conflitos na disputa pelo recurso, seja por barramentos, competição entre poços vizinhos e rebaixamento do nível dos aquíferos, em função da situação de falta da outorga que impede a boa gestão do consumo das águas subterrânea. O conflito em Correntina, Bahia, em 2017, mostra exatamente essa situação, com a população reagindo à falta d'água com marchas reivindicando o direito de acesso, pois a água passou a ser consumida por um grande projeto de produção irrigada. Enquanto a ANA citou 1423 poços, o IBGE chegou a 2.502 poços tubulares.

Esta situação revela os problemas no gerenciamento das outorgas para a captação superficial de água para irrigação, que deveria analisar os possíveis impactos à montante e à jusante da captação ou do barramento. Para as águas subterrâneas a o processo deve avaliar a quantidade de poços e a vazão outorgada antes de emitir novas autorizações para evitar a superexplotação e interferência na água subterrânea.

Esta situação de informalidade relacionada à outorga deveria ser motivo de questionamento pelo estado nas politicas de gerenciamento do uso de água. No caso da agropecuária integrada com a agroindústria e a cadeia de serviços alimentares, existem várias exigências quanto à qualidade da água empregada na produção pelos agropecuaristas fornecedores, mas não a um questionamento sobre a situação a outorga, nem mesmo das certificadoras relacionadas com o tema ambiental.

Porém o pequeno produtor que não tenha estes mesmos condicionantes, ao considerar o aumento de custos decorrentes das taxas para a obtenção da outorga, e da execução do projeto por profissional habilitado, opta por fazer a perfuração de forma clandestina, visto que este aumento de custos pode chegar a 50 % acima do valor de perfuração.

Já no caso do consumo da água de irrigação propriamente dita, as perdas no processo de captação, distribuição e aplicação em razão de furos, encaixes mal realizados, perdas por evaporação, bicos aspersores mal regulados etc. chegando à quase 50% (The Economist, 2018).

No caso brasileiro, em 2006, o PNRH destacou uma perda de água superior a 50%. Sendo que desse total, 30% correspondiam a perdas ao longo dos sistemas de uso comum (canais de distribuição) e 20% dentro das unidades produtivas. Considerou-se no PNRH que a melhora da manutenção e dos sistemas de distribuição, dentro e fora das propriedades, permitiria diminuir os conflitos e garantir o uso múltiplo da água ao longo da bacia hidrográfica, ou mesmo, elevar em 25% a área irrigada no país (MMA, 2006).

A gestão da água na agricultura irrigada ao centrar o foco em temas como redução de perdas na captação, distribuição e percolação, e secundarizar as perdas por evaporação e evapotranspiração, muitas perde o foco holístico, o ciclo hidrológico. As perdas por percolação, não são de todo ruim, uma vez que recarregam rios e aquíferos.

Geralmente, os especialistas em irrigação tendem a destacar o sistema de gotejamento e micro aspersão como os melhores, pois perdem menos água, no gotejamento o grau de aproveitamento é da ordem de 95-97% (The Economist, 2018).

Entretanto, nos processos de irrigação, Foster e Perry (2010) alertam que a preocupação com as perdas de água por percolação, que alcança o freático e

realimenta rios e aquíferos, não deveria ser o foco. A proporção de perdas por evaporação e dissipação na atmosfera são proporcionalmente maiores, mais difíceis de reduzir e o sistema aquífero-rio não se beneficia com ela.

Considerando-se o tema da gestão da água na agropecuária o foco na tecnologia aplicada na irrigação que muitas vezes reduz o consumo de energia e aumenta a eficiência da rega, 'mas não reduz o consumo total de águas subterrâneas. Pensar em retirar subsídios que são pequenos na tarifa de energia impacto na redução do consumo' (Foster, Ait-Kadi, 2012, p. 416).

Atualmente, existe conhecimento suficiente que permite atenuar e controlar os impactos da irrigação. Ele pode ser disseminado pela assistência técnica, pela educação formal e ambiental, ONGs e outras organizações sociais.

Entretanto, a condição de pobreza, baixos níveis educacionais e a ausência de uma boa assistência técnica dificultam ou impedem o acesso ao conhecimento e ao financiamento necessários para a boa gestão da água, a conservação de solos e a adequada manutenção e operação da infraestrutura de bombeamento e de irrigação.

No caso da formação dos técnicos que lidam com a assistência técnica no meio rural (Hirata e Varnier, 1998), alertam para uma importante carência nos cursos superiores de agronomia do país e que está relacionada ao escasso conhecimento sobre as águas subterrâneas e da sua conectividade com as águas superficiais e subterrâneas (Hirata, Vernier, 1998; EMBRAPA, 2015).

6.1.4 O programa "Água Doce" e a política de adaptação às mudanças do clima para o semiárido

Nas últimas duas décadas o governo brasileiro promoveu várias iniciativas relacionadas com a segurança hídrica como a transposição do Rio São Francisco, retomada das ações que envolvem o avanço da irrigação e políticas para o fortalecimento da segurança alimentar. No caso da ações para o fortalecimento da segurança alimentar a decisão do governo foi privilegiar a região Nordeste.

No caso do semiárido, o governo federal respaldou e apoiou a iniciativa da Articulação do Semiárido (ASA) incorporando suas metas ao Programa de Segurança Alimentar. Leis, normas e decretos[16] foram moldando a relação entre a política de segurança hídrica e a política de segurança alimentar. A disponibilidade de água para consumo humano, animal, o uso doméstico e a produção irrigada são demandas da população do semiárido e também da agricultura familiar (III CNSAN, 2007; 1ª CNDRSS, 2008).

A ASA resultou da organização de um conjunto de entidades da sociedade civil: sindicatos, organizações sociais, ONGs, igrejas entre outras, que se organizaram na defesa da mudança do foco das políticas para o semiárido, que ela deixasse de ser "combate à seca" e se tornasse "convivência com o semiárido".

Uma das finalidades da ASA foi a meta de construir de "Um Milhão de Cisternas" no semiárido, a partir do fortalecimento de vínculos e da organização comunitária, com uma proposta de também gerar empregos durante o processo construtivo inclusive propondo o desenvolvimento de uma agricultura que

---

[16] - a 3ª Conferência Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, que entendeu que o "acesso à água é direito humano básico que necessita ser efetivado para toda a população", (III CNSAN, 2007).

- As deliberações da 1ª Conferência Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável e Solidário (1ª CNDRSS), em agosto de 2008, abordaram a relação entre segurança hídrica e alimentar, a convivência com a seca e as dificuldades em se cumprir determinadas exigências ambientais: de acordo com as regras:

"Os recursos hídricos constituem elemento essencial na reprodução e melhoria da qualidade de vida dos(as) agricultores(as) familiares, camponeses(as), povos indígenas e comunidades tradicionais. Esforços devem ser feitos para que se aplique a "Lei das Águas" (Lei nº 9.433/97) ... (a) adoção de políticas públicas que busquem desenvolver alternativas de convivência das populações em áreas do semiárido e regiões que regularmente sofrem com a escassez de água, assim como de políticas de preservação, conservação, recuperação e uso responsável dos recursos hídricos."

No processo de regulação da Lei de Saneamento, via o Decreto nº 7.217, de junho de 2010, foi incluído o tema do acesso difuso à água para a população de baixa renda dando ênfase ao semiárido:

"Art. 68 – a União apoiará a população rural dispersa e a população de pequenos núcleos urbanos isolados na contenção, reservação e utilização de águas pluviais para o consumo humano e para a produção de alimentos destinados ao autoconsumo, mediante programa específico que atenda ao seguinte:

Utilização de tecnologias sociais tradicionais, (...) especialmente na construção de cisternas e de barragens simplificadas; e (...)

2º. O programa mencionado no caput será implementado, preferencialmente, na região do semiárido brasileiro".

Este conjunto normativo foi o que possibilitou posteriormente a consolidação do Programa Água Para Todos como parte do Programa Brasil Sem Miséria

conviva com o bioma do semiárido e não mais uma agricultura que consome grandes quantidades de insumos e de recursos naturais.

A segurança alimentar está relacionada com as necessidades de dessedentação humana, preparo de alimentos e higiene que evita o risco hídrico e as doenças de veiculação hídrica. No caso da agricultura familiar ela contribui para melhorar a produção de autoconsumo e a criação de animais.

Conforme já explicado no Capítulo 3 a geologia e a hidrogeologia da Região Nordeste limitam os serviços ecossistêmicos que os aquíferos e as águas subterrâneas podem prestar. Os aquíferos fraturados do cristalino têm baixo armazenamento de água e o clima da região com taxas de evapotranspiração anual de aproximadamente 2.500 mm resultam num baixo excedente hídrico, com o predomínio de água salina ou salobra.

No ano de 2011, com a constituição do Programa Água Para Todos[17], buscou-se ampliar a segurança hídrica para as populações pobres e vulneráveis,

---

17 O Decreto nº 7.535/2011 criou o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água, "Água para Todos", com a finalidade de:
"promover a universalização do acesso à água em áreas rurais para consumo *humano e para a produção agrícola e alimentar, visando o pleno desenvolvimento humano e a segurança alimentar e nutricional de famílias em situação de vulnerabilidade social":*
"Art. 2º. O Programa "Água para Todos" observará as seguintes diretrizes:
Priorização da população em situação de extrema pobreza, (...); Fomento à ampliação da utilização de tecnologias, infraestrutura e equipamentos *de captação e armazenamento de águas pluviais;* Fomento à implantação de infraestrutura e equipamentos de captação, reservação, tratamento e distribuição de água, oriunda de corpos d'água, poços ou nascentes e otimização de seu uso; e Articulação das ações promovidas pelos órgãos e instituições federais com atribuições relacionadas às seguintes áreas: Segurança alimentar e nutricional; Infraestrutura hídrica e de abastecimento público de água; Regulação do uso da água; e Saúde e meio ambiente*."*
O Decreto nº 7.272, de 2012 que instituiu a Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PNSA) complementou, em seu o Artigo 3º parágrafo VI, a Política de Segurança Hídrica:
"VI - Promoção do acesso universal à água de qualidade e em quantidade suficiente, com prioridade para as famílias em situação de insegurança hídrica e para a produção de alimentos da agricultura familiar e de pesca e aquicultura".
Este decreto orientou a elaboração do 1º Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PLANSAN), teve vigência entre 2012 e 2015, institucionalizou e organizou a implantação das políticas de segurança hídrica relacionada com a segurança alimentar (MDS, 2011).

O documento do 1º PLANSAN destacou o vínculo entre segurança alimentar e segurança hídrica, principalmente em função da realidade das regiões Norte, (com 60,3% dos domicílios com abastecimento de água) e Nordeste (com 79,9% dos domicílios com abastecimento de água). Já para o meio rural, 20% da sua população não possuía canalização de água no domicílio e 30,3% das residências não possuíam ligação com as redes de abastecimento. Na zona rural os estabelecimentos agropecuários sem nenhuma fonte de água representavam 37% do total (1º PLANSAN,2016, ANA, 2010; IBGE, 2006).

O 2º PLANSAN vigente de 2016 até 2019, propôs em seu Desafio 7
"ampliar a disponibilidade hídrica e o acesso à água para a população, em especial a população pobre no meio rural" e promover a segurança hídrica em equipamentos de serviços públicos essenciais de saúde e educação.

principalmente aquelas localizadas na região semiárida. Este Programa trabalhou com três fontes de água: as águas superficiais dos rios intermitentes do sertão (com pequenos barramentos), com as águas meteóricas ou de chuva (retenção e reservação em cisternas e barragens subterrâneas) e com as águas subterrâneas (bombeamento e dessalinização).

Como parte do Água Para Todos, o *Programa "Um Milhão de Cisternas"* coordenou as linhas de retenção e armazenamento de águas superficiais e de chuva, e o Programa *"Água Doce"* (PAD) promoveu a dessalinização de água subterrânea na região do semiárido, em áreas comunitárias, não localizadas no interior dos estabelecimentos agropecuários para atende estabelecimentos em fonte de água doce em seu interior (MDS, 2016).

O *"Um Milhão de Cisternas"* até o final de 2018 havia apoiado a construção de 959 mil cisternas de 1ª Água, que se destina ao consumo das famílias e dos animais e armazena até 16 mil litros de água. Além de outras 201 mil cisternas de 2ª Água que se destina para a rega de pequenos cultivos, armazenando até 52 mil litros de água. Ademais, foram instaladas 6.500[18] cisternas em escolas do Nordeste (UOL, 2019).

Os dados do Censo 2017 captaram o crescimento da quantidade de cisternas construídas no Nordeste do país. Entre os Censos 2006 e 2017 houve um incremento no número de cisternas da região da ordem de 669.265, quando comparado aos números de 2006, indo para 1.093.153, em 2017 (IBGE 2006; IBGE, 2017 a).

No *Programa "Água Doce"* (PAD), criado em 2004, a água fornecida para as comunidades é obtida através de processos de dessalinização por osmose reversa da água subterrânea salobra, ou salina.

Na área da gestão de recursos hídricos, a ideia de segurança hídrica apareceu pela primeira vez na Lei 9433 de 1997, sem ter esta denominação. Esta Lei determinou que, em caso de escassez de água, a prioridade do abastecimento é a dessedentação humana e animal. Entretanto, a Lei não tratou do tema das águas subterrâneas que, no Brasil, tem a sua gestão sob a responsabilidade dos estados.

[18] Em seu conjunto, estas cisternas tem capacidade de armazenar até 20,1 bilhões de litros de água de chuva. Ainda em 2019, em todo o país, segundo a ASA Bahia, existe um déficit de 350 mil famílias somente para a cisterna de primeira água (https://projetocolabora.com.br/o-ocaso-da-tecnologia-que-alivia-os-efeitos-da-seca-nordestina, acesso 03/04/2019) .

Para a sua execução o PAD selecionou, inicialmente, 3.145 localidades (Figuras 6.6 e 6.7), com base nos critérios de índices de desenvolvimento humano, de pobreza, mortalidade infantil, a razão entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial e existência de poços perfurados e abandonados por conta da presença de água salina. O programa não perfura poços, ele os reabilita.

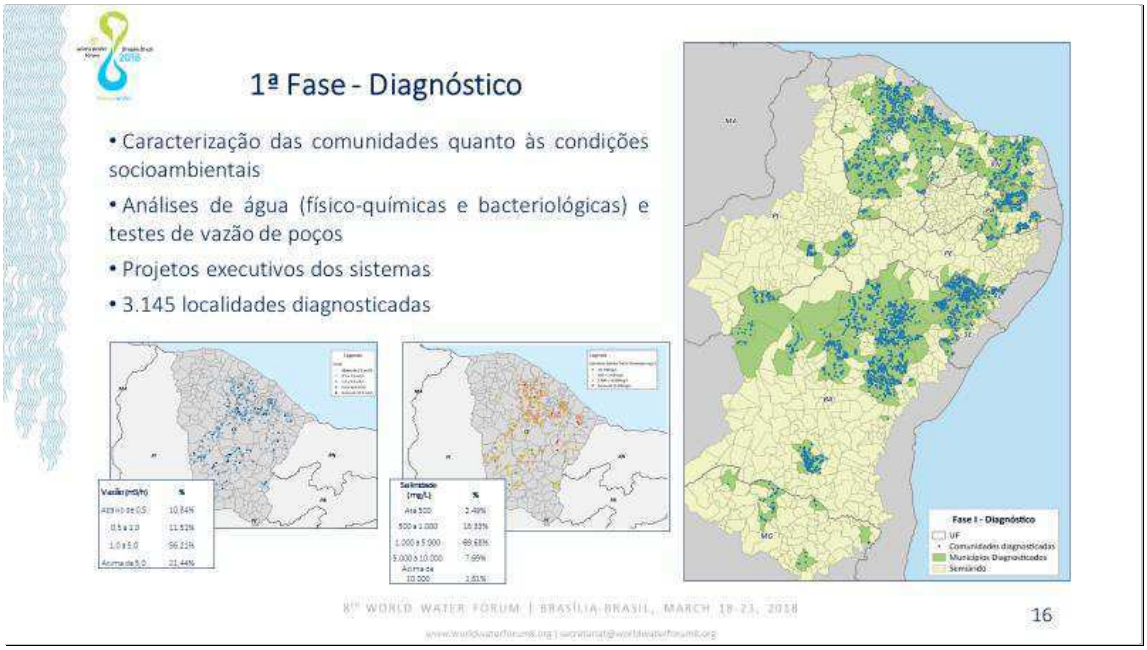


Figura 6.5 Localidades Prioritárias a Serem Selecionadas para Implantação do Programa “Água Doce”. Fonte: Ferreira, 2018 (a)

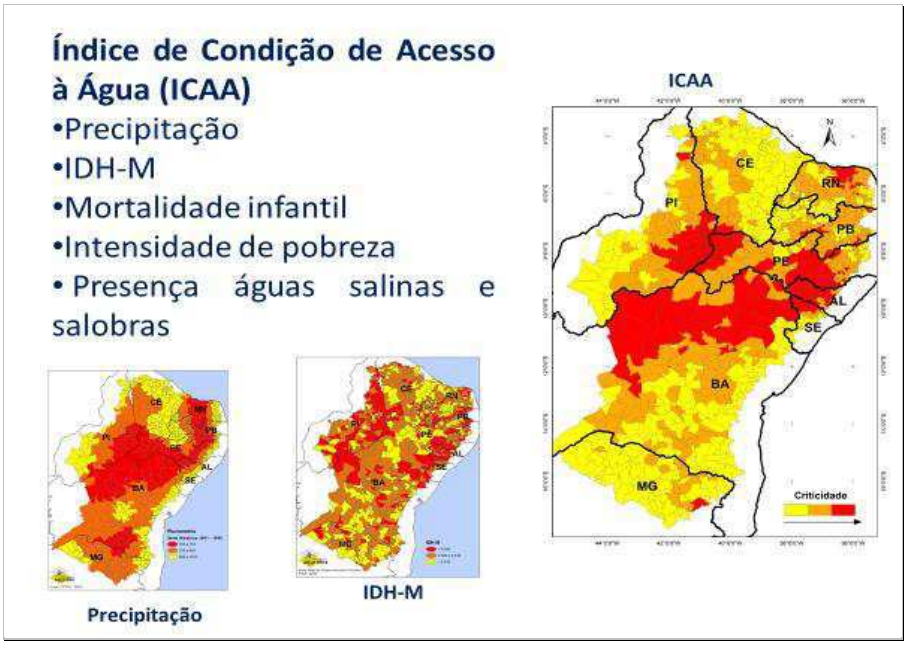


Figura 6.6 Elementos Chave da Seleção Localidades Prioritárias para Implantação do Programa "Água Doce". Fonte: Ferreira, 2018 (b).

Além de garantir a água, em algumas localidades, o PAD tem o propósito de integrar a produção agropecuária ao processo de dessalinização, uma vez que tem uma eficiência de 40% e, em algumas comunidades, o efluente pode ser aproveitado para a dessedentação animal, a piscicultura ou, ainda, a irrigação da erva sal (*atripex nummularia*), gramínea que absorve o sal e empregada na alimentação de ruminantes.

Esta proposta estimula a pesquisa a identificar plantas tolerantes e absorvedoras de sais, o que contribui para o destino final do efluente e também gera alternativas de produção e geração de renda.

As figuras 6.7 e 6.8 ilustram que é possível de ser feito com o efluente da dessalinização. Para um total de 1010 amostras realizadas nos poços do PAD estas revelaram que ao menos 77,42% pode ter algum tipo de uso em função das diferentes concentrações salinas. Uma pequena proporção delas (5 %) pode servir para a dessedentação humana.

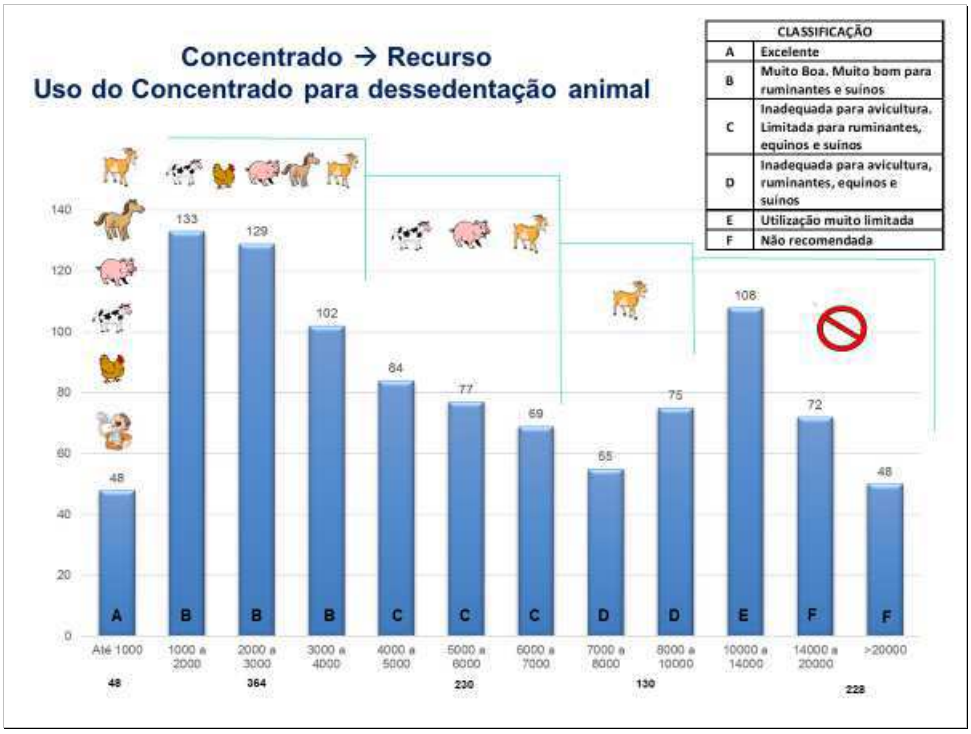


Figura 6.7 Potencial de Aproveitamento dos Lodos da Dessalinização nos Poços do PAD Fonte: Ferreira, 2018 (b)

% amostras	Tipo de Consumo Possível
5 %	tanto para a dessedentação humana como animal
36%	todos os tipos de dessedentação animal
23%	dessedentação de bovinos, suínos e caprinos
14%	dessedentação apenas de caprinos
22%	nenhum tipo de consumo animal

Figura 6.8 Teor de Salinidade e Uso Potencial das Águas Residuárias dos Dessalinizadores Fonte: Ferreira 2018 (b), organizado pelo autor.

Os demais 73% podem servir para a dessedentação animal e 22% das amostras dado o teor de salinidade não permitem nenhum tipo de consumo animal. No caso da dessedentação de bovinos e caprinos, 59% e 73% das amostras, respectivamente, permitem o consumo por estes animais.

Até 2018 foram atendidos 131 municípios e a meta é atender outros 1.300, garantindo uma quantidade de 5 litros/dia/pessoa, e já foram beneficiadas aproximadamente 230 mil pessoas, ou seja, aproximadamente 46 mil estabelecimentos agropecuários.

O PAD tem um potencial para ser ampliado, porém ele carece de mais estudos relacionados com qual seria a vazão explorável sustentável e a

resiliência desses aquíferos à explotação em períodos de seca prolongada, o tempo e a dinâmica dos processos de recarga, como também sobre os mecanismos de salinização dessas águas. É necessário capacitar as equipes técnicas em temas relacionados ao funcionamento dos aquíferos, perfuração e manutenção de poços, necessários à sustentabilidade do processo de explotação dessas águas subterrâneas (Aly Jr., Hirata, 2016 a).

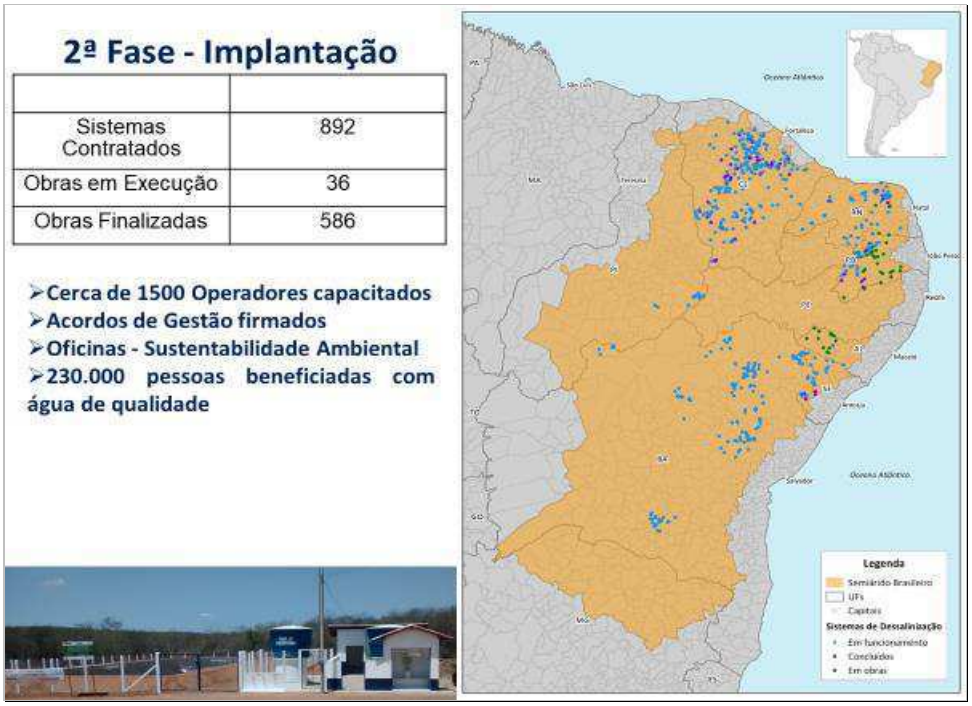


Figura 6.9 Localidades e Implantação de Dessalinizadores no Semiárido Brasileiro Fonte: Ferreira, 2018 (b).

O tema da dessalinização vem ganhando destaque e surgiram outras iniciativas de desenvolvimento de tecnologias de dessalinização em pequena escala que resolvem problemas de dessedentação humana no âmbito dos estabelecimentos. O potencial destas tecnologias é permitir que estabelecimentos agropecuários que possuam água salobra possam realizar a prática de dessalinização e resolver problemas de dessedentação humana. em pequenos volumes, a base de energia solar, em equipamentos que podem ser instalados no interior dos estabelecimentos agropecuários e operado pelos agricultores.

Recentemente uma dessas tecnologias chamadas de adaptadas foi premiada pela Fundação Banco do Brasil e incorporada ao banco de tecnologias sociais que o banco apoia e fomenta a pesquisa. Os dessalinizadores premiados

têm uma produção diária de 10 litros e funcionam à base da evaporação solar da água e vêm sendo testados e implantadas na região do semiárido. Este é um caminho promissor para a dessalinização em pequena escala e que deve vir acompanhada de ações com os lodos produzidos, mesmo que em menor escala (Banco do Brasil, 2019).

Esta vertente é muito importante como foi visto neste ponto, uma vez que a tendência é a drástica redução das chuvas no interior da região Nordeste. A solução cisterna foi importante no primeiro momento, mas a solução dessalinização cada vez mais importante no semiárido nordestino, pois será o meio de se obter maiores volumes de água na região.

CAPITULO 7 DISCUSSÃO FINAL

Diante dos resultados obtidos ao longo da presente pesquisa tendo como referência a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA) e os serviços ecossistêmicos de águas subterrâneas e aquíferos foi possível evidenciar e clarificar situações nas quais o seu uso é relevante e será muito mais futuramente, como também validar as metodologias propostas.

7.1 Os Dados do Censo Agropecuário do IBGE Sobre as Fontes de Água nos Estabelecimentos Agropecuários

Diante da carência de informações sobre o uso de águas subterrâneas no meio rural o Censo Agropecuário revelou-se uma importante fonte de dados que contribui para a gestão destes recursos hídricos no país.

Os dados dos Censos Agropecuários 2006 e 2017 do IBGE informam a existência ou não de fontes de água nos estabelecimentos agropecuários, assim como a sua origem. Isto permitiu quantificar os estabelecimentos sem nenhuma fonte de água. Os Censos não informaram as vazões extraídas de cada uma dessas fontes e se as mesmas foram suficientes para a dessedentação humana, animal e a irrigação.

Através da quantidade de poços tubulares obtida a partir dos Censos, juntamente com os valores de vazão estimada por Hirata et al (2019), além da estimada por este trabalho, chamada de vazão SIAGAS-rural, foi possível estabelecer uma vazão retirada pelo conjunto de poços.

No período analisado as informações apresentadas demonstraram que está ocorrendo a elevação do uso de águas subterrâneas e que as quantidades de poços aumentaram mais que 300%. Isso evidencia cada vez mais a importância dos os serviços ecossistêmicos de suporte e provisão prestados por aquíferos e águas subterrâneas.

A análise do crescimento do número de poços tubulares identificou ao menos cinco aspectos que foram trabalhados ao longo dessa pesquisa:

(i) o crescimento ocorreu sem o apoio de uma política pública especifica, sem aporte de crédito oficial e sem arcar com os custos da outorga emitida por órgão estadual ou federal competente, como pode ser constatado nas entrevistas realizadas. Esta expansão, em boa medida, esteve relacionada com a

capacidade de endividamento das pessoas, evidenciando que o processo de outorga não esta sendo eficiente no gerenciamento da utilização do recurso hídrico.

(ii) apesar da não inclusão como política de combate a seca, a ocorrência de seca em diferentes regiões do país, principalmente no Nordeste, Sudeste e parte da região Norte, foi outro fator de indução do aumento da perfuração de poços. Nestas regiões o crescimento foi maior em valores absolutos e, nas demais (incluindo a região Norte) o aumento maior foi em termos percentuais;

(iii) identifica-se o tensionamento na captação de águas superficiais em razão de que algumas bacias se encontram em situação de saturação da capacidade de captação superficial, conforme apontou a ANA (2017);

(iv) o aumento do número de poços perfurados não foi acompanhado pelo aumento de estabelecimentos que utilizam a irrigação, ou da área irrigada, ou seja, o destino dessa água não foi a agricultura. Detectou-se que o aumento ocorreu em estabelecimentos cuja atividade principal é a pecuária. Dentre as explicações possíveis uma é que foi necessária para atender a adequação ambiental de não usar as áreas de APP (rios e nascentes) para a dessedentação animal, prática que já foi bem comum, e que pode ser resultado da atuação do setor ambiental de fiscalização. Outra explicação é a necessidade de adequação sanitária exigida para cumprir contratos de fornecimento para a agroindústrias e sistemas de *fast-food* de alimentos. Este último caso vale para a horticultura e a fruticultura que são produtos alimentícios consumidos *in natura*

(v) Os dados do IBGE mostraram-se relevantes quando utilizados para identificar áreas prioritárias para o investimento na criação de infraestrutura hídrica a partir classificação e identificação, através do IIH, das situações graves e agudas. Eles corroboram com a opção governamental de priorizar a região Nordeste para a aplicação das políticas de segurança hídrica, porém mostram que nem toda a melhora das condições de acesso a água resultou dessas políticas, pelo menos diretamente, pois a melhora detectada através do M-RHEA destacou a importância do aumento de poços tubulares e poços comuns.

Os dados ao mesmo tempo apontam para o aumento de estrutura de captação e armazenamento de água em regiões nas quais a seca não é o fator gerador problemas de acesso a água, corroborando a informação extraoficial da demanda por programas de cisternas notadamente nos estados do Acre e

Amazonas. Uma hipótese levantada para esta situação é o aumento de situações de presença de água contaminada.

O cálculo da M-RHEA mostrou que houve uma melhora na disponibilidade média de fontes de água para mais de 92% dos municípios classificados com IIIH Grave e Agudo. Ele mostrou que, no conjunto, as fontes de águas subterrâneas foram as que mais incidiram no aumento da média do M-RHEA. Não esquecendo da importância das cisternas.

É importante apontar que, infelizmente, para o Censo Agropecuário de 2017, o IBGE passou a desconsiderar a importância dos açudes e lagos para a segurança hídrica. Em entrevistas qualitativas realizadas com pecuaristas, os mesmos informaram possuir lagos ou açudes e o papel que estes reservatórios têm para a dessedentação dos animais. As informações obtidas indicam que esta fonte de água deve ter crescido em razão da seca.

Considera-se importante que os gestores de recursos hídricos analisem juntamente com os comitês de bacia, usuários do meio rural, segmentos como ambientalistas, assistência técnica e pesquisadores da área a realização de uma pesquisa amostral em conjunto com o IBGE para aprofundar o conhecimento da realidade do uso da água no meio rural, isto poderá contribuir para o fortalecimento e aperfeiçoamento da política nacional de gestão de recursos hídricos com vistas à adaptação às mudanças climáticas.

7. 2 Serviços Ecossistêmicos e a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA) como Parâmetro de Análise do Uso das Águas Subterrâneas no Meio Rural

Ao analisar os resultados obtidos nos capítulos 4, 5 e 6 é possível afirmar que aquíferos desempenham importante serviço ecossistêmico de provisão ao contribuir para a segurança hídrica da população residente no meio rural e ao fornecer água para o desenvolvimento das atividades agropecuárias. Os resultados mostram ainda o tamanho da informalidade da exploração de poços tubulares no meio rural, situação que pode comprometer a capacidade dos aquíferos em continuar a oferecer serviço de regulação. Essa situação ganha importância num cenário de mudanças climáticas já que poderão impactar a capacidade de resiliência aos períodos de seca prolongada.

Os dados disponíveis para o período 2006 - 2017 relacionados com as fontes de água disponíveis nos estabelecimentos agropecuários revelam a importância adquirida pelas águas subterrâneas ante as demais (superficial e meteórica), passando a ser a principal delas no ano de 2017 com 53% do total de citações ante os 43% de 2006.

O principal fator responsável por este destaque foram as águas provenientes dos poços tubulares, devendo ser destacado o crescimento da quantidade de estabelecimentos que informaram possuir poços tubulares, os valores saltaram de 323.189, em 2006, para 1.016.671[19] poços em 2017. O crescimento médio para o país foi de 315%, destacando-se as regiões Norte (720%), Centro Oeste (351%) e Nordeste (341%).

As águas dos poços tubulares tem a vantagem de alcançar frações mais profundas dos aquíferos por isso são menos suscetíveis às variações anuais de precipitação e em geral apresentam boa qualidade, a exceção está no semiárido onde a água é salobra ou salina.

7.2.1 Serviços ecossistêmicos de aquíferos e águas subterrâneas e a segurança hídrica no meio rural

Para se realizar o cálculo da insegurança hídrica primeiramente foi identificada a quantidade de estabelecimentos que não possuíam nenhuma fonte de água em seu interior, que o Censo Agropecuário de 2006 informou ser de 1,9 milhões de estabelecimentos.

Para a análise da segurança hídrica elaborou-se o Índice de Insegurança Hídrica (IIH), calculado por município, a partir da disponibilidade ou não de fontes de água nos estabelecimentos agropecuários, e quanto maior a quantidade de estabelecimentos agropecuários sem nenhuma fonte de recursos hídricos maior é o grau de insegurança hídrica. Esta insegurança hídrica foi classificada em cinco níveis: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Grave e Aguda ou Severa.

Os resultados obtidos do cálculo do IIH revelaram que 72% dos municípios do Nordeste estavam em situação crítica, com IIH Grave e Agudo.

[19] Adotou-se no presente projeto que um estabelecimento agropecuário equivale a um poço tubular. Optou-se por uma solução conservadora uma vez que o Censo não indaga ao entrevistado quantos poços o mesmo possui em seu estabelecimento agropecuário.

Esta condição pode ser atribuída aos solos rasos com baixa capacidade de infiltrar e reter água para armazena-las em aquíferos, o que limita a oferta de água subterrânea.

Já o caso da região Norte que ficou com a segunda posição em termos de situação crítica de IIH, este parece estar relacionado com ausência de investimento em infraestrutura hídrica. Os três estados que se destacaram com relação ao IIH Grave e Agudo foram: Amazonas, Amapá e Acre.%.

O cálculo da média municipal de fontes de recursos hídricos por estabelecimentos agropecuários (M-RHEA) permitiu identificar a melhora das condições médias de segurança hídrica no semiárido brasileiro e nas demais regiões do país em função do aumento da infraestrutura hídrica nos estabelecimentos agropecuários principalmente pelo crescimento de duas fontes: as cisternas e os poços tubulares, e, na região Norte, também de poços comuns .

Como pode ser constatado, os serviços prestados pelos aquíferos foram importantes para a redução das condições de insegurança hídrica. Isso ficou patente quando do cálculo do M-RHEA que mostrou a participação destas fontes de água nos casos de melhoria das condições de segurança hídrica.

A pesquisa identificou que os aquíferos contribuem para elevar a segurança hídrica. No período analisado foi possível averiguar, para o caso da seca prolongada que vivenciou o Nordeste que mesmo a água salobra subterrânea foi importante para preservar o rebanho, para as atividades de limpeza e de higiene doméstica. Por sua vez, nas comunidades atendidas pelo PAD foi possível acessar água potável.

Ao mesmo tempo há a tendência de que a dessalinização de água subterrânea se torne um importante pilar das ações de adaptação à mudança do clima no Nordeste, pois serão estes aquíferos que irão aumentar a resiliência à seca. Ademais, juntamente com a dessalinização existe todo um campo da agricultura e pecuária biossalinas a ser trabalhado e que podem absorver parte dos volumes de lodo salino resultante da dessalinização, além de prover renda e trabalho para as famílias sertanejas, não ficando estas dependentes apenas das transferências de recursos federais via a previdência rural ou o Bolsa Família.

Nesta direção é necessário que sejam estudados os processos de explotação e recarga em aquíferos fraturados do semiárido para determinar tempo de explotação que estes aquíferos suportam, bem como o tempo necessário para que os mesmo recuperem seus volumes armazenados.

7.2.2 Serviços ecossistêmicos dos aquíferos e o consumo de água pelas atividades agropecuárias via poços tubulares

Como pode ser constatado está ocorrendo um crescimento da importância do serviço de provisão dos aquíferos para a produção agropecuária no país, em 2017 o Censo informou que esta fonte de água passou a representar 26% do total de fontes subterrâneas, ante os 10% de 2006. Entretanto, a forma de apresentação dos dados do Censo pelo IBGE não permitiu uma caracterização destes usuários.

Na análise estatística da concentração de poços por bacias nos anos de 2006 e 2017, fazendo o cálculo do terceiro quartil para determinar as bacias que mais possuíam poços o valor limite saiu de 1619 e foi para 4648 poços e envolveu 68 delas nos dois períodos. No caso da distribuição de poços por aquífero existe uma grande concentração em poucos aquíferos; em 2006 quatro aquíferos concentravam 65% deles e, em 2017, ocorreu uma pequena desconcentração passando para sete aquíferos que concentravam 76% do total de poços.

Estes aquíferos, em 2006, foram o Fraturado Centro-Sul, Bauru-Caiuá, Serra Geral e o Fraturado Semiárido. No ano de 2017 foram incluídos os aquíferos Fraturado Norte, o Barreiras e o Itapecuru.

No caso da agricultura irrigada ocorreu o crescimento proporcional entre a quantidade de estabelecimentos que praticam irrigação e a área irrigada, no período 2006-2017. Em duas regiões, Sul e Nordeste, este crescimento não foi proporcional, enquanto na primeira o crescimento foi da área irrigada e no segundo o crescimento foi da atividade de estabelecimentos que praticam a irrigação.

A análise no Censo de 2006 da relação entre a atividade produtiva principal e a quantidade de poços tubulares, identificou que naqueles onde a pecuária era a atividade principal (bovinos, aves, suínos e caprinos) a

porcentagem de poços foi de 54%, ficando a agricultura irrigada com 46%. Na agricultura irrigada o uso de poços tubulares está subdividido da seguinte forma: 26% lavouras temporárias, 12% lavouras permanentes e 6% horticultura/floricultura. Para 2017 o IBGE ainda não liberou esta informação.

Outro dado do Censo que permitiu identificar a principal atividade a explotar água de aquíferos via poços tubulares foi a razão entre poços tubulares e estabelecimentos irrigados que foi de 0,97, em 2006, ou seja, menos de um poço para cada estabelecimento que praticava agricultura irrigada. Em 2017 essa razão foi de 2,01, ou seja, dois estabelecimentos com poços tubulares para um que praticava a agricultura irrigada. Isto permite concluir que no período a perfuração de poços foi maior na pecuária que na agricultura irrigada.

Porém, sem o acesso ao dado da relação entre a atividade principal e a fonte de recurso hídrico, para o ano de 2017, optou-se por repetir a proporção de 2006 e manteve-se a relação 54% dos poços tubulares para os estabelecimentos cuja atividade principal é a pecuária e 46% para os que praticam a agricultura irrigada.

Desta forma o principal usuário de águas superficiais é a agricultura irrigada, enquanto o principal usuário de águas subterrâneas, extraídas via poços tubulares, é a pecuária. Vale destacar que lavouras irrigadas de arroz, grãos e cana consomem vazões elevadas que não seriam possíveis de serem fornecidas por aquíferos (Figura 4.2) cujas taxas de vazão são baixas (ANA, 2017).

O uso de água subterrânea de poços tubulares pela pecuária pode ser explicado por diferentes aspectos como: fornecer uma água de melhor qualidade e atender as exigências dos frigoríficos, facilidade de acesso, perfuração e distribuição para os animais, especialmente no caso de bovinos em função do aumento da quantidade de piquetes que melhora o rendimento e evita o sobrepastoreio e a degradação das pastagens.

Outros aspectos que podem explicar a predominância da pecuária são: o cumprimento das normas ambientais que proíbem o uso de nascentes e beira de rio para a dessedentação animal; a ocorrência de seca que em determinadas regiões pode ter mudado a fonte de captação de água para uma que é mais segura e permanente; e a saturação de certas bacias hidrográficas para a captação de água superficial.

Desta maneira, a vazão retirada em 2006 utilizando-se a vazão de 4 m^3/h foi de 2.239 Mm^3/ano e para a vazão de 7 m^3/h foi de 4.245 Mm^3/ano, com a pecuária extraindo 1.209 Mm^3/ano e 2.292 Mm^3/ano, respectivamente, por representar 54% desta vazão retirada. A agricultura irrigada explotou 1.030 Mm^3/ano e 1.952 Mm^3/ano, respectivamente, por representar 46% da vazão retirada.

Em 2017 estes valores foram de 7.025 Mm^3/ano e 12.531 Mm^3/ano. A pecuária retirou 3.793 Mm^3/ano e 6.766 Mm^3/ano, respectivamente, e a agricultura irrigada 3.231 Mm^3/ano e 5.764 Mm^3/ano.

Dessa forma a sugestão é atualizar as vazões encontradas por Hirata et al (2019) e definir novos valores totais que seriam de 20.386 Mm^3/ano para a mesma vazão utilizada por estes autores ou então em 25.892 Mm^3/ano para a vazão de 7 m^3/h, representando um aumento de 16% no primeiro caso e de 47% no segundo.

Essas vazões explotadas, em 2017, quando comparadas com a vazão explotável sustentável da ANA (2017 b) indicaram alguns casos de uso intensivo. Para a vazão de 4 m^3/h identificou-se que no aquífero Açu ocorria o uso intensivo deste recurso e para a vazão de 7 m^3/s acrescentaram-se os aquíferos Cabeças, Açu e Marizal, com uso intensivo de água subterrânea.

É importante destacar que os cálculos realizados nesta tese são iniciais e dão conta da situação geral da agropecuária, novos estudos podem aprofundar estas informações. Ademais, para a boa gestão dos aquíferos e pensando nas ações necessárias para a adaptação às mudanças climáticas, é necessário agregar outros estudos sobre os consumos realizados pelas agroindústrias, pelo setor de serviços e pelas indústrias situadas no meio rural, como também os consumos dos setores urbanos situados nestas bacias hidrográficas e nestes aquíferos.

Outra proposição apresentada para identificar o uso intensivo de águas subterrâneas foi a quantidade de poços tubulares existentes em um município. Essa proposição resultou da identificação, de situação que ocorria em campo, da interferência e secamento de poços em localidades nas quais quase a metade dos estabelecimentos possuía poços tubulares.

Assim, considerou-se que quantidades igual ou superior a 50% de estabelecimentos com poços tubulares podem ser um indicador local de

problemas relacionados ao uso intensivo de águas subterrâneas. Em levantamento feito para o ano 2017 identificaram-se 760 municípios nesta condição, em 2006 eram apenas 102 municípios. O indicativo é para a realização de estudos em âmbito local e averiguar se estará ocorrendo o rebaixamento do nível dos aquíferos, exaustão de poços e elevação dos gastos com energia no bombeamento da água subterrânea.

Esta situação está concentrada em seis estados: São Paulo (32%), Goiás (13%), Minas Gerais (12%), Rio Grande do Sul (9%), Mato Grosso (6%), Mato Grosso do Sul (5%) e Paraná (4%), juntos eles totalizam 81% dos municípios com 50% ou mais de estabelecimentos agropecuários com poços tubulares (IBGE, 2017 a).

7.2.3 Ações com vistas à adaptação às mudanças climáticas globais e serviços ecossistêmicos dos aquíferos

Frente ao processo de mudanças climáticas globais em curso, os aquíferos podem prestar um importante serviço ecossistêmico de regulação e provisão de água garantindo a segurança hídrica e alimentar, sendo uma importante opção para as gerações futuras (valor de opção).

Os aquíferos pela sua capacidade de armazenar grandes volumes podem suportar, em períodos de seca, taxas elevadas de extração de águas subterrâneas e estes volumes poderão ser recuperados com a normalização das chuvas. No entanto, a compatibilização entre retiradas e recarga deve ser sempre analisada e considerada sob pena de repetir o esgotamento de suas reservas como ocorreu na Arábia Saudita, China, Índia e Califórnia.

Estas ações devem tratar da retenção, a infiltração e a reservação de água com a redução das perdas por evaporação que crescerá como resultado da elevação da temperatura, do aumento do número de dias secos já que os aquíferos evitam as perdas por evaporação.

No entanto, no caso do meio rural, temas como recursos naturais e do meio ambiente conformam uma agenda desafiadora para alguns setores representativos da agropecuária, como é o caso da bancada ruralista, que são avessos à regulação e assumir compromissos socioambientais.

Como ficou evidenciado no caso da Califórnia, a gestão sustentável das águas subterrâneas resultou do “efeito pedagógico da seca” juntamente com a difusão da informação sobre o consumo de água subterrânea e seus principais usuários, da pressão da sociedade, de setores econômicos que também sofreram o racionamento de água, da colaboração oriunda do setor de ciência e tecnologia (universidade, pesquisadores e cientistas). Foi esta coalização que pressionou pela aprovação da lei e da política de gestão sustentável das águas subterrâneas.

A agropecuária é uma grande consumidora de águas subterrâneas e os resultados mostram que a tendência é que este consumo aumente, no mínimo dobrando até 2050. Ainda mais porque importantes bacias hidrográficas encontram-se saturadas em termos da capacidade de outorga o que poderá resultar em problemas de conflito e uso intensivo como os identificados nesta tese.

As projeções aqui realizadas a partir do trabalho de Hirata e Conicelli (2012), com uma estimativa de 2 milhões de poços tubulares, identificou, além dos casos já citados, o uso intensivo também ocorrerão nos aquíferos Cabeças, Açu, Motuca, Marizal, Jandaíra e Serra Grande para a vazão 4 m^3/h e para o cálculo com vazão de 7 m^3/h acrescentou-se o aquífero Corda.

Desta maneira a adoção de modelos sustentáveis de produção agropecuária são importantes dando especial atenção para aspectos como: práticas conservacionistas que elevem as taxas de retenção e infiltração de água de chuva no solo e nos aquíferos, restauro de áreas de preservação como nascentes, mata ciliar e reserva legal e, uma agricultura que conviva com os diferentes biomas.

Práticas que saiam da dinâmica da monocultura, como é o caso do sistema lavoura-pecuária-floresta, os sistemas agroflorestais, sistemas silvo pastoris, sistemas de cultivos tradicionais como a embolada, os quintais, a agroecologia etc. São práticas de cultivo mínimo, cultivo em mosaico com maior grau de proteção, favorecimento da infiltração de água e manutenção da umidade dos solos.

Ademais os sistemas agropecuários convencionais e intensivos no uso de máquinas e equipamentos colaboram para a compactação do solo, a redução da

retenção e infiltração de água, a contaminação dos rios e aquíferos por agrotóxicos e fertilizantes.

A cobrança pelo uso da água, superficial ou subterrânea, e mesmo o crédito agrícola subsidiado podem funcionar como estimuladores da adoção de práticas sustentáveis e conservacionistas e, no caso das águas, atrair a agropecuária para aderir a uma agenda de adaptação às mudanças climáticas.

Ações que promovam o aumento ou a manutenção das taxas de recarga em aquíferos relacionados com menores pagamentos pelo uso da água. Ainda, pode ser pensada a prática do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) relacionados com a recarga que poderia ser realizado em regiões peri-urbanas e próximas às estações de tratamento de esgotos oferecendo a água tratada para a irrigação ou mesmo para a recarga, sem o cultivo, a exemplo do que ocorre na Califórnia.

Desta maneira, a gestão integrada e o uso conjuntivo das águas no meio rural devem ser pesquisados e incentivados, pois é necessário mudar o paradigma da gestão para a análise integrada dos mananciais superficiais e subterrâneos, uma vez que o uso desconexo pode comprometer a vazão de base dos rios. Assim, por exemplo, estimular o uso de águas subterrâneas para irrigação durante o período seco o que reduz os conflitos pelo consumo de águas superficiais.

Conforme foi apresentado, a reservação de água em aquíferos não tem o inconveniente das perdas por evaporação dos reservatórios superficiais, um dos focos de resistência é a cultura e concepção de que os problemas de infraestrutura hídrica se resolvem apenas no campo das obras de engenharia, através da construção de represas. Esta lógica não considera o potencial dos serviços ecossistêmicos e tem forte incidência sobre a concepção de políticas públicas no Brasil.

7. 3 Políticas Públicas de Segurança Hídrica no Semiárido: Programas Água Doce e Um Milhão de Cisternas

Como resultado da relevância da situação do semiárido brasileiro e também por existir um conjunto de políticas direcionadas para esta região do pais, será feita uma discussão específica sobre este tema.

Analisando os resultados das políticas públicas e utilizando a média municipal de fontes de recursos hídricos (M-RHEA) para os estabelecimentos agropecuários é possível afirmar que o programa “Um Milhão de Cisternas” colaborou para a elevação da segurança hídrica, porém destaca-se que esta melhora esteve conjugada com a sensível elevação da quantidade de poços tubulares, juntamente com o crescimento da quantidade de poços comuns.

Com relação ao PAD, o Censo tem um limite, pois ele não mede o que ocorre fora dos estabelecimentos agropecuários, assim, os impactos do PAD não são evidenciados. Estes podem ser avaliados pelo Censo Demográfico que informa a quantidade de domicílios que se abastecem em fontes de água localizada fora de seus domínios, assim como informa quais são as fontes de água que os abastece.

Juntamente com a dessalinização de águas subterrâneas para o atendimento comunitário, ocorre o estímulo ao desenvolvimento da agricultura biossalina, a gestão da águas em aquíferos salobros e salinos.

Convém destacar que as duas ações no campo da política de segurança hídrica desenvolvida pelo governo federal tinham formatações diferenciadas. As cisternas tiveram como eixo de implementação a formação de parceria governamental com a sociedade civil e foi implantada com organizações que praticam a organização comunitária.

O PAD, por sua vez, priorizou comunidades localizadas em áreas com baixo grau de precipitação, baixos IDH, falta de fontes de água doce nos estabelecimentos etc. Sua implementação ocorre através das parcerias governamentais até a chegada à comunidade, esta deve ter um mínimo de organização para operar e gerir os equipamentos.

O tema dessalinização tem estimulado o desenvolvimento de tecnologias sociais de baixo custo de investimento, fora da estrutura do PAD com uso de energia solar e que podem atender a demanda de água para a dessedentação das famílias nos estabelecimentos agropecuários Como mostrou também o lodo da dessalinização pode ter diferentes usos e aplicações na agropecuária.

O PAD tem potencial estruturante para a segurança hídrica no semiárido como eixo de uma política de adaptação às mudanças climáticas globais, pois a tendência apontada pelos estudos aqui apresentados é de queda das

precipitações em aproximadamente 70% o que compromete a segurança hídrica baseada em cisternas.

7.4 Gestão de Bacia Hidrográfica e Gestão Estadual de Recursos Hídricos Estimulando Práticas Associativas

No Brasil, a gestão atual dos recursos hídricos ocorre de forma descentralizada em comitês de bacia (CBH) um fórum importante para as negociações entre a sociedade civil organizada, setores da pesquisa, setor privado e o poder público.

Entretanto, mesmo em regiões nas quais o uso de água subterrânea é preponderante, ocorre uma situação paradoxal na qual o uso, consumo e conservação das águas superficiais e subterrâneas não são tratados de forma integrada e sim como se fossem entes separados, não conectados em um mesmo ciclo hidrológico.

No caso da gestão de integrada de águas subterrâneas e águas superficiais a organização de instâncias que envolvam os municípios situados no território do aquífero e o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária[20] (INCRA) poderá contribuir para a gestão sustentável das águas, planejar o uso e a ocupação do solo que muito influencia a recarga e a qualidade das águas subterrâneas.

Uma contribuição da academia, dos gestores das bacias e gestores/legisladores em nível estadual e municipal é conceber e testar experiências para a gestão do território situado na região da recarga, a exemplo da proposta elaborada para o Aquífero Urucuia.

Essa gestão do território situado na área de recarga pode ser constituída através de um consórcio organizando uma agenda para entender as formas de uso e ocupação do solo e suas interferências na recarga e consumo de águas subterrâneas.

[20] O INCRA detém a gestão do cadastro de terras rurais e agricultáveis do país. Uma terra para deixar de ter finalidade agrícola tem que dar baixa no cadastro do INCRA, se esta terra não tiver perdido suas características de propriedade rural agricultável, mesmo que se encontre dentro dos limites considerados como urbanos pelo poder público municipal, esta autarquia pode decidir pela sua manutenção como rural.

Não é possível discutir sustentabilidade na gestão dos recursos hídricos sem a melhoraria dos aspectos como a formação dos técnicos de nível superior relacionados com a agropecuária. É preciso incorporar o conhecimento sobre o funcionamento dos aquíferos, conectividade existente entre águas superficiais e subterrâneas, técnicas de gestão integrada e conjuntiva de recursos hídricos na formação curricular.

.

8. CONCLUSÕES

Considera-se para efeitos de conclusão desta tese os aspectos destacados a seguir:

- **O IBGE é uma Fonte Importante de Dados para a Gestão de Águas Subterrâneas e Aquíferos no Meio Rural**

Os dados dos Censos Agropecuários 2006 e 2017 do IBGE identificaram o papel e a importância das águas subterrâneas como fonte de água para os estabelecimentos agropecuários, tanto para a promoção da segurança hídrica de seus moradores, como para a dessedentação animal e para a irrigação.

A forma como o IBGE disponibiliza as informações permite que sejam gerados dados que podem ser agregados para bacias hidrográficas, aquíferos, microrregiões, por estado e região, tanto o consumo de água, como em relação ao tipo de fonte de água e a atividade produtiva principal nos estabelecimentos.

A partir do Censo foi possível identificar a situação de insegurança hídrica para 1,9 milhões de estabelecimentos agropecuários no ano de 2006 (IBGE, 2006) e permitiu calcular a média de fontes de água presentes nos estabelecimentos e como isso variou no tempo em termos quantitativos (pelo total das fontes citadas) e qualitativos (qual foi a fonte que cresceu ou reduziu), dando parâmetros para analisar o resultado das políticas publicas, assim como apontar necessidade de outras.

Como a base de dados explorada nos Censos Agropecuários 2006 e 2017 é muito ampla, ela permite a continuidade da investigação ampliando a análise identificando, por exemplo, o tipo de agricultor (patronal ou familiar) que acessa tal ou qual fonte de água e a atividade principal que o mesmo desenvolve.

Os dados puderam ser integrados com informações obtidas na literatura ou no SIAGAS, permitindo estimar a vazão explotada no meio rural, as atividades e cadeias beneficiadas e o tipo de fonte mais importante.

- **O Consumo de Água Subterrânea pela Agropecuária é Importante e Cresceu no Período 2006 – 2017**

A quantidade de poços existentes no meio rural cresceu três vezes no período estudado em todo o país, sendo que o principal usuário foram os estabelecimentos que tem na pecuária sua atividade principal.

Entre as razões possíveis para explicar essa realidade podem ser citadas: a qualidade da água que atende às exigências de frigoríficos e cadeias fast-food, a praticidade da perfuração e distribuição pelos piquetes ou pastos, o atendimento às exigências ambientais de não usar áreas de APP de margem de rio e nascente para a dessedentação animal, a resiliência desta fonte à intempéries como a seca, e em algumas bacias hidrográficas a saturação da possibilidade de captação de água superficial.

Os dados relativos à quantidade de poços existentes no meio rural obtidos junto no SIAGAS indicam que o padrão da informalidade em termos da obtenção da outorga se repete. Em parte isto pode ser explicado em razão dos custos envolvidos no processo de outorga.

A identificação de uso intensivo para o ano de 2017 realizada neste projeto de pesquisa ocorreu para um número reduzido de aquíferos, o que revela o potencial existente para o uso de água subterrânea no meio rural. Entretanto, é preciso deixar claro que os cálculos aqui realizados foram uma primeira aproximação e, ademais, não incluíram as outras fontes de águas subterrâneas (nascentes e poços comuns) como também o consumo de outros usuários: agroindústrias, setores do lazer e da indústria localizados no meio rural.

- **Os Aquíferos Contribuem para a Redução da Insegurança Hídrica no Meio Rural**

O consumo de água subterrânea cresceu em todo o país no período estudado. Em regiões nas quais ocorria uma situação crítica de IIH Grave e Agudo (Nordeste e Norte) a melhora da disponibilidade média de recursos hídricos por estabelecimento (M-RHEA) esteve associada com o aumento do uso de águas subterrâneas (poços tubulares, principalmente, e poços comuns), sendo importante destacar a presença das cisternas como resultado do Programa Um Milhão de Cisternas executado em parceria com a sociedade civil.

Em alguns estados e regiões ficou nítida a substituição de outras fontes de água por poços tubulares.

Os resultados dos cálculos realizados até agora apontam para uma aparente situação confortável em termos de disponibilidade de vazão explotável sustentável de aquíferos, entretanto, como alertado acima são necessários agregar outros cálculos de consumo.

No caso do semiárido destaca-se que a dessalinização de águas deverá se tornar uma ação permanente uma vez que a tendência é de redução do volume anual de chuvas, assim as cisternas não darão conta de atender as necessidades de dessedentação humana, sendo necessária a busca de uma fonte permanente.

Entretanto, para o caso dos aquíferos aí situados, é preciso conhecer a sua capacidade de fornecer água por longos períodos de seca, assim como, qual é o tempo necessário para a recuperação dos seus volumes de água armazenados. A exemplo de outras regiões semiáridas, a recarga artificial pode vir a contribuir para a manutenção dos níveis dos aquíferos.

- **Mudanças Climáticas e a Gestão Sustentável de Águas Subterrâneas e da Produção**

Com as mudanças climáticas globais em curso, a tendência é que, em boa parte do território nacional, os aquíferos mantenham seus processos anuais de renovação de águas, a exceção irá ocorrer no Nordeste e em parte da região Norte. De outra forma os aquíferos nas regiões onde os volumes precipitados se mantenham, ou mesmo se elevem, também tenderão a ter o consumo de água subterrânea elevado em função da acentuação dos períodos de seca.

Assim sendo práticas de produção sustentável na agropecuária que mantenham ou elevem a capacidade de infiltração de água, evitem que os sistemas produtivos contaminem esses mananciais através da percolação de fertilizantes e agrotóxicos, são muito importantes de serem adotadas. Já existe um conjunto de sistema produtivos que não se baseiam nos monocultivos e uso intensivo de mecanização agrícola e de agrotóxicos que viabilizam essa meta, no entanto não é o utilizado na agropecurária convencional, cuja expansão

acompanhou a par e passo a expansão do uso da água subterrânea, como mostram os dados dessa tese.

A gestão de recursos hídricos pode lançar mão de iniciativas que estimulem os agropecuaristas a adotar estas práticas produtivas, é o caso do pagamento por serviços ambientais e a criação de um ranqueamento no qual a adoção de práticas sustentáveis ofereça a redução (ou até o não pagamento) de taxas pelo consumo de água.

Como parte desse processo de se alcançar a produção sustentável na agropecuária é necessário que, na formação dos técnicos que trabalham com a produção e a assistência técnica, os mesmos sejam capacitados em temas relacionados com o funcionamento e dinâmica de aquíferos.

O tema da gestão sustentável na agropecuária com vistas à manutenção da qualidade dos serviços ecossistêmicos não é um consenso e o meio rural é importante provedor de serviços para a sociedade. Assim, a decisão sobre a gestão dos recursos naturais, a água incluída, tem que envolver o conjunto dos interessados e não pode ficar restrita a gestores e usuários.

- **Alguns pontos de uma agenda de pesquisas sobre a gestão das águas subterrâneas no meio rural**

Foram identificados por esta pesquisa vários aspectos sobre os quais se faz necessária a realização de novos estudos de forma a aprofundar e aprimorar o conhecimento do funcionamento dos aquíferos e a gestão de águas subterrâneas.

- *No âmbito da gestão de bacias hidrográficas é necessário ainda: (*i) analisar os vetores que induzem o crescimento do uso de água subterrânea nas bacias em relação às demais fontes e mesmo entre as fontes de águas subterrâneas; (ii) desenvolver estudos que caracterizem os processos de uso intensivo de águas subterrâneas nos aquíferos Açu, Cabeças e Marizal; (iii) realizar estudos para validar a proposta de indicador de uso intensivo de água e; (iv) desenvolver estudos que analisem o grau de conexão entre as águas superficiais e subterrâneas e as integrem de sorte a definir os volumes de água superficial e subterrâneo passíveis de outorga, envolvendo quando for o caso as bacias que pertencem ao mesmo território aquífero.

- *No caso da gestão das águas subterrâneas no semiárido:* (i) os planos de bacia podem aprofundar o conhecimento sobre a dinâmica dos aquíferos fraturados salinos/salobros em temas como: alcance da dessalinização no meio rural, resultados dos diferentes usos e sistemas de descarte das água salina/salobra, relação entre dessalinização e agricultura biossalina; (ii) calcular as perdas por evaporação nos sistemas de reservação superficial; (iii) desenvolver estudos de reuso e recarga artificial de aquíferos; (iv) determinar resiliência dos aquíferos às secas prolongadas e qual o tempo necessário para recarga dos mesmos; e (v) identificar a importância que tem ou poderá vir a ter, nesta região, as tecnologias sociais de dessalinização da água salobra de baixo custo para o desenvolvimento de políticas públicas.

- Com relação ao Índice de Insegurança Hídrica: (i) empregar o IIH em nível de bacias hidrográficas enquanto elemento para orientar as ações dos comitês para o meio rural e as ações com vistas à adaptação às mudanças climáticas; (ii) no caso da região Norte é necessário determinar os fatores que induzem a busca pela água subterrânea.

- O conhecimento do volume de água consumido pela agropecuária demanda mais estudos: (i) aprofundar a análise para as demais fontes de águas subterrâneas: nascentes e poços comuns para determinar os volumes consumidos pela agropecuária; (ii) ampliar os estudos para conhecer o consumo de outros usuários localizados no meio rural como agroindústrias, setor industrial e de serviços; e (iii) realizar estudos sobre a relação entre água subterrânea e dessedentação animal, especialmente poços tubulares.

- Realizar uma pesquisa amostral com base no cadastro do IBGE para aprofundar o conhecimento sobre o uso da água no meio rural de forma a formatar políticas de adaptação às mudanças climáticas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS, 2017, Poços para captação de água: definições: São Paulo, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, in http://www.abas.org/educacao_pocos.php (Acessado novembro 2017).

Acselrad, H., 1998, Externalidade ambiental e sociabilidade capitalista. In Cavalcanti, C (org.). Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável: São Paulo, Cortez Editora e Recife, Fundação Joaquim Nabuco.

Abril Cultural, 1985, Dicionário de Economia: São Paulo. Abril S.A. Cultural.

Agência O Globo, 2019, Mais da metade dos aposentados rurais está no Nordeste. RJ: Agência O Globo: 09/05/2019, https://economia.ig.com.br/previdencia/2019-05-09/mais-da-metade-dos-aposentados-rurais-do-pais-esta-no-nordeste.html (acessado maio de 2019).

Ait-Kadi, M.; Lincklaen Arriëns, W. T. L. , 2012, Increasing Water Security — A Development Imperative, Perspectives paper, Global Water Partnerchip, https://issuu.com/gwp-publ/docs/gwp_annual_report_2011/37.

Albuquerque Filho, J.L., 2011, Sistema aquífero Guarani: subsídios ao plano de desenvolvimento e proteção ambiental da área de afloramento do SAG no Estado de São Paulo: São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - CPLA.

Alley, W.M., Alley, R., 2017, High and dry: meeting the challenges of the world's growing dependence on groundwater: Yale, University Press.

Aly Jr, O., 2017, Água e agronegócio: uma relação a ser mais bem examinada. São Paulo, Le Monde Diplomatique, ano 10, nº 1119, 2017, jun., p. 12-13.

Aly Jr, O., Hirata, 2016 a, Gestión Integrada del Agua: el desafío de la sustentabilidad hídrica en el Programa Agua Doce - Brasil. In: IX Congreso Argentino de Hidrogeología: Catamarca. Libro de resumen: Cataramarca, IAH Argentina, v. 1.

Aly Jr, O., Hirata, R., 2016 b, Aquifer System Urucuia: governance and integrated water management in the São Francisco River Basin - Brazil's Northeast. In: Toward Sustainable Groundwater in Agriculture: 2nd International Conference Linking Science and Policy, 2016, São Francisco. Abstract of International

Conference Linking Science and Policy: San Francisco, Water Education Foundation.

Aly Jr, O., Bertolo, A.R, Hirata, R., Puga, B.P., 2015, Princípios da valoração dos Recursos Hídricos subterrâneos impactados por atividades contaminantes. In Lutti, J.E.I., Leite, L.F.T.C., Rocha, L.F., Serra, T.B. (org.). Temas de direito ambiental: discussões sobre a Lei 12.651/2012, a proteção dos recursos hídricos, as multifaces da tutela ambiental, meio ambiente e transversalidades: São Paulo, Imprensa Oficial, p. 161-183.

Alvares, et al., 2014, Koppen climate classification map for Brazil, Meteorolgische Zeitschrift, v. 22, n. 06, dez., doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.

Alves JR, W. J. F., Herrmann, H., 2016, Dupla dominialidade das águas no Brasil: entraves legais para o gerenciamento e dos aquíferos: São Paulo, ABAS, XIX CABAS,https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28676, (acessado maio 2018).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2005, Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil, cadernos de recuros hídricos, ANA -CDOC, http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf.

Agência Nacional De Águas (ANA), 2010, Atlas das águas. Agência Nacional das Águas (ANA). Disponível em: http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx. (Acessado junho 2015).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2013 a, Atlas geográfico digital de recuros hídricos do Brasil, 2013, http://www.ana.gov.br, (acessado setembro 2017).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2013 b, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, 2013. http://www.ana.gov.br, (acessado setembro 2017).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2014, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2014. http://www.ana.gov.br, (acessado setembro 2017).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2015, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2015, http://www.ana.gov.br, (acessado setembro 2017).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2016, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2016, http://www.ana.gov.br, (acessado setembro 2017).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2017 a, Atlas da Irrigação: uso da água na agricultura irrigada. http://www.ana.gov.br, (acessado dezembro 2017).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2017 b, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017, http://www.ana.gov.br, (acessado janeiro 2018).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2017 c, Disponibilidade hídrica subterrânea 15-12-16, Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017, http://www.ana.gov.br, (acessado janeiro 2018).

Agência Nacional De Águas (ANA), 2018, Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Grande - resumo executivo: Brasília, p. 65, http://www.ana.gov.br, (acessado janeiro 2018).

Andrade, D. C., 2010, *Modelagem e valoração de serviços ecossistêmicos*: uma contribuição da economia ecológica [Tese de Doutorado]: Campinas, Universidade Estadual de Campinas.

Andrade, D. C,. Romeiro, A.R., 2009, Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano: Campinas - IE/ Universidade Estadual de Campinas, Texto para Discussão n.155, http://www.eco.unicamp.br/ensino/pos-graduacao, (Acessado outubro 2013).

Aguilar, A. Silva, Silva, J.D., 2014, Valoração econômica dos serviços ambientais em unidade de proteção integral – estudo do caso do Monumento Natural Mãe D'Água, Serra da Moeda, Brumadinho, MG: enfoque em recursos hídricos: Belo Horizontes, XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

Barroso, A.F. et al., 2011, Avaliação da Qualidade da água para irrigação na região centro-sul no Estado do Ceará: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, nº 06 v. 1, p. 588 - 593.

BBC-Brasil, 2014, Burocracia emperra solução e alimenta poços clandestinos em SP. SP: BBC-Brasil: 09/12/2014, www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/12/141208_poco_artesianos_rm, (acessado julho 2017).

Bergkamp, G., Cross, K., 2006, Groundwater and Ecosystem Services: towards their sustainable use. Switzerland: IUCN (The World Conservation Union): (ISGWAS), P 193, Disponível em: http://aguas.igme.es/igme/isgwas/Ponencias%20ISGWAS/13-Bergkamp.pdf (Acessado março 2015).

Borghetti, J. R. et al 2017, Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias. Brasília: FAO Brasil.

Brasil, 1988, Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. http://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/legislacao/Constituicoes_Brasileiras/constituicao1988.html. (Acessado novembro 2014).

Brasil, 1997, Lei No 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm, acesso em 13/05/2016.

Campos, A., Silva, F.R.F., Arsky, I.C., Santana, V. L., 2015, Programa cisternas, uma ferramenta contra a pobreza: MDS: Cadernos de Estudos Desenvolvimento Social em Debate, vol. 23, p. 118-135.

Cardoso, F. B. da F. et al., 2008, Poços tubulares construídos no Brasil, Natal: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, novembro.

Carvalho, A.M. et al, 2009, Estão os aquíferos da região de Jurubatuba (São Paulo) sob risco? Anais do I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo: São Paulo, Revista Águas Subterrânea, 2009, https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22073, (acessado maio 2014).

Cavalcanti, C., 2010, Concepções da economia ecológica : suas relações com a economia dominante e a economia ambiental: São Paulo, Estudos Avançados, vol. 24, n 68, doi:10.1590/S0103-40142010000100007.

Chapagain, A. K., Tickner, D., 2012, Pegada hídrica: evolução do conceito e sua utilidade, in Empinotti, V., Jacobi, P. (orgs), 2012, Pegada hídrica: inovação, corresponsabilidização e os desafios da sua aplicação, SP: Annablume: PROCAM-USP. Brasília: CNPq.

Cleary, R.W., 1989, Águas Subterrâneas, http://www.clean.com.br/cleary.pdf, (acessado abril 2014).

Comisión Nacional Del Água, 1994, Manual para evaluar recursos hidráulicos subterrâneos: Mexico, Hidrolegro, S.C., 1994.

Comissão Pastoral da Terra (CPT), 2018, Relatórios de Conflitos no Campo no Brasil, 2018. Goiânia: CPT, https://cimi.org.br/2019/04/relatorio-cpt-aumento-pessoas-envolvidas-conflitos-campo-2018/.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 2001. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. 2001. Disponível em:

https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/.

Comunidade Européia, 2012, Directiva quadro água. CE: Serviço de Publicações: http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/ wfd/pt.pdf, (acessado outubro 2013).

Comunidade Européia, 2003, Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à proteção das águas subterrâneas contra a poluição. Bruxelas: COM 550, 2003, http://eur-lex.europa.eu/pt/, (acessado outubro 2013).

Conicelli, B. P., 2014, Gestão das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do Alto Tietê (SP), Tese de Doutorado.

Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), 2012, Parecer sobre o Plano Nacional de Recursos Hídricos, Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos, http://www.cnrh.gov.br/ctas-documentos-reunioes/ctas-2012- (acessado maio 2012).

Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (CONSEA), 2017, III Conferência Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional. Brasília: Presidência da República: Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (CONSEA), 2007, http://www4.planalto.gov.br/consea/eventos/conferencias/3a-conferencia-nacional-de-seguranca-alimentar-e-nutricional, acesso em 23/03/2017.

Consórcio ENGECORPS-WALM., 2017, Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e proposição de modelo de gestão integrada compartilhada: resumo executivo: ANA-Agência Nacional de Águas, Consórcio ENGECORPS-WALM.

Cook, B.R., Spray, C.J., 2012, Ecosystem Services and integrated water resources management: different path to same end? Journal of Enviromental Management, vol. 109, p. 93-100, 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479712002745 (Acessado abril 2014).

Correio do Povo, 2018, ONU deixa conceito de “revolução verde” para trás e adere à agroecologia, Campinas: 03/04/2018.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, (2017), Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS.

http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php, acesso em dez. 2017.

Daily, G. (ed)., 1997, Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems: Washington, Island Press, 412 p.

Daly, H., Farley, J., 2008, Economia Ecológica: princípios e aplicações: Lisboa, Instituto Piaget.

Daly, H., Farley, J., 2016, Economia ecológica: São Paulo, Annablume Cidadania e Meio Ambiente.

Dams, J., Woldeamlak, S.T., Batelaan, O., 2008, Predicting land-use change and its impact on the groundwater system of Kline Nete catchment, Belgium. In Hydrology and Earth System Sciences, v. 12, www.hydrol-earth-syst-sci.net/12/1369/2008. (acessado em 02/06/2019), doi:10.5194/hess-12-1369-2008.

Danielopol, D.L., Gibert, J., Griebler, C., et al., 2004, Incorporating ecological perspectives in European groundwater management policy. Environmental Conservation, v. 31, n. 3, p. 185–189. Disponível em: http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0376892904001444. (Acessado maio 2014), doi:10.5194/hess-12-1369-2008.

De Fries, R. S. et al., 2004, Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. USA: The Ecologial Society of America, https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/1540-9295%282004%29002%5B0249%3ALCBHNA%5D2.0.CO%3B2 (acessado maio 2014), doi:10.1890/1540-9295(2004)002[0249:LCBHNA]2.0.CO;2.

Dunford, R.W., 2000, Estimating groundwater damage from hazardous substance releases. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 126. Dec 2000, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2000)126:6(366).

Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H., 1981, Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species. Random House, New York.

Falcão, T., da Costa, P. V., 2014, A linha de extrema pobreza e o público-alvo do plano brasil sem miséria. Brasília: MDS, https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/brasil_sem_miseria/livro_o_brasil_sem_miseria/livro_obrasilsemmiseria.pdf, acesso em 21/10/2018.

FAO, 2003, Groundwater management: the search for practical approaches: Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations: Water Reports 25.

FAO/INCRA, 1996. Perfil da agricultura familiar no Brasil dossiê estatístico. Brasília: FAO: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), 24p.

Feitosa, F.A.C., Manoel Filho, J., 1997, *Hidrologia*, conceitos e aplicações: Recife, LABHID-UFPE: CPRM.

Fernandes, T., 2018, Abate de bovinos – evolução, Bebedouro: Scot Consultoria: 15/07/2018, https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/artigos/48625/abate-de-bovinos---evolucao.htm, acesso 13/05/2019.

Ferreira, R.S., 2018 a, Programa "Água Doce": empowering brazilian northeast rural communities to desalinated drinking water access: Brasília: 8º World Water Fórum, ppt.

Ferreira, R.S., 2018 b, Programa "Água Doce": Brasília, UNB: 8º Fórum Alternativo Mundial da Água: ppt, mar.

FGV, 2014, Valoração econômica de serviços ecossistêmicos relacionados aos negócios: Tendências em Serviços Ecossistêmicos (TeSE) http://www.gvces.com.br/pilotos-tese-2014?locale=pt-br.

Fogg, G., 2016, A gestão da crise hídrica na Califórnia e a Sustanable Groundwater Management Act, Davis: Universidade da Califórnia Campus Davis, Entrevista concedida a O. Aly Jr.

Foster, S. D., Ait-Kadi, M., 2012, Integrated water resources management (IWRM): how does groundwater fit in? Hydrogeoly Journal v, 20, pp 415-418, https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-012-0831-9, doi: 10.1007/s10040-012-0831-9.

Foster, S. D., Perry. C.J., 2010, Improving groundwater resource accounting in irrigated areas: a prerequisite for promoting sustainable use. Hydrogeoly Journal, 18(2), p 291-294, doi: 10.1007/s10040-009-0560-x.

Foster, S. D., MacDonald, A., 2014, The 'water security' dialogue: why it needs to be better informed about groundwater, Hydrogeology Journal (2014), doi:0.1007/s10040-014-1157-6.

Fundação Banco do Brasil, 2019. Dessalinizadores solar. Fundação Banco do Brasil: Banco de Tecnologias Sociais: Recursos Hídricos, http://tecnologiasocial.fbb.org.br/tecnologiasocial/banco-de-tecnologias-

sociais/pesquisar-tecnologias/dessalinizadores-solar.htm, acesso em 07/03/2019.

Galvão, P.H., 2015, Hydrogeologica conceptual model of Sete Lagoas (MG) and associated implications of urban development in karst regions. 2015. Tese Doutorado.

Gomes, M. A., Filizola, H.F., Spadotto, C. A., Pereira, A. S., 2008, Caracterização pedomorfológica das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: base para uma proposta de gestão sustentável. In GOMES, M. A. F (ed). Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental: Brasília Embrapa Informação Tecnológica, Https://Www.Embrapa.Br/Busca-De-Publicacoes/-/Publicacao/15642/Uso-Agricola-Das-Areas-De-Afloramento-Do-Aquifero-Guarani-No-Brasil-Implicacoes-Para-A-Agua-Subterranea-E-Propostas-De-Gestao-Com-Enfoque-Agroambiental.

Gomes, M. A., Spadotto, C.A., Pessoa, M.C.P.Y., 2008, Vulnerabilidade natural dos solos em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos: Brasilia, Embrapa Informação, https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/15646/vulnerabilidade-natural-do-solo-em-areas-agricolas-subsidio-a-avaliacao-do-risco-de-contaminacao-do-lencol-freatico-por-agroquimicos.

Gómez-Baggethun, E., Groot, R., Lomas, P. L., Montes, C., 2010, The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. Ecological Economics, v. 69, n. 6, p. 1209–1218, abr., doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.11.007.

Gonçalves Junior, R. G. et al., 2019, Sustainable groundewater exploition aiming at the reduction of water vulnerability in the Brazilian semi-arid region. Enrgies: vol. 12, doi: 10.3390/en12050904, www.mdpi.com/journal/energies.

Gondim, R.S., Castro, M.A.H., Teixeira, A.S., Evangelista, S.R.M, 2011, Impactos das mudanças climáticas na demanda de irrigação da bananeira na Bacia do Jaguaribe.: Campina Grande, v15, p. 594-600.

Gvces, 2016, Valoração econômica de serviços ecossistêmicos relacionados aos negócios: Estudos de caso do ciclo 2015. Centro de estudos em

sustentabilidade da escola de administração de empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas: São Paulo: 2016. 41 p.

Halverson, N., 2015, What California can learn from Saudi Arabia's water mistery. USA: California: The center for investigative report, abr, (acessado maio 2015), https://www.revealnews.org/article/what-california-can-learn-from-saudi-arabias-water-mystery/.

Haq, B., 2012, as evidências do aquecimento global. In: Arantes, A (org.). Mudanças Climáticas: fundamentos científicos e políticos: São Paulo, Fundação Maurício Grabois-Ed. Anita Garibaldi.

Hirata, R., et al., 2019, A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. SP: Instituto Trata Brasil.

Hirata, R., Zoby, J.L.G., & Oliveira, F.R. de., 2010, Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. In Águas do Brasil: análises estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica.

Hirata, R., Foster, S., Oliveira, F., 2015, Águas subterrâneas urbanas no Brasil. IGc-USP e FAPESP. São Paulo.

Hirata, R., Ferreira, L. M. R., 2001, Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição: Revista Brasileira de Geociências, n. 31 (1), p 43-50.

Hirata, R., Zoby, J.L.G., Oliveira, F.R., Recursos hídricos: uma visão estratégica (água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial?). s/d, 17p.

Hirata, R., 2013,, Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: linhas de ação para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, em um novo plano de bacia. Mime.

Hirata, R., Conicelli, B., 2012, Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change: Rio de Janeiro, Anais da Academia Brasileira de Ciências, vol. 84(2), doi: 10.1590/S0001-37652012005000037, (acessado maio 2018).

Hirata, R. Varnier, C., 1998, Águas subterrânea e agronegócios. ABAS: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22325, acesso em 11/11/2018.

Hunsten, D. 2016, A lei de gestão sustentável das águas subterrâneas e a realidade da agricultura familiar na Califórnia. Davis: Community Aliance with Family Farmers, Entrevistada concedida a Aly Jr., O.

IBGE, 1996, Censo Agropecuário, https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/CA/A/Q, (acessado maio 2017).

IBGE, 2006, Censo Agropecuário, https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/CA/A/Q, (acessado maio 2018).

IBGE, 2011, Atlas do espaço rural brasileiro, https://www.ibge.gov.br/geociencias/atlas/tematicos/16362-atlas-do-espaco-rural-brasileiro.html?=&t=o-que-e, (acessado abril 2019).

IBGE, 2017(a), CENSO AGROPECUÁRIO, https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017(acessado agosto 2018).

IBGE. 2017(b), População brasileira passa de 207,7 milhões em 2017. www.brasil.gov.br/cidadania-e-justiça/2014/08/população-brasileira-passa-de-207-7-milhões-em-2017, (acessado novembro 2017).

IBGE. 2018, Pesquisa Pecuária Municipal, https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2017, (acessado abril 2019).

IPEA. Primeira Conferência Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável e Solidário (1ª CNDRSS), Brasília: MDA: IPEA: 2008, ago, http://www.ipea.gov.br/participacao/images/pdfs/conferencias/Desenvolvimento_Rural_Sustentavel/deliberacoes_1_conferencia_desenvolvimento_rural_sustentavel.pdf, acesso em 21/09/2017.

ISTO É, 2018, Agroecologia é essencial para futura da humanidade, garante FAO: São Paulo, Editora Três, 03/04/2018.

Job, C.A., 2009, Groundwater economics: Boca Raton, CRC Press and Taylor & Francis Group, p. 519 – 546. doi: 10.1201/9781439809013

Leff, H., 2009, Ecologia, capital e cultura: A territorialização da racionalidade ambiental. Rio de Janeiro, Editora Petrópolis, p. 170-204.

López-Gunn, E., et al, 2014, Rethinking integrated water resources management: towards water and food security through adaptive management. In Wilaarts, B.A., Garrido, A., Llamas, M.R. (eds), Water for food and wellbeing in Latin

America and Caribbean: social and environmental implications for a globalized economy, Routledge, Oxon and New York, Doi: 10.43624/9781315883137.

Lockwood, Brian, 2016, A gestão da crise hídrica em Pajaro Valley, Califórnia: Pajaro Valley Water Management Agency, Entrevista concedida a O. Aly Jr.

Cornacchioni, L., 2019, Ele representa o agronegócio. E é contra mudar regra ambiental. Nexo Jornal: Entrevista, 05/05/2019, www.nexojornal.com.br/entrevista/, (acessado maio 2019).

Maia, A.G., Romeiro, A.R., Reydon, B.P., 2004, Valoração de recursos ambientais – Metodologias e recomendações: Campinas, IE/UNICAMP: Texto para Discussão n. 116.

Mantovani, L.E., Fritzsons, E., Wrege, M.S., 2016, Aspectos hidrológicos e hidrogeológicos da bacia do rio Fervida, aquífero Carste, Colombo, Paraná: Revista RA'e GA, v. 37, ago.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment, 2005 a, Relatório-Síntese Da Avaliação Ecossistêmica Do Milênio. Nações Unidas: Relatório Da Avaliação Do Milênio: Relatório-Síntese Da Avaliação Ecossistêmica Do Milênio – Minuta Final – Para Ser Copiada E Editada.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment, 2005 b, Ecossistemas E Bem-Estar Humano: Estrutura Para Uma Avaliação (Resumo). Https://Www.Millenniumassessment.Org/Documents/Document.63.Aspx.Pdf.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment, 2005 c, Ecosystem And Human Well-Being: Synthesis: Washington, Island Press.

MEA, 2005, Relatório-síntese da Avaliação Ecossistêmica do Milênio. Nações Unidas: Relatório da Avaliação do Milênio: Relatório-síntese da Avaliação Ecossistêmica do Milênio – minuta final – para ser copiada e editada.

Milaré, E., 2001, Direito do Ambiente. Doutrina – Prática – Jurisprudência – Glossário: São Paulo, Revista dos Tribunais.

MMA, 2006. Caderno Setorial da Agropecuária do Plano Nacional de Recursos Hídricos –PNRH. Brasília: MMA: Secretaria de Recursos Hídricos.

MPE - Ministério Público Estadual, 2011, Relatório do grupo de trabalho – Ato PGJ n. 36. SP: MPE.

Mota, R. S et al, 2010, A valoração da biodiversidade: conceito e concepções metodológicas. In MAY, P. H. Economia do Meio Ambiente: Teoria e prática: Rio de Janeiro, Elsevier.

Mota, R. S., 2006, Economia ambiental: Rio de Janeiro, Editora FGV.

Mota, R. S., 1997, Manual para a Valoração Econômica de Recursos Ambientais: Rio de Janeiro, IPEA/PNUD/CNPq.

Moraes, L.L., Gaspar, M.T.P., 2019, Avaliação da disponibilidade hídrica: Uma abordagem integrada: São Luis, 2ª Oficina Projeto intercambio sobre outorga de direto de uso da água, maio (mimeo).

Nobre, C., 2012, O ônus e bônus das mudanças climáticas. In: Arantes, A (org.). Mudanças Climáticas: fundamentos científicos e políticos: São Paulo, Fundação Maurício Grabois-Ed. Anita Garibaldi.

Noogard, R., 1997, Valoração ambiental na busca de um futuro sustentável. In: Cavalcanti, C. (Org.). Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas. sustentável e políticas públicas. São Paulo: Cortez, 1997.

Nunes, C.M., 2012, Projeto de integração do Rio São Francisco com bacias hidrográficas do Nordeste setentrional – PISF, Brasília: ANA: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), p 4-74.

OCDE, 2015, Governança dos recursos hídricos no Brasil. Paris: OCDE, doi:10.178/9789264238169, (acessado julho 2018).

Paulilo, J. et al., 2011, Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o Censo Agropecuário 2006: Botucatu, Irriga, v. 16, n. 2, p. 163 -176, abril-junho, https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47913/1/2011AP16.pdf, (acessado maio 2014), ISSN 1808-3765.

Perry, C., 2018, Improving irrigation management in conditions of scarcity: myth vs truth, Global Water Forum, http//www.globalwaterforum.org/2018/05/22/improving-irrigation-management-in-conditions-of-scarcity-myth-vs-truth/.

Pompermayer, R.S., 2012, Valoração econômica do serviço ambiental de proteção da qualidade hídrica [Tese de Doutorado]: Brasília, Universidade de Brasilia.

PNUMA - Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente, 2005, Relatório síntese da avaliação ecossistêmica do milênio. ONU,. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.446.aspx.pdf>. (Acessado junho de 2014).

Prado Fº, H.R. DO. (2010) .Área contaminada: a região do Jurubatuba (SP) ainda convive com esse problema muito sério. In http://qualidadeonline.files.wordpress.com/2010/08/jurubatuba.jpg, (acessado junho 2014).

Rebouças, A., 2006, Águas Subterrâneas. In Rebouças, A., Braga, B., Tundisi, J. G., (org.). Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. SP: Escrituras Editora, 3ª. Edição.

Robertson, V de P. et al., 2012, Estabilidade temporal da potenciometria e da salinidade em vale aluvial no semiárido de Pernambuco: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.11, p.1188 – 1197.

Rocha, G.A.O., 1997, Grande manancial do cone sul: Revista de Estudos Avançados, v.11, nº30, mai-ago, 1997, doi:10.1590/s0103-40141997000200013.

Runsten, D., 2016, Os agricultores familiares e a gestão da crise hídrica na Califórnia, Davis: Community Alliance with Family Farmers (CAFF), Entrevista concedida para Aly Jr., O.

Senra, J. B., 2012, Programa Nacional de Águas Subterrâneas e gestão integrada de recursos hídricos. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, (acessado maio 2012), https://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/programa-nacional-de-aguas-subterraneas.html.

Simonato, M., 2013, Gestão das águas subterrâneas em áreas urbanas: estudo de caso em São José do Rio Preto (SP). 2009. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências.

Sinclair Knight Merz., 2001, Environmental water requirements of groundwater dependent ecosystems. Austrália: Canberra: Environmental Flows Initiative Technical Report n. 2.

Silva, W. R., Silva, M. R., Pires, T. B., 2014, O uso sustentável e a qualidade da água na produção anima, Revista Eletrônica Nutritime, vol. 11, n. 05, set/out, www.nutritime.com.br/arquivosinternos/artigos/artigo266.pdf, acesso em maio de 20189.

The Economist., 2019, Thirsty Planet Water, Special Report. Inglaterra: The Economist, march, 2019, https://www.economist.com/special-report/2019/02/28/, (acessado março 2019).

Tickell, C. , 2006, Earth System Science: are we pushing Gaya too hard?, www.le.ac.uk/ebulletin-archive/ebulletin/features/2000-2009/2006/11/nparticiple.2006-11-20.html , (acessado junho 2014).

Tuinhof, A., Dumars, C., Foster S., Kemper, K., Garduño, H., Nanni, M. 2006. Groundwater resource management an introduction to its scope and practice 2002-2006. Banco Mundial: GW-Mate: Briefing Note Series: note 1.

Tuinstra, J., Wensen, J. van. , 2014, Ecosystem services in sustainable groundwater management. Science of total Environment, 2014, doi:10.1016/j.scitotenv.2014.03.098. (acessado março 2015).

UNESCO, 2015, Water for a Sustainable world: the Unitade Nations world water development report 2015. França: Unitated Nations: UNESCO, https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823, (acessado junho 2016).

UOL Notícias, 2019 a, Após 15 anos, cisterna garante água a nordestinos, mas engatinha em cultivo. SP: UOL Notícias/ cotidiano, 04/01/2019, https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2019/01/04/apos-15-anos-cisterna-garante-agua-a-nordestinos-mas-engatinha-em-cultivo.htm, (acessado janeiro 2019).

UOL, 2019 b, Nordeste enfrenta crise maior e PIB local cresce metade da média do país, SP: UOL Notícias, 06/04/2019, https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2019/04/06/pib-economia-nordeste.htm, (acesso em 29 março de 2019).

Valor Econômico, 2018, Benefícios do Bolsa Família sustentam 21% da população do país, SP: Valor Econômico: 05/02/2018 https://www.valor.com.br/brasil/5306087/beneficios-do-bolsa-familia-sustentam-21-da-populacao-do-pais, (acessado maio de 2018).

Vasconcelos, M.B., 2014, Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. SP: ABAS: Suplemento - Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

Villar, P.C., 2016, As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise: Revista Ambiente e Sociedade, v. XIX, jan/mar, 2016, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2016000100085&lng=en&nrm=iso&tlng=pt, (acessado março 2016).

Visentin, J.C. 2017, O Uso Da Água E A Interdependência Das Economias Regionais: O Caso Das Bacias Hidrográficas Brasileira [Tese De Doutorado Em Economia]: São Paulo, Universidade De São Paulo, Faculdade De Economia, Administração E Contabilidade. 163 p.

Viviani-Lima, J. B., 2007, Estimativa da recarga dos aquíferos urbanos na Bacia do Alto Tietê, Tese Doutorado - Instituto de Geociências.

Vrba, J., Lipponen, A (editores)., 2007, Groundwater resources sustainability indicators. FRANÇA: United Nationons Ecutional, Scientific and Cultural Organization (UNESCO): Groundwater Indicators Working Group UNESCO-IAEA-IAH: IHP-VI Series On Groundwater n. 14, http;//www.unesco.org/, acesso em 11/05/2017.

Wada, Y., 2012, Non-sustainable groundwater sustaining irrigation. Global Water Forum, http//www.globalwaterforum.org/2012/02/13/non-sustainable-groundwater-sustainable-irrigation/, (acessado janeiro 2018).

Walton, B., 2017, US household water use continues to decline, Water management, Water News: Circle of blue, nov, 8, 2017, https://www.circleofblue.org/2017/world/u-s-household-water-use-continues-decline/.

Willaarts, B. A., GArrido, A., Llamas, M. R., (coord.) 2014. Water for food security and well-being in Latin America and the Caribbean social and environmental implications for a globalized economy. Espanha: The Botín Foundation. https://www.researchgate.net/publication/281457559_water_and_food_security_in_latin_america_and_the_caribbean_regional_opportunities_to_cope_with_global_challenges_with_global_challenges, acesso em 05/07/2017.

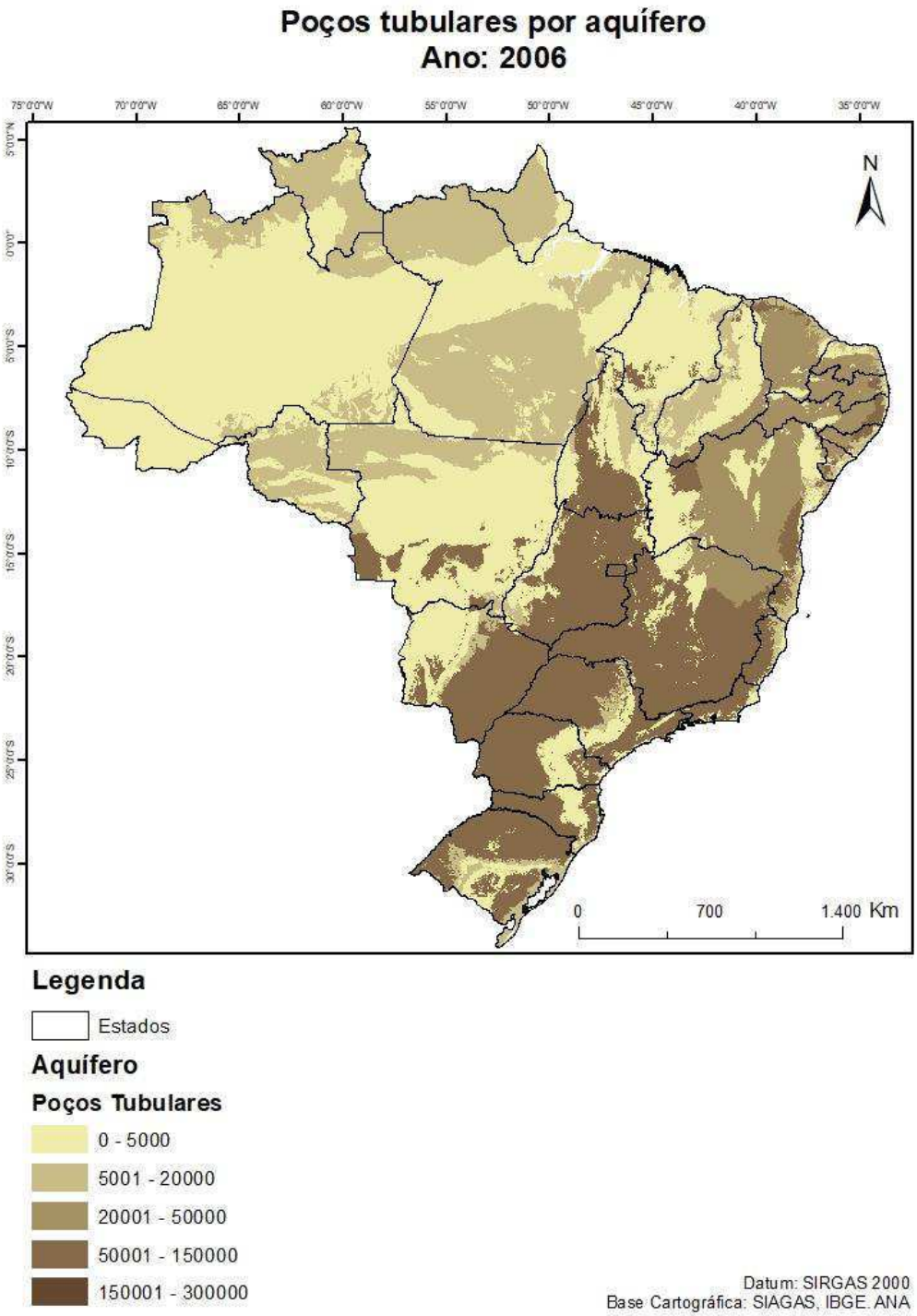
APÊNDICES

Apêndice A Número de Municípios no estado por Faixa de IIH, Brasil e Estados

ESTADO	IIH MUITO BAIXA	IIH BAIXA	IIH MODERADA	IIH GRAVE	IIH AGUDA	TOTAL DOS MUNICIPIOS
RO	47	3	2	0	0	52
AC	10	5	1	6	0	22
AM	3	7	13	24	15	62
RR	8	3	1	2	1	15
PA	47	32	42	14	8	143
AP	6	4	4	1	1	16
TO	85	41	13	0	0	139
MA	9	20	37	76	75	217
PI	1	3	29	110	80	223
CE	0	2	23	124	35	184
RN	11	14	41	64	37	167
PB	5	19	73	104	22	223
PE	2	6	36	99	42	185
AL	1	14	25	37	25	102
SE	0	0	2	41	32	75
BA	11	44	78	187	97	417
MG	210	370	204	62	7	853
ES	41	28	8	1	0	78
RJ	38	27	20	4	0	89
SP	227	288	92	20	3	630
PR	40	186	142	31	0	399
SC	158	96	30	7	2	293
RS	107	265	112	12	0	496
MS	23	31	17	7	0	78
MT	91	37	11	2	0	141
GO	140	74	26	5	1	246
DF	0	0	1	0	0	1
BRA	1321	1619	1083	1040	483	5546

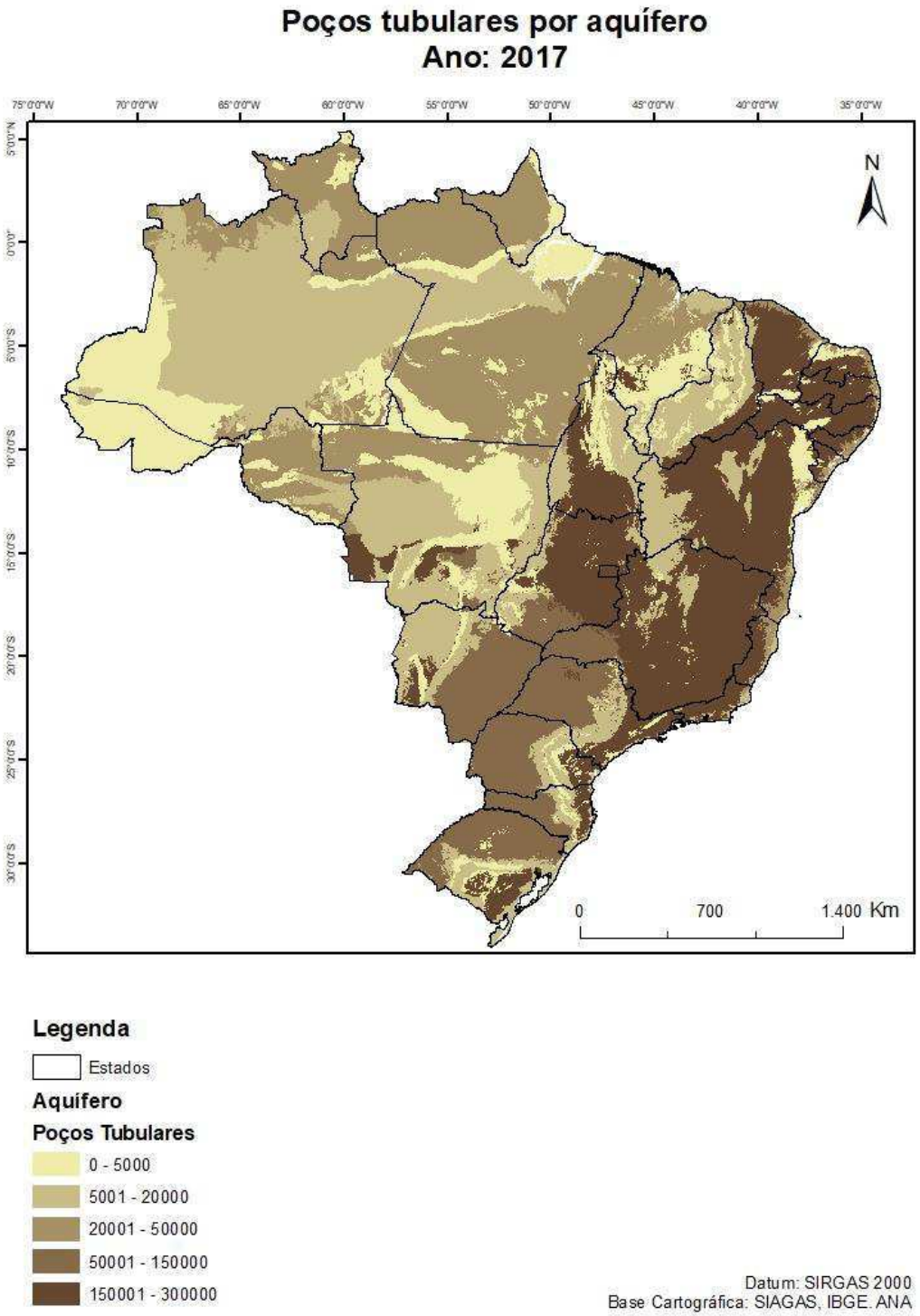
Fonte: Censo do IBGE 2006, organizado pelo.

Apêndice B - Mapa Poços Por Domínios Aquíferos 2006



Aquíferos Brasileiros Quantidade de Poços de Acordo com o Censo do IBGE 2006.
Fonte: IBGE 2006 organizado pelo autor

Apêndice C - Mapa Poços Por Domínios Aquíferos 2017



Aquíferos e a quantidade de poços tubulares na zona rural brasileira 2017 Fonte: IBGE 2006 organizado pelo autor

Apêndice D Quantidade de municípios do mais de 50% dos EA com poços tubulares, base Censo Agropecuário 2006 e 2017

Estado	2017	2006
(SP)	243	57
(GO)	100	2
(MG)	94	1
(RS)	65	22
(MT)	49	8
(MS)	35	4
(PR)	28	0
(PB)	25	0
(ES)	20	1
(SC)	20	2
(TO)	17	0
(RN)	15	1
(RJ)	13	2
(PA)	11	2
(BA)	7	0
(PI)	5	0
(MA)	4	0
(PE)	3	0
(CE)	2	0
(RO)	1	0
(AP)	1	0
(AL)	1	0
(SE)	1	0
(AC)	0	0
(AM)	0	0
(RR)	0	0
(DF)	0	0

Fonte: IBGE 2006 e 2017, organizado pelo autor

Apêndice E– M-RHEA e Variação para os Estados anos 2006 e 2017

UNIDADE	M-HEA_06	M-RHEA-17	VARIAÇÃO %
BRASIL	1,15	1,43	24,59
RO	2,03	2,1	3,49
AC	1,26	1,88	49,62
AM	0,71	1,21	70,84
RR	1,75	1,76	0,68
PA	1,29	1,57	21,24
AP	1,3	1,35	4,28
TO	1,7	1,94	14,04
MA	0,59	0,82	43,56
PI	0,61	0,9	46,97
CE	0,7	1,16	66,13
RN	0,93	1,47	58,7
PB	0,95	1,5	58,56
PE	0,81	1,31	61,62
AL	0,69	1,16	69,33
SE	0,56	0,77	36,51
BA	0,72	1,12	54,55
MG	1,36	1,58	16,11
ES	1,67	1,76	5,44
RJ	1,39	1,46	5,72
SP	1,61	1,71	5,73
PR	1,52	1,69	11,06
SC	1,84	1,97	7,08
RS	1,64	1,71	3,99
MS	1,45	1,41	2,46
MT	1,79	1,93	7,93
GO	1,82	1,97	8,36
DF	1,68	1,46	13,2

Fonte: IBGE 2006, IBGE,2017, organizado pelo autor

Apêndice F Fontes de água semiárido 2006-2017

	Nascentes	Poço Comum	Poço Tubular	águas superficiais	Cisterna	Lagos	TOTAL DE FONTES
2006							
Brasil	1.544.916	1.225.576	323.189	2.194.817	669.265	1.215.952	7.173.715
Nordeste	199.537	336.307	93.339	653.993	476.127	432.955	2.192.258
Semiárido	99.250	167.615	62.133	478.985	435.468	331.199	1.574.650
semiárido (-MG)	84.679	160.255	57.273	432.578	424.960	319.014	1.478.759
Semiárido (-MG)/Nordeste *	42%	48%	61%	66%	89%	74%	67%
% SEMIRARIO (-MG)/ TOTAL DA FONTE**	5,48%	10,37%	3,71%	28,00%	27,51%	20,65%	95,72%
% Semiárido/ TOTAL FONTES do semiárido ***	6%	11%	4%	30%	28%	21%	100%
2017							
Brasil	1.539.424	1.314.576	1.016.671	2.310.344	1.093.153	N.D	7.274.168
Nordeste	196.039	450.814	318.476	669.727	974.154	N.D	2.609.210
Semiárido	88.537	242.261	220.067	486.400	951.107	N.D	1.988.372
semiárido (-MG)	73883	229.549	201.472	440.403	902.504	N.D	1.847.811
Semiárido (-MG)/Nordeste *	38%	51%	63%	66%	93%		93%
% SEMIRARIO (-MG)/ TOTAL DA FONTE**	5,75%	18,43%	21,65%	21,05%	87,01%		87,01%
% Semiárido/ TOTAL FONTES do semiárido ***	4%	12%	11%	24%	48%		48%

* participação do semiárido em relação a mesma fonte no Nordeste
** semiárido sem Minas em relação ao total da fonte no pais(p ex. nascentes semiárido / nascentes BRASIL)
***calculou-se o peso relativo da fonte na região em relação ao total geral na região de fontes citadas

Apêndice G Número de estabelecimentos agropecuários com recursos hídricos (Unidades)

	Grupos de atividade econômica CENSO 2006	Total	SUBTERRÂNEAS Nascentes	poços comuns	tubulares	TOTAL SUBTER-RÂNEA	SUPERFICIAL	METEORICA Cisternas
Rondônia	Total	83.292	66.681	66.029	1.026	133.736	89.956	1076
	Produção de lavouras temporárias	6.613	4.289	5.063	133	9.485	5.524	67
	Horticultura e floricultura	1.654	1.018	1.336	64	2.418	1.431	14
	Produção de lavouras permanentes	17.094	11.655	14.412	110	26.177	14.897	177
	Pecuária e criação de outros animais	56.839	48.952	44.490	696	94.138	67.026	811
	outras atividades	1.092	767	728	23	1.518	1.078	7
Acre	Total	24.008	19.184	8.905	433	28.522	22.176	148
	Produção de lavouras temporárias	7.718	6.098	1.962	86	8.146	6.258	34
	Horticultura e floricultura	486	317	330	24	671	399	8
	Produção de lavouras permanentes	1.545	1.058	585	27	1.670	1.623	10
	Pecuária e criação de outros animais	12.435	10.255	5.678	275	16.208	12.486	88
	outras atividades	1.824	1.456	350	21	1.827	1.410	8
Amazonas	Total	32.966	16.202	4.661	1.490	22.353	37.458	492
	Produção de lavouras temporárias	13.947	6.326	976	277	7.579	16.290	148
	Horticultura e floricultura	1.338	529	161	117	807	1.736	41
	Produção de lavouras permanentes	5.692	2.875	1.211	376	4.462	5.311	70
	Pecuária e criação de outros animais	8.793	5.056	1.999	588	7.643	10.217	209
	outras atividades	3.196	1.416	314	132	1.862	3.904	24
Roraima	Total	9.075	5.238	7.619	302	13.159	8.216	225
	Produção de lavouras temporárias	1.774	878	1.550	21	2.449	1.340	60
	Horticultura e floricultura	161	51	119	36	206	92	3
	Produção de lavouras permanentes	900	674	807	6	1.487	901	28
	Pecuária e criação de outros animais	5.821	3.381	4.853	235	8.469	5.486	121
	outras atividades	419	254	290	4	548	397	13
Pará	Total	164.249	86.816	87.670	9.055	183.541	151.611	8.149
	Produção de lavouras temporárias	53.521	22.347	30.609	2.387	55.343	41.367	925
	Horticultura e floricultura	2.989	955	1.569	714	3.238	1.722	169
	Produção de lavouras permanentes	22.341	9.061	10.533	1.224	20.818	18.123	259
	Pecuária e criação de outros animais	68.126	47.544	40.133	4.210	91.887	73.268	6.582
	OUTRAS ATIVIDADES	17.272	6.909	4.826	520	12.255	17.131	214
Amapá	Total	2.752	1.278	1.616	259	3.153	2.557	29

	Produção de lavouras temporárias	952	542	562	96	1.200	779	2
	Horticultura e floricultura	80	20	55	20	95	71	9
	Produção de lavouras permanentes	594	321	379	65	765	482	6
	Pecuária e criação de outros animais	882	274	508	73	855	1.012	9
	outras atividades	244	121	112	5	238	213	3
	Total	50.996	29.157	21.764	1.741	52.662	56.012	7.155
Tocantins	Produção de lavouras temporárias	8.047	4.065	3.182	225	7.472	8.299	1.005
	Horticultura e floricultura	590	258	281	35	574	560	77
	Produção de lavouras permanentes	994	485	433	53	971	926	151
	Pecuária e criação de outros animais	39.745	23.538	17.312	1.376	42.226	44.468	5.741
	outras atividades	1.620	811	556	52	1.419	1.759	181
	Total	114.058	31.698	71.730	8.640	112.068	106.323	3.306
	Produção de lavouras temporárias	51.799	12.450	31.984	3.481	47.915	41.244	1.448
Maranhão	Horticultura e floricultura	2.060	369	1.354	344	2.067	1.115	145
	Produção de lavouras permanentes	3.455	975	2.382	396	3.753	2.735	142
	Pecuária e criação de outros animais	47.315	15.358	30.215	3.618	49.191	53.193	1.368
	outras atividades	9.429	2.546	5.795	801	9.142	8.036	203
	Total	91.292	11.758	40.676	17.432	69.866	77.027	33.382
	Produção de lavouras temporárias	35.307	4.542	14.898	5.171	24.611	29.581	13.626
Piauí	Horticultura e floricultura	2.318	80	695	1.408	2.183	546	238
	Produção de lavouras permanentes	4.434	534	2.672	1.251	4.457	2.195	1.872
	Pecuária e criação de outros animais	43.588	5.841	19.755	8.722	34.318	39.940	16.279
	outras atividades	5.645	761	2.656	880	4.297	4.765	1.367
	Total	165.819	21.008	78.166	14.899	114.073	168.707	50.745
	Produção de lavouras temporárias	67.595	8.260	27.991	4.897	41.148	68.350	20.780
Ceará	Horticultura e floricultura	4.072	828	2.301	462	3.591	3.064	387
	Produção de lavouras permanentes	18.875	2.975	12.910	2.288	18.173	10.281	4.621
	Pecuária e criação de outros animais	70.410	8.237	33.096	6.840	48.173	81.471	23.454
	outras atividades	4.867	708	1.868	412	2.988	5.541	1.503
	Total	36.063	5.170	10.703	5.966	21.839	44.288	29.924
	Produção de lavouras temporárias	10.096	1.325	2.770	1.513	5.608	11.057	9.929
Rio Grande do Norte	Horticultura e floricultura	608	92	211	115	418	634	276
	Produção de lavouras permanentes	2.443	549	872	541	1.962	2.011	2.839
	Pecuária e criação de outros animais	21.669	3.023	6.577	3.575	13.175	29.013	15.839
	OUTRAS ATIVIDADES	1.247	181	273	222	676	1.573	1.041
Paraíba	Total	82.652	19.563	22.068	10.301	51.932	103.209	53.935

	Produção de lavouras temporárias	27.713	5.717	7.348	2.615	15.680	32.360	19.685
	Horticultura e floricultura	3.479	1.727	1.085	356	3.168	3.396	1.715
	Produção de lavouras permanentes	4.968	3.321	1.345	527	5.193	4.538	2.586
	Pecuária e criação de outros animais	44.266	8.261	11.917	6.617	26.795	59.686	28.676
	outras atividades	2.226	537	373	186	1.096	3.229	1.273
	Total	125.976	53.836	27.716	11.017	92.569	152.496	94.224
Pernambuco	Produção de lavouras temporárias	46.268	17.138	10.170	3.891	31.199	53.088	40.043
	Horticultura e floricultura	7.559	6.230	2.159	630	9.019	7.803	2.500
	Produção de lavouras permanentes	11.367	9.626	3.308	924	13.858	10.641	2.982
	Pecuária e criação de outros animais	58.077	20.115	11.544	5.299	36.958	77.336	46.925
	outras atividades	2.705	727	535	273	1.535	3.628	1.774
	Total	48.358	25.009	15.445	1.622	42.076	53.058	26.864
Alagoas	Produção de lavouras temporárias	24.189	9.975	10.232	608	20.815	22.094	13.543
	Horticultura e floricultura	1.603	1.284	644	93	2.021	854	135
	Produção de lavouras permanentes	4.082	4.347	1.163	247	5.757	3.982	630
	Pecuária e criação de outros animais	18.090	9.156	3.342	652	13.150	25.491	12.283
	outras atividades	394	247	64	22	333	637	273
	Total	32.955	10.019	8.727	2.520	21.266	38.228	19.814
Sergipe	Produção de lavouras temporárias	7.498	1.871	2.184	477	4.532	8.181	6.362
	Horticultura e floricultura	1.665	233	667	461	1.361	1.342	428
	Produção de lavouras permanentes	7.012	2.490	3.262	558	6.310	4.964	2.925
	Pecuária e criação de outros animais	16.262	5.238	2.491	957	8.686	23.104	9.899
	outras atividades	518	187	123	67	377	637	200
	Total	314.117	118.927	61.076	20.942	200.945	343.612	163.933
Bahia	Produção de lavouras temporárias	74.842	18.917	18.600	5.129	42.646	73.666	51.604
	Horticultura e floricultura	8.595	3.535	2.202	923	6.660	7.480	2.922
	Produção de lavouras permanentes	71.392	46.450	10.641	3.112	60.203	72.434	16.364
	Pecuária e criação de outros animais	147.425	45.964	27.658	11.201	84.823	176.576	87.659
	outras atividades	11.863	4.061	1.975	577	6.613	13.456	5.384
	Total	429.316	322.756	64.948	30.909	418.613	429.051	81.121
Minas Gerais	Produção de lavouras temporárias	70.484	44.361	10.992	4.673	60.026	69.222	14.407
	Horticultura e floricultura	21.233	13.939	4.138	1.517	19.594	20.540	5.098
	Produção de lavouras permanentes	78.201	73.471	8.751	4.200	86.422	73.583	10.323
	Pecuária e criação de outros animais	248.629	184.221	39.747	19.924	243.892	254.863	49.291
	outras atividades	10.769	6.764	1.320	595	8.679	10.843	2.002
Espírito Santo	Total	75.048	79.366	18.382	8.402	106.150	78.913	7.906
	Produção de lavouras temporárias	4.335	4.038	1.274	467	5.779	4.123	575

	Horticultura e floricultura	5.455	4.769	1.198	702	6.669	6.011	363
	Produção de lavouras permanentes	46.681	49.501	11.492	4.937	65.930	48.964	4.758
	Pecuária e criação de outros animais	17.692	20.242	4.275	2.192	26.709	18.897	2.139
	outras atividades	885	816	143	104	1.063	918	71
	Total	48.533	46.073	18.134	5.855	70.062	40.899	2.275
Rio de Janeiro	Produção de lavouras temporárias	7.237	5.090	4.081	735	9.906	4.369	216
	Horticultura e floricultura	9.050	7.646	2.277	1.616	11.539	7.499	501
	Produção de lavouras permanentes	5.562	5.436	1.655	556	7.647	4.065	260
	Pecuária e criação de outros animais	26.157	27.444	9.972	2.857	40.273	24.400	1.263
	outras atividades	527	457	149	91	697	566	35
	Total	196.538	114.398	84.681	48.698	247.777	194.927	10.114
São Paulo	Produção de lavouras temporárias	34.209	19.550	13.887	7.808	41.245	35.672	2.091
	Horticultura e floricultura	18.429	9.397	9.997	3.590	22.984	16.612	823
	Produção de lavouras permanentes	36.177	20.664	15.159	10.179	46.002	34.437	1.743
	Pecuária e criação de outros animais	104.151	62.336	44.278	26.404	133.018	104.217	5.284
	outras atividades	3.572	2.451	1.360	717	4.528	3.989	173
	Total	300.452	205.858	125.636	21.657	353.151	302.179	6.996
Paraná	Produção de lavouras temporárias	136.316	92.882	59.120	7.823	159.825	135.086	2.723
	Horticultura e floricultura	11.883	6.814	5.990	1.139	13.943	10.542	354
	Produção de lavouras permanentes	17.445	10.351	6.025	1.858	18.234	15.923	408
	Pecuária e criação de outros animais	126.549	89.322	51.176	10.449	150.947	132.113	3.383
	outras atividades	8.259	6.489	3.325	388	10.202	8.515	128
	Total	173.330	149.855	89.282	11.158	250.295	192.527	3.819
Santa Catarina	Produção de lavouras temporárias	77.595	65.764	44.383	4.009	114.156	84.883	1.240
	Horticultura e floricultura	7.224	5.723	2.829	536	9.088	7.699	287
	Produção de lavouras permanentes	7.197	6.255	2.666	811	9.732	7.519	373
	Pecuária e criação de outros animais	72.772	64.775	36.636	5.357	106.768	82.938	1.746
	outras atividades	8.542	7.338	2.768	445	10.551	9.488	173
	Total	373.942	307.451	173.447	47.184	528.082	417.669	16.036
Rio Grande do Sul	Produção de lavouras temporárias	183.767	147.603	87.250	20.503	255.356	201.484	6.905
	Horticultura e floricultura	12.344	8.800	5.701	2.332	16.833	12.172	736
	Produção de lavouras permanentes	17.296	17.570	5.225	2.393	25.188	17.733	1.262
	Pecuária e criação de outros animais	148.157	123.033	70.184	20.200	213.417	173.446	6.673
	outras atividades	12.378	10.445	5.087	1.756	17.288	12.834	460
	Total	52.947	23.925	25.723	15.691	65.339	51.826	2.393
Mato Grosso do Sul	Produção de lavouras temporárias	9.283	3.929	5.732	2.075	11.736	6.919	172
	Horticultura e floricultura	1.312	399	670	428	1.497	921	47

	Produção de lavouras permanentes	506	124	289	125	538	293	14
	Pecuária e criação de outros animais	41.371	19.246	18.878	12.904	51.028	43.172	2.024
	outras atividades	475	227	154	159	540	521	136
	Total	103.317	59.264	53.878	13.016	126.158	112.835	6.799
Mato Grosso	Produção de lavouras temporárias	12.586	6.557	5.505	3.389	15.451	12.269	703
	Horticultura e floricultura	3.515	1.615	2.012	544	4.171	3.268	203
	Produção de lavouras permanentes	3.374	1.838	2.200	291	4.329	3.192	72
	Pecuária e criação de outros animais	81.889	48.169	43.546	8.491	100.206	92.042	5.739
	outras atividades	1.953	1.085	615	301	2.001	2.064	82
	Total	120.469	72.287	36.007	12.259	120.553	132.244	36.827
Goiás	Produção de lavouras temporárias	13.890	7.961	4.018	1.789	13.768	15.273	3.908
	Horticultura e floricultura	3.695	1.706	1.217	305	3.228	3.911	1.246
	Produção de lavouras permanentes	1.823	993	567	190	1.750	1.808	603
	Pecuária e criação de outros animais	99.635	60.860	29.937	9.804	100.601	109.623	30.704
	outras atividades	1.426	767	268	171	1.206	1.629	366
	Total	3.123	1.534	887	715	3.136	2.765	1.578
Distrito Federal	Produção de lavouras temporárias	671	374	174	156	704	612	316
	Horticultura e floricultura	968	401	298	205	904	786	680
	Produção de lavouras permanentes	139	57	43	24	124	113	78
	Pecuária e criação de outros animais	1.295	679	360	317	1.356	1.206	487
	Total	3.123	1.534	887	715	3.136	2.765	1.578

Fonte: IBGE - Censo Agropecuário

Apêndice H - Aquíferos Brasileiros Quantidade de Poços de Acordo com o Censo do IBGE 2006 e 2017

Aquífero	Poços 2006	Vazão 2006 (4m³/h)¹	Vazão 06 (7m³/h)²	Poços 2017	Vazão 2017 (4m³/h)¹	Vazão 2017 (7m³/h)²
Algodoais	8	52.583	93.797	64	445.365	794.435
Alter do Chão	2.541	17.566.099	31.334.140	8.344	57.673.607	102.877.298
Alto Paraguai	439	3.032.918	5.410.073	1.637	11.315.973	20.185.261
Alto Tapajós	40	273.114	487.177	480	3.319.960	5.922.095
Angico	5	34.560	61.648	65	449.280	801.419
Aquidauana	1.733	11.979.827	21.369.432	5.171	35.743.283	63.758.322
Araguaia-Bananal	844	5.835.427	10.409.146	5.046	34.875.097	62.209.664
Açu	460	3.177.448	5.667.883	1.355	9.366.283	16.707.433
Barra de Itiúba	4	28.551	50.929	8	52.210	93.132
Barreiras	11.930	82.462.347	147.095.074	49.184	339.956.736	606.409.631
Bateias-Campo Alegre	5	35.424	63.189	27	185.436	330.778
Bauru-Caiuá	53.836	372.116.412	663.775.570	93.806	648.384.926	1.156.579.125
Beberibe	55	379.366	676.707	48	329.617	587.965
Beneficente	69	480.034	856.277	494	3.414.349	6.090.464
Betânia	26	180.998	322.861	108	743.984	1.327.107
Boa Viagem	58	400.952	715.212	102	707.619	1.262.239
Boa Vista-Areias Brancas	52	360.893	643.755	617	4.264.160	7.606.343
Brejo Santo	221	1.529.906	2.729.022	638	4.406.401	7.860.071
Cabeças	3.343	23.105.566	41.215.355	8.168	56.460.009	100.712.502
Cachoeirinha	286	1.979.530	3.531.055	604	4.175.644	7.448.451
Cachoeirinha Gemaque	4	27.086	48.316	22	151.805	270.788
Calumbi	2	12.494	22.286	12	81.903	146.097
Camamu-Almada	4	25.184	44.924	17	115.431	205.904
Camaquã	128	882.854	1.574.821	327	2.260.660	4.032.531
Campos Novos	6	44.242	78.917	24	164.745	293.870
Cananéia	22	153.126	273.144	167	1.157.288	2.064.353
Carnaubeira da Penha	14	97.517	173.949	54	371.022	661.824
Castro	15	103.782	185.124	63	434.867	775.710
Cauê	2	11.965	21.343	6	43.044	76.780
Cedro	55	383.155	683.467	83	571.880	1.020.111
Cercadinho	1	4.096	7.306	3	17.295	30.850
Codó	207	1.432.478	2.555.233	953	6.584.278	11.744.934
Coimbra	0	1.175	2.095	0	1.934	3.450
Coqueiro Seco	0	1.619	2.887	0	2.428	4.331
Corda	1.162	8.033.832	14.330.627	3.534	24.424.008	43.567.173
Corupá	4	25.873	46.151	25	172.281	307.312
Cubencranquém	3	20.101	35.856	55	383.058	683.293
Curuá	50	346.832	618.673	275	1.902.673	3.393.959
Dardanelos	517	3.573.241	6.373.894	1.696	11.725.706	20.916.135
Dois Irmãos	2	15.852	28.277	18	123.794	220.823
Ererê	10	66.714	119.004	84	582.609	1.039.250

Fazenda São Roque	6	38.584	68.826	32	219.745	391.978
Furnas	827	5.719.593	10.202.523	2.974	20.559.489	36.673.702
Fátima	67	462.149	824.375	247	1.706.451	3.043.942
Gorotire	55	377.422	673.240	403	2.786.985	4.971.381
Grajaú	159	1.096.740	1.956.348	492	3.402.356	6.069.071
Guabirotuba	71	488.773	871.865	287	1.982.272	3.535.947
Guaporé	36	247.503	441.492	356	2.459.070	4.386.452
Guarani	12.595	87.057.328	155.291.531	17.909	123.789.711	220.814.195
Icó	32	222.217	396.388	41	284.699	507.841
Igarapé de Areia	4	29.837	53.223	51	354.379	632.135
Igreja Nova	3	19.238	34.316	30	210.654	375.762
Iguatu	93	642.010	1.145.208	288	1.989.525	3.548.884
Ilhas	151	1.041.091	1.857.082	431	2.978.952	5.313.809
Inferior da Bacia do Araripe	307	2.123.459	3.787.793	664	4.590.949	8.189.265
Itajaí	97	672.186	1.199.035	230	1.590.796	2.837.638
Itapecuru	4.582	31.668.998	56.490.675	20.300	140.316.364	250.294.186
Itaqueri	307	2.121.532	3.784.357	624	4.313.422	7.694.216
Itararé	2.947	20.366.340	36.329.167	8.562	59.181.684	105.567.384
Içá	692	4.781.973	8.530.010	5.293	36.585.078	65.259.903
Jaciparaná	3	18.893	33.702	13	89.588	159.805
Juá	26	178.580	318.549	12	84.136	150.080
Lavras da Mangabeira	17	117.123	208.921	50	344.515	614.540
Lima Campos	21	144.860	258.400	29	199.230	355.383
Longá	2.030	14.028.975	25.024.672	4.993	34.510.055	61.558.509
Macacu	23	160.866	286.950	52	358.177	638.911
Maecuru	22	153.876	274.483	170	1.177.210	2.099.889
Malhada Vermelha	1	8.660	15.448	5	37.306	66.545
Marajó	944	6.525.528	11.640.137	4.984	34.452.336	61.455.551
Marizal	1.369	9.461.155	16.876.664	4.519	31.237.734	55.721.393
Marrecas	9	65.068	116.067	12	79.694	142.157
Mirandiba	30	209.842	374.313	82	567.299	1.011.940
Monte Alegre	16	109.714	195.707	80	555.075	990.135
Motuca	454	3.139.783	5.600.697	1.877	12.977.141	23.148.426
Muribeca	34	235.499	420.080	133	918.264	1.637.985
Médio da Bacia do Araripe	415	2.869.510	5.118.588	911	6.294.090	11.227.301
Palermo	407	2.815.297	5.021.883	1.445	9.985.926	17.812.742
Palmeiral	41	281.481	502.102	573	3.961.420	7.066.320
Pantanal	1.929	13.333.491	23.784.078	5.231	36.153.597	64.490.234
Parecis	3.416	23.612.056	42.118.824	10.403	71.906.657	128.265.997
Pariquera-Açú	9	65.207	116.315	133	919.552	1.640.283
Passa Dois	4.209	29.089.809	51.889.956	11.221	77.559.045	138.348.640
Pastos Bons	87	601.793	1.073.469	86	593.637	1.058.920
Pau dos Ferros	6	38.636	68.918	23	160.063	285.517
Pedra de Fogo	2.665	18.422.904	32.862.495	4.849	33.519.120	59.790.894
Penedo	3	19.464	34.720	4	25.281	45.096

Pimenteiras	1.440	9.954.281	17.756.294	4.865	33.625.756	59.981.109
Piranhas	1	9.289	16.569	8	52.091	92.919
Piriá	1	10.154	18.112	26	178.929	319.170
Ponta Grossa	740	5.115.112	9.124.258	2.676	18.495.067	32.991.219
Poti-Piauí	5.130	35.461.392	63.255.489	13.447	92.948.856	165.800.749
Poço Verde	5	34.238	61.073	27	188.897	336.951
Prosperança	2	14.344	25.587	13	91.627	163.443
Resende	8	58.311	104.013	25	172.863	308.350
Rio Bonito	900	6.218.222	11.091.970	4.207	29.080.372	51.873.124
Rio Claro	40	279.381	498.355	0	1.768	3.154
Rio das Barreiras	57	397.127	708.389	594	4.105.900	7.324.041
Rio do Peixe	781	5.395.832	9.625.003	2.075	14.342.519	25.583.967
Rio Ivaí	6	41.522	74.067	14	94.857	169.204
Rio Madeira	7	50.900	90.794	35	243.898	435.062
Rio Naja	8	57.488	102.545	57	393.484	701.890
Ronuro	1.687	11.663.464	20.805.109	3.954	27.331.482	48.753.480
Roraima	1	5.781	10.312	70	481.629	859.123
Sambaíba	118	818.910	1.460.759	873	6.034.040	10.763.428
Sanga do Cabral	2.625	18.145.300	32.367.309	3.622	25.034.701	44.656.517
Santa Brígida-Curituba	7	51.419	91.720	37	258.447	461.014
Santa Fé	64	442.549	789.411	124	859.128	1.532.499
Santa Tecla	13	88.638	158.111	37	253.872	452.853
Sergi-Aliança	202	1.397.038	2.492.015	1.806	12.482.174	22.265.512
Serra do Divisor	1	7.563	13.490	79	543.408	969.324
Serra do Tucano	1	8.680	15.482	24	162.829	290.451
Serra dos Martins	160	1.105.503	1.971.979	458	3.165.873	5.647.236
Serra Grande	2.347	16.224.906	28.941.739	8.234	56.910.152	101.515.460
Serraria	0	3.447	6.149	3	17.927	31.977
Solimões	568	3.924.698	7.000.816	4.252	29.390.769	52.426.805
Superior da Bacia do Araripe	555	3.838.455	6.846.978	1.313	9.073.934	16.185.945
Surucucus	0	323	576	1	5.574	9.944
São José do Belmonte	218	1.509.815	2.693.185	562	3.884.245	6.928.656
São Paulo	536	3.702.050	6.603.660	1.322	9.139.484	16.302.871
São Sebastião	710	4.904.348	8.748.301	1.435	9.921.025	17.696.973
Tacaratu-Inajá	191	1.322.975	2.359.903	612	4.230.599	7.546.478
Taubaté	258	1.782.792	3.180.117	404	2.794.940	4.985.572
Tepequém	0	521	929	1	5.546	9.893
Tocandera	8	52.813	94.208	41	285.107	508.570
Triunfo	0	1.550	2.765	6	40.954	73.053
Trombetas	76	524.762	936.062	328	2.268.384	4.046.309
Tupanciretã	355	2.454.841	4.378.907	442	3.054.363	5.448.325
Uafaranda	1	4.631	8.260	10	70.537	125.823
Urucuia-Areado	2.273	15.709.433	28.022.247	5.336	36.884.031	65.793.171
Urupi	1	8.740	15.591	14	95.912	171.086
Urutanim	0	2.628	4.688	4	27.979	49.909

Viseu	0	3.026	5.398	6	41.815	74.589
Água Bonita	5	37.170	66.304	59	406.776	725.600
Litorâneo Norte	1	6.043	10.779	59	410.434	732.126
Litorâneo Nordeste-Sudeste	4.497	31.084.378	55.447.839	17.464	120.710.850	215.322.169
Litorâneo Sul	6.385	44.130.333	78.719.014	10.378	71.735.145	127.960.056
Santo Amaro	231	1.598.063	2.850.599	835	5.769.062	10.290.765
Acauã	60	411.980	734.883	195	1.346.877	2.402.538
Araras	149	1.027.389	1.832.641	593	4.095.678	7.305.807
Araxá Cárstico	4	29.175	52.042	26	182.147	324.911
Bambuí Cárstico	2.840	19.630.012	35.015.716	7.648	52.865.498	94.300.667
Boqueirão	1	9.727	17.351	6	40.271	71.835
Carste da Bacia do Paraná	54	372.968	665.295	308	2.131.214	3.801.628
Corumbá	319	2.202.338	3.928.496	520	3.593.738	6.410.455
Frecheirinha	24	164.397	293.250	97	673.740	1.201.807
Gandarela	1	4.944	8.818	6	38.495	68.666
Itaituba	1	6.293	11.226	40	275.267	491.018
Jandaíra	1.252	8.655.718	15.439.937	2.933	20.269.574	36.156.557
Nova Olinda	33	230.884	411.847	170	1.176.318	2.098.297
Olhos D'Água	173	1.192.729	2.127.571	700	4.837.968	8.629.894
Paranoá Cárstico	16	112.698	201.029	96	660.742	1.178.621
Salitre	3.261	22.536.724	40.200.663	10.865	75.099.229	133.960.857
Santana	155	1.068.827	1.906.557	390	2.697.007	4.810.880
Sapucari	11	77.990	139.117	32	217.739	388.400
Serra da Mesa Cárstico	1	8.780	15.661	19	128.185	228.655
Serra do Paraíso	5	35.561	63.433	30	205.355	366.310
Taquari-Maruim	39	269.965	481.559	63	438.748	782.632
Vazante Cárstico	39	269.070	479.964	176	1.219.156	2.174.713
Barroso	13	87.844	156.696	69	474.725	846.807
Serra Geral	51.391	355.216.328	633.629.459	109.620	757.694.318	1.351.563.549
Fraturado Norte	5.362	37.064.796	66.115.617	40.704	281.347.432	501.863.251
Fraturado Semiárido	41.530	287.053.286	512.041.266	163.115	1.127.453.326	2.011.134.018
Fraturado Centro-Sul	64.638	446.778.835	796.957.260	291.227	2.012.959.618	3.590.686.613
TOTAL		2.239.344.650	3.994.508.775		7.025.433.753	12.531.861.396

Apêndice I Brasil Microbacias com Poços e Vazão de Água Subterrânea Extraída nos EA de acordo com o IBGE 2006 e 2017

Bacias	Sub-Bacias	Poços 2006	Vazão_06 (4m³/h) [1]	Vazão_06 (7m³/h)[2]	Poços 2017	Vazão_17 (4m³/h)[1]	Vazão_17 (7m³/h)[2]
Amapá Litoral	Araguari AP	82	565.467	1.008.652	367	2.535.176	4.522.120
Amapá Litoral	Litoral AP 01	16	111.974	199.734	161	1.110.178	1.980.280
Amapá Litoral	Oiapoque Alto	1	7.557	13.480	189	1.303.582	2.325.265
Amapá Litoral	Uaçá	0	3.258	5.812	81	562.100	1.002.645
Araguaia	Araguaia 01	2.824	19.521.658	34.821.757	14.569	100.703.707	179.630.238
Araguaia	Araguaia 02	910	6.290.513	11.220.703	3.527	24.381.586	43.490.655
Araguaia	Araguaia 03	445	3.078.041	5.490.455	4.574	31.614.136	56.391.715
Araguaia	Araguaia 04	873	6.033.355	10.761.997	7.649	52.873.205	94.312.580
Araguaia	Araguaia 05	392	2.706.859	4.828.359	3.182	21.993.558	39.231.009
Contas	Contas 01	2.642	18.259.678	32.570.700	18.540	128.145.757	228.579.993
Doce	Barra Seca	590	4.076.042	7.270.639	3.738	25.836.026	46.085.012
Doce	Doce 01	2.364	16.338.668	29.144.099	13.995	96.734.354	172.549.904
Doce	Doce 02	256	1.770.371	3.157.898	1.314	9.083.003	16.201.806
Doce	Doce 03	247	1.705.847	3.042.805	1.639	11.328.152	20.206.591
Doce	Doce 04	1.283	8.865.069	15.813.066	9.584	66.247.913	118.169.715
Doce	Doce 05	1.753	12.118.841	21.616.983	11.772	81.367.736	145.139.699
Doce	Doce 06	2.777	19.191.930	34.233.606	13.160	90.963.355	162.255.884
Foz Amazonas	Amazonas 07	10	69.657	124.251	181	1.248.524	2.227.054
Foz Amazonas	Amazonas 08	96	660.822	1.178.742	376	2.600.984	4.639.506
Foz Amazonas	Amazonas 09	57	391.800	698.873	429	2.967.559	5.293.383
Foz Amazonas	Jari	17	119.640	213.408	91	628.269	1.120.675
Foz Amazonas	Marajó	242	1.670.344	2.979.477	913	6.311.686	11.258.470
Grande	Grande PR 01	487	3.369.490	6.010.328	3.092	21.374.281	38.126.374
Grande	Grande PR 02	142	981.013	1.749.882	564	3.895.327	6.948.289
Grande	Grande PR 03	237	1.640.554	2.926.337	1.147	7.929.312	14.143.910
Grande	Grande PR 04	506	3.495.806	6.235.643	3.571	24.682.285	44.027.025
Grande	Grande PR 05	64	440.211	785.226	952	6.583.001	11.742.428
Grande	Grande PR 06	1.313	9.073.527	16.184.904	7.489	51.762.830	92.331.947
Grande	Grande PR 07	1.806	12.479.904	22.261.029	4.487	31.015.512	55.323.919
Grande	Grande PR 08	857	5.920.738	10.561.116	2.575	17.801.268	31.753.011
Grande	Grande PR 09	542	3.748.858	6.687.025	1.900	13.136.182	23.431.665
Grande	Grande PR 10	619	4.281.176	7.636.548	1.829	12.642.125	22.550.391
Grande	Grande PR 11	778	5.374.182	9.586.198	1.066	7.371.571	13.149.039
Grande	Grande PR 12	1.191	8.230.673	14.681.463	3.193	22.066.962	39.361.943
Grande	Grande PR 13	6.349	43.882.248	78.274.959	6.540	45.201.171	80.627.589
Grande	Grande PR 14	564	3.896.608	6.950.575	1.652	11.421.281	20.372.710
Grande	Grande PR 15	2.578	17.817.333	31.781.668	4.539	31.373.864	55.963.130
Guaíba	Taquari	6.560	45.342.044	80.878.871	8.836	61.076.553	108.945.301
Guaíba	Caí	3.479	24.048.992	42.897.390	4.280	29.586.125	52.774.250
Guaíba	Gravataí	2.002	13.835.384	24.678.866	1.811	12.514.632	22.322.975
Guaíba	Guaíba 01	2.876	19.880.921	35.462.593	4.242	29.324.119	52.306.896
Guaíba	Guaíba 02	660	4.561.545	8.136.655	1.323	9.145.754	16.313.740
Guaíba	Jacuí Alto	4.311	29.796.681	53.149.830	5.575	38.536.530	68.739.536
Guaíba	Pardo RS	664	4.590.423	8.188.167	1.265	8.744.254	15.597.563

Guaíba	Santa Maria - RS	980	6.773.443	12.082.130	1.875	12.957.922	23.113.693
Guaíba	Sinos	2.498	17.262.982	30.792.844	3.435	23.745.959	42.356.854
Guaíba	Vacacaí	1.330	9.195.270	16.402.063	2.287	15.807.157	28.196.017
Gurupi	Gurupi	391	2.704.003	4.823.266	1.387	9.588.778	17.103.982
Gurupi	Litoral PA 01	102	707.747	1.262.443	1.347	9.309.841	16.606.428
Gurupi	Litoral PA 02	1.377	9.520.163	16.981.591	6.718	46.437.460	82.832.819
Gurupi	Pericumã	371	2.563.414	4.572.490	1.341	9.267.767	16.531.380
Gurupi	Turiaçu	301	2.079.703	3.709.671	2.064	14.263.614	25.442.722
Ibicuí	Uruguai Int 03	4.395	30.376.708	54.184.453	6.625	45.793.228	81.683.671
Iguaçu	Iguaçu 01	438	3.025.451	5.396.648	2.445	16.902.666	30.150.130
Iguaçu	Iguaçu 02	738	5.102.828	9.102.170	4.398	30.401.710	54.229.050
Iguaçu	Iguaçu 03	1.192	8.236.749	14.692.301	3.476	24.028.848	42.861.458
Iguaçu	Iguaçu 04	1.767	12.216.032	21.790.348	4.637	32.047.914	57.165.467
Iguaçu	Iguaçu 05	807	5.575.957	9.946.114	3.929	27.160.041	48.446.723
Itapecuru	Itapecuru	2.396	16.561.819	29.542.145	7.276	50.291.351	89.707.198
Itapecuru	Litoral MA 01	963	6.656.999	11.874.422	4.001	27.653.584	49.327.081
Itapecuru	Munim	604	4.177.317	7.451.289	3.104	21.453.104	38.266.974
Itapecuru-Paraguaçu	Itapicuru	1.542	10.657.372	19.010.088	6.528	45.122.596	80.487.431
Itapecuru-Paraguaçu	Paraguaçu	1.235	8.534.086	15.222.676	8.893	61.467.616	109.642.859
Itapecuru-Paraguaçu	Recôncavo 01	984	6.803.399	12.135.562	7.999	55.288.301	98.620.508
Itapecuru-Paraguaçu	Recôncavo 02	1.634	11.293.594	20.144.947	5.025	34.735.883	61.960.132
Jaguaribe	Jaguaribe 01	1.474	10.185.960	18.169.206	5.766	39.856.778	71.094.527
Jaguaribe	Jaguaribe 02	2.574	17.793.470	31.739.102	6.267	43.318.720	77.269.766
Jaguaribe	Jaguaribe 03	686	4.738.499	8.452.297	1.981	13.694.410	24.427.403
Jaguaribe	Jaguaribe 04	1.019	7.042.221	12.561.562	4.451	30.764.201	54.875.643
Jaguaribe	Jaguaribe 05	487	3.366.062	6.004.213	3.089	21.353.640	38.089.556
Jaguaribe	Parnaíba 06	6.607	45.670.136	81.464.105	16.095	111.250.246	198.442.626
Jequitinhonha	Jequitinhonha 01	561	3.879.882	6.920.739	1.997	13.801.510	24.618.444
Jequitinhonha	Jequitinhonha 02	581	4.013.950	7.159.884	4.404	30.443.674	54.303.903
Jequitinhonha	Jequitinhonha 03	509	3.516.074	6.271.797	2.425	16.761.102	29.897.616
Jequitinhonha	Pardo	761	5.263.472	9.388.718	3.584	24.775.836	44.193.897
Litoral Al Pe PB	Capibaribe	1.701	11.756.879	20.971.332	4.736	32.735.463	58.391.882
Litoral Al Pe PB	Litoral Pe PB	1.085	7.496.271	13.371.473	2.177	15.050.251	26.845.885
Litoral Al Pe PB	Litoral Sul Pe	1.715	11.850.654	21.138.604	5.379	37.178.917	66.317.894
Litoral Al Pe PB	Mundaú	1.332	9.209.207	16.426.924	4.178	28.881.321	51.517.056
Litoral BA ES	Itaúnas	188	1.297.805	2.314.959	1.082	7.480.911	13.344.075
Litoral BA ES	Litoral Sul BA 01	586	4.050.711	7.225.455	3.495	24.155.966	43.088.204
Litoral BA ES	Mucuri	324	2.241.768	3.998.754	4.274	29.544.195	52.699.458
Litoral BA ES	São Mateus	1.180	8.156.497	14.549.152	8.434	58.292.545	103.979.327
Litoral CE PB	Ceará Mirim	135	932.224	1.662.855	302	2.086.543	3.721.871
Litoral CE PB	Litoral RN	543	3.750.973	6.690.798	1.310	9.054.320	16.150.644
Litoral CE PB	Litoral Sul RN E Norte PB	1.656	11.449.254	20.422.607	3.895	26.919.269	48.017.246
Litoral CE PB	Potengi	580	4.009.187	7.151.387	1.051	7.264.566	12.958.169
Litoral CE PB	Trairi	709	4.900.248	8.740.817	1.504	10.397.536	18.546.605
Litoral CE PI	Acaraú	1.087	7.516.232	13.407.079	3.741	25.855.071	46.118.984
Litoral CE PI	Coreaú	938	6.483.065	11.564.167	4.659	32.205.158	57.445.950
Litoral CE PI	Curu	734	5.070.541	9.044.577	1.984	13.711.104	24.457.181
Litoral CE PI	Litoral CE 01	1.991	13.763.790	24.551.160	3.267	22.584.296	40.284.739

Litoral CE PI	Metropolitana	2.498	17.264.984	30.796.415	5.230	36.147.162	64.477.500
Litoral ES	Itabapoana	1.050	7.259.576	12.949.269	5.003	34.579.770	61.681.665
Litoral ES	Itapemirim	1.509	10.431.803	18.607.729	6.701	46.313.972	82.612.548
Litoral ES	Jucu	736	5.087.540	9.074.899	2.483	17.161.699	30.612.181
Litoral ES	Litoral ES 01	586	4.050.254	7.224.641	1.575	10.887.167	19.419.985
Litoral ES	Litoral ES 02	262	1.813.289	3.234.453	1.305	9.022.982	16.094.744
Litoral ES	Santa Maria - ES	414	2.861.249	5.103.754	2.745	18.973.418	33.843.834
Litoral RJ	Litoral RJ 01	817	5.649.317	10.076.968	4.508	31.160.851	55.583.167
Litoral RJ	Litoral RJ 02	545	3.764.224	6.714.435	1.361	9.407.102	16.779.918
Litoral RJ	Litoral RJ 03	1.098	7.587.974	13.535.049	2.531	17.496.252	31.208.939
Litoral RJ	Litoral RJ 04	323	2.235.991	3.988.448	992	6.858.591	12.234.012
Litoral RJ SP	Ribeira Do Iguape	456	3.149.409	5.617.758	2.303	15.919.243	28.395.949
Litoral RS	Jaguarão	138	951.563	1.697.350	521	3.601.173	6.423.593
Litoral RS	Litoral RS 01	2.762	19.092.038	34.055.423	4.884	33.756.148	60.212.529
Litoral RS	Litoral RS 02	1.264	8.737.406	15.585.348	3.469	23.974.530	42.764.568
Litoral RS	Litoral RS 03	837	5.787.196	10.322.910	1.273	8.797.220	15.692.041
Litoral RS	Litoral RS 04	746	5.156.620	9.198.121	758	5.240.095	9.347.020
Litoral SE	Litoral SE 01	1.064	7.353.047	13.115.998	4.711	32.559.425	58.077.874
Litoral SE	Litoral SE 02	1.051	7.263.970	12.957.107	3.704	25.598.998	45.662.212
Litoral SE	Vaza Barris	975	6.736.768	12.016.711	2.750	19.005.827	33.901.644
Litoral SP	Litoral Norte SP 01	56	386.708	689.790	119	820.026	1.462.721
Litoral SP	Litoral Norte SP 02	10	69.120	123.293	25	172.800	308.232
Litoral SP PR SC	Itajaí	1.773	12.256.605	21.862.719	6.916	47.801.724	85.266.325
Litoral SP PR SC	Litoral Norte SC 01	775	5.356.997	9.555.543	2.549	17.615.323	31.421.332
Litoral SP PR SC	Litoral PR 01	130	898.917	1.603.444	444	3.072.061	5.479.789
Litoral SP PR SC	Litoral RS SC 01	308	2.129.969	3.799.332	617	4.264.177	7.606.226
Litoral SP PR SC	Litoral RS SC 02	1.240	8.567.761	15.282.743	3.091	21.361.613	38.103.778
Litoral SP PR SC	Litoral RS SC 03	1.531	10.583.325	18.878.005	2.640	18.245.903	32.546.129
Litoral SP PR SC	Litoral Sul SP	2	15.758	28.108	29	197.666	352.587
Madeira	Amazonas 01	267	1.842.687	3.286.894	1.586	10.963.640	19.556.392
Madeira	Aripuanã	251	1.735.609	3.095.893	3.118	21.551.669	38.442.790
Madeira	Jamaril	109	752.658	1.342.554	1.534	10.604.520	18.915.812
Madeira	Machado	440	3.043.824	5.429.420	6.382	44.110.751	78.682.552
Madeira	Madeira 01	299	2.068.397	3.689.504	4.286	29.621.584	52.837.501
Madeira	Madeira 02	10	70.138	125.109	123	847.310	1.511.390
Madeira	Madeira 03	162	1.119.607	1.997.099	1.277	8.829.899	15.750.332
Madeira	Madeira 04	55	380.890	679.412	406	2.807.079	5.007.127
Madeira	Madeira 05	16	112.764	201.142	394	2.720.489	4.852.673
Mearim	Mearim	2.175	15.034.689	26.818.127	9.270	64.074.457	114.292.813
Negro	Negro 01	8	55.833	99.592	239	1.652.281	2.947.256
Negro	Negro 02	192	1.329.761	2.371.961	2.614	18.064.609	32.222.746
Negro	Negro 03	112	774.060	1.380.730	181	1.253.270	2.235.520
Negro	Negro 04	268	1.854.324	3.307.651	1.171	8.091.555	14.433.311
Negro RS	Negro RS	59	407.552	726.970	178	1.228.544	2.191.416
Paraguai 01	Apa	307	2.124.899	3.790.289	794	5.486.789	9.787.060
Paraguai 01	Aquidauana	1.635	11.303.342	20.162.335	3.043	21.033.674	37.518.815
Paraguai 01	Miranda	954	6.597.409	11.768.128	2.057	14.218.845	25.362.865

Paraguai 01	Nabileque	147	1.019.303	1.818.182	231	1.599.761	2.853.574
Paraguai 02	Negro Ms 01	544	3.760.677	6.708.107	1.183	8.177.468	14.586.559
Paraguai 02	Taquari 01	843	5.826.755	10.393.475	1.744	12.053.702	21.500.791
Paraguai 02	Taquari 02	195	1.346.409	2.401.656	375	2.595.236	4.629.251
Paraguai 03	Cuiabá 01	179	1.239.772	2.211.444	791	5.468.117	9.753.754
Paraguai 03	Cuiabá 02	745	5.150.026	9.186.359	2.535	17.520.263	31.251.768
Paraguai 03	Cuiabá 03	216	1.494.318	2.665.490	726	5.016.830	8.948.770
Paraguai 03	Itiquira	427	2.951.504	5.264.746	1.176	8.128.808	14.499.761
Paraguai 03	Jauru	620	4.286.516	7.646.073	2.024	13.992.237	24.958.652
Paraguai 03	Paraguai 01	291	2.008.519	3.582.695	852	5.890.641	10.507.430
Paraguai 03	Paraguai Pant 01	404	2.795.700	4.986.830	1.847	12.764.033	22.767.844
Paraguai 03	Santa Rita - Paraguai	51	351.839	627.594	279	1.928.322	3.439.643
Paraguai 03	São Lourenço	730	5.048.313	9.004.929	2.568	17.751.514	31.664.263
Paraguai 03	Sepotuba	159	1.099.123	1.960.561	472	3.259.421	5.813.993
Paraíba	Paraíba 01	2.686	18.562.576	33.110.994	6.803	47.023.263	83.877.745
Paraíba	Paraíba 02	1.154	7.977.090	14.229.135	3.873	26.773.304	47.756.882
Paraíba Do Sul	Paraíba Do Sul 01	847	5.856.699	10.446.887	1.675	11.577.772	20.651.851
Paraíba Do Sul	Paraíba Do Sul 02	927	6.404.591	11.424.189	2.104	14.541.022	25.937.548
Paraíba Do Sul	Paraíba Do Sul 03	1.817	12.557.517	22.399.471	5.920	40.918.273	72.987.970
Paraíba Do Sul	Paraíba Do Sul 04	717	4.956.810	8.841.710	4.927	34.058.461	60.751.780
Paraíba Do Sul	Pomba	1.117	7.718.905	13.768.596	4.754	32.857.494	58.609.555
Paraíba Do Sul	Preto - Paraíba Do Sul	306	2.114.140	3.771.098	793	5.483.845	9.781.809
Paraná Rh1	Aguapeí	3.478	24.039.052	42.879.659	5.270	36.427.967	64.978.387
Paraná Rh1	Ivaí	4.847	33.499.577	59.754.870	11.048	76.365.598	136.217.135
Paraná Rh1	Paraná 01	3.693	25.527.510	45.534.695	10.095	69.777.941	124.466.402
Paraná Rh1	Paraná 02	2.559	17.690.574	31.555.562	5.345	36.944.396	65.899.566
Paraná Rh1	Paraná 03	1.475	10.195.134	18.185.570	4.407	30.459.838	54.332.736
Paraná Rh1	Paraná 04	4.552	31.461.785	56.119.959	6.804	47.026.704	83.883.884
Paraná Rh1	Pardo Pr	3.302	22.826.136	40.716.121	7.341	50.739.892	90.507.282
Paraná Rh1	Peixe SP	3.100	21.426.373	38.219.292	5.039	34.829.897	62.127.829
Paraná Rh1	Piquiri	3.273	22.620.566	40.349.435	7.934	54.837.577	97.816.529
Paraná Rh1	Sucuriú	1.382	9.555.015	17.043.757	2.317	16.011.655	28.560.789
Paraná Rh1	Verde PR	1.582	10.933.874	19.503.297	2.776	19.188.157	34.226.875
Paranaíba	Meia Ponte	1.329	9.188.355	16.389.729	7.486	51.745.081	92.300.288
Paranaíba	Araguari	790	5.457.580	9.734.959	2.872	19.854.477	35.415.423
Paranaíba	Bois	1.952	13.490.415	24.063.528	9.877	68.269.275	121.775.320
Paranaíba	Corumbá	2.256	15.596.068	27.819.487	10.952	75.698.484	135.027.171
Paranaíba	Paranaíba 01	1.673	11.565.722	20.630.356	7.980	55.159.265	98.390.340
Paranaíba	Paranaíba 02	1.169	8.077.615	14.408.445	4.544	31.405.013	56.018.693
Paranaíba	Paranaíba 03	2.661	18.389.820	32.802.841	6.151	42.515.357	75.836.768
Paranapanema	Cinzas	834	5.763.780	10.281.142	2.224	15.371.185	27.418.351
Paranapanema	Itararé	268	1.849.532	3.299.102	1.624	11.223.387	20.019.716
Paranapanema	Paranapanema 01	1.148	7.933.018	14.150.521	2.649	18.309.380	32.659.357
Paranapanema	Paranapanema 02	2.499	17.274.199	30.812.853	3.514	24.285.915	43.320.000
Paranapanema	Paranapanema 03	741	5.121.385	9.135.270	1.455	10.058.267	17.941.434
Paranapanema	Paranapanema 04	1.267	8.758.333	15.622.676	2.869	19.829.268	35.370.457
Paranapanema	Paranapanema 05	2.190	15.138.937	27.004.079	4.327	29.906.862	53.346.366

Paranapanema	Pirapó	1.452	10.035.621	17.901.039	3.059	21.144.147	37.715.873
Paranapanema	Tibagi	1.998	13.812.450	24.637.958	4.612	31.876.284	56.859.322
Parnaíba Alto	Parnaíba 01	134	924.451	1.648.989	641	4.429.338	7.900.832
Parnaíba Alto	Parnaíba 02	547	3.782.935	6.747.810	1.420	9.818.343	17.513.470
Parnaíba Alto	Parnaíba 03	1.155	7.983.698	14.240.921	3.332	23.034.128	41.087.126
Parnaíba Alto	Parnaíba 04	765	5.290.869	9.437.587	1.513	10.455.688	18.650.334
Parnaíba Baixo	Parnaíba 07	6.614	45.717.016	81.547.727	19.595	135.440.353	241.591.730
Parnaíba Médio	Parnaíba 05	4.171	28.828.342	51.422.555	13.361	92.347.958	164.725.670
Paru	Amazonas 05	405	2.800.098	4.994.674	1.131	7.815.859	13.941.539
Paru	Amazonas 06	267	1.844.209	3.289.607	450	3.112.786	5.552.432
Paru	Curuá-Una	222	1.535.418	2.738.802	1.882	13.011.332	23.208.963
Piranhas	Apodi	2.110	14.581.989	26.010.623	5.683	39.280.486	70.066.567
Piranhas	Piranhas	6.376	44.070.223	78.610.260	19.511	134.860.279	240.557.023
Purus	Purus 01	51	353.624	630.777	448	3.096.372	5.523.154
Purus	Purus 02	184	1.272.975	2.270.669	1.020	7.049.173	12.573.962
Purus	Purus 03	28	191.880	342.266	233	1.610.790	2.873.247
Purus	Rio Acre	250	1.724.668	3.076.377	1.658	11.463.540	20.448.089
Purus	Solimões 02	114	787.068	1.403.933	834	5.762.983	10.279.721
São Francisco Médio	Corrente	659	4.553.349	8.122.036	1.377	9.519.374	16.980.184
S. Francisco Alto	Jequitaí	503	3.477.985	6.203.856	1.484	10.255.961	18.294.070
S.Francisco Alto	Pará Sf	1.324	9.151.608	16.324.180	7.868	54.383.572	97.006.696
S.Francisco Alto	Paraopeba	885	6.117.293	10.911.721	3.961	27.380.831	48.840.558
S.Francisco Alto	São Francisco 01	407	2.816.567	5.024.051	2.350	16.245.254	28.977.471
S.Francisco Alto	São Francisco 02	683	4.723.854	8.426.175	2.410	16.660.719	29.718.557
S.Francisco Alto	Velhas	1.087	7.510.164	13.396.255	3.623	25.045.051	44.674.109
S.Francisco Baixo	São Francisco 09	1.195	8.261.831	14.737.040	4.335	29.965.672	53.451.268
S.Francisco Médio	Carinhanha	232	1.602.000	2.857.568	556	3.840.794	6.851.017
S.Francisco Médio	Grande Sf 01	661	4.565.715	8.144.094	1.439	9.945.622	17.740.502
S.Francisco Médio	Grande Sf 02	878	6.068.390	10.824.491	2.229	15.410.298	27.488.120
S.Francisco Médio	Pacuí	690	4.771.947	8.511.960	2.133	14.740.661	26.293.654
S.Francisco Médio	Paracatu	1.627	11.247.813	20.063.286	5.320	36.773.771	65.595.214
S.Francisco Médio	S. Francisco 03	851	5.882.429	10.492.782	1.961	13.556.175	24.180.826
S.Francisco Médio	São Francisco 04	3.343	23.106.710	41.216.594	14.479	100.076.647	178.511.719
S.Francisco Médio	São Francisco 05	3.559	24.599.536	43.879.423	13.976	96.602.124	172.314.038
S.Francisco Médio	Urucuia	619	4.277.768	7.630.469	2.502	17.294.558	30.849.168
S.Francisco Médio	Verde Grande	3.752	25.936.368	46.263.997	12.632	87.313.083	155.744.713
S.Francisco Submédio	Brígida	847	5.853.754	10.441.634	3.365	23.259.324	41.488.819
S.Francisco Submédio	Moxotó	953	6.589.948	11.754.819	3.830	26.473.407	47.221.939
S.Francisco Submédio	Pajeú	3.098	21.415.639	38.200.146	11.030	76.239.984	135.993.072
S.Francisco Submédio	São Francisco 06	1.562	10.793.347	19.252.633	6.275	43.375.155	77.370.433
S.Francisco Submédio	São Francisco 07	1.074	7.420.109	13.235.619	2.804	19.379.942	34.568.972
S.Francisco Submédio	São Francisco 08	60	414.523	739.405	298	2.058.273	3.671.444

Solimões	Japuru	21	145.419	259.391	109	753.355	1.343.798
Solimões	Javari	9	61.876	110.372	7	48.664	86.804
Solimões	Juruá	108	749.006	1.336.040	1.748	12.079.123	21.546.136
Solimões	Jutaí	10	67.016	119.540	192	1.328.829	2.370.299
Solimões	Solimões 01	98	677.895	1.209.195	780	5.389.226	9.613.031
Solimões	Solimões 03	13	89.407	159.480	232	1.604.792	2.862.548
Tapajós	Teles Pires	3.934	27.190.797	48.501.585	9.956	68.815.668	122.749.948
Tapajós	Jamanxim	16	108.901	194.252	194	1.343.546	2.396.549
Tapajós	Jurema	1.807	12.489.668	22.278.446	6.507	44.974.894	80.223.967
Tapajós	Tapajós 01	3	20.005	35.685	95	656.378	1.170.814
Tapajós	Tapajós 02	822	5.678.485	10.128.998	1.248	8.626.939	15.388.303
Tietê	Tietê 01	1.638	11.322.887	20.197.199	2.951	20.394.486	36.378.664
Tietê	Tietê 02	840	5.807.508	10.359.142	858	5.933.639	10.584.128
Tietê	Tietê 03	2.083	14.401.054	25.687.880	3.069	21.215.266	37.842.730
Tietê	Tietê 04	1.705	11.786.822	21.024.744	3.020	20.874.428	37.234.761
Tietê	Tietê 05	5.235	36.182.600	64.540.712	6.616	45.727.791	81.566.947
Tietê	Tietê 06	4.677	32.330.660	57.669.814	7.586	52.437.350	93.535.124
Tocantins Alto	Tocantins 01	1.444	9.979.772	17.801.418	10.645	73.577.208	131.243.345
Tocantins Alto	Tocantins 02	321	2.218.115	3.956.562	2.738	18.922.906	33.753.734
Tocantins Alto	Tocantins 03	1.325	9.156.944	16.333.699	7.306	50.497.453	90.074.832
Tocantins Alto	Tocantins 04	62	430.745	768.341	693	4.792.540	8.548.692
Tocantins Alto	Tocantins 05	265	1.832.143	3.268.085	2.220	15.343.493	27.368.955
Tocantins Alto	Tocantins 06	73	505.990	902.560	1.130	7.808.311	13.928.074
Tocantins Alto	Tocantins 07	672	4.645.324	8.286.096	4.399	30.408.507	54.241.174
Tocantins Baixo	Acará	435	3.007.991	5.365.504	4.269	29.508.523	52.635.828
Tocantins Baixo	Foz Tocantins	853	5.893.472	10.512.480	4.334	29.956.323	53.434.592
Tocantins Baixo	Guamá	1.603	11.080.757	19.765.301	7.706	53.261.767	95.005.677
Tocantins Baixo	Pará - Tocantins	156	1.077.236	1.921.520	2.503	17.298.310	30.855.860
Tocantins Baixo	Tocantins 08	670	4.630.211	8.259.138	5.965	41.227.921	73.540.305
Tocantins Baixo	Tocantins 09	118	812.612	1.449.497	1.706	11.792.931	21.035.641
Trombetas	Amazonas 02	294	2.031.400	3.623.510	1.369	9.464.421	16.882.161
Trombetas	Amazonas 03	141	977.746	1.744.054	1.169	8.081.319	14.415.053
Trombetas	Amazonas 04	344	2.374.463	4.235.448	1.026	7.090.822	12.648.255
Trombetas	Trombetas	141	976.846	1.742.449	549	3.792.770	6.765.353
Uruguai Alto	Canoas	418	2.889.672	5.154.453	2.108	14.569.224	25.987.854
Uruguai Alto	Pelotas	313	2.161.662	3.855.864	1.075	7.429.212	13.251.857
Uruguai Alto	Uruguai Nac	8.774	60.647.019	108.179.120	19.286	133.304.936	237.782.680
Uruguai Médio	Ijuí	2.289	15.820.871	28.220.478	2.461	17.007.765	30.337.601
Uruguai Médio	Quaraí	813	5.621.675	10.027.662	1.485	10.267.423	18.314.517
Uruguai Médio	Uruguai Int 01	2.101	14.524.493	25.908.065	4.230	29.237.734	52.152.808
Uruguai Médio	Uruguai Int 02	2.027	14.008.673	24.987.971	2.432	16.812.814	29.989.858
Xingu	Iriri	181	1.250.289	2.230.203	1.140	7.881.096	14.057.905
Xingu	Xingu 01	1.829	12.640.809	22.548.042	4.997	34.537.298	61.605.906
Xingu	Xingu 02	216	1.492.746	2.662.686	3.126	21.605.646	38.539.071
Xingu	Xingu 03	95	653.600	1.165.859	1.811	12.514.811	22.323.293
		324.051	2.239.840.506	4.245.022.722	1.016.387	7.025.266.831	12.531.319.710

[1] = Vazão Hirata et Al , 2019 = 4 m³/h
[2] = Vazão SIAGAS RURAL = 7 m³/h

fonte: Censo Agropecuário, 2006 ; Censo Agropecuário, 2017 elaborado pelo autor