



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE**



ERWIN HENRIQUE MENEZES SCHNEIDER

**MODELO DE COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA:
RELAÇÃO COM CONSERVAÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS
E EFICIÊNCIA DE SISTEMAS**

Cidade Universitária Prof. José Aluísio de Campos

São Cristóvão – SE

Julho, 2022

ERWIN HENRIQUE MENEZES SCHNEIDER

**MODELO DE COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA:
RELAÇÃO COM CONSERVAÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS
E EFICIÊNCIA DE SISTEMAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe, como requisito final à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Gregório Guirado Faccioli

Co-orientador: Prof. Dr. Milton Marques Fernandes

Cidade Universitária Prof. José Aluísio de Campos

São Cristóvão – SE

Julho, 2022

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S358m Schneider, Erwin Henrique Menezes.
Modelo de cobrança pelo uso da água: relação com
conservação de serviços ambientais e eficiência de sistemas /
Erwin Henrique Menezes Schneider; orientador Gregório Guirado
Faccioli. – São Cristóvão, SE, 2022.
150 f.; il.

Tese (doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) –
Universidade Federal de Sergipe, 2022.

1. Meio Ambiente. 2. Água - Uso. 3. Abastecimento de água. 4.
Desenvolvimento de recursos hídricos. 5. Irrigação agrícola. I. Faccioli,
Gregório Guirado, orient. II. Título.

CDU 504:628.179

ERWIN HENRIQUE MENEZES SCHNEIDER

**MODELO DE COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA:
RELAÇÃO COM CONSERVAÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS E EFICIÊNCIA DE
SISTEMAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, área de concentração: Planejamento e gestão de zonas semiáridas e ecossistemas limítrofes, como requisito final à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Aprovada em 29 de julho de 2022

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gregório Guirada Faccioli

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Orientador

Prof. Dr. Milton Marques Fernandes

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Coorientador

Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

1º Examinador Interno

Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

2º Examinador Interno

Prof^a. Dr^a. Daniella Rocha

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

1ª Examinadora Externa

Prof^a. Dr^a. Denise Conceição de Góis Santos Michelan

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

2ª Examinadora Externa

Cidade Universitária Prof. José Aluísio de Campos

São Cristóvão – SE

Julho, 2022

Este exemplar corresponde à versão final da Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluída no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Prof. Dr. Gregório Guirada Faccioli

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Orientador

Prof. Dr. Milton Marques Fernandes

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Coorientador

*“A natureza pode suprir todas
as necessidades do homem,
menos sua ganância”*

(Mahatma Gandhi)

AGRADECIMENTO

Inicialmente, agradeço aos Programas de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente e de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, por me ajudarem a quebrar paradigmas e por viabilizarem a minha trajetória ao longo desses anos de desenvolvimento de meu doutorado.

Dedico todo este esforço a minha família, aos meus pais, Henrique e Tereza, meus sogros, Kátia e Túlio, e cunhadas, Stefani e Ludmila, por todo apoio, incentivo e confiança de concluir mais esta fase com o empenho e dedicação almejados. Em especial, agradeço à minha esposa e companheira de todas as horas, Evelin, por toda a luz, compreensão e leveza, fundamentais na concretização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gregório Guirado Faccioli, e co-orientador, Prof. Dr. Milton Marques Fernandes, pela oportunidade, aprendizado, confiança e incentivo à busca de novos conhecimentos nesses quatro anos trabalhando juntos.

Aos professores que tive prazer de me aproximar nesses anos de Universidade Federal de Sergipe, pela confiança, oportunidade, aprendizado e incentivo a sempre tentar melhorar mais e mais, em especial às professoras Débora de Gois, Denise Conceição, Luciana Coelho, Daniella Rocha e aos professores Ludmilson Abritta, Alcigeimes Celeste, Inajá Francisco e Jailton Costa.

Aos profissionais da SEMARH-SE, nas pessoas da Prof^a. Ana Paula Ávila Macedo e Renilda Gomes de Souza, que forneceram ricas informações sobre a gestão de recursos hídricos no Estado de Sergipe, contribuindo no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Henrique e Tereza, por toda educação, apoio e por jamais deixarem de apoiar meu crescimento.

A meus avôs paternos Dalva e Diamantino Henrique (*in memorian*) e à minha terceira avó Maria da Conceição (*in memorian*) por todo incentivo, sei que estão celebrando mais essa vitória.

E, não menos importante, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento desta pesquisa. Que a pesquisa científica brasileira possa ser mais incentivada, valorizada e receber mais aportes de recursos.

RESUMO

Para diversos autores, o desenvolvimento sustentável é um permanente processo de aperfeiçoamento e ampliação dos patrimônios econômicos, sociais e ambientais conduzido de forma harmônica, parcimoniosa e equânime distribuído no espaço e no tempo. A abordagem construída em torno dos recursos hídricos tem evoluído de um pensamento prático, com caráter puramente econômico e não preservacionista, a uma visão holística, em que a gestão deve integrar as faces econômica, política e social, ou seja, além de proporcionar condições de desenvolvimento econômico, deve garantir segurança hídrica à população. Assim, instrumentos regulatórios são apresentados como possibilidades a resolução e prevenção de conflitos acerca de seus múltiplos usos, sendo os instrumentos econômicos ideais para tal fim, visto que, além de arrecadar recursos para dar suporte financeiro à gestão dos recursos hídricos, reeduca e racionaliza os padrões de consumo da água pela população. Dentre os principais usos da água destacam-se o abastecimento humano e a agricultura irrigada, responsáveis por grande parte da captação, uso e desperdício em função da falta de eficiência em seus sistemas. É nessa realidade de ineficiência nos sistemas de distribuição de água potável, falta de planejamento técnico e espacial da agricultura irrigada e ausência do instrumento da cobrança pelo uso da água que se insere a sub-bacia do rio Jacarecica, inserida na região hidrográfica do rio Sergipe. Diante do exposto, o estudo elaborou um modelo de cobrança pelo uso da água para o abastecimento humano e agricultura irrigada, considerando as particularidades hidrológicas locais e utilizando o pagamento por serviços ambientais como incentivador ao instrumento. O presente estudo pode ser caracterizado como uma pesquisa de abordagem qualitativa realizada a partir do método exploratório, experimental e longitudinal, e sua base conceitual está ancorada em como o abatimento do pagamento recebido pelo provedor do serviço ambiental no valor cobrado pelo uso da água pode vir a incentivar a implementação da cobrança e como o mesmo instrumento, quando associado a índices de eficiência e desempenho no sistema de abastecimento de água, pode estimular a redução de perdas e melhorias no sistema como um todo. Dentre os resultados encontrados pode-se destacar que com o passar dos anos os estudos deixaram propor uma metodologia de precificação da água e passaram a aceitar a informalidade em sua definição; que agricultura irrigada tem valor de arrecadamento proporcional ao seu uso irrisório se comparado aos usos priorizados por lei devido ao baixo valor de seu preço público unitário (PU); e que a eficiência nos sistemas de abastecimento humano e de irrigação estão vinculadas a indicadores de desempenho associados a perdas de água e gastos com energia elétrica, desconsiderando assim o grau de instrução dos responsáveis por manejar e distribuir a água. Dentre as conclusões apresentadas no trabalho, salienta-se que o valor arrecadado pela equação proposta é insuficiente para atender grande parte das metas do plano de bacia da região, o que ratifica a importância de cobrar os outros usos outorgados na bacia e atualizar o PU em função não só do potencial de arrecadação econômica do usuário, mas também do potencial de dano ambiental da atividade; e que a implantação da outorga sazonal resultará em grandes benefícios ambientais, apesar de resultar em um potencial de arrecadação menor, visto que a captação de água nos períodos chuvosos seria menor.

Palavras-chave: Precificação da água. Agricultura irrigada. Abastecimento urbano de água.

ABSTRACT

For several authors, sustainable development is a permanent process of improvement and expansion of economic, social and environmental assets conducted in a harmonious, parsimonious and equitable manner, distributed in space and time. The approach built around water resources has evolved from practical thinking, with a purely economic and non-preservationist character, to a holistic view, in which management must integrate the economic, political and social aspects, that is, in addition to providing conditions for economic development, must guarantee water security to the population. Thus, regulatory instruments are presented as possibilities for the resolution and prevention of conflicts regarding their multiple uses, being the ideal economic instruments for this purpose, since, in addition to raising resources to give financial support to the management of water resources, it re-educates and rationalizes the patterns of water consumption by the population. Among the main uses of water, human supply and irrigated agriculture stand out, responsible for a large part of the capture, use and waste due to the lack of efficiency in their systems. It is in this reality of inefficiency in drinking water distribution systems, lack of technical and spatial planning of irrigated agriculture and absence of the instrument of charging for the use of water that the Jacarecica river sub-basin, inserted in the hydrographic region of the Sergipe river, is inserted. Given the above, the study developed a model of charging for the use of water for human supply and irrigated agriculture, considering the local hydrological particularities and using payment for environmental services as an incentive to the instrument. The present study can be characterized as a qualitative approach research carried out from the exploratory, experimental and longitudinal method, and its conceptual basis is anchored in how the rebate of the payment received by the provider of the environmental service in the amount charged for the use of water can come to encourage the implementation of charging and how the same instrument, when associated with efficiency and performance indices in the water supply system, can stimulate the reduction of losses and improvements in the system as a whole. Among the results found, it can be highlighted that, over the years, studies began to propose a methodology for pricing water and began to accept informality in its definition; that irrigated agriculture has a collection value proportional to its negligible use compared to uses prioritized by law due to the low value of its public unit price (PU); and that efficiency in human supply and irrigation systems is linked to performance indicators associated with water losses and electricity costs, thus disregarding the level of education of those responsible for managing and distributing water. Among the conclusions presented in the work, it is noted that the amount collected by the proposed equation is insufficient to meet most of the goals of the basin plan for the region, which confirms the importance of charging the other uses granted in the basin and updating the PU in a function not only of the user's economic collection potential, but also of the activity's potential for environmental damage; and that the implementation of the seasonal grant will result in great environmental benefits, despite resulting in a lower collection potential, since the capture of water in the rainy season would be lower.

Keywords: Water pricing. Irrigated agriculture. Urban water supply.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Indicadores de eficiência de uso da água para sistemas de irrigação.	49
Tabela 02: Estatística KMO (Kaiser-Mayer-Olkin).	87
Tabela 03: Variáveis do ITI com seus respectivos coeficientes de correlação KMO.....	88
Tabela 04: Indicadores para avaliação do SAAs e suas respectivas equações.....	107
Tabela 05: Indicadores de eficiência de uso da água para sistemas de irrigação.	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Preços Públicos Unitários.....	35
Quadro 02: Volume produzido ou disponibilizado.	42
Quadro 03: Soluções para os problemas de perdas.	43
Quadro 04: Metodologias de cobrança para captação e consumo no setor agropecuário e irrigação.....	52
Quadro 05: Variáveis empregadas nas metodologias de cobrança pelo uso da água no setor agropecuário e irrigação.....	52
Quadro 06: Produção e valor da produção em Sergipe das principais culturas 2016 a 2019.....	54
Quadro 07: Formas de comercialização de serviços ambientais.	61
Quadro 08: Principais diferenças entre agricultura sustentável e convencional.	69
Quadro 09: Principais bases de dados utilizadas na pesquisa	80
Quadro 10: Estudos que se basearam nas proposições de elasticidade-preço do instrumento da cobrança pelo uso da água no Brasil	93
Quadro 11: Estudos trouxeram contribuição ou revisão metodológica do instrumento da cobrança pelo uso da água no Brasil	94
Quadro 12: Estudos que abordaram aspectos teóricos sobre instrumentos econômicos na cobrança pelo uso da água no Brasil	96
Quadro 13: Estudos que analisaram impactos da cobrança sobre os usuários	97
Quadro 14: Relação entre os índices K_{out} , K_{med} e K_p com o IEH e DH	100
Quadro 15: Indicadores distribuídos conforme dimensões e aspectos do desempenho de SAA.....	102
Quadro 16: Estudos que desenvolveram ou aplicaram índices de eficiência em Sistemas de Abastecimento de Água.....	103
Quadro 17: Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por inundação.....	109
Quadro 18: Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por sulcos	109
Quadro 19: Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por aspersão convencional	109
Quadro 20: Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por pivô central	110
Quadro 21: Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por aspersão linear ...	110
Quadro 22: Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por gotejamento	110
Quadro 23: Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por microaspersão	110

Quadro 24: Ações para aumentar a eficiência nos sistemas de irrigação	111
Quadro 25: Danos causados pela erosão hídrica	112
Quadro 26: Sugestões de ações para PSA Hídrico	113
Quadro 27: Determinação dos índices relacionados à outorga e à situação hidrológica da bacia (Cenário 01)	116
Quadro 28: Determinação dos coeficientes que consideram os objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água (Cenário 01).....	116
Quadro 29: Arrecadação com a cobrança pela captação da água com a equação proposta (Cenário 01).....	117
Quadro 30: Simulação de captação de água para abastecimento humano e agricultura irrigação segundo ANA (2019)	118
Quadro 31: Determinação dos índices relacionados à outorga e à situação hidrológica da bacia (Cenário 02)	118
Quadro 32: Determinação dos coeficientes que consideram os objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água (Cenário 02).....	119
Quadro 33: Arrecadação com a cobrança pela captação da água com a equação proposta (Cenário 02).....	120
Quadro 34: Determinação dos índices relacionados à outorga e à situação hidrológica da bacia (Cenário 03)	120
Quadro 35: Determinação dos coeficientes que consideram os objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água (Cenário 03).....	121
Quadro 36: Arrecadação com a cobrança pela captação da água com a equação proposta (Cenário 03).....	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Estruturação do sistema nacional de gestão de recursos hídricos.....	27
Figura 02: Mapa da situação da cobrança pelo uso da água no Brasil.	30
Figura 03: Uso da água no Brasil por setor usuário (retirada).....	50
Figura 04: Uso da água no Brasil por setor usuário (consumo).	51
Figura 05: Variação percentual da área equipada para irrigação, 2015 e projeção para 2030.	51
Figura 06: Impacto do manejo dos agrossistemas nos serviços ecossistêmicos.....	68
Figura 07: Localização da bacia hidrográfica do rio Sergipe.....	73
Figura 08: Caracterização das UPs da bacia hidrográfica do rio Sergipe.	74
Figura 09: Sub-bacia do rio Jacarecica.....	75
Figura 10: Etapas da pesquisa bibliográfica.	80
Figura 11: Média Thiessen da precipitação mensal da sub-bacia hidrográfica do rio Jacarecica.....	100
Figura 12: Mapa temático das Áreas de Preservação Permanente das margens de cursos d'água da bacia do rio Jacarecica.	122
Figura 13: Mapa temático das Áreas de Preservação Permanente ao redor de nascentes da bacia do rio Jacarecica.....	122

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

ABAR	Associação Brasileira de Agências de Regulação
ADERASA	Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable e Saneamiento de las Americas
ANA	Agência Nacional de Águas
BTS	Teste de Esfericidade de Bartlett
CBHSF	Comitê de Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CEAE	Companhia Estadual de Água e Esgoto
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COBER	Capacidade de cobertura dos custos e investimentos
COHIDRO	Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe
DH	Disponibilidade hídrica
DISPO	Disponibilidade hídrica e capacidade instalada
DNOS	Departamento Nacional de Obras de Saneamento
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
EMDAGRO	Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe
IATA	Índice de atendimento total de água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços
IEH	Indicador de especulação hídrica
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPD	Índice de perdas na distribuição
IQA	Índice de Qualidade da Água
ITI	Índice Tecnológico dos Irrigantes
IWA	International Water Association
KCONS	Coeficiente que leva em conta a parte da água utilizada
KMO	Índice Kaiser-Mayer-Olkin
KSAA	Coeficiente que leva em conta o desempenho dos SAAs
MANUT	Manutenção/qualidade do serviço

OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPER	Operação e eficiência energética
PCJ	Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PLAN	Planejamento/Potencial de antecipação
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNQS	Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PPA	Programa Produtor de Águas
PROT	Proteção e respeito às questões ambientais
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PU	Preço Unitário
QUALI	Qualidade da água e quantidade ofertada
SA	Serviço Ambiental
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SEAGRI	Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca
SERHMA-SE	Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente de Sergipe
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNRH	Sistema Nacional de Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos
UP	Unidade de Planejamento
VRP	Válvula redutora de pressão

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
1.1 Cobrança pelo uso da água	24
1.1.1. Contexto histórico no Brasil	24
1.1.2. A relação entre a outorga de direito de uso da água e a cobrança por esse recurso	27
1.1.3. Bases conceituais para a cobrança pelo uso da água	28
1.1.4. Formulação dos preços para cobrança	31
1.1.5. A cobrança pelo uso da água no Estado de Sergipe	33
1.2. Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) no Brasil	36
1.2.1. Desempenho dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)	37
1.2.2. A cobrança pelo uso da água nos Sistemas de Abastecimento de Água	46
1.3. A agricultura irrigada no Brasil	48
1.3.1. Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação	48
1.3.2. A cobrança pelo uso da água na agricultura irrigada	50
1.3.3. A agricultura no Estado de Sergipe	53
1.4. Os Serviços Ecológicos e Ambientais	56
1.4.1. A bacia hidrográfica e o serviço de provisão hidrológica	57
1.4.2. A bacia hidrográfica e o serviço de suporte do solo	59
1.4.3. O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)	59
1.4.4. A agricultura sustentável e os serviços ecológicos	67

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA	71
2.1. Recorte espacial: a bacia hidrográfica do rio Sergipe	73
2.1.1. A bacia hidrográfica do rio Jacarecica	74
2.1.2. O Programa Produtor de Água de Sergipe	77
2.2. Elaboração da equação de cobrança pelo uso da água	77
2.2.1. Levantamento bibliográfico	78
2.2.2. Relação entre o volume medido e o volume outorgado (Q_{med}/Q_{out})	81
2.2.3. Definição do Preço Unitário para captação (PPU_{cap})	83
2.2.4. Coeficiente que considera objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água (K_{cap})	83
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
3.1. Levantamento bibliográfico	92
3.2. Relação entre o volume medido e o volume outorgado (Q_{med}/Q_{out})	99
3.3. Coeficiente que leva em conta as dimensões de desempenho dos SAAs (K_{SAA}).....	100
3.4. Coeficiente que leva em conta o Índice Tecnológico dos Irrigantes (K_{ITI})	107
3.5. Coeficiente que leva em conservação dos serviços ambientais na bacia (K_{cons})	111
3.6. Estudo de caso para a sub-bacia hidrográfica do rio Jacarecica	114
3.6.1. Cenário 01: valor arrecadado para o ano de 2017	115
3.6.2. Cenário 02: valor arrecadado para o ano de 2017	118
3.6.3. Cenário 03: valor arrecadado para o ano de 2017	120
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO	124
REFERÊNCIAS	128

APÊNDICES	147
Apêndice A: Cálculo Cenário 01	148
ANEXOS	150
Anexo A: Dados sobre os perímetros irrigados de Sergipe (COHIDRO)	151

INTRODUÇÃO

A legislação brasileira acerca do uso dos recursos hídricos foi construída inicialmente com caráter prático, econômico e não preservacionista, com o Código das Águas (Decreto 24.643 de 1934); e atualizada para uma visão holística de cunho sustentável, em que a gestão deve integrar não somente as faces econômica e política, mas também social e ambiental, com a Constituição Federal de 1988 e Leis Federais 9.433/1997 (Lei das Águas) e 9.984/2000. Dessa maneira, houve uma evolução legal no tocante do uso da água, em que, atualmente, além de proporcionar condições de produção industrial e agrícola, deve-se garantir segurança hídrica a esta e futuras gerações.

Na década de 30, a impressão equivocada da água ser um recurso renovável e abundante, enraizou a cultura de irracionalidade em seu uso justificada pelo crescimento econômico e melhora da qualidade de vida. Contudo, seu protagonismo nas atividades humanas faz com que sua recuperação quali-quantitativa seja ineficiente.

Dentro dessa perspectiva, propostas de comando e controle são apresentadas como alternativas de resolução e prevenção de conflitos acerca dos múltiplos usos da água, tendo o instrumento da cobrança por seu uso – implementado pela Lei Federal 9.433/1997 – ideal para tal fim, pois além de arrecadar recursos para financiar o Sistema Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos (SINGREH) e as ações definidas pelos Planos de Bacias Hidrográficas, racionaliza os padrões de consumo da água pela população.

Contudo, esse instrumento tem se mostrado difícil quanto a sua implantação em diversas frentes: nos Comitês de Bacia, responsáveis por aprovar a metodologia e os valores de cobrança; usuários, por falta de informações acerca do instrumento; e metodológica, dado a complexidade de precificação da água visto seus múltiplos usos.

De acordo com o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019), dentre os múltiplos usos da água, destacam-se, por importância e potencial de degradação, o abastecimento humano – responsável por 23,8% da retirada e 8,6% da vazão de consumo – e a agricultura irrigada – responsável por 52% da retirada e 68,4% da vazão de consumo.

Com relação ao primeiro, seu destaque é seu uso irracional associado à falta de manutenção em suas estruturas de tratamento e distribuição, que somados às ligações clandestinas e fraudes, resultam em 40,1% de perda de água potável no país, de acordo com informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2021), que resulta em consequências econômicas, visto o desperdício de recursos públicos gerado e o aumento de taxas repassado aos usuários; e ambientais, dada a busca de novos mananciais, resultando em uma diminuição do volume de água bruta

disponível. Já para o segundo, o mau planejamento da utilização do recurso hídrico na atividade aliado ao uso inadequado do solo, à utilização excessiva e irregular de agroquímicos e à devastação das matas ciliares, geram graves impactos à saúde humana e ao meio ambiente.

A pesquisa considera que o investimento em sistemas de abastecimento de água e o manejo adequado da irrigação, alicerçados pelos princípios do poluidor-pagador e usuário-pagador e somados à difusão da consciência ecológica, por meio da capacitação para o uso eficiente da água e sensibilização dos usuários, são ferramentas para se atingir a sustentabilidade no uso dos recursos hídricos, visto que atinge o contexto global dos problemas socioambientais e econômicos das bacias hidrográficas.

Nesse contexto, os serviços ambientais são indispensáveis à gestão dos recursos hídricos, visto que o pensamento conservacionista, além de permitir a pesquisa, possibilita o uso racional e sustentável, ratificando o caráter comercial da água. Ao partir do pressuposto que o homem pode beneficiar a oferta desses recursos a partir de práticas sustentáveis, tem-se intensificado a criação e aplicação de mecanismos de incentivos financeiros e descontos fiscais, principalmente em propriedades rurais, que internalizam as externalidades ambientais positivas (GJORUP *et al.*, 2016; CHIODI, MARQUES, MURADIAN, 2018; SILVA, 2018). Como exemplo tem-se o Programa Produtor de Água (PPA), desenvolvido pela ANA, que prevê uma compensação financeira às benfeitorias implementadas nas propriedades, sem contar do apoio técnico ao estabelecimento de arranjos que possibilitem o pagamento por esses serviços ambientais, como construção de terraços e de bacias de infiltração, readequação de estradas vicinais, recuperação e proteção de nascentes, reflorestamento das áreas de proteção permanente e reserva legal, saneamento ambiental, entre outros (SÃO PAULO, 2013).

Como visto, o grande paradigma ao uso sustentável dos recursos naturais está em mensurar como o planeta pode, ao mesmo tempo, ofertar recursos suficientes a assegurar o bem-estar dos seres vivos e recuperar-se dessa extração e, nesse contexto, a abordagem proposta com o instrumento da cobrança pela captação da água, associada aos incentivos por manutenção dos serviços ambientais, servem como motivadores à racionalização do uso da água e dos sistemas de distribuição, consumo urbano e agrícola e manutenção da oferta quali-quantitativa desse recurso.

Diante do exposto, o estudo tem como objetivo geral elaborar um modelo de cobrança pelo uso da água para o abastecimento humano e agricultura irrigada,

considerando as particularidades hidrológicas locais e utilizando as ações de conservação ao serviço ambiental como incentivador ao instrumento.

O trabalho trouxe como objetivos específicos:

- Realizar catalogação bibliográfica acerca da cobrança pelo uso da água, eficiência em sistemas de abastecimento de água e irrigação, serviços ambientais hidrológicos;
- Verificar as etapas do sistema de abastecimento de água e sua respectiva correlação ao índice de perdas na distribuição, bem como propor medidas para mitigar o problema; e
- Verificar quais propostas de conservação de serviços hidrológicos melhor se adequam à realidade da bacia estudada.

O estudo simulou a cobrança para a sub-bacia do rio Jacarecica, inserida na bacia hidrográfica do rio Sergipe, pois possui reservatórios fundamentais ao abastecimento humano e atividade agrícola da região, sendo que esta última é de destaque na economia do estado de Sergipe, consoante com a proposta da pesquisa. Sergipe, apesar de ter um índice de atendimento de água potável acima da média brasileira, possui aproximadamente 43,6% de perda em sua distribuição (BRASIL, 2019) e produção agrícola concentrada principalmente em perímetros que, muitas vezes possuem sistemas de irrigação ineficientes. O estado também está localizado entre três regiões climatográficas (subúmida, semiárida e agreste), com aproximadamente 40% de seus rios intermitentes e chuvas concentradas de março a agosto.

As hipóteses que norteiam este estudo são: (i) a aplicação da cobrança pelo uso da água no abastecimento humano atrelado aos conceitos de eficiência e otimização em seu sistema de captação e distribuição possibilitará redução no índice de perdas; e (ii) o uso de métodos sustentáveis na produção agrícola, somadas aos incentivos econômicos/fiscais e ambientais proporcionados pela conservação dos serviços ambientais resultarão em aumento da disponibilidade hídrica na bacia, além de minimizar o valor cobrado pela captação de água.

O trabalho está dividido em outras quatro seções, além desta introdução. A segunda seção retrata os sistemas de abastecimento de água, cobrança pelo uso da água e pagamento por serviços ambientais, bases da presente tese. A terceira parte apresenta a região de estudo e expõe a metodologia proposta e as fontes de dados utilizadas. A quarta etapa expõe e discute os resultados encontrados com os levantamentos, pesquisas e metodologia proposta. E na quinta etapa conclui-se o trabalho apresentando sugestões para futuras pesquisas acerca do tema.

**CAPÍTULO 1 -
FUNDAMENTAÇÃO
TEÓRICA**

1.1. Cobrança pelo uso da água

No Brasil, no final do século XX, foram aprovadas leis voltadas às mudanças de paradigmas da gestão dos recursos hídricos que descentralizaram seu controle e elevaram o *status* da água a recurso natural limitado dotado de valor econômico.

Dentre essas ações pode-se citar o pagamento por serviços de proteção à qualidade e quantidade da água é uma medida de gestão cada vez mais comum em todo o globo, visto, visto que não objetiva apenas incrementar a arrecadação para o Estado e órgãos/agências gestoras de recursos hídricos, mas sim garantir aos usuários, através do financiamento de infraestrutura, o acesso à água, de forma eficiente com a preservação dos mananciais (SOUZA *et al.*, 2015; SILVA, 2018).

1.1.1. Contexto histórico no Brasil

Nas últimas décadas, o Brasil tem vivenciado intensos debates sobre o uso e a gestão sustentáveis dos seus recursos hídricos, principalmente em virtude do aumento do número de conflitos pelo seu uso. Dentre os temas discutidos, destacam-se a outorga e cobrança pelo uso da água, o enquadramento dos corpos hídricos em classes e o equilíbrio sustentável entre a oferta hídrica, suas diversas demandas e o crescimento econômico.

Para embasar o ambiente institucional em que se insere o instrumento da cobrança, é apresentado, a seguir, de maneira bastante sucinta, as principais etapas da gestão de recursos hídricos no Brasil até os dias atuais, destacando os aspectos que estão relacionados, favorável ou desfavoravelmente, com a implementação deste instrumento.

O marco histórico-legal da gestão de recursos hídricos no Brasil iniciou-se com a promulgação do Decreto nº 24.643, em 10 de julho de 1934, conhecido como Código de Águas (BRASIL, 1934). Este decreto ilustra a realidade brasileira da época, em que predominava, nas relações sociais, a vontade e o interesse privados, na intersubjetividade particular e a presença do Estado regulamentador, desenvolvimentista e centralizador na tomada de decisão, fruto da necessidade de promover o desenvolvimento econômico do País, com as atenções quase que inteiramente voltadas para o setor industrial e hidrelétrico. Dessa forma, como afirmado por Garrido (2018), existia uma maior ênfase nas relações de natureza civil, entre particulares, no que se refere ao uso da água, uma vez que os usos setoriais deste recurso natural eram diminutos.

Até o final dos anos 1970, a maioria das barragens brasileiras era construída com a finalidade exclusiva de geração de energia hidroelétrica, sem levar em consideração os

demais usos da água. Assim, era necessário a ponderação entre as vantagens do privilégio dado ao uso dos recursos hídricos brasileiros à produção industrial e hidrelétrica em detrimento aos demais usos da água que, até então, eram mantidos em um plano de secundária importância, e que vinham se servindo dos mananciais, cada um a seu modo e de acordo com seus interesses, não havendo adequada repartição das vazões entre os interessados (BOLSON; HAONAT, 2016).

Logo, a gestão da água nesse período era fragmentada por uma série de instâncias da Administração Pública, modelo incoerente ao se levar em consideração que um dos aspectos mais importantes de sua gestão é o partilhamento das vazões entre setores competidores pela água (GARRIDO, 2018).

Além dos fatos representativos das reações de setores usuários da água e de gestão do uso do meio ambiente, que foram ocorrendo internamente no Brasil – como a aprovação da Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), definindo critérios de classificação dos corpos d'água (BRASIL, 1986); a inclusão no texto da Constituição Federal de 1988 da determinação da dominialidade dos corpos hídricos e criação do Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH) (BRASIL, 1988); a promulgação da Lei Federal nº 9.433/1997 que estabeleceu a nova Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997); e a criação da Agência Nacional de Águas (ANA) por meio da Lei Federal nº 9.984/2000 (BRASIL, 2000) – alguns eventos foram também de grande relevância para impulsionar o aproveitamento integrado dos recursos hídricos do país, como a Conferência de Recursos Hídricos de Dublin e a Conferência Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, no Rio de Janeiro, ambas em 1992.

A Constituição Federal de 1988 ao estabelecer dois domínios para os corpos d'água (União e Estados), estimulou alguns Estados a começar a elaborar suas próprias leis de organização administrativa para o setor de recursos hídricos, estabelecendo princípios, instrumentos e o arcabouço institucional para a promoção do gerenciamento do uso dos corpos d'água de seus domínios.

A Conferência de Dublin teve grande destaque pela publicação dos Princípios Norteadores, que exerceram grande influência na elaboração de modelos de gestão de recursos hídricos em diversos países, e a definição de uma Agenda para Ação para tal (ESTEVEZ, 2017). Dentre esses princípios, pode-se destacar como fundamentais ao presente estudo: a água é um bem finito e vulnerável, essencial ao sustento da vida, ao desenvolvimento e ao meio ambiente; o desenvolvimento e a gestão do uso da água devem basear-se em processos participativos envolvendo usuários, planejadores,

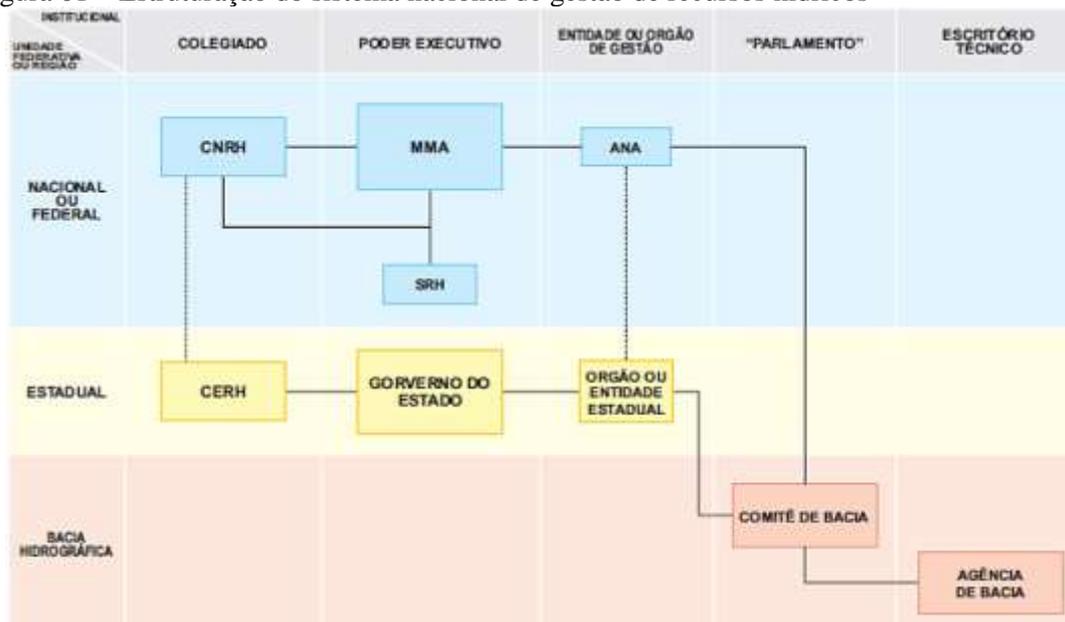
legisladores em todos os níveis; a água tem valor econômico em todos os usos e, como tal, deve ser reconhecida como bem econômico; a necessidade da conservação e reuso da água, tendo em vista os desperdícios observados em três dos maiores usuários deste recurso natural; e a avaliação do papel da água no meio urbano, em que sua poluição e escassez têm levado à busca de fontes de abastecimento cada vez mais distantes do centro de uso.

Esses mesmos princípios e práticas serviram como fundação à elaboração da Agenda 21, documento aprovado na Conferência Rio-92, poucos meses após o evento em Dublin, marco do debate e das decisões sobre o desenvolvimento sustentável (CAMPOS; MARQUES, 2017). À parte do objetivo geral de garantir oferta de água de boa qualidade para as populações, apresentou-se a necessidade da preservação das funções ecossistêmicas dos corpos hídricos e a necessidade da adaptação das atividades humanas aos limites da capacidade da natureza, colocando em xeque a gestão da demanda de água e seu monitoramento quali-quantitativo no globo.

Segundo Garrido (2018), com essas reflexões percebe-se que a Agenda 21 continuou criando espaço para a implementação de um instrumento econômico da natureza da cobrança pelo uso da água, pois esta é uma arma eficaz para inibir ações deletérias ao meio ambiente e apelar para ferramentas que as ciências econômicas oferecem, uma vez que instrumentos de outra natureza, como leis, normas e regulamentos, apesar de suas respectivas utilidades, têm tradicionalmente se mostrado pouco eficazes para equilibrar as forças da oferta com aquelas que comandam a demanda.

Além disso, a criação da ANA permitiu que, apesar do caráter nacional, os dois domínios da água coexistissem e fossem contemplados em seu arcabouço legal geral, ao se respeitar suas autonomias trazidas pela Lei das Águas (BRASIL, 1997). Dessa forma, junto esse órgão, apenas o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) tem caráter nacional, sendo esse o qual subordinam-se todas as demais instâncias, guardadas as restrições que a referida autonomia federativa prevista na Constituição implica e a ANA. O organograma geral do SNRH, sem incluir órgãos e entidades parceiras, é apresentado na Figura 01, ilustrando o convívio de todos esses organismos, alguns habitando espaços dos Poderes Executivos envolvidos, outros incluindo representações da sociedade civil organizada e com área de atuação no ambiente geográfico das bacias hidrográficas.

Figura 01 – Estruturação do sistema nacional de gestão de recursos hídricos



Fonte: Garrido, 2018.

Sendo: Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Ministério do Meio Ambiente (MMA); Agência Nacional de Águas (ANA); Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH); e Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH)

E é nesse arcabouço institucional que convivem os diversos instrumentos econômicos de gestão dos recursos hídricos, como a cobrança pelo uso da água; a compensação financeira a Municípios, caso suas terras sejam usadas em prol do desenvolvimento da nação; o enquadramento dos corpos d'água em classes de usos preponderantes, visto que ao adequar determinada atividade em um certo grau de qualidade da água induz a eficiência econômica no uso dos recursos hídricos pela adequação do nível de qualidade da água à real demanda de cada uso; e os planos de recursos hídricos, os quais indicam as vazões disponíveis para fins de outorga de direito de uso da água, a discriminação detalhada dos custos e investimentos a curto e longo prazos que devem ser feitos na bacia com o objetivo de tornar mais racional e eficiente o conjunto dos usos múltiplos da água.

1.1.2. A relação entre a outorga de direito de uso da água e a cobrança por esse recurso

Dentre os instrumentos de suporte instituídos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) fundamentais à implantação da cobrança pelo uso da água destaca-se a outorga de direito de uso dos recursos hídricos.

A outorga é uma autorização emitida pela Federação ou estado (em função da dominialidade do corpo d'água) para que o usuário possa utilizar o recurso hídrico para

atender suas necessidades e constitui-se como uma etapa indispensável para a operacionalização efetiva do sistema de gestão de recursos hídricos por relacionar os usos a suas demandas hídricas.

No contexto das questões técnicas, a vazão outorgável é dada em função de uma relação entre oferta ou disponibilidade hídrica, (vazão que naturalmente existe no corpo hídrico) e demandas (antrópicas e ecossistêmicas), que pode ser por uma vazão de referência (Q_{85} , Q_{90} , Q_{95}), o qual são estabelecidos percentuais de uma vazão pré-fixada, obtida através das séries históricas ou quantidade de falhas pré-determinadas, que fixa a quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade e evita grandes restrições ao usuário.

As outorgas em bacias com águas de domínio da União, conforme Lei das Águas, está condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deve respeitar a classe em que o corpo de água está enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando necessário (BRASIL, 1997). Em relação a bacias de domínio estadual é estabelecido normalmente as mesmas condicionantes e cada Estado adota seu critério de definição da vazão outorgável.

É importante destacar que, para o aproveitamento adequado dos recursos hídricos, é fundamental conhecer o comportamento dos rios e seus regimes sazonais de vazões e pluviométricos – considerando as suas distribuições espaciais e temporais –, o que exige trabalho permanente de coleta e interpretação de dados, uma vez que a confiabilidade se torna maior à medida que as séries históricas ficam mais extensas

Dessa forma, a outorga e a cobrança pela utilização das águas são importantes instrumentos de gestão para induzir o usuário a uma utilização mais racional e sustentável desse recurso, visto que o primeiro objetiva regularizar e controlar o volume captado ou lançado pelo usuário (outorga de captação e lançamento, respectivamente); enquanto que o segundo, ao reconhecer que a água é um recurso dotado de valor econômico, indica seu potencial de escassez ao atribuir um valor a ele, além de fazer uso dos volumes outorgados para determinar o valor pago pelo uso da água.

1.1.3. Bases conceituais para a cobrança pelo uso da água

O gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil visa, portanto, harmonizar e solucionar conflitos resultantes do uso intensivo da água na bacia hidrográfica, tendo como princípios a racionalização do uso da água, a descentralização do processo decisório e a participação da sociedade no mesmo. Para tal, existem dois pilares fundamentais: a

gestão da oferta de água, que consiste em ações que vislumbram a maior disponibilidade quali-quantitativa do recurso; e a gestão da demanda, que procura racionalizar e disciplinar o seu uso.

Como visto anteriormente, apesar de existir um reconhecimento de que os recursos hídricos eram dotados de valor econômico desde o Código das Águas de 1934, nada estava definido sobre a maneira que esse valor seria repassado aos usuários. Foram as leis de organização administrativa, como a Lei das Águas (Lei Federal nº 9.433/1997) e a criação da ANA (Lei Federal nº 9.984/2000) que vieram a estabelecer nova ordem para o setor, criando o ambiente institucional para a implementação da cobrança.

Então a cobrança pelo uso dos recursos hídricos atua como instrumento financeiro – à medida que busca recuperar o capital e despesas correntes –, econômico e ambiental destinado à conservação da água e otimização de seu uso, ambos alcançados por meio do cultivo de culturas que consumam menor volume de água, de investimentos em tecnologias menos hidrotensivas e estimulando seu uso racional, supondo que ao se pagar uma taxa pela captação de um volume de água, o usuário seria estimulado a uma mudança comportamental, tornando seu consumo parcimonioso.

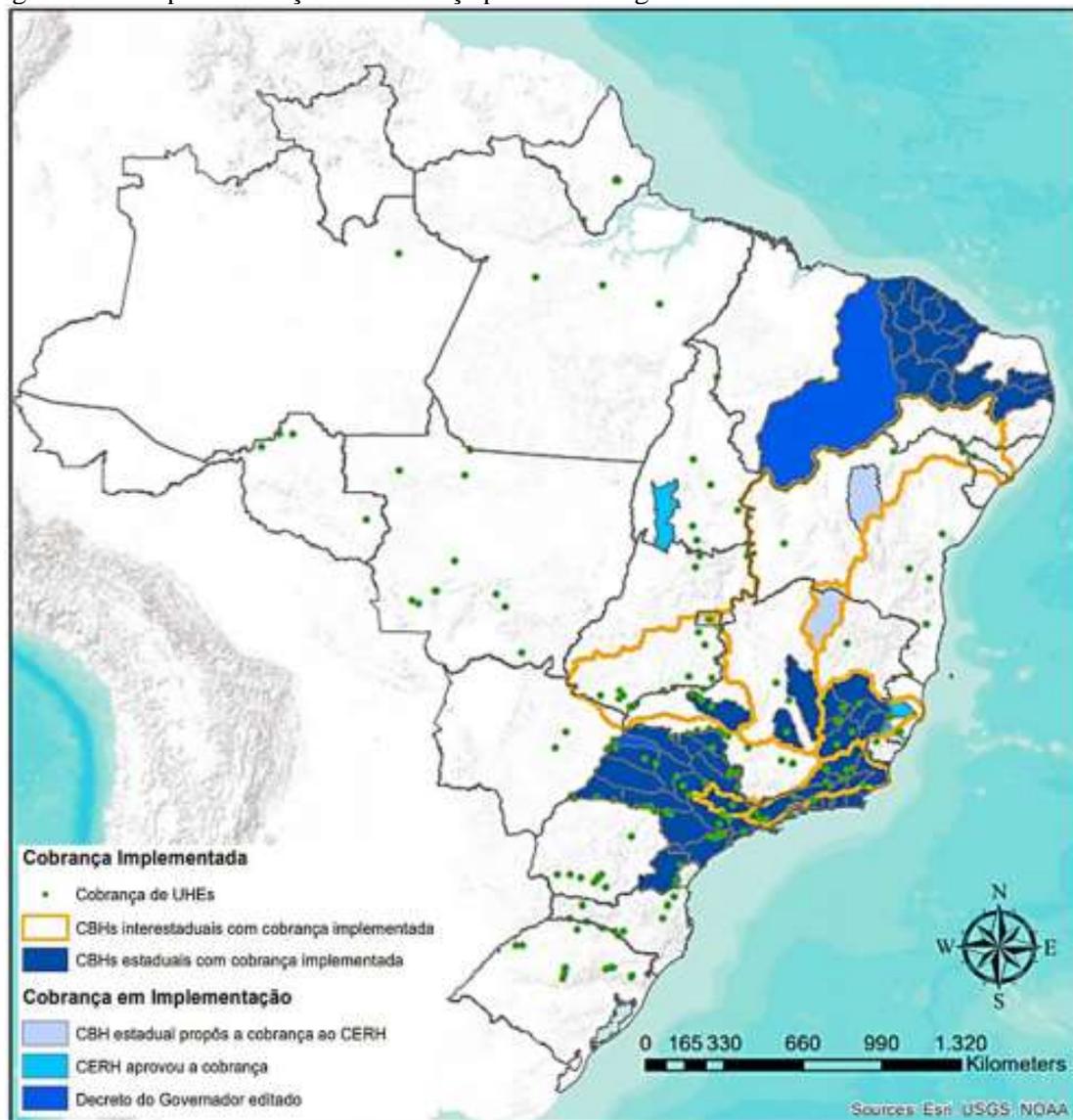
Segundo Silva (2017), os mecanismos de mercado, na presença de custos de transação, são incapazes de internalizar as externalidades que as decisões individuais, tomada pelos usuários dos recursos hídricos, impõem aos demais indivíduos, tornando-se necessária a intervenção do poder público, via cobrança pelo uso da água, para promover a racionalização do seu uso, como condição complementar de satisfazer os demais usuários competidores e, ainda, garantir maior eficiência produtiva.

Os quatro usos de água que podem ser cobrados são: (i) uso da água disponível no ambiente (ou água bruta), como fator de produção ou bem de consumo final; (ii) uso de serviços de captação, regularização, transporte, tratamento e distribuição de água; (iii) uso de serviço de coleta, transporte, tratamento e destinação final de águas servidas; e (iv) uso da água disponível no ambiente como receptor de resíduos (FORGIARINI; SILVEIRA; CRUZ, 2008)

A implementação da cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas tem ocorrido de maneira gradual e de acordo com características específicas de cada região hidrográfica. É um processo dinâmico e que anualmente apresenta novos resultados. A principal dificuldade surge das diretrizes legais diferenciadas estabelecidas entre a União e os estados para a elaboração dos valores a serem cobrados.

Ao todo, seis bacias interestaduais implementaram a cobrança: As bacias hidrográficas dos rios Paraíba do Sul (2003), Piracicaba Capivari e Jundiaí (2006), São Francisco (2010), Doce (2011), Paranaíba (2017) e Verde Grande (2017) (Figura 02). É importante salientar que por tratarem-se de rios de domínio da União, a cobrança realizada é considerada cobrança federal. Dentre as experiências citadas acima, as bacias do PCJ é a única que possui uma cobrança universal, que ocorre em rios da união, do estado de São Paulo e Minas Gerais (ANA, 2020).

Figura 02 – Mapa da situação da cobrança pelo uso da água no Brasil



Fonte: ANA, 2020.

Segundo Landa (2018), a cobrança está inserida dentro dos princípios do direito ambiental poluidor-pagador, usuário-pagador e prevenção– explicados a seguir – e não

tem natureza de tributo, mas sim de preço público ou tarifa. A PNRH prevê essa tarifação, cujos principais objetivos são: contribuir para o gerenciamento da demanda, redistribuir custos sociais, gerar recursos para projetos e programas sociais e ambientais, melhorar a qualidade dos corpos d'água receptores de efluentes e de abastecimento e incorporar as dimensões social e ambiental do planejamento global (BRASIL, 1997).

Segundo Moreira *et al.* (2016), Correa (2017), Gutierrez *et al.* (2018), e Landa (2018): o princípio Poluidor-Pagador visa imputar de forma preventiva ou reparadora ao poluidor o custo social da poluição gerada, ao passo que internaliza o valor do dano ambiental ao custo do produto e afasta o ônus econômico da coletividade; o Princípio do Usuário-Pagador repassa ao usuário os custos que tornam possíveis a utilização dos recursos e os custos advindos de sua própria utilização, partindo do pressuposto que os recursos ambientais existem para o benefício de todos; e o princípio da Prevenção, baseia-se na hipótese que a produção ou o consumo dos bens prejudiciais ao meio ambiente tende a diminuir à medida que esses bens se tornam mais caros, devido à incidência tributária.

A Lei Federal 6.938/1981 dispõe a obrigação ao poluidor recuperar e/ou indenizar os danos causados e ao usuário de contribuir pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos (BRASIL, 1981). Vale ressaltar que a referida lei define poluidor como sendo a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividades causadoras de degradação ambiental.

1.1.4. Formulação de preços para a cobrança

Desde a Conferência de Dublin em 1992, atribui-se à água caráter econômico, visto seu potencial de escassez. Sendo assim, ratificando o que foi dito anteriormente, sua disponibilidade para satisfação de seus múltiplos usos implica em um custo (ambiental, social e econômico) e em um valor, que corresponde ao quanto o usuário está disposto a pagar por esse recurso. Dessa maneira, o estabelecimento do preço desse recurso deve ser realizado por meio do equilíbrio entre esses dois fatores: custo e valor.

Segundo Perez e Pazinato (2022), apesar de a avaliação dos custos da água constituir tarefa complexa, é factível, pois seu cálculo baseia-se em variáveis mensuráveis em termos econômicos-financeiros, o cálculo do valor da água é uma tarefa ainda mais complexa, a qual recorre-se a metodologias da economia do ambiente, possuindo grau maior de subjetividade, visto que se baseia no estabelecimento de um mercado com variáveis hipotéticas, como disposição a pagar pelo benefício, entre outros.

Sendo assim, os custos para esse recurso podem dividir-se em custos econômico-financeiros, que incluem os custos de oportunidades, administrativos, de recuperação, de exploração, manutenção e as externalidades; e os custos ambientais, que representam os impactos ambientais resultantes dos diversos usos da água.

Já a valoração da água é feita de acordo com o usuário e seu respectivo uso, ou seja, deve-se quantificar seu valor econômico (valor de uso da água ajustado aos objetivos sociais) e somá-lo ao valor intrínseco, que representa as parcelas que o valor econômico não consegue mensurar, como por exemplo, o valor da existência.

Outra grande dificuldade na atribuição de seus preços, está na diversidade de metodologias e critérios, as quais se agregam em três grandes grupos: modelos de otimização com equilíbrio parcial, de otimização com equilíbrio geral e modelos *ad hoc*.

Conforme Moraes *et al.* (2009) e Almeida e Curi (2016), as metodologias pertencentes aos dois primeiros grupos constituem mecanismos de formação de preços que adotam, como ponto de partida, a conduta otimizadora do agente econômico, capaz de tomar decisões racionais, fundamentando-se em proposições amplamente aceitas na teoria econômica. Já o terceiro grupo de modelo não apresenta um processo legítimo de otimização econômica e o preço a ser cobrado corresponde, na maioria dos casos, ao custo médio da produção, trazendo grande simplicidade para o cálculo e tendo altas chances de afastar-se do valor socialmente ótimo.

Contudo, a precificação da água em muitas bacias hidrográficas brasileiras está sendo feita buscando a eficiência econômica, desenvolvimento sustentável e/ou critérios de definição de custo e valor, mas sim, baseando-se em critérios relacionados aos custos médios ou em um parâmetro fixado percentualmente, no caso das hidrelétricas, sem que se tenha posto em confronto sua oferta e demanda.

Segundo Faganello (2007), a estrutura dos mecanismos de cobrança é composta basicamente por uma base de cálculo, pelo preço unitário (*PU*) e coeficientes (*K*). A base de cálculo é determinada em função do uso da água, sendo a vazão o parâmetro quantitativo e a carga de poluentes lançadas o parâmetro qualitativo; o *PU* é dado em função dos objetivos da cobrança; e os coeficientes foram criados para atender certos objetivos, mas que muitas vezes não trazem credibilidade metodológica, o que pode resultar em uma perda de credibilidade por parte do instrumento.

As metodologias de determinação do *PU* são baseadas na eficiência econômica, recuperação dos custos de gestão e no quanto os usuários estão dispostos a pagar. É importante salientar que, independente da metodologia escolhida, para sua correta

determinação deve-se, primeiramente, definir o porquê da cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica, para assim definir o preço considerado ideal, que reflita os custos reais enfrentados pela gestão da bacia hidrográfica, com a cobertura plena dos custos operacionais, adicionados da parcela de amortização dos investimentos para reverter a degradação existente em prazo que acomode a cobrança na capacidade de pagamento dos usuários-pagadores.

Dessa maneira, acomodar a cobrança de um recurso na capacidade de pagamento dos usuários requer chegar-se a níveis de preços que sejam, de um lado incitativos ao uso racional e, portanto, não muito baixos, e, de outro, viáveis à produção, ou seja, não muito elevados que levem os usuários à perda de espaço em seus respectivos mercados de consumo, e também sem perder o caráter de bem público.

Assim, existe uma gama de estudos relacionados à precificação da água, como por exemplo, os que tratam das alterações nas curvas de demanda pela água ou no comportamento dos usuários dada certa variação nos preços (AIDAM, 2015; ZHAOA *et al.*, 2016; EXPÓSITO; BERBEL, 2017; GARRIDO, 2018); os que apresentam métodos e técnicas para estimar o preço da água (PIZAIA *et al.*, 2009; NIKOUEI; WARD, 2013; JERÓNIMO; HENRIQUE; CARVALHO, 2015; OLIVEIRA, 2017); e os que estimam para abastecimento urbano (FAROLFI; GALLEGUO-AYALA, 2014; KANAKOUDISA *et al.*, 2016; MOLINOS-SENANTE; DONOSO, 2016).

Concluindo, a implantação do instrumento demanda a existência de Agência de Bacia apta a prestar os serviços de operacionalização, um comitê atuante, um cadastro atualizado de usuários e de outorgas, o que remete à discussão inicial da dificuldade de implantação e aplicação a longo prazo do instrumento da cobrança nos Estados, onde seu Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) encontra-se muitas vezes em elaboração, não há Agências de Águas operando de forma permanente ou um comitê presente.

1.1.5. A cobrança pelo uso da água no Estado de Sergipe

Em maio de 2018 foi entregue pela Gama Engenharia o estudo para implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos e para implantação da cobrança tarifária dos irrigantes nos perímetros irrigados Jacarecica I e Poção da Ribeira, ambos localizados no município de Itabaiana-SE e inseridos na bacia hidrográfica do rio Sergipe, mais especificamente na Unidade de Planejamento Rio Jacarecica.

O trabalho estava inserido no escopo do Programa Águas de Sergipe, programa este financiado por um empréstimo do Banco Mundial com o objetivo de fortalecer o

marco institucional e de políticas para a gestão integrada dos recursos hídricos e meio ambiente nesse Estado e implementar ações que contribuam para a revitalização da bacia.

Para modelagem da proposta foi feito, inicialmente, uma análise das bases de dados de usos outorgados (válidos e vigentes) no Estado, visto que a cobrança incidirá apenas sobre eles, no qual foram identificadas 170 outorgas vigentes (150,6 hm³/ano), e 349 outorgas vencidas (161,8 hm³/ano), totalizando 519 outorgas correspondente ao volume de 312,4 hm³/ano (SERGIPE, 2018a). É importante salientar que, para fins de simulação de arrecadação, é importante levar em consideração um cenário com as outorgas vencidas, com o intuito de se conhecer o potencial de arrecadação.

Observou-se também que dentre as outorgas vigentes há predominância do abastecimento público sobre os demais setores usuários (67,6%), com o abastecimento industrial (17,2%) e a irrigação (8,6%) em sequência. Percebe-se também que apesar de haver maior número de outorga subterrânea, o volume superficial outorgado é deveras maior (SERGIPE, 2018a).

Notou-se que a bacia do rio Sergipe concentra a maior parte do volume outorgado (61,8%), seguida pelas bacias dos rios Piauí (14,6%) e Japarutuba (12,5%). Juntas, essas três bacias estaduais concentram volume anual de 133,9 hm³ (88,9% do total).

A metodologia apresentada em Sergipe (2018a) para cobrança pelo uso da água bruta buscou extrair as experiências positivas de modelos já consagrados no país – como os das bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), Paraíba do Sul – resultando numa equação composta por duas parcelas: captação de água, Equação (1), e lançamento de efluentes.

$$Valor_{cap} = [k_{out} \cdot Q_{cap}^{out} + k_{med} \cdot Q_{cap}^{med} + k_{med}^{extra} \cdot (0,7 \cdot Q_{cap}^{out} - Q_{cap}^{med})] \cdot PU_{cap} \cdot k_{cap} \quad (1)$$

Onde:

$Valor_{cap}$: valor anual de cobrança pela captação de água, em R\$/ano;

Q_{cap}^{out} : volume anual de água captado, em m³/ano, segundo valores da outorga;

PU_{cap} : Preço Público Unitário para captação, em R\$/m³;

k_{cap} : coeficiente que considera objetivos a serem atingidos com a cobrança pela captação de água;

k_{out} : peso atribuído ao volume anual de captação outorgado;

k_{med} : peso atribuído ao volume anual de captação medido;

Q_{cap}^{med} : volume anual de água efetivamente captado, em m³/ano; e

k_{med}^{extra} : peso atribuído ao volume anual disponibilizado no corpo d'água.

Nota-se na equação a utilização do volume de água efetivamente captado, quando houver medição, como base de cálculo para a cobrança. Tal artifício é importante à correção da distorção entre o volume outorgado e efetivamente captado, visto que desestimula o uso perdulário da água, pois beneficiará o usuário que faz uso racional e eficiente da água, além de coibir as chamadas “reservas de água”.

O coeficiente k_{cap} (coeficiente de captação) é dado pelo produto do coeficiente que leva em conta a classe do rio (enquadramento) ou a vulnerabilidade do aquífero (k_{classe} ou $k_{vulnerabilidade}$), do coeficiente que leva em consideração a eficiência no uso da água captada ($k_{eficiência}$), do coeficiente que leva em consideração as condições hidroclimáticas do ponto de captação (k_{clima}) e do coeficiente que confere autonomia de decisão do comitê da bacia ao instrumento (k_{BH}).

Apesar de no Estado de Sergipe o enquadramento ainda não ter sido implementado, a adoção desta metodologia deixa proposta de cobrança apresentada pronta a abraçar este instrumento e outros poluentes lançados, além da carga orgânica, pois a vazão indisponível a ser considerada deve ser a maior vazão apropriada do curso d’água para diluição dos poluentes lançados (SERGIPE, 2018a).

Ainda segundo o estudo anterior, os Preços Públicos Unitários a serem aplicados para captação e transposição são os limites inferiores de valores praticados em outras bacias que não cobram a parcela de consumo de água (bacia do rio Doce e seus afluentes mineiros) e o de lançamento de efluente teve como base o preço da nova metodologia de cobrança da bacia do rio São Francisco e do Estado de Pernambuco (Quadro 01).

Quadro 01: Preços Públicos Unitários

Parcela de cobrança	Preço Público Unitário – PU (R\$/m³)
Captação de água superficial - PU_{cap_sup}	0,03
Captação de água subterrânea - PU_{cap_sup}	0,035
Transposição - PU_{cap_transp}	0,04
Lançamento de efluente - $PU_{lanç}$	0,0012

Fonte: Sergipe, 2018a.

O estudo ainda fez simulações de cobrança sobre toda a base de usuários com outorgas vigentes, vencidas e em análise, resultando em um potencial de arrecadação de R\$ 16.158.654,36 anuais. Entretanto, este é uma estimativa que considera a renovação de todas as outorgas vencidas, bem como a aprovação de todos os processos em análise, além de que a operacionalidade da cobrança pelo lançamento de efluentes está atrelada à

aprovação do enquadramento dos rios sergipanos e consequente concessão de outorgas para fins de diluição, o que ainda não aconteceu.

Ao ordenar os valores arrecadados por categoria de uso, observa-se grande predominância do setor de Abastecimento Público (76,17%), vindo da Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, o principal usuário de água do Estado; seguido pelo setor industrial (17,98%). Aos demais setores usuários – inclusive o de irrigação – caberiam valores de cobrança pouco significativos.

1.2. Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) no Brasil

No Brasil prevaleceu até início do século XX o modelo de prestação local de abastecimento com os chafarizes públicos, contudo a insalubridade gerada por esse sistema de abastecimento ajudou na proliferação de epidemias, abrindo espaço para as primeiras concessões de serviços de saneamento.

Nas décadas de 1950 e 1960, houve ampliação dos serviços de água e esgoto, visto a crescente industrialização e urbanização. Segundo Oliveira (2016), dentro de uma ótica de auto sustentação financeira e retorno tarifário, as companhias inicialmente concentraram seus recursos em sistemas de abastecimento nos centros urbanos para que, após equilibrados seus fluxos de caixa, investiriam nos serviços de esgotamento e atenderiam as comunidades menores e mais pobres.

Com a promulgação da Lei nº 11.445/2007, a qual estabelece as diretrizes nacionais para os serviços públicos de saneamento básico por meio de princípios da descentralização, integralidade e universalização dos serviços (água, esgoto, resíduos sólidos e drenagem), controle social e defesa dos direitos humanos e ambientais; atribuiu-se aos Municípios, titulares dos serviços, o dever de elaborar tanto seu plano quanto sua política de saneamento – instrumentos indispensáveis da política pública de saneamento básico e obrigatórios à contratação ou concessão dos serviços na sua prestação indireta – , além de impossibilitar a delegação de tal responsabilidade (OLIVEIRA, 2016).

Ainda segundo a Lei nº 11.445/2007, a política pública de saneamento básico deve compreender: a decisão sobre a forma de prestação dos serviços (direta ou delegada); a definição dos procedimentos para sua prestação e atendimento quanto à quantidade, regularidade e qualidade da água potável; definição do órgão responsável por regular e fiscalizar o sistema; a fixação dos direitos e deveres dos usuários; o estabelecimento de mecanismos de participação e controle social; a construção do sistema de informações

sobre os serviços; e a previsão em lei e contratos das ocasiões e condições nas quais cabem intervenção (BRASIL, 2007)

A publicação da Lei nº 14.026/2020, considerada o Novo Marco do Saneamento, ratifica a redução e controle das perdas de água, inclusive na distribuição de água tratada, além de estimular a racionalização de seu consumo pelos usuários e fomentar a eficiência energética, o reúso de efluentes sanitários e o aproveitamento de águas de chuva (BRASIL, 2020)

A política pública de saneamento básico também deve, fundamentalmente, definir as condições para a prestação dos serviços, envolvendo a sua sustentabilidade, viabilidade técnica, econômica e financeira bem como a definição de sistema de cobrança, composição de taxas, tarifas e política de subsídios (BRASIL, 2014a).

Nogueira e Borja (2018), afirmam que a vantagem na atribuição da elaboração dos planos de saneamento aos municípios está na aproximação dos âmbitos de planejamento e execução, que permite o estabelecimento de ações sociais orientadas por planos específicos e integrados focados em atender às peculiaridades locais.

1.2.1. Desempenho dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)

Um sistema de abastecimento de água é essencialmente uma estrutura linear formada por um conjunto de equipamentos, procedimentos e serviços destinados ao processamento, armazenamento, transporte e distribuição de água potável para o atendimento humano para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos (OLIVEIRA, 2016).

Embora todos os componentes do saneamento sejam interdependentes e interligados, no Brasil, historicamente, o abastecimento de água é, muitas vezes, considerado o componente mais importante das infraestruturas urbanas, visto que, ainda hoje, muitos domicílios são servidos de água encanada enquanto não apresentam solução coletiva para o descarte das águas servidas, bem como não são atendidos pela coleta de resíduos sólidos ou sistemas de drenagem de águas pluviais.

Um SAA compreende, basicamente, a captação da água bruta em um manancial superficial ou subterrâneos; seu tratamento através de uma série de operações e processos químicos e físicos que modifica a qualidade da água de modo a torná-la atrativa e segura para o consumo humano e com qualidade compatível com o padrão de potabilidade preconizado pela Portaria de Consolidação GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021); sua reservação, com o objetivo de atender as flutuações de demanda; e a distribuição, onde a

água é entregue ao consumidor. Intercalam-se a essas etapas estações elevatórias, que permitem que o transporte da água vença os obstáculos gravitacionais e geográficos, e as adutoras, que conduzem a água de uma etapa a outra do sistema.

Existe uma considerável gama de técnicas, estruturas e formas de composição de um SAA, definidas, primordialmente, pelo tipo de manancial, a disponibilidade quali quantitativa da água, aspectos hidoclimáticos, hidrogeológicos e topográficos locais e demanda.

O crescimento das demandas, as mudanças climáticas globais e o decréscimo da oferta de água nos mananciais trazem a urgência de melhorias e ampliações nos serviços de abastecimento de água, além das manutenções preventivas e corretivas nos sistemas já instalados para minimizar suas perdas (KUSTERKO *et al.*, 2018). Sendo assim, o desempenho dos SAAs está relacionado à sua capacidade de entregar água em quantidade e qualidade adequadas ao consumo humano, à eficiência na prestação desse serviço e a sua auto-sustentação, ou seja, a sua capacidade de se manter eficiente ao longo dos anos, considerando-se aspectos ambientais, técnicos, sociais e econômicos.

Segundo Oliveira (2016), na avaliação do desempenho quanto à qualidade do produto, consideram-se as características físico-químicas e microbiológicas da água, associada a aspectos como população atendida e quantidade de água fornecida. Quando a avaliação se volta para a eficiência do processo de produção e distribuição, elementos como o gasto de energia, as perdas e intermitência do serviço tomam importância especial. Já com relação à gestão estratégica, questões como a capacidade atual e futura de entrega da água, a preservação dos mananciais, tarifação aplicada e a própria eficiência do sistema implantado entram na discussão.

1.2.1.1. Avaliação do desempenho dos SAAs quanto à qualidade do produto

A boa qualidade da água distribuída é condição *sine qua non* à saúde da população. Contudo, a complexidade que envolve as doenças de veiculação/origem hídrica faz com que os estudos epidemiológicos da região abastecida sirvam apenas como norteadores para possíveis alterações no SAA, não significando necessariamente funcionamento ineficiente, visto que são influenciadas por hábitos higiênicos, acondicionamento de água, nível de estresse pessoal, contato entre pessoas, ingestão de alimentos contaminados, entre outros.

Conforme destaca a Organização Mundial da Saúde (OMS), a grande problemática com relação ao risco à saúde associado ao consumo de água são as doenças

infecciosas – causadas por bactérias, vírus, protozoários e helmintos, visto sua resistência prolongada em ambientes aquáticos, possibilidade de reprodução na água, alta resistência à desinfecção, existência de múltiplas fontes de infecção – e as substâncias de difícil remoção por meio de processos convencionais de tratamento de água frutos das atividades agrícolas, industriais e extrativistas (BRASIL, 2006).

Assim, dada a fragilidade do uso de estudos epidemiológicos à análise do desempenho desses sistemas, faz-se uso de parâmetros de qualidade da água, pois são indicadores que avaliam não somente as condições da água consumida, como, também, o desempenho geral do sistema de abastecimento. Adicionalmente, esse indicador incorpora a avaliação da satisfação do serviço pelo consumidor, tornando seu uso indispensável (KUSTERKO *et al.*, 2018).

É interessante destacar que também existem situações que podem provocar aumentos repentinos de concentração dos agentes microbiológicos que podem desencadear surtos de doenças ou intoxicações transmitidas pela água, como, por exemplo, o início do período de chuva, que resulta em onda de cheia nos corpos hídricos carreando matéria orgânica de montante; limpezas de tanques industriais ou até mesmo desastres como o ocorrido com a barragem de rejeitos em Mariana, em 2015. Dessa forma é necessário que os parâmetros capazes de indicar o desempenho operacional, sejam medidos facilmente e tenham rápida apuração para permitir a realização de ajustes no tempo adequado (MELO *et al.*, 2020).

A Portaria de Consolidação GM/SM nº 888/2021, já citada anteriormente, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano, sobre o padrão de potabilidade exigido no Brasil e estabelece a manutenção para avaliação sistemática do SAA com base no histórico das características da água levantadas por análises laboratoriais referentes a diversas partes do sistema, conforme plano de amostragem, igualmente estabelecido por esta (BRASIL, 2021).

Ainda conforme a Portaria supracitada, os principais parâmetros relacionados à qualidade da água utilizados no monitoramento operacional nas etapas dos SAAs são:

- Mananciais: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, vazão do corpo d'água, cor, condutividade, carbono orgânico total, crescimento de algas, tempo de detenção (em lagos e represas) e dados meteorológicos locais;
- Tratamento: dosagem química (coagulação e desinfecção), turbidez e vazão (todas as etapas), pH (coagulação, filtração e desinfecção), cor, carbono orgânico total, algas e suas

toxinas, perda de carga (filtração), concentração de desinfetantes, tempo de contato, desinfetante residual e subprodutos da desinfecção (desinfecção), entre outros; e

- Redes de distribuição de água: pH, turbidez, cor, algas, vazão, perdas de carga, desinfetante residual, subprodutos da desinfecção e pressão hidráulica.

1.2.1.2. Avaliação do desempenho dos SAAs quanto à eficiência operacional

Em razão de as empresas prestadoras de serviços de saneamento básico terem sido criadas em uma época de significativas demandas por projetos e construções de SAAs, os aspectos operacionais sempre foram negligenciados em prol dos esforços necessários à implantação e a ampliação desses sistemas (OLIVEIRA, 2016).

Como consequência àquela época, atualmente grande parte dessas empresas convive com a prática em realizar operação reativa do sistema à proativa, que ocasiona em práticas insustentáveis, cada vez mais onerosas, prejudicando as condições ambientais e seu relacionamento com os consumidores.

Sendo assim, a eficiência operacional dos sistemas de abastecimento de água relaciona-se, desse modo, a questões como condições de funcionamento do SAA (mão de obra, tecnologia e infraestrutura disponível), controle e minimização de perdas, energia demandada pelo sistema e processos, manutenção e qualidade do serviço.

a) Operação e eficiência energética

A operação e a eficiência energética dos SAAs dizem respeito ao modo e alternativas de seu funcionamento. Logo, são considerados quesitos como macro e micromedição de vazão do sistema, demanda energética e sua gestão, produtividade da mão de obra disponível, sua qualificação e atividades exercidas (OLIVEIRA, 2016).

O bom desenvolvimento da prática de medição de vazão no sistema de abastecimento de água permite promover, além do uso racional da água, maior controle do operador sobre o sistema e pode ser realizada de forma direta, através da quantificação volumétrica ou mássica de um fluido que escoar através de uma seção de tubulação ou canal aberto durante certo intervalo de tempo, ou através de parâmetros intrinsecamente relacionados à vazão de escoamento, como, diferença de pressão, diferença de altura, condutividade, ondas ultrassônicas, dependendo da precisão necessária (TSUTIYA, 2006; WANG; SHAMMAS, 2013).

Outra frente de ação contra as perdas de água e a favor da eficiência do sistema é o adequado gerenciamento das pressões dinâmica e estática do sistema, principais fatores

que influenciam o número de vazamentos, visto que o volume de água perdido por eles varia com a pressão. Conforme estudos feitos por Tsutiya (2006), Galvão Júnior e Paganini (2009), Moreno (2009), Wang e Shammam (2013) e Oliveira (2016) devem ser observadas as pressões mínimas nas horas de maior consumo e as pressões máximas nas horas de pouco ou nenhum consumo para que não ultrapassem os limites recomendados.

Baixas pressões representam risco de contaminação da água em decorrência da entrada de materiais que são empurrados para o interior dos tubos pela diferença de pressão com o exterior da tubulação, resultando no descarte dessa água por questões de segurança e, conseqüentemente, desperdício; já as pressões internas elevadas podem causar rompimento de tubulações e danos nos dispositivos de controle de nível dos reservatórios domiciliares, principalmente nos horários noturnos em que a pressão é maior.

Outro fator de grande peso na avaliação do desempenho dos SAAs constitui-se no consumo de energia, visto que seu consumo está atrelado não somente a questões de concepção do sistema (tecnologia empregada e topografia da região), mas também à gestão, que pode promover ou não uso energético racional (SOBRINHO; BORJA, 2016). Tsutiya (2006) acredita que é possível reduzir boa parte desses gastos apenas com medidas administrativas, como: correção da classe de faturamento, regularização da demanda contratada, alteração da estrutura tarifária, desativação de instalações inoperantes e acordos para a redução de tarifas.

Ainda segundo os autores, dentre as medidas operacionais pode-se destacar o ajuste da fonte utilizada (correção do fator de potência, alteração da tensão de alimentação); diminuição da potência dos equipamentos (melhoria no rendimento do conjunto motor-bomba, redução das perdas de água, uso racional da água); controle operacional (alteração no sistema de bombeamento/reservação, utilização do inversor de frequência, alteração nos procedimentos operacionais da ETA); automação do sistema de abastecimento de água; alternativas para geração de energia elétrica (aproveitamento de potenciais energéticos, uso de geradores nos horários de ponta), entre outros.

b) Manutenção e qualidade do serviço

A manutenção e a qualidade do serviço dos sistemas de abastecimento de água relacionam as atividades envolvidas com o estado de conservação do sistema e a satisfação da população atendida, vindo à tona os aspectos ligados a suas condições de funcionamento e à ausência de falhas.

Tais atividades envolvem as ações preventivas e reativas tomadas para que situações adversas sejam evitadas e controladas, prolongando a vida útil do sistema e contribuindo para a preservação ambiental. Ademais, a manutenção e a qualidade do serviço garantem as mínimas condições para o estabelecimento de saúde e qualidade de vida da população atendida ao longo do tempo (OLIVEIRA, 2016).

Segundo Sobrinho e Borja (2016), são considerados aspectos como rotina de calibrações, frequência de inspeções e reparos nos equipamentos e instalações; ações e acompanhamentos voltados a redução do índice de perdas de água; ações de manobras hidráulicas para driblar racionamento/revezamento do fornecimento de água; número de reclamações dos consumidores seu percentual de atendimento; entre outros.

O controle do consumo e a determinação das perdas (Quadro 02) são a melhor forma de avaliar se as atividades de operação e manutenção dos sistemas de água estão bem conduzidas.

Quadro 02: Volume produzido ou disponibilizado

VOLUME PRODUZIDO OU DISPONIBILIZADO	CONSUMOS AUTORIZADOS	Consumos autorizados faturados	Consumos medidos faturados (incluindo água exportada)	ÁGUAS FATURADAS
			Consumos não medidos faturados (estimados)	
		Consumos autorizados não faturados	Consumos medidos não faturados (usos próprios, caminhões-pipa)	ÁGUAS NÃO FATURADAS
			Consumos não medidos não faturados (combate a incêndios, suprimento de água em áreas irregulares)	
	PERDAS	Perdas aparentes (comerciais)	Consumos não autorizados (fraudes)	
			Falhas do sistema comercial	
			Submedição dos hidrômetros	
		Perdas reais (físicas)	Vazamentos nas adutoras e redes de distribuição	
			Vazamentos nos ramais prediais	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios setoriais e aquedutos	

Fonte: Tardelli Filho, 2016

O autor ainda destaca que os desperdícios nos imóveis, após os hidrômetros, não constituem perdas no campo da definição aqui exposta, visto que os reservatórios domiciliares com válvula de boia potencializam a submedição dos hidrômetros, sendo considerado fator de aumento das perdas aparentes. Além de que as águas perdidas pelos vazamentos nas tubulações recarregam os lençóis freáticos nas áreas urbanizadas.

Amorim e Campos (2021) alertam sobre o desgaste que ocorre naturalmente nos hidrômetros com o passar do tempo, principalmente com relação à perda de sensibilidade

de leitura da vazão mínima que se desenvolve na rede, responsável por significativo aumento das perdas aparentes de água, o que ratifica a necessidade de sua substituição daqueles com mais de 10 anos e sugere o monitoramento dos com mais de 5 anos.

Ensslin *et al.* (2015) e Kusterko *et al.* (2018) ainda afirmam que as perdas aparentes são as de maior preocupação, uma vez que são as mais difíceis de controlar, pois estão relacionadas a medidas sociais e administrativas; já com relação às perdas reais, cuja causa principal é a qualidade a infraestrutura, cabe às empresas de saneamento investir em manutenção preventiva, controle de qualidade de obras e materiais, agilidade e priorização no conserto de vazamento, busca por vazamentos invisíveis, modernização de equipamentos, capacitação de equipes, entre outros.

Kusterko *et al.* (2018), complementa que investir no controle e na redução de perdas traz benefícios em diversos segmentos: econômico, com redução de custos operacionais e aumento no faturamento já em curto prazo; tecnológico, na modernização de equipamentos e capacitação técnica; energético; sociocultural, com ações e campanhas socioeducativas para a conscientização dos envolvidos na redução de fraudes; e ambiental, reduzindo os impactos da crise hídrica, aumentando a oferta de água e minimizando a exploração dos mananciais.

De acordo com SNIS (2020), o índice de perdas na rede de distribuição no Brasil foi de aproximadamente 40,1% (BRASIL, 2021) e, segundo Tardelli Filho (2016), as ações básicas para o combate às perdas são apresentadas no Quadro 03.

Quadro 03: Soluções para os problemas de perdas (continua)

Problema	Intervenção preventiva ou corretiva	Suporte
INFORMAÇÃO – DIAGNÓSTICO – GESTÃO		
Cadastro técnico e/ou comercial desatualizados	Atualização cadastral, definição de fluxos e responsabilidades	Plantas cadastrais, croquis, <i>as built</i> , GIS
Setorização inexistente ou precária	Compartimentação piezométrica ou operacional	Cadastro técnicos, GIS, modelagem
Falta de estanqueidade	Eliminação dos fluxos entre setores ou zonas piezométricas	Cadastro técnico, GIS, ensaios em campo
Macromedição inexistente ou deficiente	Instalação/substituição/adequação/calibração de macromedidores	Cadastro técnico, ensaios de pitometria
Hidrômetro inexistente o	Instalação de hidrômetro	Cadastro comercial
Supervisão inexistente	Monitoramento (nível, pressão, vazão) de pontos estratégicos e críticos da rede	Registradores, ensaios pitométricos, telemetria
Ausência/desorganização de informações	Sistema informatizado e atualizado	Monitoramento, indicadores, GIS

Quadro 03: Soluções para os problemas de perdas (continuação)

Problema	Intervenção preventiva ou corretiva	Suporte
INFORMAÇÃO – DIAGNÓSTICO – GESTÃO		
Ausência de diagnóstico	Elaboração de diagnóstico operacional e comercial	Ensaio em campo, balanço hídrico, indicadores,
Gestão operacional ou comercial inadequadas	Balancos hídricos, informatização, relatórios gerenciais, definição de metas	Indicadores, tendências, referenciais comparativos
QUALIFICAÇÃO – MATERIAIS E MÃO DE OBRA		
Materiais e ferramentas inadequados	Registro de falhas, melhoria das especificações, maior rigor nas inspeções	Especificações, normas
Despreparo da mão de obra	Treinamento, certificação profissional	Centros de treinamento, sistema de qualificação e certificação
Execução mal feita dos serviços	Fiscalização, controle tecnológico	Especificações, normas
Subcontratadas	Fiscalização, treinamento, certificação profissional	Contratos, especificações
Recebimento de obras e serviços	Fiscalização, ensaios hidrostáticos, análises de amostras	Contratos, especificações, normas
COMBATE ÀS PERDAS REAIS		
Pressão alta	Setorização, instalação VRPs	Monitoramento, cadastro técnico e modelagem
Pressão baixa nos pontos mais elevados	Instalação de <i>boosters</i>	Monitoramento, cadastro técnico e modelagem
Grande variação da pressão ao longo do dia	Substituição de redes, instalação de VRPs	Monitoramento, cadastro técnico e modelagem
Vazamentos visíveis nas redes	Reparo ágil, redução de pressão, substituição de tubulação	Mapeamento, indicadores, modelagem
Vazamentos visíveis nos ramais	Substituição ágil do ramal, redução de pressão	Mapeamento, indicadores, modelagem
Vazamentos não visíveis nas redes	Pesquisa de vazamentos, substituição do ramal, redução de pressão	Mapeamento, indicadores, modelagem
Vazamentos não visíveis nos ramais	Substituição de redes, redução de pressão	Ensaio de campo, modelagem
Vazamentos inerentes nos ramais	Substituição do ramal, diminuição de juntas, redução de pressão	Ensaio de campo
Extravasamento de reservatórios	Controle de nível d'água	Monitoramento, telemetria, telecomando
COMBATE ÀS PERDAS APARENTES		
Hidrômetro quebrado ou com problemas	Troca corretiva	Teleatendimento
Submedição elevada	Troca preventiva, instalação <i>upgrade</i> da tecnologia no hidrômetro	Aplicação das normas
Fraudes e ligações clandestinas	Inspeção e penalização	Canal de denúncia, gestão comercial e dos consumos
Falhas do sistema comercial	Auditorias, melhorias no sistema, modernização de processos	Gestão comercial
Gestão deficiente dos grandes clientes	Adequação de medidores, troca preventiva mais frequente	Telemetria, gestão comercial

Fonte: Tardelli Filho, 2016

Sendo assim, dada a urgência do momento atual de crise na oferta de água, investir em um Programa de Controle de Perdas com ferramentas gerenciais, tecnologia e, principalmente, mão de obra qualificada é essencial às companhias de saneamento, de forma a garantir a permanência dos resultados, eliminando assim retrabalhos e desperdício de recursos.

Também é recomendável que o projeto dos SAAs considere alternativas de funcionamento que permitam certa flexibilidade das estruturas, a fim de proporcionar a adoção de medidas diferenciadas frente a dificuldades, imprevistos ou emergências (OLIVEIRA, 2016). Sobrinho e Borja (2016) afirmam que nos casos de falhas no sistema, a flexibilidade estrutural permite menores transtornos aos consumidores, ao passo que a impossibilidade de alterações rápidas no sistema pode propagar os efeitos de falhas por longas extensões de rede, afetando um grande número de pessoas por longos períodos.

Contudo, é importante ressaltar que, apesar da possibilidade de realizar manobras hidráulicas no sistema para atendimento da população ser um ponto positivo, o seu emprego, muitas vezes, significa que o SAA está passando por dificuldades, seja por questões de problemas operacionais seja pela escassez de água para atender a população em sua totalidade (TSUTIYA, 2006; TARDELLI FILHO, 2016; OLIVEIRA, 2016; SOBRINHO; BORJA, 2016).

Oliveira (2016) destaca que outro modo de se averiguar a qualidade do serviço é o registro das reclamações endereçadas ao operador do sistema, contudo é importante salientar que seu uso isolado não se configura suficiente em virtude de tais reclamações poderem estar vinculadas também a questões ocorrem após o hidrômetro.

A autora ainda destaca como aspectos comumente correlacionados à manutenção e à qualidade do serviço dos SAAs a quantidade, duração, frequência e população atingida por interrupções, tempo de resposta a reclamações e solicitações, dias com restrições no uso da água, recuperação e substituição de válvulas e conjuntos moto-bombas entre outros.

1.2.1.3. Avaliação do desempenho dos SAAs quanto à gestão estratégica

Segundo Oliveira (2016), a gestão estratégica de um SAA objetiva manter a efetividade do sistema ao longo do tempo. Assim, ganham ênfase os aspectos ambientais, que se relacionam diretamente ao seu ciclo de vida, e os aspectos financeiros, que condicionam a capacidade de gestão do mesmo; sendo assim, dentre as avaliações de

desempenho, a que mais diretamente se relaciona à busca pela sustentabilidade ambiental, social e financeira.

Nesse contexto, ainda segundo o autor, cabe-se analisar o modo como o sistema utiliza de ferramentas para amenizar os efeitos dos impactos indesejados que não poderão facilmente ser eliminados ou evitados, como Programas de Mitigação de Impactos, que abrangem ações de limpeza da bacia contribuinte ao manancial, controle de erosão e movimentos de massas, prevenção e proteção contra assoreamento do reservatório, gestão de recursos hídricos, reflorestamento do cinturão de contorno do reservatório, reassentamento da população atingida pelo reservatório, educação ambiental, planos de emergência destinados à redução de riscos (enchentes e sismos).

Quanto aos aspectos financeiros as agências reguladoras devem, de acordo com Costa Junior (2013), equilibrar suas necessidades antagônicas de conferir sustentabilidade financeira e de manter o preço cobrado pelo serviço em patamares sociais aceitáveis, considerando, no cálculo das tarifas, a incorporação dos custos ambientais (como da criação de áreas de proteção ambiental, fiscalização), de escassez hídrica, custos por perdas de água— que ampliam os gastos com energia elétrica, produtos químicos, com equipes de reparo —, entre outros.

Em vista disso, a melhor forma de se avançar na melhoria operacional é trabalhar de forma gradual e parcimoniosa na aplicação dos recursos, calibrando os passos e avançando ao passo que as condições técnicas e econômico-financeiras assim o permitirem. A existência de um coeficiente relacionando o desempenho dos sistemas de abastecimento de água na equação de cobrança, além de facilitar a concretização desses objetivos técnicos do sistema e sustentáveis da política de saneamento, auxiliará no controle mais racional do desempenho dos SAAs.

1.2.2. A cobrança pelo uso da água nos Sistemas de Abastecimento de Água

Como já afirmado, a cobrança pelo uso da água tem entre os seus objetivos o incentivo ao uso racional desse recurso, contudo, contrapondo-se ao fundamento de uso prioritário ao abastecimento humano e dessedentação animal, o setor de saneamento, de interesse e relevância social, têm sido deixados de lado, a contraponto que usos com maior destaque econômico têm recebido visibilidade, como o setor industrial e agropecuário.

Segundo Carvalho (2019), como não existe uma definição rígida sobre o conceito de sustentabilidade, não existe, também, a definição de procedimentos claros de sua implementação, o que, muitas vezes, leva à tomada de decisões meramente políticas a

aspectos técnicos e ambientais. Para Sobrinho e Borja (2016) e Oliveira (2016), além da diminuição das perdas e desperdício de água e da proteção dos mananciais, a alteração desse paradigma perpassa por questões como a consideração dos impactos sobre os ambientes aquáticos, a exigência do reúso de água e o aproveitamento dos nutrientes encontrados nas águas servidas.

Dito isso, mais recentemente, em razão das elevadas perdas na distribuição, que caracterizam o sistema de abastecimento de água no Brasil, as revisões nas metodologias de cobrança têm também inserido o parâmetro “perdas”, sob a forma de um coeficiente multiplicador do preço, na parcela de captação. O sentido de tal inclusão pauta-se na necessidade de preservação do recurso, punindo o uso perdulário. Assim, nos planos das bacias hidrográficas do Paraíba do Sul, Paranaíba e São Francisco, em sua mais recente metodologia, em vigor desde janeiro de 2019, as formulações buscam o Índice de Perdas na Distribuição declarado pelas prestadoras para indicar o valor do coeficiente relacionado a eficiência técnica do usuário (TEIXEIRA *et al.*, 2019)

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, em sua mais recente revisão de mecanismos e valores (BRASIL, 2014b), incluiu o coeficiente de perdas variando entre 0,85 e 1,10, sendo usado como um termo adicional à parcela de cobrança pela captação, induzindo um acréscimo máximo de R\$ 1,10 na fatura total, não podendo tal valor ser considerado como relevante para a indução ao uso racional do recurso hídrico; a bacia do rio Paranaíba, que iniciou a cobrança no ano de 2017, já incluiu em seus mecanismos as informações sobre perdas na distribuição com um coeficiente multiplicador do preço variando entre 0,60 e 1,20, ou seja, um desconto de 40% e uma multa de 20%, além de propor um mecanismo de escalonamento a partir do quinto ano em vigor da cobrança, ampliando a penalidade aos usuários do setor de saneamento com perdas superiores a 35% (GOIÁS, 2016); e na bacia do rio São Francisco, a cobrança foi implementada em 2010 com uma formulação simples que apresentava apenas um coeficiente multiplicador relacionado à classe do corpo hídrico e, na revisão mais recente, inseriu-se também na parcela de captação um coeficiente multiplicador relacionado a perdas na distribuição ($K_{\text{eficiência}}$), variando entre 0,80 e 1,10, que resulta descontos de 20% à multa de 10% decorrente das perdas (ALAGOAS, 2016).

1.3. A agricultura irrigada no Brasil

Santos *et al.* (2019) define por agricultura irrigada a aplicação artificial de água, proveniente de reservatórios ou de poços, no solo, sob o controle direto do capital, tendo como propósito suprir, total ou complementarmente, a umidade de que carecem as plantas para o seu completo desenvolvimento.

Apesar de solucionar o problema do déficit hídrico na cultura e possibilitar a produção agrícola no período entressafra, o mau planejamento dos sistemas de irrigação aliados ao uso inadequado do solo e de agroquímicos e à devastação das matas ciliares, constantes nessa atividade econômica, são responsáveis por grandes impactos ambientais. Carneiro *et al.* (2015) e Gossenheimer (2018) endossam essas informações ao mencionar que a agricultura moderna transforma a natureza de recurso renovável a não renovável, ou seja, o panorama agrícola atual fortalece o cenário de degradação ambiental existente.

O Brasil está entre os quatro países com maior área irrigável do mundo e, isso se deve, em grande parte aos incentivos governamentais através de programas de financiamento e investimentos em infraestruturas de grande impacto regional, como obras de transposição e reservatórios.

Dentre os grandes desafios da agricultura no novo milênio está o de aumentar a produção de alimentos sem promover a exaustão dos recursos hídricos. Faganello (2007), Araújo e Coutinho (2016), Mattiuzi *et al.* (2017), entre outros, afirmam que o manejo adequado da irrigação, a implementação da cobrança por uso da água e a difusão da consciência conservacionista, são ferramentas para se atingir a sustentabilidade no uso dos recursos ambientais.

Para tal fim, no Brasil, está em tramitação, desde 2013, a Nova Política Nacional de Irrigação, a qual propõe novos instrumentos de gestão, dentre os quais o Plano Diretor Nacional de Irrigação, que visa orientar o planejamento, zonar áreas para agricultura irrigada e apontar soluções à problemática anteriormente apresentada, além de estar integrada com as políticas setoriais de recursos hídricos, de meio ambiente, de energia, de saneamento ambiental, e de crédito e seguro rural (BRASIL, 2013).

1.3.1. Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação

O bem-estar humano, a sustentabilidade dos ecossistemas e a economia dependem diretamente da disponibilidade quali quantitativa da água. Dentre as atividades humanas, a produção agrícola destaca-se por depender desse recurso em volumes superiores à maioria das outras atividades, além de ser essencial à balança comercial do país, e ao se

considerar o cenário atual de escassez hídrica, demandas crescentes e crise econômica, exige-se dessa atividade o uso cada vez mais criterioso e eficiente da água.

Silva et al. (2020) afirmam que o Brasil possui baixa eficiência na irrigação, aproximadamente 59 %, e um dos motivos que mais contribui para tal é que grande parte das áreas irrigadas compreendem projetos públicos ou público-privados, que emprega mão de obra pouco qualificada, dificultando o próprio entendimento de técnicas e eficiência de irrigação. Somado a isso ainda se tem a não tributação da água usada pelo irrigante ou taxa a valores irrisórios, o que agrava ainda mais a situação de irracionalidade em seu uso.

O aumento da eficiência nesse sistema só ocorrerá à medida que o irrigante tomar consciência da necessidade de usar racionalmente a água, o que não ocorrerá por si só. A outorga de água condicionada ao uso de sistemas de irrigação mais eficientes e a cobrança do insumo água, bem como a orientação e capacitação dos irrigantes, podem contribuir muito para o desenvolvimento dessa percepção por parte do usuário.

Os vários métodos de irrigação existentes possuem eficiências que variam principalmente de acordo com sua tecnologia e manejo. Entretanto, isso não significa que um método seja melhor que outro pelo fato de ser mais eficiente em termos de aplicação de água, tendo cada método suas vantagens e desvantagens, o que os torna ideais a situações diferentes. A Tabela 01 mostra que a eficiência de irrigação pode variar de 60 a 95%, dependendo do método.

Tabela 01: Indicadores de eficiência de uso da água para sistemas de irrigação

Método	Sistema de irrigação	Eficiência de Referência (%)	Perdas (%)
Superfície	Sulcos abertos	65	35
	Sulcos fechados ou interligados em bacias	75	25
	Inundação	60	40
Subterrâneo	Gotejamento subterrâneo ou enterrado	95	5
	Subirrigação ou elevação do lençol freático	60	40
Aspersão	Convencional com linhas laterais ou malha	80	20
	Mangueiras perfuradas	85	15
	Canhão autopropelido/Carretel enrolador	80	20
	Pivô central (fixo ou rebocável)	85	15
	Linear	90	10
Localizado	Gotejamento	95	5
	Microaspersão	90	10

Fonte: ANA, 2017.

Apesar de se conhecer o potencial de eficiência que cada sistema de irrigação pode alcançar, na prática são constatados valores abaixo desse potencial em virtude de seu uso

inadequado, instalação e configuração incorreta do sistema e manejo equivocado (FARACO *et al.*, 2016).

É importante salientar que o consumo de água diário das culturas varia conforme o estágio de desenvolvimento e com as condições meteorológicas locais. Assim, o manejo da irrigação não pode ser de natureza fixa, conforme preconizado em projeto, mas deve ser de natureza flexível.

Conforme Bongiovani (2020), dentre os métodos utilizados para o controle do manejo da irrigação, destaca-se o uso de sensores no solo que pode servir tanto para definição do momento da irrigação como da quantidade de água a ser aplicada.

Dessa forma, todos os métodos de manejo da irrigação requerem cálculos matemáticos, que exigem um mínimo de informação por parte do irrigante, que normalmente dá preferência ao uso do método empírico, com base em experiência prática. Portanto, transferir tecnologia de manejo de irrigação é uma tarefa difícil, pois devem ser moldadas da forma mais simples possível para serem adotadas pelos irrigantes (FARACO *et al.*, 2016; BONGIOVANI, 2020).

1.3.2. A cobrança pelo uso da água na agricultura irrigada

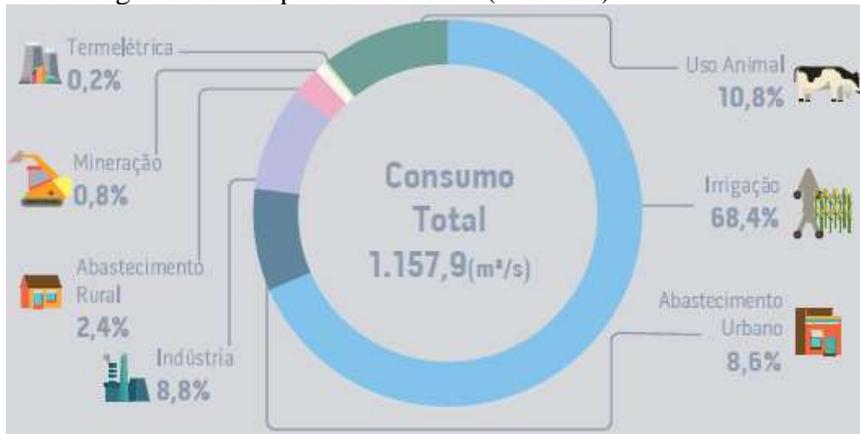
A utilização da água na agricultura tem pouco destaque em comparação com o manejo das águas urbanas, visto à pressão exercida pelo despejo dos efluentes nos corpos hídricos sem o devido tratamento e pelo peso relativo à escassez hídrica dado a essas áreas. Contudo, de acordo com os resultados Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019), é uma atividade que corresponde a 52% da retirada (Figura 03) e 68,4% da vazão de consumo (Figura 04) dentre as atividades de uso consuntivo e com tendência a elevado crescimento, como apresentado na Figura 05 (ANA, 2017).

Figura 03 – Uso da água no Brasil por setor usuário (retirada)



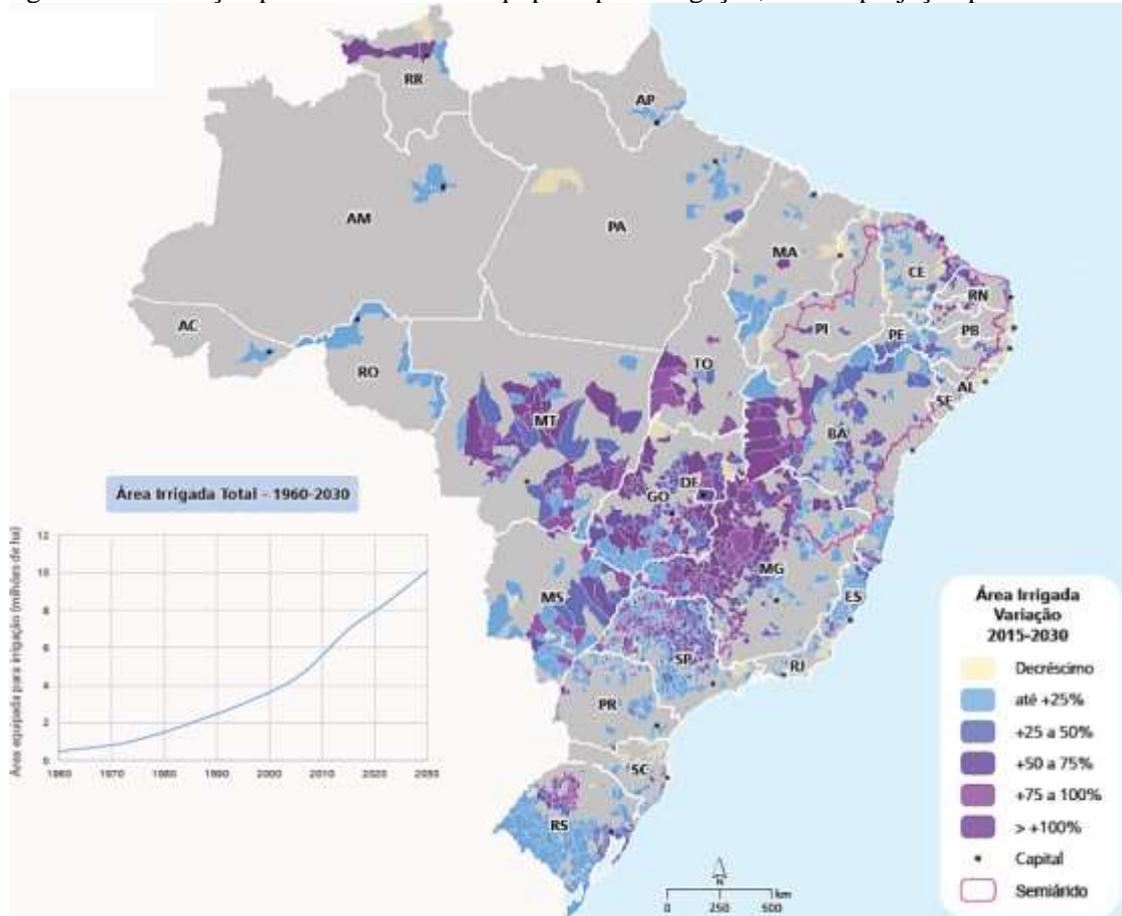
Fonte: ANA, 2019

Figura 04 – Uso da água no Brasil por setor usuário (consumo)



Fonte: ANA, 2019

Figura 05 – Variação percentual da área equipada para irrigação, 2015 e projeção para 2030



Fonte: ANA, 2017.

Como já apresentado, a cobrança pelo uso da água ratifica a racionalização de seu uso pois estimula o consumidor ir em busca da eficiência de tecnologias e métodos, ainda que isso exija investimentos elevados. A deflagrada crise na oferta hídrica e a demanda

crecente por alimentos torna o instrumento inevitável à agricultura irrigada, cuja busca por máxima eficiência se torna uma obrigação.

A cobrança irá ajudar a sensibilizar os produtores irrigantes, mas deve haver um valor diferenciado para o usuário que utiliza de forma eficiente e racional a água. Por outro lado, deve haver orientação técnica qualificada e políticas públicas que promovam incentivos para a implementação de equipamentos de alta eficiência. Essa estratégia de manutenção do homem no campo evitará o êxodo rural e o conseqüente agravamento dos problemas de exclusão social já vividos nas cidades. O desperdício e a poluição caminham junto com a desinformação, por isso um programa de extensão rural que leve a educação ambiental despertando a consciência ecológica do homem do campo é uma estratégia primordial para a conservação dos recursos hídricos (FAGANELLO, 2007).

No Quadro 04 são apresentadas as metodologias de cobrança para agricultura irrigada e para o setor agropecuário nas bacias hidrográficas do rio Paraíba do Sul, bacia PCJ, do rio Doce e bacia do rio São Francisco, todas com águas de domínio da União e onde o instrumento já está mais enraizado, com suas respectivas variáveis definidas no Quadro 05.

Quadro 04: Metodologias de cobrança para captação e consumo no setor agropecuário e irrigação

Bacia Hidrográfica	Irrigação ($V_{\text{cons irrigação}}$)	Agropecuário (V_{agropec})
Rio Paraíba do Sul	$Q_{\text{cap}} \times PU_{\text{cons}} \times K_{\text{irrigação}}$	$(V_{\text{cap}} + V_{\text{cons}}) \times K_{\text{agropec}}$
Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ)	$Q_{\text{cap}} \times K_{\text{sist. irrigação}} \times PUB_{\text{cons}}$	$(V_{\text{cap}} + V_{\text{cons}}) \times K_{\text{agropec}}$
Rio Doce	Não estabelece	Não estabelece
Rio São Francisco	$(Q_{\text{cap}} \times K_{\text{sist irrigação}}) \times PUB_{\text{cons}} \times K_{\text{cons}}$	Não estabelece

Fonte: Finkler, 2015.

Quadro 05: Variáveis empregadas nas metodologias de cobrança pelo uso da água no setor agropecuário e irrigação

Variável	Definição
Q_{cap}	Volume anual de água captada
V_{cap}	Valor da água captada
V_{cons}	Valor da água utilizada
$K_{\text{irrigação}}$	Coefficiente que visa quantificar a água consumida na irrigação
K_{agropec}	Coefficiente que considera as boas práticas de uso
$K_{\text{sist irrigação}}$	Coefficiente que visa quantificar a água consumida na irrigação
K_{cons}	Coefficiente que leva em conta a parte da água utilizada
PU_{cons}	Preço unitário para o uso agropecuário
PUB_{cons}	Preço unitário básico para o uso agropecuário

Fonte: Finkler, 2015.

Dessa forma, a equação básica da cobrança na irrigação e no setor agropecuário ocorre como apresentado na Equação (2), para o rio Paraíba do Sul, na Equação (3), bacia PCJ, e Equação (4), para o Rio São Francisco, onde $K_{gestão}$ é um coeficiente que considera o efetivo retorno à bacia dos recursos arrecadados

$$V_{agropec} = (V_{cons\ irrigação} + V_{agropec}) \times K_{gestão} \quad (2)$$

$$V_{agropec} = (V_{cons\ irrigação} + V_{agropec}) \times K_{gestão} \quad (3)$$

$$V = V_{cons\ irrigação} \times K_{gestão} \quad (4)$$

Observa-se que nos componentes referentes à irrigação ($V_{cons\ irrigação}$) e ao setor agropecuário ($V_{agropec}$) faz-se presente nas equações das principais bacias hidrográficas Federais brasileiras, seja por meio de um coeficiente de consumo ou fator específico. Além disso, já é possível notar a presença de coeficientes de boas práticas nesses usos, que possibilitam ao usuário um abatimento em sua taxa pelo uso da água.

Com relação a determinação do PU, sua dificuldade é ainda maior nesse setor produtivo, visto que poderia resultar na queda da diversidade produtiva, visto que pode induzir ao predomínio de culturas que consomem menos água, além de ter potencial a alterar sensivelmente o custo de seus insumos no mercado, já que o custo acrescido com a cobrança seria repassado ao produto final.

1.3.3. A agricultura no Estado de Sergipe

O Plano Plurianual de Sergipe (2020 a 2023) produzido pela Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca (SEAGRI) afirma que, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em seu último Censo Agropecuário de 2017, o Estado contava com 93.333 estabelecimentos agropecuários, totalizando área de 1.456.813,20 ha, com 77.984 estabelecimentos caracterizados como de produtor individual, cujas áreas somam 1.202.058,79 ha (SERGIPE, 2019).

Ainda segundo o trabalho, verificou-se que, do total de estabelecimentos, 97,34% detêm apenas 51% da área total do estado, e estão situados em áreas inferiores ou até os 100 hectares, sendo considerados, portanto, da categoria de agricultores familiares.

Dentre as culturas predominantes no estado, destacam-se arroz, com 78%; feijão, com 95%; mandioca, 96%; milho em grão, 79%; e ainda na exploração de 48% do efetivo bovino; na produção de 67% do leite de vaca; e na exploração de 78% do efetivo suíno do Estado (SERGIPE, 2018b).

Em Sergipe, apesar dos malefícios da prática serem conhecidos, é notório o uso de agrotóxicos em grandes extensões e em diversas explorações, com maior destaque nas culturas de cana de açúcar e milho por ocuparem extensas áreas de cultivos, e consequentemente associadas a potenciais fontes de contaminação. Dados do IBGE 2017 apontam que do universo dos estabelecimentos, 31% declararam ter aplicado agrotóxicos e 51% fazem uso de adubação química em suas explorações.

Uma das principais características da agropecuária estadual é a diversidade de atividades produtivas e sua influência na balança comercial, como apresentado no Quadro 06. No segmento das lavouras, algumas são constituintes de cadeias produtivas mais estruturadas, a exemplo da cana de açúcar e citricultura. Outra que tem se destacado no cenário agrícola, é a cultura do milho, apesar das oscilações de área colhida e produção nos últimos anos, motivadas principalmente, por variações climáticas.

Quadro 06 – Produção e valor da produção em Sergipe das principais culturas 2016 a 2019

Cultura	2016		2017		2018		2019	
	Produção (t)	R\$ mil						
Milho	104.962	103.918,00	843.762	450.668,00	106.814	72.814,00	687.221	568.055,00
Laranja	489.156	210.567,00	421.353	169.905,00	354.96	228.104,00	364.766	190.062,00
Cana de açúcar	2.393.110	152.983,00	2.205.631	137.494,00	2.120.194	167.815,00	1.869.853	151.328,00
Coco seco	161.452	150.862,00	164.032	146.210,00	174.364	116.780,00	152.820	106.354,00
Batata-doce	35.086	36.142,00	40.865	44.246,00	29.556	26.665,00	51.551	59.493,00
Mandioca	295.515	183.545,00	248.798	137.617,00	153.334	65.034,00	147.465	56.632,00
Abacaxi	24.288	24.851,00	39.761	29.636,00	27.774	30.672,00	31.574	39.571,00
Arroz	33.058	26.299,00	37.19	30.470,00	31.737	24.065,00	28.159	22.497,00
Maracujá	7.455	9.183,00	5.571	5.438,00	8.606	8.004,00	9.593	14.392,00
Feijão	2.643	9.066,00	13.691	21.691,00	1.927	4.120,00	3.836	7.654,00

Fonte: EMDAGRO, 2021.

Em Sergipe existem sete perímetros públicos de irrigação, Califórnia, Jacarecica I, Jacarecica II, Jabiberi, Piauí, Poção da Ribeira e Platô de Neópolis, sendo que neste último a exploração e gestão é gerida por um grupo empresarial de produtores, sob contrato firmado com o estado (SERGIPE, 2019).

Com base nas referências de Resende et al. (2015), Silva (2016) e Sergipe (2019), são apresentadas características pertinentes dos perímetros irrigado.

O perímetro Califórnia localiza-se no município de Canindé de São Francisco, no extremo noroeste de Sergipe, região conhecida como Alto Sertão Sergipano. Tem área total de 3.980 ha, dos quais 1.360 ha de áreas irrigadas com diferentes frutíferas e 1.830 ha de áreas com agricultura de sequeiro e está dividido em 333 lotes, dos quais 253 são

destinados a agricultura familiares, 19 lotes empresariais e 61 lotes de sequeiro. A estação chuvosa é centrada nos meses de abril, maio e junho, com temperaturas mínimas mensais entre 18 e 22 °C e as máximas mensais compreendidas entre 28 e 34 °C.

Os perímetros irrigados Jacarecica I e II estão inseridos na sub-bacia do rio Jacarecica, o primeiro dividido em 126 lotes, em área total irrigada de 252 ha, e o segundo formado por 93 lotes (76 para pequenos produtores e 17 destinados a empresários agrícolas). As temperaturas médias mensais na região estão compreendidas entre 27 e 32 °C e seu ano hidrológico é dividido em dois períodos distintos, com concentração de chuvas de abril a agosto (outono e inverno) e deficiência hídrica de setembro a março (primavera e verão).

O perímetro irrigado Jabiberi localiza-se na região Sul do estado, na microrregião homogênea Sertão do Rio Real, no município de Tobias Barreto, com área total de 362 ha, sendo 220 ha de áreas irrigadas. A precipitação média anual é de 756,9 mm, sendo o mês de julho o mais frio do ano, com 22,1 °C, e janeiro o mais quente.

O perímetro irrigado Piauí está localizado no município de Lagarto, na região Centro-Sul do estado de Sergipe e tem sua área totalmente inserida na bacia do rio Piauí, abrangendo uma superfície de 1.450 ha, sendo 703 ha de área irrigável. Suas temperaturas médias nos meses mais frios ocorrem em julho e agosto, com valores em torno de 22,5 °C, e o mês mais quente é janeiro, com média de 26,2 °C.

O perímetro irrigado Poção da Ribeira localiza-se no município de Itabaiana, no Território Agreste Central. O perímetro é constituído por 466 lotes, em uma área total irrigada de 1100 ha e demanda 77% do consumo total de água do reservatório de mesmo nome, que possui uma área inundada de 211 ha. O clima da região possui outono e inverno chuvoso e primavera e verão mais secos, com máximas precipitações médias mensais ocorrendo de abril a junho e as mínimas entre outubro e dezembro.

Por último, o perímetro irrigado do Platô de Neópolis, também conhecido por distrito de irrigação, ocupa uma área total de 10.432 ha, sendo 7.230 ha irrigáveis, atualmente divididos em 37 módulos empresariais, cujas áreas cultivadas variam de 3 a 540 ha. Ele está localizado no nordeste do estado de Sergipe, à margem direita do Baixo Vale do Rio São Francisco. Seu clima caracteriza-se por um verão seco, sendo o início da estação chuvosa adiantada para o outono e a precipitação média anual varia entre 900 e 1.100 mm, com período chuvoso concentrado entre os meses de abril a julho.

Os seis perímetros públicos citados são de responsabilidade da COHIDRO e contam com área total de 10.158 ha, sendo 3.906 ha de área irrigável. A exploração de

hortifrutigranjeiros é predominante nesses perímetros, excetuando apenas o perímetro Jabiberi, onde se produz a bovinocultura leiteira semi-intensiva.

No tocante a cultura produzida nos perímetros, via de regra os sistemas produtivos são guiados exclusivamente por decisão tomada pelo produtor irrigante, salvo iniciativas pontuais que seguiram a lógica do mercado e respaldada em orientações técnicas do Estado. Com relação ao modelo de gestão, repete-se em Sergipe, a prática do Estado mantenedor, aqui representado pela COHIDRO, que além das tarefas que lhe são próprias, a exemplo de operação e manutenção dos perímetros, exerce também a gestão administrativa e financeira, dos perímetros, atividade esta, que deveria ser de responsabilidade dos próprios irrigantes.

Segundo o Plano Plurianual (SERGIPE, 2019) os grandes desafios à agricultura irrigada no estado dizem respeito à política de Regularização Fundiária de âmbito Federal e Estadual, que visa à legalização jurídica das terras, especificamente, propriedades destinadas à produção agropecuária; ações para captação, gestão e segurança dos recursos hídricos e para convivência com a seca.

1.4. Os Serviços Ecológicos e Ambientais

A Lei 6.938/1981 define como recursos ambientais, a camada de gases da atmosfera, os recursos hídricos, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, toda forma de vida (fauna e flora), entre outros (BRASIL, 1981). Venturi (2014) complementa ao considerar como recursos naturais tudo que se encontra na natureza e que é necessário e extraído pelo homem, como o solo, a água, o oxigênio, energia solar, florestas, animais, entre outros.

O termo Serviço Ambiental (SA) surge com a necessidade de demonstrar que as áreas naturais são responsáveis por cumprir funções ambientais e fornecer bens essenciais gratuitamente aos processos de manutenção da vida. Isso trouxe uma quebra de paradigma sobre a falsa ideia de que ecossistemas preservados ou intactos, eram improdutivos ou obstáculos ao desenvolvimento econômico, visto que todo ecossistema é um sistema natural que produz uma série de benefícios dos quais o homem se apropria (como paisagem, regulação climática e purificação do ar) ou consome (como a água, madeira e alimentos) (CAETANO; MELO; BRAGA, 2016; SOUZA, 2018).

Slva *et al.* (2018) e Coelho *et al.* (2021) definem como serviços ambientais os benefícios ambientais resultantes de intervenções conservacionistas da sociedade na

dinâmica dos ecossistemas dado seu interesse, visto que são essenciais à manutenção da vida humana, além do desenvolvimento econômico.

Uma discussão constante é a relação entre serviços ambientais e ecossistêmicos. Apesar de muitas vezes serem empregados como sinônimos na discussão a respeito do reconhecimento da contribuição ambiental à sociedade, o Projeto de Lei sobre a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA, PL 792/2007) traz a seguinte diferenciação entre eles: serviços ecossistêmicos são definidos como benefícios relevantes à sociedade gerados pelos ecossistemas e serviços ambientais são aqueles que podem favorecer a manutenção, a recuperação ou o melhoramento desses benefícios (MUNK, 2015; AZEVEDO, 2017). A título de exemplo, pode-se citar a manutenção e recuperação de matas ciliares (serviço ambiental); conseqüentemente, com a manutenção das matas, pode-se ter uma redução de processos erosivos, além de uma maior provisão de água, os quais beneficiam a sociedade por tornar tais recursos produtivos mais e melhor disponíveis (serviço ecossistêmico).

Dessa forma, segundo Gossenheimer (2018), a *Millennium Ecosystem Assessment* da Organização das Nações Unidas (ONU), publicou no ano de 2005, a seguinte classificação dos serviços ecossistêmicos: serviços de suporte são aqueles que contribuem para a produção de outros serviços ecossistêmicos, como a ciclagem de nutrientes, a formação do solo e a dispersão de sementes; os serviços de provisão são os produtos obtidos dos ecossistemas, como alimentos, água, fibras, recursos genéticos, informação e energia; os serviços de regulação são os benefícios obtidos pela regulação de processos ecossistêmicos, como a regulação do clima, a regulação hídrica e o controle de doenças; e os serviços culturais são amenidades e questões culturais e religiosas

1.4.1. A bacia hidrográfica e o serviço de provisão hidrológica

A água é classificada como um serviço ecossistêmico de provisão, visto que inclui produtos obtidos dos ecossistemas. Como tal, sua sustentabilidade não deve ser medida apenas em termos de fluxos, isto é, quantidade; mas sim em qualidade e estado do estoque do capital natural (GOSSENHEIMER, 2018).

Desde meados do século XX, a água já é considerada como recurso escasso, de caráter limitado, e assim deve-se observar os limites de sua demanda pela capacidade de suporte do ambiente natural, de maneira que as intervenções antrópicas não comprometam irreversivelmente a integridade e o funcionamento apropriado dos processos naturais que dele necessitam.

O ciclo hidrológico – caracterizado como um fenômeno natural de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, dirigido pelo Sol, pela gravidade e pela rotação terrestre – é o principal responsável pela renovação natural da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea.

A bacia hidrográfica, dentro da análise do escopo do ciclo hidrológico na superfície terrestre, apresenta-se como elemento fundamental. Ela é definida como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água, ou seja, trata-se de uma delimitação no espaço geográfico pelo divisor de água. Segundo a ANA (2016), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que converge os escoamentos para um único ponto de saída denominado exutório. Assim, a precipitação que cai sobre a bacia hidrográfica atinge inicialmente a rede de drenagem ou infiltra-se no solo, até que atinja sua saturação, gerando, assim, o escoamento superficial, que transportam a água até o seu exutório ou seção de saída.

A infiltração, processo de passagem da água de superfície para o interior do solo por gravidade, é essencial à recarga do lençol freático e à manutenção dos corpos d'água superficiais em épocas de baixa precipitação. Além disso, os afloramentos destes, em superfície, resultam as nascentes, originando assim os cursos d'água. As maiores taxas de recarga ocorrem nas regiões planas e bem arborizadas (NOGUEIRA, 2017). Seraphin e Bezerra (2019) afirmam que os fatores que influenciam o armazenamento da água subterrânea são: a declividade, o tipo de solo e o uso da terra; por conseguinte, atuam no abastecimento do lençol freático para que possibilite a existência de rios e córregos perenes durante a estiagem.

Mesmo com a reconhecida importância ecológica, econômica e social, em virtude da falta de planejamento, do uso e ocupação do solo urbano e rural e desmatamento de nascentes, observa-se, comumente, uma série de problemas relacionados ao ciclo hidrológico que, direta ou indiretamente, causam problemas ao gerenciamento de bacias hidrográficas e interferem na disponibilidade e na qualidade da água.

Obviamente existem os *trade-offs* acerca do uso desse recurso, mas conforme previsões do relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), a provisão de água apresenta alto risco de diminuição em mais da metade do percentual atual até o ano de 2100, com pouquíssimas possibilidades de ações mitigadoras. Essa diminuição é motivada, principalmente, pelas alterações nas condições climáticas relacionadas aos longos períodos de estiagem e ao desperdício da água (VITÓRIA, 2019).

1.4.2. A bacia hidrográfica e o serviço de suporte do solo

O solo é considerado como um serviço ecossistêmico de suporte, visto que é essencial à produção de outros serviços ecossistêmicos, além de ser responsável por diversos processos ambientais, como a reserva de água para abastecimento freático, ciclagem e armazenamento de nutrientes necessários às plantas, dentre outros.

Contudo, graças aos processos erosivos potencializados por ações antrópicas esse material vem sendo degradado, levando à perda de nutrientes e da biodiversidade. Dentre as principais causas de erosão artificial, destacam-se o desmatamento de margens de rios, queimadas e ao uso inadequado de maquinários e implementos agrícolas e a falta de utilização de práticas conservacionistas na agricultura.

O aumento progressivo das erosões pode causar impactos negativos na qualidade de água, impactos nas atividades humanas e na geração de energia elétrica e aumento da escassez hídrica em períodos de estiagem de uma região por conta do assoreamento dos corpos hídricos e do aumento da concentração de nutrientes ou elementos tóxicos nas águas (vindos por meio dos sedimentos transportados ou mesmo diluídos na água de escoamento).

1.4.3. O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)

No Brasil, desde meados da década de 1970, análises sobre serviços ambientais e sua valoração já eram feitas por economistas, que traziam a ideia de que os recursos naturais poderiam ser classificados como escassos e infinitos. Porém, foi a partir da década de 1990 que o assunto começou a tomar destaque na esfera nacional e, interesses econômicos e ambientais, que até em então eram vistos como antagônicos, começaram a se relacionar como uma forma de resguardar o segundo através do primeiro (BECK, 2014; GOSENHEIMER, 2018).

Dessa forma, as políticas de PSA são um excelente mecanismo de estímulo à conservação e à manutenção da provisão de recursos naturais, que trabalha com instrumentos baseados no mercado para financiamento da conservação e que considera os princípios do usuário-pagador e protetor-recebedor, previstos na legislação, pelos quais aqueles que se beneficiam dos serviços ambientais devem pagar por eles, e aqueles que contribuem para a geração desses serviços devem ser compensados por proporcioná-los (PAGIOLA; PLATAIS, 2007; ENGEL *et al.*, 2008; WIENKE, 2016; ANA, 2018).

De acordo com princípio protetor-recebedor, o agente público ou privado que protege um bem natural em benefício da comunidade, devido a práticas que conservam a

natureza, deve receber benefícios como incentivo pelo serviço de proteção ambiental prestado, como compensação financeira, favorecimento na obtenção de crédito, garantia de acesso a mercados e programas especiais, a isenção de taxas e impostos, a disponibilização de tecnologia e capacitação; entre outros (FAGANELLO, 2007).

Caetano, Melo e Braga (2016) ainda afirmam que os mecanismos de PSA inserem-se em uma situação de condicionalidade entre possíveis compradores e provedores, sendo os primeiros a população, setores usuários de recursos naturais, que de algum modo prejudicam a manutenção destes recursos; e os segundos os proprietários rurais que, de forma geral, destinam parte ou a totalidade de suas propriedades à manutenção e/ou proteção do meio ambiente.

Assim, conforme Irigaray (2010), os PSA se configuram como alternativas para correção de falhas de mercado (externalidades) provenientes de uma não valoração dos recursos ambientais e que afetam a sociedade como um todo, mesmo que não diretamente. Uma externalidade pode ser positiva, quando há benefício gerado pela atividade produtiva à terceiros, ou negativa, quando a atividade econômica gera um custo à sociedade, onde a mesma deveria ser internalizada como forma de atenuar o custo social causado.

Caetano, Melo e Braga (2016) definem externalidades como custos ou benefícios que se transferem de uma unidade do sistema econômico para outra, ou para a comunidade como um todo, fora do mercado, referindo-se a um custo ou benefício não internalizado por quem o gerou e incidindo de forma indireta em terceiros.

Nessa perspectiva a economia ecológica sugere a incorporação das externalidades negativas geradas pelas atividades humanas e dos serviços ambientais prestados pela sociedade nos cálculos de correção das falhas de mercado, privilegiando e fortalecendo métodos de produção sustentáveis em detrimento aos convencionais.

Existem dois tipos básicos de programas de PSA (DELEVATI *et al.*, 2018; MATAVELI *et al.*, 2018): os que os prestadores de serviço são pagos pelos usuários, preferidos na maioria das situações visto seu potencial de serem mais eficientes, uma vez que os usuários dos serviços não concedem apenas financiamento, mas também informações sobre quais serviços são mais valiosos; e programas em que os prestadores são pagos por um terceiro, geralmente pelo governo, os quais normalmente cobrem áreas muito maiores, mas são menos propensos a serem eficientes.

Nos últimos anos, observa-se um número crescente de esquemas de PSA no Brasil, onde uma variedade de mecanismos inovadores para promover a conservação tem sido desenvolvida e aplicada. Esforços iniciais concentraram-se em leis que exigem a

conservação de áreas ambientalmente sensíveis, tais como áreas ciliares; e esforços para estabelecer áreas protegidas em âmbito federal, estadual e municipal.

Contudo, apenas atribuir valor aos recursos naturais não assegura, por si só, que eles serão preservados, apesar de servir forte como incentivo para que, dentro do mercado onde se impera a exploração, ganhe-se adeptos. Dito isso, para aperfeiçoar a relação economia/meio ambiente, políticas ambientais foram criadas em âmbito mundial para determinar metas e instrumentos que propõem a redução dos impactos causados pela ação do homem no ambiente, como é o caso, por exemplo, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis propostos para 2030 pela ONU em 2013.

Assim, quatro grandes grupos de serviços ambientais abrangem a maior parte dos PSA: mercado de carbono, proteção da biodiversidade, proteção de bacias hidrográficas e proteção à beleza cênica. O Quadro 07 apresenta como é feita a comercialização dos SAs, associando os benefícios gerados pelos três primeiros serviços acima e quais dos seus elementos os pagamentos estão diretamente relacionados.

Quadro 07: Formas de comercialização de serviços ambientais

	SEQUESTRO OU ARMAZENAMENTO DE CARBONO	PROTEÇÃO DA BIODIVERSIDADE	PROTEÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS
Serviços Ambientais	Absorção e armazenamento de carbono na vegetação e em solos	Proteção dos ecossistemas, manutenção de opções de uso futuro, manutenção da polinização, valores de existência	Redução da sedimentação e erosão em áreas à jusante, melhora na qualidade da água, redução de enchentes, aumento de fluxos em épocas secas, manutenção de habitat aquático, controle de contaminação de solos
Paga-se por	Tonelada de carbono sequestrados através de Reduções Certificadas de Emissões (ERU), créditos de Offsets de carbono, servidões de conservação	Áreas protegidas, direitos de bioprospecção, produtos amigos da biodiversidade, créditos de biodiversidade, concessões de conservação, aquisição de terras, servidões de conservação	Reflorestamento em matas ciliares, manejo de bacias hidrográficas, áreas protegidas, qualidade da água, direitos pela água, aquisição de terras, créditos de salinidade, servidões de conservação

Fonte: IBAMA, 2011

Geralmente, os programas que são financiados por usuários envolvem serviços de água, em que os usuários são facilmente identificados e recebem benefícios bem definidos (BERNARDES; SOUZA JÚNIOR, 2010). Há, hoje, vários programas de PSA que envolvem pagamentos diretos por vários tipos de usuários de água em uma variedade de escalas geográficas.

Com relação ao financiamento dos modelos de PSA, Eloy, Coudel e Toni (2013) citam que há quatro tipos de PSA sendo praticados no Brasil: (i) o de restrição de uso, onde o pagamento se propõe a recompensar o agricultor por ter abdicado de usar uma área coberta por mata nativa; (ii) o de restauração, onde visa colaborar com a restauração de áreas já degradadas; (iii) o de valorização de práticas tradicionais, que tem por objetivo contribuir com práticas tradicionais de gestão do meio-ambiente das populações locais; e (iv) o de transição, que almeja estimular as práticas agrícolas sustentáveis e a diversificação produtiva.

Não existe um modelo ideal de financiamento de PSA, contudo entende-se que o modelo misto deve ser incentivado, visto que traria resultados satisfatórios no sentido de que, assim como a iniciativa pública incentivaria a prática de atividades sustentáveis, a iniciativa privada internalizaria suas externalidades formando um fundo de pagamento do PSA híbrido (GOSSENHEIMER, 2018).

Para garantir a manutenção e recuperação da produtividade dos serviços e recursos ambientais são necessários procedimentos e práticas conservacionistas que garantam a recomposição de suas condições físicas, químicas e biológicas. Santana e Nunes (2021), Souza (2021), Silva *et al.* (2019) e Penna *et al.* (2020) listam e dividem essas práticas conservacionistas em mecânicas, edáficas e vegetativas e as recomendam a fim de reduzir as perdas de solo, água e nutrientes.

a) Práticas mecânicas

As práticas mecânicas de controle de erosão são projetadas e construídas para conter a água da enxurrada, propiciando sua infiltração ou escoamento seguros. Elas devem proteger o terreno quando ocorrem chuvas muito intensas, canalizando a água de forma segura. Destacam-se dentre as práticas mecânicas mais utilizadas:

- Terraceamento: é a construção de estruturas físicas no sentido transversal ao declive do terreno visando o controle do escoamento superficial das águas de chuva. A construção dessas estruturas está diretamente relacionada ao tipo de solo, à declividade do terreno e a intensidade e duração das chuvas;
- Bacia de infiltração (barraginha): são pequenos barramentos da água de chuva à frente de cada enxurrada perceptível nas pastagens, lavouras e beiras de estradas. O sistema se aplica bem na recuperação de solos degradados (compactados, erodidos), visto que a água da chuva captada infiltra no solo proporcionando carregamento e elevação do lençol freático e umedecendo as baixadas;

- Barragem subterrânea: é uma tecnologia de captação e armazenamento da água de chuva para produção de alimentos com função de reter a água da chuva que escoar em cima e dentro do solo, por meio de uma parede construída dentro da terra no sentido contrário à descida das águas. A barragem subterrânea permite que o terreno permaneça úmido por um período de dois a cinco meses após a época chuvosa, permitindo a plantação mesmo em época de estiagem; e
- Subsolagem: realizado quando o solo se apresenta compacto, consiste no rompimento das camadas compactas do solo, melhorando a retenção da água e dos nutrientes, favorecendo o crescimento das raízes e o aumento da produtividade das culturas.

b) Práticas edáficas

As práticas edáficas são aquelas relacionadas ao solo que podem fornecer melhores condições de fertilidade para o crescimento da vegetação, uma vez que podem melhorar as características químicas do solo. As atividades mais comumente realizadas nesse sentido são:

- Adubação: é a prática agrícola que consiste em adicionar ao solo a quantidade de nutrientes que preenche a lacuna entre o que a planta exige e o que o solo pode fornecer, acrescentando, ainda, a quantidade perdida;
- Adubação orgânica: são resíduos animais ou vegetais que melhoram as condições físicas, químicas e biológicas do solo como esterco de currais, resíduos de matadouros e da indústria de óleo, vinhaça e adubos verdes;
- Calagem: tem como objetivos eliminar a acidez do solo e fornecer suprimento de cálcio e magnésio para as plantas. A calagem ainda tem outros benefícios, como: aumentar a disponibilidade de fósforo, diminuir a disponibilidade de alumínio e manganês através da formação de hidróxidos, que não são absorvidos; aumentar a mineralização da matéria orgânica; e
- Gessagem: a aplicação de gesso agrícola no solo visa melhorar o aproveitamento do cálcio e enxofre e, também, melhorar o ambiente em subsuperfície. Para solos salinos e sódicos o gesso também é utilizado como corretivo. Por ter alta solubilidade no solo, o gesso fornece rapidamente o cálcio, que pode ser lixiviado em profundidade, melhorando a fertilidade e aumentando a exploração das raízes.

c) Práticas vegetativas

As práticas de caráter vegetativo são aquelas em que se utiliza a vegetação para proteger o solo contra a erosão. As atividades mais frequentes nesse sentido são:

- Cultivo consorciado (ou cultivos múltiplos): consiste na semeadura de mais de uma cultura, na mesma área e no mesmo período, resultando na maior produção de alimentos por área; estabilidade de rendimento no sistema consorciado, já que, se uma das culturas falha ou se desenvolve pouco, a outra cultura componente pode compensar; controle das plantas daninhas e melhora o aproveitamento da mão de obra;
- Aceiramento: são faixas onde a vegetação foi completamente eliminada da superfície do solo para prevenir a passagem do fogo para área de vegetação, evitando-se assim queimadas ou incêndios;
- Adubação verde: consiste na incorporação de plantas especialmente cultivadas para este fim ou restos de plantas forrageiras e ervas daninhas ao solo, sendo esta uma das formas mais baratas e acessíveis de se repor a matéria orgânica no solo, melhorando suas características físicas e estimulando os processos químicos e biológicos. A adoção da adubação verde proporciona aumento na infiltração e retenção de água no solo, além de ocasionar melhoria na sua fertilidade;
- Limpeza de pasto: é a operação de retirada de plantas oportunistas, invasoras ou má posicionadas em áreas de pastagens. Deve ser realizada de forma sistemática de modo a permitir o pronto restabelecimento das forrageiras e garantir maior oferta de pasto para os animais;
- Pastejo rotacionado: é um sistema no qual a pastagem é subdividida em três ou mais piquetes, que são pastejados em sequência por um ou mais lotes de animais. Diferente do pastejo contínuo, em que os animais permanecem na mesma pastagem por um longo período de tempo, essa técnica permite melhor aproveitamento da forragem produzida, proporciona períodos regulares de descanso do pasto, favorecendo a rebrotação das forrageiras sem a interferência do animal, auxilia no controle de verminoses e carrapatos no rebanho e ciclagem de nutrientes;
- Plantio adensado e em nível: o cultivo em curvas de nível é uma prática indispensável para o controle da erosão, dado ao aumento da rugosidade superficial decorrente dos sulcos deixados pela semeadora, perpendicularmente ao declive, e as linhas cultivadas formam barreiras para o escoamento superficial, reduzindo sua capacidade erosiva;

- Sistema agrosilvopastoril: são sistemas de produção nos quais forrageiras, animais e árvores são cultivados simultaneamente, na mesma unidade de área, juntamente com culturas agrícolas. A introdução de árvores em áreas de pastagens a céu aberto protege o rebanho dos extremos climáticos e ainda possibilita obter serviços ambientais e diversificação da produção;
- Uso de cobertura morta: a cobertura morta, como palha ou resíduos vegetais, protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, diminuindo o escoamento superficial, além de, com a decomposição da matéria orgânica aumenta-se a agregação das partículas do solo, tornando-o com isso mais resistente à erosão;
- Rotação de culturas: consiste em alternar no tempo, o cultivo de espécies vegetais em uma determinada área, preferencialmente com culturas que possuem sistemas radiculares diferentes, onde cada espécie deixa um efeito residual positivo para o solo e para a cultura sucessora;
- Cordões de vegetação: são faixas estreitas cultivadas com espécies densas perenes ou de ciclo mais longo, com sistema radicular compacto e ambulante, que servem como barreiras vivas para quebrar (ou seccionar) o comprimento das pendentes, reforçar estruturas já existentes (como os terraços) e servir de guia permanente para outras práticas (como culturas em faixas e plantio em contorno); e
- Coroamento: constitui-se na eliminação das plantas infestantes da zona de maior concentração de raízes da planta, com o objetivo de reduzir a competição por água e nutrientes.

1.4.3.1. O Programa Produtor de Água

Proposto pela ANA, o Programa Produtor de Água (PPA), objetiva desenvolver a metodologia seguida por aplicação prática de um projeto de conservação de mananciais estratégicos, no qual são propostos incentivos financeiros aos produtores rurais, proporcionais aos benefícios relativos ao abatimento da erosão e da sedimentação realizados por eles, provedores dos serviços (MATAVELI *et al.*, 2018). Essa proposta vem de encontro às alternativas usuais apresentadas pelas equipes técnicas, voltadas aos tradicionais investimentos em infraestrutura, incorrendo em altíssimos custos.

Dessa forma trata-se de um programa moderno, alinhado com a tendência mundial de PSA alocado no princípio do protetor-recebido, adotado mundialmente na gestão de

recursos hídricos e que prevê incentivos aos usuários que geram externalidades positivas em bacias hidrográficas.

O Programa Produtor de Água apoia, orienta e certifica projetos que visem a redução da erosão e do assoreamento de mananciais no meio rural, propiciando a melhoria da qualidade e a regularização da oferta de água. Dessa forma, o programa é formado por uma série de projetos, cada qual articulado de forma a atender aos interesses específicos da bacia e dos usuários nela inseridos, e resulta em ambiente favorável para que instituições interessadas invistam no meio ambiente de forma segura, eficiente e eficaz, haja vista a garantia do êxito das intervenções realizadas nas propriedades (ANA, 2009).

O programa prevê o envolvimento de todos os produtores rurais inseridos na bacia hidrográfica à montante do ponto de captação dos pagadores pelos serviços ambientais. Em tese, o programa remunera a todos que ofertem serviços ambientais que contribuam para a melhoria da qualidade da água ou para a ampliação de sua oferta com regularidade, mas na prática, a restrição de recursos financeiros tem resultado na necessidade de uma seleção das propriedades, nas quais serão implementadas as ações de conservação de água e solo, o que, contudo, é baseada na maximização dos resultados em termos de disponibilidade de recursos hídricos, e nunca em critérios discriminatórios como os acima destacados (GOSSENHEIMER, 2018).

Os pagamentos aos participantes do programa serão proporcionais aos benefícios ambientais gerados pelas práticas ou manejos implantados na propriedade, no que diz respeito ao abatimento de sedimentação aos corpos d'água da bacia. Os benefícios advindos das ações de conservação da água e do solo realizadas nas propriedades rurais alcançam também as companhias de saneamento, que têm ganhos relacionados ao aumento da vida útil de suas plantas por causa do aumento da oferta garantida de água durante o ano todo, bem como ganhos diretos relacionados com a redução dos custos de tratamento em razão da melhoria da qualidade da água. Já as prefeituras são responsáveis pelo uso e ocupação do solo e por investir na melhoria ambiental das propriedades rurais, devendo ser esse um caminho natural, que, infelizmente, não tem sido praticado na maioria dos Municípios (SÃO PAULO, 2013).

A definição das áreas a serem beneficiadas baseia-se em estudos e diagnósticos, especialmente aqueles relacionados aos recursos hídricos. Dentre eles, destacam-se os planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas, uma vez que são estudos de grande densidade nos diversos aspectos dessa temática. Outro parâmetro utilizado para a definição das áreas contempladas com os projetos é a pré-existência de conflito pelo uso

da água ou seu prognóstico, uma vez que, com esse problema, surge o interesse pela conservação ou melhoria da disponibilidade de água, fazendo com que a água passe a ter real valor econômico e resultando em ambiente propício para a aplicação de instrumentos econômicos.

Para definição dos valores recebidos pelo programa cada projeto considera as peculiaridades locais e o custo oportunidade de uso da área, o que resulta numa diversidade de metodologias que têm em comum, além do custo de oportunidade, o fato do valor a ser pago pelos serviços ambientais ser diretamente proporcional ao abatimento da erosão e da sedimentação.

Uma das exigências para um projeto ser considerado como parte do PPA é que ele tenha estratégia de monitoramento, sendo esse item do projeto fortemente apoiado pela ANA, desde a compra de equipamentos até sua execução. Para cada projeto, existem estratégias diferenciadas de monitoramento para os ganhos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos da bacia na qual o estudo é implementado. Nem sempre é uma missão fácil, pois as bacias nas quais são implementados os projetos não têm um histórico de monitoramento, o que faz com que os dados gerados a partir da implantação não tenham séries históricas de comparação. Em razão disso, além do monitoramento rotineiro, que envolve avaliações do comportamento das vazões e da qualidade da água, tem sido comum nos projetos o monitoramento das estruturas implantadas, como por exemplo, a avaliação do volume de água captada por quilômetro de terraço ou por unidade de bacia de infiltração.

1.4.4. A agricultura sustentável e os serviços ecossistêmicos

Como no presente trabalho propôs-se analisar a influência da agricultura irrigada na conservação ambiental ao inserir coeficientes relacionados à sua eficiência no instrumento da cobrança pelo uso da água, é imprescindível elencar a relação entre atividades agropecuárias e os serviços ecossistêmicos.

Políticas de desenvolvimento agrícola oriundas e influenciadas pela revolução industrial agrícola, constituídas a partir da década de 1960, orientaram a modernização de propriedades, resultando num aprofundamento das desigualdades, exclusão social no campo, aceleração do êxodo rural, perda de fertilidade do solo, erosão, destruição da biodiversidade, desertificação e esgotamento dos recursos hídricos (OLIVEIRA JUNIOR; SANTOS; MAXIMO, 2014).

Sendo assim, a demanda por atividades agrícolas mais sustentáveis surge nesse âmbito, configurando-se como uma opção à agricultura convencional, além de propor estratégias capazes de ajudar na formação de um novo paradigma de desenvolvimento mais próximo ao conceito de sustentabilidade, visto ser uma técnica agrícola implantada a longo prazo, economicamente viável, ambientalmente segura e socialmente justa (SANCHES, 2011; GONÇALVES, 2017).

Desde meados dos anos 2000, as mudanças no uso do solo e cobertura da terra atingiram escalas planetárias: pelo menos 75% da superfície da terra (sem gelo) já foi convertida, principalmente, em pastagens e/ou agricultura (ELLIS; RAMANKUTTY, 2008). Essa alteração no uso da terra é considerada como ameaça iminente às atividades agrícolas, uma vez que a biodiversidade gera condições, funções e serviços ecossistêmicos essenciais à essa indústria – reciclagem de nutrientes, o controle de pragas, a polinização e a regulação dos fluxos de água.

Segundo Vitória (2019), apesar da dependência de serviços ecossistêmicos, esses sistemas têm atuado em antagonismo (Figura 06), gerando desserviços devido ao manejo inadequado promovido pelas ações antrópicas nos agroecossistemas. Ao contrário do que muitos acreditam, dependendo das práticas de manejo, atividades agropecuárias também podem ser responsáveis pela perda de habitat de vida selvagem, pelo escoamento de nutrientes, pela sedimentação de cursos de água, pelas emissões de gases do efeito estufa e pelo envenenamento por pesticidas de seres humanos e espécies não-alvo.

Figura 06 – Impacto do manejo dos agrossistemas nos serviços ecossistêmicos



Fonte: Vitória, 2019.

A incorporação de métodos de plantio e colheita que relacionados aos serviços ecossistêmicos pode reduzir custos futuros, melhorar a qualidade de vida da população e dos ecossistemas, garantir a perpetuação dos meios de subsistência e auxiliar no combate à pobreza, ao revelar a distribuição de recursos e serviços essenciais e escassos. A análise dos serviços ecossistêmicos e ambientais também auxiliam na identificação daqueles que arcam com o custo e aqueles que auferem benefícios.

O Pagamento por Serviços Ambientais, mais especificamente o Programa Produtor de Água da ANA, é um mecanismo que se molda ao propósito dessa mudança de paradigma na produção agrícola, visto que este é um instrumento de incentivo econômico que demonstra relação positiva com a agricultura sustentável, na medida que essa produz consideráveis serviços ambientais, além de demonstrar possibilidade de resguardo ambiental, sem deixar de lado atividades agrícolas (GOSSENHEIMER, 2018).

No que diz respeito à legislação específica acerca da agroecologia, destacam-se a Lei nº 10.831/2003 – que dispõe sobre a agricultura orgânica como incentivo à produção agropecuária sustentável, incentivando, assim, técnicas específicas como o aprimoramento da utilização de recursos naturais, sustentabilidade ecológica, utilização de energias renováveis em detrimento do uso de energias não renováveis, além do método natural e biológico para a produção orgânica (BRASIL, 2003) – e o Decreto nº 7.794/2012 – que instituiu a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica, executada pela União em parceria com os Estados, Distrito Federal e Municípios, além de organizações sociais civis e privadas (BRASIL, 2012).

No Quadro 08 verificam-se as principais diferenças entre a agricultura sustentável e a convencional, nos âmbitos tecnológico, ecológico e sócio econômico.

Quadro 08: Principais diferenças entre agricultura sustentável e convencional (continua)

AGRICULTURA SUSTENTÁVEL	AGRICULTURA CONVENCIONAL
ASPECTOS TECNOLÓGICOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Adapta-se as diferentes condições regionais, aproveitando ao máximo os recursos locais • Atua considerando o ecossistema como um todo, procurando antever as possíveis consequências da adoção das técnicas • O manejo do solo visa sua movimentação mínima, conservando sua fauna e flora, e o estímulo da atividade biológica do solo 	<ul style="list-style-type: none"> • Desconsidera-se as condições locais impondo pacotes tecnológicos • Atua diretamente sobre os indivíduos produtivos, visando somente o aumento da produção e da produtividade • O manejo do solo, com intensa movimentação, desconsidera sua atividade orgânica e biológica

Quadro 08: Principais diferenças entre agricultura sustentável e convencional (continuação)

AGRICULTURA SUSTENTÁVEL	AGRICULTURA CONVENCIONAL
ASPECTOS AMBIENTAIS	
<ul style="list-style-type: none"> • Diversificação (policultura e/ou culturas em rotação) • Integra, sustenta e intensifica as interações biológicas • Associação da produção animal à vegetal • Agrossistemas formados por indivíduos de potencial produtivo alto ou médio, e com relativa resistência às variações das condições ambientais 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouca diversificação, com predomínio da monocultura • Reduz e simplifica as interações biológicas • Sistemas pouco estáveis com possibilidades de desequilíbrios • Formado por indivíduos com alto potencial produtivo, que necessitam de condições especiais para produzir, e são altamente suscetíveis às variações ambientais
ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Retorno econômico a médio e longo prazo, com elevado objetivo social • Baixa relação capital/homem • Alta eficiência energética. Parte da energia introduzida e produzida é reciclada • Alimentos de alto valor biológico e sem resíduos químicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido retorno econômico com objetivo social de classe • Maior relação capital/homem • Baixa eficiência energética. A maior parte da energia gasta no processo produtivo é introduzida e é, em grande parte, dissipada • Alimentos de menor valor biológico e com resíduos químicos

Fonte: Gonçalves, 2017.

Contudo, visto a hegemonia ainda vivenciada no campo pela agricultura convencional e a falta de incentivos de ordem econômica e tributária para a transição agroecológica, o crescimento das lavouras com produtos orgânicos ainda é lento no Brasil (GOSSENHEIMER, 2018).

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

A base conceitual para construção da metodologia foi ancorada no abatimento do pagamento recebido pelo Programa Produtor de Águas (PPA) dado ao provedor do serviço ambiental no valor cobrado pelo uso da água pode vir a incentivar a implementação da cobrança e como o mesmo instrumento, quando associado a índices de eficiência e desempenho no sistema de abastecimento de água, pode estimular a redução de perdas e melhorias no sistema como um todo.

O ineditismo científico do presente trabalho encontra-se na associação concomitante dos conceitos de serviços ambientais e eficiência em Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs) e irrigação ao instrumento da cobrança pelo uso da água da seguinte forma:

- O primeiro relacionado às ações de incentivo a serviços ambientais, que objetivam reduzir o valor aos usuários que façam captação de água;
- O segundo relacionado a eficiência de sistemas de irrigação, manejo de solo e outras técnicas ambientalmente corretas; e
- O terceiro relacionado à eficiência dos sistemas de distribuição de água, desde a retirada da água bruta, até a sua distribuição potável para a população.

O presente estudo pôde ser caracterizado como uma pesquisa de abordagem qualitativa realizada a partir do método exploratório, experimental e longitudinal, pois visa oportunizar mais familiaridade com o problema e evidenciá-lo por meio de revisão bibliográfica em literatura e a coleta de dados se deu em diversos momentos ao longo da construção do trabalho.

O emprego desse método de pesquisa no estudo justificou-se pelos seguintes motivos:

- Através da pesquisa bibliográfica realizada pode ser concluído que a conservação dos recursos naturais no instrumento de cobrança pelo uso da água é feita de maneira indireta, como possível resultado da racionalização da captação da água. Contudo, esta conservação não necessariamente é consequência do instrumento, visto que os principais usos de água é a agricultura irrigada e abastecimento humano, atividades que têm os custos dissolvidos no produto final; e
- Apesar de o pagamento por serviços ambientais ser uma excelente maneira de motivar a conservação ambiental através de incentivos monetários ou abatimentos fiscais, sua implementação ainda passa por dificuldades com relação à compensação para os fornecedores dos serviços ambientais, sendo que a introdução de índices de conservação

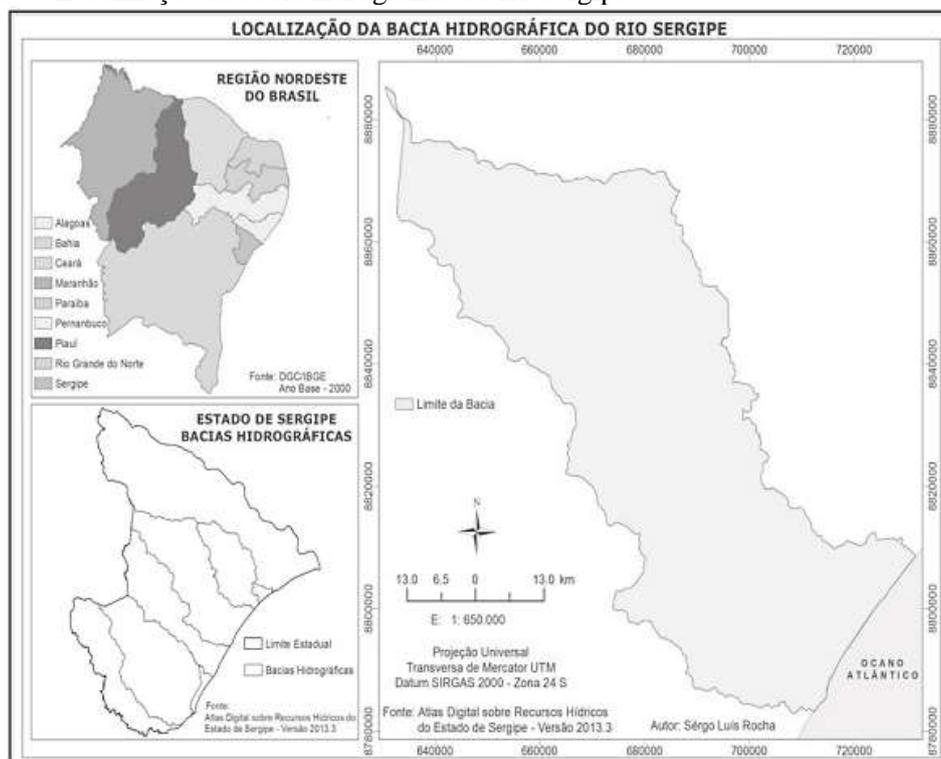
uma alternativa interessante à elaboração de um modelo de gestão sustentável financeiramente e ambientalmente.

É importante destacar que esta pesquisa não pode ser considerada como um estudo de caso, pois nela não é realizada apenas uma análise da relação entre o instrumento de cobrança e índices sustentabilidade ambiental ou referente a seus usos, mas sim de propor uma equação que forneça a racionalização no uso da água e conservação desse recurso ambiental com o intuito de gerir não apenas a demanda, mas também a oferta de água.

2.1. Recorte espacial: a bacia hidrográfica do rio Sergipe

A bacia hidrográfica do rio Sergipe está localizada na região nordeste do estado de mesmo nome e possui área de 3.753,81 km², equivalente a 17% do território estadual, como apresentado na Figura 07 (SERGIPE, 2015).

Figura 07 – Localização da bacia hidrográfica do rio Sergipe



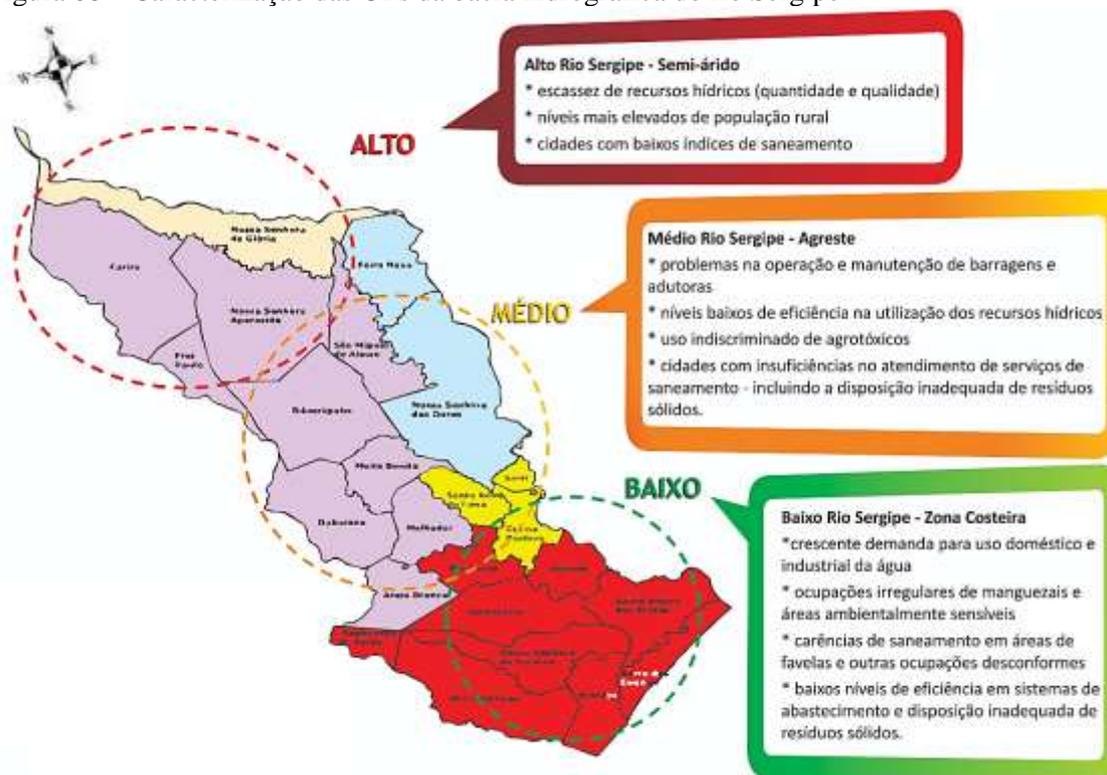
Fonte: Santos *et al.*, 2015.

A bacia apresenta regime hidrológico composto de escoamentos intermitentes em seu tramo alto e parte do médio, e perene após o Município de Nossa Senhora das Dores. Na região da Bacia predomina o clima tropical com estação seca de verão, possuindo três regiões climáticas distintas: subúmida, agreste e semiárida e período chuvoso entre abril e agosto, com concentração nos meses de maio, junho e julho (SERGIPE, 2015).

A bacia é dividida em cinco Unidades de Planejamento (UP) – Alto Sergipe, Baixo Sergipe, Cotinguiba, Jacarecica e Poxim –, cada uma agrupando regiões com

características físicas, socioeconômicas e ocupação do solo similares, como apresentado na Figura 08.

Figura 08 – Caracterização das UPs da bacia hidrográfica do rio Sergipe



Fonte: Instituto Marcelo Déda, 2018.

Ainda segundo o estudo do Instituto Marcelo Déda (2018), economicamente a bacia destaca-se por sua produção industrial, pelo agronegócio, irrigação, comércio, prestação de serviço, pesca e mineração.

Com relação à disponibilidade hídrica na bacia, os resultados apresentados por Sergipe (2015) identificaram que nas UPs Alto Sergipe e Jacarecica a disponibilidade hídrica é bastante reduzida, locais onde a atividade econômica predominante é a agricultura irrigada e pecuária. A parte média e baixa da UP Jacarecica e as UP's Baixo Sergipe, Cotinguiba e Poxim é que apresentam maior produção de água, respondendo praticamente pelo total da disponibilidade hídrica da bacia.

2.1.1. A bacia hidrográfica do rio Jacarecica

A sub-bacia do rio Jacarecica (Figura 09) faz parte da bacia hidrográfica do rio Sergipe e possui uma área 507,29 Km², estando nela inserido totalmente o município de Malhador e, parcialmente, os municípios de Areia Branca, Itabaiana, Moita Bonita, Ribeirópolis, Riachuelo e Santa Rosa de Lima. O rio Jacarecica é um dos principais

afluentes do rio Sergipe pela margem direita, com sua nascente no município de Ribeirópolis e a sua foz em Riachuelo (PIEDADE; SILVA, 2020).

Figura 09 – Sub-bacia do rio Jacarecica



Fonte: Santos; Pinto, 2020.

Dos 157.144 habitantes da bacia, 108.046 residem na área urbana e 49.098 no meio rural, com 55,34% da população total residindo no município de Itabaiana, sendo 67.709 no meio urbano e 19.258 no rural (IBGE, 2010).

Dos municípios que compõem esta sub-bacia, todos concentram a sua população em áreas com base econômica essencialmente agrícola, tendo somente o município de Itabaiana predomínio da população urbana, com 78% da população total habitando na sede do município, segundo o IBGE (2010).

A agricultura familiar em Sergipe é desenvolvida em 3.682 estabelecimentos agropecuários, sendo que 40% estão inseridos dentro dessa região hidrográfica, o que demonstra um forte nicho de produtores utilizando esse modelo de agricultura, principalmente, em Itabaiana (950), Moita Bonita (236), Malhador (111) e Areia Branca (108), que têm um papel importante na produção de produtos agrícolas orgânicos que são comercializados em feiras, lojas específicas e supermercados, no Estado e em especial na capital, Aracaju (PIEDADE; SILVA, 2020). É importante destacar que na sub-bacia estão inseridos três perímetros irrigados: Jacarecica I, Poção da Ribeira e Jacarecica II.

Cabe salientar que nessa região não existem limites claros do rural e do urbano, ou seja, a população, embora se concentre nas sedes municipais, diariamente faz a

migração pendular, ao se deslocar para as áreas rurais para trabalhar na agropecuária, permitindo, assim, o abastecimento das cidades e manutenção da fluidez do comércio de produtos agrícolas.

Sendo assim, do ponto de vista econômico, a região estudada apresenta forte diversidade de produção agrícola, indo desde a forma tradicional desta atividade, tendo como base a agricultura familiar, até as atividades tipicamente urbanas, que transformam essa região em um dos maiores centros em termos de comércio, oferta de serviços e beneficiamento de gêneros agrícolas.

Ainda sobre a região, mesmo com a população urbana proeminente, percebe-se forte dependência do rural, destacando-se na produção, beneficiamento e comercialização de gêneros agrícolas dentro do Estado, abastecendo o mercado local e regional, e exportando os cultivos agrícolas para os estados da Bahia e de Alagoas. Ainda é importante destacar que as atividades agropecuárias e, sobretudo, os animais de pequeno porte também contribuem para as receitas da região.

Dito isso, o desenvolvimento agrícola dessa microrregião só é possível devido à existência dos perímetros irrigados, que permitem cultivos sob manejo intensivo dos solos e produção durante todo o ano, como os Jacarecica I e II e o Açude do Riacho Macela – inseridos na sub-bacia hidrográfica do Rio Jacarecica – e Poção da Ribeira – inserido na sub-bacia do rio Traíras.

O abastecimento dos múltiplos usos na região se faz pela barragem do rio Jacarecica, com capacidade de acumulação de aproximadamente 30.400.000 m³, local onde a Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) faz a captação e fornecimento, após tratamento, para os municípios inseridos na bacia e de onde os perímetros irrigados também captam água.

Como dito anteriormente, o presente estudo centrou-se apenas nos usos para abastecimento humano, utilizando os municípios de Areia Branca e Itabaiana como referência (SANTOS, 2020), e agricultura irrigada, utilizando como parâmetro os perímetros irrigados Jacarecica I e II (COHIDRO, 2016), que fazem captação na sub-bacia do rio Jacarecica.

2.1.2. O Programa Produtor de Água de Sergipe

A poluição difusa rural, o desmatamento, os processos de erosão e sedimentação e o uso indiscriminado da água vêm representando uma séria ameaça aos recursos hídricos de Sergipe. Conforme afirmado no Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe (SERGIPE, 2015) as bacias utilizadas para abastecimento público não apresentam nenhuma cobertura florestal, o que ocasionam redução na oferta quali quantitativa desse recurso.

O PPA de Sergipe visa aplicar o modelo de PSA usado pela ANA para incentivar a compensação financeira aos agentes que, comprovadamente, contribuem para a proteção e recuperação de mananciais, gerando benefícios para a bacia e sua população. Como especificado pelo programa, os incentivos serão dirigidos prioritariamente aos produtores rurais (individuais ou associação) responsáveis pelo uso e manejo do solo e reflorestamento que venham a contribuir para a conservação dos serviços ambientais água e solo. Os recursos financeiros serão liberados somente após a implantação, parcial ou total, das ações e práticas conservacionistas e reflorestamento previamente contratadas em bacias hidrográficas previamente selecionadas e cobrirão, total ou parcialmente, os custos da prática implantada, dependendo de sua eficácia.

Como dito anteriormente, além do caráter econômico, os sistemas de PSA contribuem na educação ambiental na medida em que insere nova relação entre os fornecedores dos serviços e os beneficiários, e entre esses e a natureza, através da lógica protetor-recebedor anteriormente apresentada. Sendo assim, é um programa voluntário de controle da poluição difusa rural e desmatamento, dirigido prioritariamente a bacias hidrográficas de importância estratégica para o Estado.

As bacias hidrográficas elegíveis no Programa serão aquelas que possuem importância estratégica ao Estado e atenderem aos seguintes critérios: (i) déficit hídrico; (ii) identificação pelo Plano de Recursos Hídricos de poluição difusa de origem rural, erosão e déficit de cobertura florestal em Mata Ciliar e Nascentes e proponha ações de mitigação desses impactos; (iii) ser um manancial de abastecimento de água para uso urbano ou industrial; e (iv) tenha sido contemplada anteriormente com programas de reflorestamento do Governo do Estado de Sergipe (SERGIPE, 2017).

2.2.Elaboração da equação de cobrança pelo uso da água

Para a fundamentação do instrumento de cobrança pelo uso da água na agricultura irrigada foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a Lei Federal 9.433/1997, bem

como nos Planos das Bacias Hidrográficas Federais dos rios São Francisco, rios PCJ e Paraíba do Sul.

A equação de cobrança pelo uso da água segue o modelo padrão já visto nas bacias hidrográficas anteriormente citadas, como apresentado na Equação (5).

$$Valor_{total} = Valor_{cap} \cdot K_{gest\tilde{a}o} \quad (5)$$

Na qual:

$Valor_{total}$ = valor anual total de cobrança (R\$/ano);

$Valor_{cap}$ = valor anual de cobrança pela captação de água (R\$/ano); e

$K_{gest\tilde{a}o}$ = coeficiente que leva em conta o efetivo retorno à área de atuação da bacia os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

O $K_{gest\tilde{a}o}$ pode variar de 1 (um), quando 100% do valor arrecadado com a cobrança for repassado à referida bacia, a 0 (zero), quando nenhum valor for repassado à bacia, seja por alguma normativa ou Lei ou descumprimento pelo órgão gestor dos recursos hídricos. Se o montante retornado à bacia hidrográfica for entre o total arrecadado e nada, o coeficiente deve atender a porcentagem referente a esse valor.

O valor captado será em função de duas parcelas: a primeira levando em consideração a sazonalidade das vazões e a relação entre o volume outorgado e medido (Q_{bacia}), apresentado na Equação (6); a segunda é função do PU para captação e sua relação com os objetivos da cobrança e as atividades de conservação de serviços ambientais prestados na bacia ($PU_{cap} \cdot K_{cap} \cdot K_{cons}$).

$$Q_{bacia} = K_p (K_{out} \cdot Q_{cap\ out} + K_{med} \cdot Q_{cap\ med}) \quad (6)$$

Sendo:

Q_{bacia} = volume relativo entre o volume outorgado e captado (m³/ano);

Q_{out} = volume anual de água captado segundo valores da outorga (m³/ano);

Q_{med} = volume anual de água captado segundo dados de medição (m³/ano);

K_{out} = peso atribuído ao volume anual de captação outorgado (adimensional);

K_{med} = peso atribuído ao volume anual de captação medido (adimensional); e

K_p = peso atribuído à sazonalidade hidrológica da bacia (adimensional).

Então o valor a ser cobrado pela captação de água é fornecido pela a equação (7).

$$Valor_{cap} = Q_{bacia} \cdot PU_{cap} \cdot K_{cap} \quad (7)$$

Sendo:

$Valor_{cap}$ = valor anual de cobrança pela captação de água (R\$/ano);

PU_{cap} = Preço Unitário para captação (R\$/m³);

K_{cap} = coeficiente que considera objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água; e

É importante salientar que para quantificação dos coeficientes acima citados o trabalho usou como ferramenta o levantamento bibliográfico, com as devidas adaptações regionais necessárias.

2.2.1. Levantamento bibliográfico:

A pesquisa bibliográfica é o levantamento ou revisão de obras publicadas sobre a teoria que direciona o trabalho científico, o que necessita dedicação, estudo e análise pelo pesquisador que irá executar o trabalho, em textos publicados, para apoiar seu trabalho científico (PRODANOV; FREITAS, 2013). Sendo assim, para tal, é importante que o pesquisador verifique a veracidade dos dados obtidos, observando as possíveis incoerências ou contradições que as obras possam apresentar.

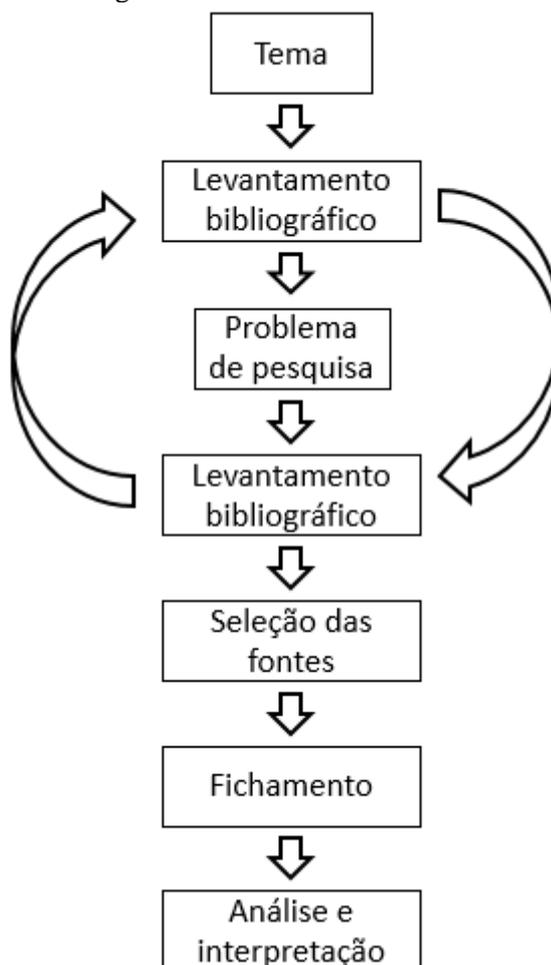
De acordo com Sousa *et al.* (2021), a pesquisa bibliográfica busca o levantamento e análise crítica dos documentos publicados sobre o tema a ser pesquisado com intuito de atualizar, desenvolver o conhecimento e contribuir com a realização da pesquisa.

A base da pesquisa bibliográfica são os livros, teses, artigos e outros documentos publicados que contribuem na investigação do problema proposto na pesquisa. Não basta realizar uma revisão bibliográfica que não irá contribuir no desenvolvimento, deve conter conhecimentos significativos que colaboram com a evolução do trabalho. Assim uma pesquisa bibliográfica se resume em procedimentos que devem ser executados pelo pesquisador na busca de obras já estudadas na solução da problemática através do estudo do tema (MARCONI; LAKATOS, 2021).

Dentre os motivadores ao uso da pesquisa bibliográfica pelo presente estudo estão o baixo custo, a não necessidade de deslocamento por parte do pesquisador a campo ou órgãos públicos, visto que na internet a amplitude de informações é grande e a possibilidade de analisar a pesquisa em caráter global, dada vasta amplitude de obras publicadas para entender e conhecer melhor o fenômeno em estudo.

Sendo assim, as etapas da pesquisa bibliográfica do presente trabalho seguem a ordem apresentada na Figura 10.

Figura 10 – Etapas da pesquisa bibliográfica



Fonte: Adaptado de Prodanov e Freitas, 2013; Misuni *et al.*, 2018; Markoni e Lakatos, 2021; Souza *et al.*, 2021.

A fonte de dados eleita para o presente trabalho foi a internet, através de sites de base de dados ou bibliotecas virtuais das universidades, onde foram inseridas palavras-chave dentro da problemática apresentada no tema. O Quadro 09 mostra as principais bases de dados aqui utilizadas.

Quadro 09 – Principais bases de dados utilizadas na pesquisa (continua)

Plataforma	Descrição	Web page
Google academic	Ferramenta do próprio Google que auxilia na busca de literatura acadêmica como: teses, artigos, livros e outros.	https://scholar.google.com.br/
Biblioteca Nacional de Teses e Dissertações (BNTD)	Biblioteca que integra os sistemas de informação de teses e dissertações das instituições de ensino e pesquisa do Brasil.o	http://bdtd.ibict.br/vufind/

Quadro 09 – Principais bases de dados utilizadas na pesquisa (continuação)

<i>Scientific Electronic Library Online</i> (SciELO Brasil)	Biblioteca virtual de revistas científicas, com predomínio da América do Sul, em formato eletrônico, que organiza e publica textos completos de revistas na internet, além de produzir e publicar indicadores do seu uso e impacto.	https://www.scielo.br/
Periódicos CAPES	É uma biblioteca da CAPES que contém produções científica, tem um acervo de mais 45.000 periódicos completos, 130 bases referenciais, 12 bases dedicadas exclusivamente a patentes, livros, enciclopédias e obras de referência, normas técnicas, estatísticas de conteúdo e audiovisual.	http://www.periodicos.capes.gov.br/
Repositório Institucional da Universidade Federal de Sergipe (RIUFS)	Ferramenta que visa reunir, disseminar e preservar toda a produção acadêmica e científica desenvolvida pelos diversos setores da UFS.	https://ri.ufs.br/

Fonte: O autor

2.2.2. Relação entre o volume medido e o volume outorgado (Q_{med}/Q_{out}):

A sazonalidade da oferta hídrica pode ser expressa considerando a relação entre o volume outorgável e outorgado. O primeiro representa o máximo de volume que o sistema dispõe para oferecer aos usuários em determinado espaço e tempo; e o segundo representa aquilo que efetivamente foi disposto aos usuários, em função de sua solicitação, para um dado espaço e tempo.

Sendo assim, o indicador de disponibilidade hídrica (DH), apresentado na Equação (8), resultante da relação entre esses dois volumes, fornece uma medida relativa importante concernente à disponibilidade sazonal de oferta do sistema hídricos, além de ser uma medida de capacidade de atendimento de novas demandas pelo uso da água.

É importante levar em consideração essa relação em virtude das constantes discordâncias que existem entre o volume outorgado e o volume realmente captado (ou volume medido).

$$DH = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{oug}} \quad (8)$$

Sendo:

DH = indicador de disponibilidade hídrica para bacia (adimensional);

Q_{out} = vazão outorgada mensal para o uso requerido ($m^3/mês$); e

Q_{oug} = vazão disponível para outorga na bacia hidrográfica ($m^3/mês$).

A diferença entre $Q_{outorgado}$ e $Q_{outorgável}$ é uma medida relativa de disponibilidade hídrica estabelecida espacial e temporalmente. Então, quanto mais próximo de 01 (um), maior a disponibilidade para atender novas demandas, e quanto mais próximo de zero, menor a capacidade para atendimento de novas demandas.

Dada uma situação da economia estadual funcionando normalmente, é de interesse do poder público e da sociedade civil a plena utilização dos recursos disponíveis, (ambiental, social e economicamente). Sendo assim, quanto mais a DH tende à unidade, maior é a ociosidade no uso água bruta, considerada fundamental à atividade econômica no estado de Sergipe, como apresentado anteriormente; e quanto mais DH tender a zero, mais próximo a bacia estará de um a situação de estresse hídrico, ou seja, uma situação de tendência ao limite máximo de uso da água, um estágio de saturação do sistema.

É importante salientar que o limite máximo outorgado para o Sergipe é de 90% da vazão de referência Q_{90} anual com 90% de garantia (SERGIPE, 2015). Assim, o volume outorgável de água, numa situação de normalidade do sistema de recursos hídricos, é definido como o volume regularizado (90% de Q_{90}).

Contudo, levar em consideração apenas a relação estabelecida pela DH pode não ser capaz de traduzir a verdadeira condição de uso das águas, visto que os usuários podem solicitar outorga de uso da água bruta, mas não utilizarem efetivamente tal volume outorgado. Essa dissonância entre volumes gera distorções, na forma de ineficiência na alocação das águas, já que um usuário restringe o uso da água pelos demais, de forma especulativa.

Segundo discussão trazida pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará (CEARÁ, 2017), quando o volume outorgado é maior que o efetivamente captado é gerado diminuição da disponibilidade hídrica local, ou seja, gera um aumento fictício da escassez. Dessa maneira, a relação entre o volume outorgado e captado pode ser expressa como um indicador de especulação hídrica (IEH), como segue na Equação (9).

$$IEH = \frac{Q_{med}}{Q_{out}} \quad (9)$$

Sendo:

IEH = indicador de especulação hídrica para o usuário outorgado (adimensional);

Q_{med} = vazão efetivamente captada para satisfazer o uso outorgado ($m^3/mês$); e

Q_{oug} = vazão outorgada para o uso requerido ($m^3/mês$).

Assim sendo, quanto mais próximo de 01 (um) for IEH, mais especulativo é o usuário, e quanto mais próximo de zero, menos especulativo. Ao contrário do DH, nota-

se que para o IEF a situação ideal é quando o consumo efetivo é igual ao volume outorgado para o usuário, visto que na situação ideal de gestão de recursos hídricos espera-se que o que seja outorgado seja captado.

Contudo, para o estado de Sergipe, vê-se uma situação oposta ao apresentado acima, de acordo com a Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente de Sergipe (SERHMA-SE). O órgão gestor afirma que é recorrente que o volume efetivamente captado seja maior que o outorgado, em virtude da falta de fiscalização, gerando, assim, uma situação real de estresse hídrico não monitorada pelo sistema, prejudicando o ecossistema em volta e outros outorgantes.

2.2.3. Definição do Preço Unitário para captação (PPU_{cap})

Sabe-se que o ideal para definição do PU seria consultas públicas com os agentes econômicos envolvidos no processo e seus usuários, visto o caráter participativo do recurso, sendo as reuniões de Comitê os locais mais indicados para tal. Contudo, dada a agenda incerta de reuniões da bacia estudada, o presente trabalho mensurou o preço da água para o objeto de estudo (irrigação e abastecimento humano) em função de outros planos de bacia que possuem as mesmas condições hidrológicas e socioeconômicas da área estudada.

2.2.4. Coeficiente que considera objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água (K_{cap})

O K_{cap} é o coeficiente relativo aos objetivos propostos com o instrumento da cobrança, que podem ser diversos, em função dos usos de água preponderantes na bacia, mas a constante em sua determinação é o vínculo com ações sustentáveis, em função da agenda global.

Dessa forma, o coeficiente K_{cap} é calculado de acordo com a Equação (10).

$$K_{cap} = K_{SAA} \cdot K_{ITI} \cdot K_{cons} \quad (10)$$

No qual:

K_{SAA} = coeficiente que leva em conta as dimensões de desempenho dos SAA;

K_{ITI} = coeficiente que se refere ao Índice Tecnológico dos Irrigantes; e

K_{cons} = coeficiente que considera a conservação dos serviços ambientais na bacia.

A determinação de cada coeficiente é expressa a seguir.

2.2.4.1. Coeficiente que leva em conta as dimensões de desempenho dos SAA (K_{SAA})

Ferreira *et al.* (2015), Oliveira (2016), Brasil (2018) e França (2019) afirmam que indicador é uma ferramenta quali-quantitativa empregada na transmissão de informações sobre o estado de determinado alvo observado, integrando subjetividade e objetividade a partir de evidências empíricas, viabilizando comparações, avaliações e acompanhamentos consistentes e criando condições para esclarecer e fornecer suporte às decisões.

O Novo Marco do Saneamento (Lei nº 14.026) ratifica a importância do uso de indicadores como forma de acompanhamento do desenvolvimento dos SAAs, além de instituir que a entidade reguladora deverá editar normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços, por meio da definição de padrões e indicadores de qualidade de sua prestação (BRASIL, 2020). Soma-se a isso a criação do SNIS, que disponibiliza estatísticas, indicadores e outras informações relevantes para a caracterização da demanda e da oferta de serviços públicos de saneamento básico.

Apesar de a sustentabilidade ambiental desses sistemas ser de extrema importância à promoção do aumento da qualidade de vida da população, aplicá-la a formulação das intervenções públicas é um desafio lógico e prático, visto que representa mudança de conduta dos agentes econômicos e governamentais e requer a busca pela equidade na distribuição dos benefícios econômicos e ecológicos, o consenso social dos seus propósitos econômicos e a prudência na apropriação dos recursos hídricos (CARVALHO, 2019).

Oliveira (2016) salienta que, além da sustentabilidade ambiental, que abraça as dimensões econômicas, financeiras, ecológicas, sociais e políticas, é necessário a inclusão de indicadores que possam dimensionar o grau de cumprimento dos objetivos desses sistemas (eficácia), o nível de utilização de recursos frente aos custos em disponibilizá-los (eficiência) e a efetividade social ou impacto do programa, visto os SAAs serem prestadores de serviço público de caráter essencial.

Sendo assim, a metodologia envolvendo esta etapa do trabalho baseou-se, como afirmado anteriormente, na pesquisa bibliográfica – em trabalhos acadêmicos e os indicadores, órgãos reguladores e no SNIS – para determinar quais os indicadores mais utilizados com o intuito de determinar o desempenho dos SAAs, com posterior análise para mensurar o peso relativo de cada um no coeficiente total, conforme a Equação (11)

$$K_{SAA} = \frac{(x.Qual)+(y.Efic)+(z.Gest)}{(x+y+z)} \quad (11)$$

Sendo:

Qual = o coeficiente equivalente à qualidade do produto;

Efic = o coeficiente referente à eficiência operacional;

Gest = o coeficiente equivalente à gestão estratégica; e

$x + y + z$ = são os índices ponderadores dos coeficientes supracitados.

É importante salientar que é importante o debate desses pesos com o órgão gestor do Estado, assim como com o Comitê da bacia estudada, para sua ratificação conforme os preceitos da gestão participativa dos recursos hídricos.

2.2.4.2. Coeficiente que equivale ao Índice Tecnológico dos Irrigantes (K_{ITI})

Segundo Sousa (2014), o conceito de tecnologia não está ligado somente a fatores como máquinas e equipamentos capazes de otimizar a produção, mas também ao fato de que esses elementos ou fatores precisam ser operados dentro da atividade produtiva, podendo ser tanto uma máquina como uma técnica capaz de alterar a produtividade de determinado insumo.

É importante salientar que o treinamento e a aprendizagem são fatores importantes desde à implementação de uma nova tecnologia até a aceitação de uma tecnologia já implementada, visto que sua falta resulte numa dificuldade de manuseio pelo produtor ou que este ache a tecnologia muito complexa, não valendo a pena prosseguir.

Contudo, apesar de o desenvolvimento tecnológico objetivar produzir o menor impacto ambiental possível mediante a melhoria na operação de sistemas, captação e condução de água e maior eficiência da irrigação, sabe-se que, segundo Ferregueti (2018), nem todas as culturas, principalmente aquelas cuja quantidade de plantas por hectare, apresentam viabilidade econômica de serem irrigadas por gotejamento ou microaspersão, tecnologias com excelentes eficiência e índice de perdas, conforme apresentado na Tabela 01.

Dessa maneira, para se analisar o nível tecnológico implantado pelos irrigantes fez-se uso dos resultados encontrados por Sousa (2014), que propôs 11 índices relacionados ao Índice Tecnológico dos Irrigantes (ITI), apresentados abaixo, e fez, em seu estudo, uma análise de correlação em relação à sua relevância.

- Assistência técnica (X1): entende-se por assistência técnica a potencialização da capacidade de os agricultores planejar sua propriedade, decidir seu processo produtivo e ter acesso aos processos de formação que lhes garantam viabilizar, com qualidade, o

planejamento definido, dentro de princípios agroecológicos, sustentáveis e de convivência com as condições locais;

- Mudanças melhoradas (X2): essa técnica seleciona a muda geneticamente modificada, favorecendo a alta produtividade. Essas mudas recebem um manejo diferenciado para o florescimento e produção abundante de frutos, por meio de tratamentos culturais específicos, resultando em plantas de alta qualidade produtiva;

- Escolaridade (X3): como dito anteriormente o grau de estudo que cada produtor possui o que pode influenciar ou não, na constituição, implementação e manutenção do índice tecnológico, conforme o maior ou menor grau obtido;

- Anos de experiência (X4): essa variável tem como propósito identificar a quantidade de anos trabalhados em que cada produtor possui dentro do setor;

- Monitoramento de pragas (X5): esse indicador é formado por um grupo de medidas de vigilância e fiscalização para impedir o ingresso e/ou a disseminação de pragas nas plantas por meio de ações como acompanhamento semanal das lavouras, identificando possíveis insetos dentro da lavoura e favorecendo a diminuição de aplicação de produtos químicos;

- Adubação (X6): para a adubação, considerou-se a química e a orgânica. Na adubação química, adicionam-se ao solo adubos sintéticos que contêm nitrogênio (fixado por meios industriais e transformado em nitrato), fósforo e potássio; já o adubo orgânico é formado por resíduos de origem animal e vegetal (folhas secas, restos de vegetais, restos de alimentos, esterco animal e tudo o mais que se decompõe, virando húmus);

- Cobertura morta (X7): prática agrícola que consiste em cobrir a superfície do solo com uma camada de material orgânico, geralmente sobras de culturas como a palha ou cascas, formando uma camada protetora sobre o solo que proporciona condições adversas para a germinação e o estabelecimento de espécies indesejadas e favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Com a introdução desta variável, buscou-se verificar se na produção há a utilização dessa técnica para viabilizar as condições físicas da planta;

- Classificação dos insumos (X8): prática utilizada por produtores agrícolas que favorece a comercialização, oferecendo produto de qualidade. É o ato de determinar as características intrínsecas e extrínsecas de um produto com base em padrões oficiais, físicos ou descritos. Utilizando as seguintes situações;

- Elaboração de projeto (X9): é considerada como uma técnica da gestão, é necessária para se atingir os resultados positivos no que diz respeito à eficiência na alocação de recursos para a produção. Por intermédio da referida variável, buscou-se identificar se os irrigantes adotam a função de planejamento de suas atividades;
- Investimento (X10): a importância dessa variável se configura pelo fato da necessidade de os produtores aplicarem o capital em meios de produção, visando ao crescimento da capacidade produtiva, em bens de capital, ou seja, inversões nas instalações, máquinas, equipamentos e infraestrutura; e
- Anotações para decisões (X11): representa as anotações que o produtor realiza dentro da atividade de produção, que contribuirão para uma tomada de decisão com relação a custos, receitas, quantidade produzidas, preço de venda, quantidades vendidas, entre outros.

O autor verificou a adequabilidade e magnitude das correlações das variáveis propostas através do Índice Kaiser-Mayer-Olkin (KMO), o Teste de Esfericidade de Bartlett (BTS) e a Matriz Anti-Imagem, como sugerido por Fávero *et al.* (2009).

O índice Kaiser-Mayer-Olkin (KMO), varia de 0 a 1 e compara as magnitudes dos coeficientes de correlações observados com as magnitudes dos coeficientes de correlações parciais, representando, dessa forma, uma medida de homogeneidade das variáveis, que compara as correlações parciais observadas entre as variáveis.

A estatística do KMO afirma que quanto menor o valor do respectivo teste, menor a relação entre as variáveis e os fatores, podendo o índice variar de 0 a 1,0. O índice menor que 0,5 inviabiliza o uso dessa técnica, já o índice próximo de 1,0 ratifica a utilização da técnica, conforme a Tabela 02.

Tabela 02: Estatística KMO (Kaiser-Mayer-Olkin)

KMO	Análise fatorial
0,9 a 1,0	Muito boa
0,8 < 0,9	Boa
0,7 < 0,8	Média
0,6 < 0,7	Razoável
0,5 < 0,6	Má
< 0,5	Inaceitável

Fonte: Fávero *et al.*, 2009.

Dessa maneira, na Tabela 03 são apresentadas as variáveis propostas por Sousa (2014) com seus respectivos coeficientes de correlação.

Tabela 03 - Variáveis do ITI com seus respectivos coeficientes de correlação KMO

Variável	Correlação	Variável	Correlação	Variável	Correlação
X1	0,891	X5	0,818	X9	0,661
X2	0,604	X6	0,530	X10	0,590
X3	0,646	X7	0,658	X11	0,784
X4	0,755	X8	0,843		

Fonte: Sousa, 2014.

É importante destacar que para o presente estudo não se sentiu necessidade em fazer alterações para adaptar o trabalho de Souza (2014) à presente área de estudo em virtude de que ambos foram executados para perímetros irrigados localizados no agreste nordestino, que praticam agricultura irrigada, podendo se desprezar o aspecto de adequação hidroclimatológica.

2.2.4.3. Coeficiente que considera a conservação dos serviços ambientais na bacia (K_{cons})

O Brasil, apesar de ser detentor de uma fração significativa da água doce no globo disponível a uso, também é marcado por sua distribuição irregular, onde pouco mais de 10% das águas superficiais concentram-se nas regiões de maiores demandas hídricas.

A reversão dessa situação não é tarefa simples ou barata, necessitando de ações integradas, que envolvem a construção de obras civis, planejamento do uso e cobertura do solo, restauração ambiental, racionalização do uso da água, entre outros.

Uma das maiores ameaças à quantidade e qualidade da água, tanto superficial como subterrânea é o uso agrícola, principalmente por conta da poluição difusa e uso inadequado do solo. A substituição da cobertura original do solo por culturas agrícolas, aliadas a práticas de manejo inadequadas, altera, entre outras coisas, a relação entre o escoamento superficial e a infiltração da água da chuva, resultando em erosão do solo e carreamento, além do normal, de sedimentos aos canais de drenagem.

Esse fenômeno, além de ser responsável pela aceleração do processo de assoreamento dos corpos hídricos e alterar as características físico-químicas da água – dado a presença nos sedimentos de material orgânicos, nutrientes e outros elementos químicos provenientes dos defensivos e estimulantes agrícolas –, influencia também os outros usos dos recursos hídricos, como o abastecimento humano que tem a etapa de captação e tratamento encarecida por esse excesso de sedimentos.

A supressão de áreas de vegetação natural e sua substituição por outras coberturas inapropriadas podem contribuir de forma significativa aos processos de geração, transporte e deposição de sedimentos nos canais de drenagem (CHIODI; MARQUES, 2018). As florestas de encosta, por exemplo, protegem a superfície do solo do início do processo erosivo, promovem a infiltração da água no solo e funcionam como barreiras ao transporte de sedimentos; ao redor das nascentes elas têm a função de proteção, principalmente contra a compactação e o assoreamento; ao lado dos canais, quando em largura e estrutura adequadas, podem funcionar como filtros dos sedimentos, material orgânico e elementos químicos, promovendo sua deposição antes de atingirem os cursos d'água, além de protegerem diretamente os canais contra a erosão de suas margens e contribuírem para aumentar a capacidade de armazenamento de água na bacia (VETTORAZZI, 2006).

Dessa forma, a metodologia envolvendo esta etapa do trabalho baseou-se, como afirmado anteriormente, na pesquisa bibliográfica para determinar quais as práticas conservativas mais utilizadas, tomando como referência o Programa Produtor de Água, e ao indicar um respectivo peso à cada uma delas dado sua relevância e importância à bacia hidrográfica para mensurar o peso relativo de cada um no coeficiente total

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS e DISCUSSÃO

Este capítulo apresentou a análise dos procedimentos previstos no capítulo anterior. Na primeira seção foi apresentada a análise dos registros bibliográficos das publicações científicas com a finalidade de contextualizar os procedimentos metodológicos escolhidos e justificar as escolhas tomadas; na segunda seção foram apresentados os valores para os índices propostos embasados e referenciados pela seção anterior; e na terceira seção desse capítulo foram apresentadas simulações para cenários hipotéticos com os valores propostos para a captação para abastecimento humano e agricultura irrigada no reservatório Jacarecica II localizado na sub-bacia do rio Jacarecica.

Todas as informações obtidas para este trabalho foram coletadas em páginas de domínio público na internet, junto aos órgãos reguladores e gestores dos recursos hídricos de Sergipe (SERHMA-SE), dos perímetros irrigados (COHIDRO) e em sintetizadores de informações sobre o saneamento básico (SNIS).

3.1. Levantamento bibliográfico acerca do instrumento da cobrança pelo uso da água

Como visto no Capítulo 2, em meados da década de 1990, antes mesmo da implementação do instrumento da cobrança pelo uso da água, o mesmo já era tido como ferramenta de planejamento capaz de relacionar a racionalização e otimização nos usos da água, conservação desse recurso ambiental e recuperação de custos nos serviços públicos. Dentre alguns dos pilares que nortearam as discussões naquele momento destacaram-se, por exemplo, Guimarães (1993); Lanna (1995); Cánepa, Pereira e Lanna (1999); Pereira, Lanna e Canepa (1999); Ribeiro, Lanna e Pereira (1999).

A cobrança pelo uso da água fundamenta-se nos princípios do usuário-pagador e poluidor-pagador e, de acordo com esses princípios, todos têm direito por igual ao acesso à água e a um ambiente limpo, devendo ao usuário e poluidor pagar por certa preferência ao uso e por sua poluição.

É interessante destacar que o próprio poluidor não deixa de ser um usuário da água, que faz uso do recurso para diluir e transportar efluentes; apesar de que existe uma diferença doutrinária, prática e metodológica entre eles. Contudo, independente do uso a que se destina a água captada, ao existir um custo social ou ambiental proveniente deste, esse deve ser internalizado ou assumido pelo empreendedor.

Contudo, dado o baixo volume de implantação do instrumento, vide Figura 02, em virtude principalmente da dificuldade de aceitação por parte dos usuários, hoje vigora no Brasil o princípio do ônus social, antítese dos usuário-pagador e poluidor-pagador, em

que toda a sociedade paga pela preservação e despoluição dos corpos d'água, visto que quando o Poder Público aplica parte de seu orçamento para cumprir um determinado plano, ou para realizar um certo programa, está onerando a comunidade como um todo.

Mas isso não se deve apenas pela pouca implementação do instrumento, mas também porque os princípios norteadores da cobrança não estão efetivamente implementados, apesar de existirem em tese, na Lei 9.499/1997.

Contudo, mesmo que regulamentado, haverá um limite para o valor cobrado, visto que não é possível para o usuário assumir todo o custo de seu uso, independente de qual seja, em virtude da propriedade holística da água. Isso implica que haverá o rateio de custos entre Estado, usuário e sociedade comum.

Como afirmado anteriormente, a pesquisa é de abordagem qualitativa que faz uso do método exploratório e, devido à ausência de uma fonte específica de informações e dados que concentrasse a relação de especialistas que possuem conhecimento acerca dos conceitos trabalhados, o critério de seleção escolhido para definir a amostra foi o conhecimento por parte do autor e dos orientadores na pesquisa de trabalhos relevantes e atuais acerca do tema.

Para ilustrar a maneira como a cobrança foi sendo incorporada na literatura, optou-se por apresentar um quadro demonstrativo dessa evolução que engloba a última década, com uma classificação dos estudos segundo a abordagem e os seguintes aspectos analisados (Quadros 10 a 13):

- Estudos que se basearam nas proposições de elasticidade-preço;
- Estudos que trouxeram contribuição metodológica;
- Estudos que abordaram aspectos teóricos sobre instrumentos econômicos; e
- Estudos que analisaram impactos da cobrança sobre os usuários.

Quadro 10 – Estudos que se basearam nas proposições de elasticidade-preço do instrumento da cobrança pelo uso da água no Brasil

Estudos que se basearam nas proposições de elasticidade-preço	
Referência	Aspecto analisado
Pereira (2012)	Analisa alguns instrumentos econômicos de políticas públicas, criados pela legislação federal e estadual, e aplicáveis ao estado de Roraima
Demajorovic; Caruso; Jacobi (2015)	Analisa os impactos da cobrança no comportamento dos usuários industriais na bacia hidrográfica do PCJ
Magalhães Filho; Vergara; Rodrigues (2015)	Estudo para implementar cobrança no rio Formoso - TO. Considera que água tem diferentes valores de uso, logo, apresenta diferentes valores de troca.
Sousa; Silva; Martins; Vergara (2015)	Simulação de cobrança pelo uso dos recursos hídricos na bacia do ribeirão Taquarussu Grande, Palmas-TO
Almeida;Curi (2016)	Analisa a gestão de uso da água na bacia do rio Paraíba com base em modelos de outorga e cobrança, além de sugerir uma metodologia para formação do PU (arrecadatória e econômica)
Ribeiro (2016)	Desenvolveu critérios de cobrança pelo uso da água a partir da consideração do manancial de captação e regularização de vazões
Mattiuzi; Medellin-Azuara.; Goldenfum (2017)	Avaliou o valor econômico da água utilizada em uma região agrícola de arroz e soja, a partir da obtenção das curvas de benefício marginal, as quais relacionam a disposição do usuário a pagar pela água com a disponibilidade de água
Oliveira (2017)	Aplicação de metodologias relacionadas à valoração da água para as bacias do rio Grande e do rio Paranaíba, em função do tipo de manancial de captação, da utilização de reservatórios de regularização de vazões, da sazonalidade de vazões e da efetiva demanda hídrica das culturas
Diniz (2020)	Avaliou se a cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio Jundiá (SP) alcançou os objetivos dispostos nas legislações sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e sobre a Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos (Lei Estadual nº 12.183/2005)

Quadro 11 – Estudos trouxeram contribuição ou revisão metodológica do instrumento da cobrança pelo uso da água no Brasil (continua)

Estudos que trouxeram contribuição ou revisão metodológica	
Referência	Aspecto analisado
Pimentel (2012)	Elaborou um coeficiente para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos no setor rural que incorpora o custo de produção de culturas agrícolas e a vazão captada de água
Aquino; Gomes; Souza Filho; Silva (2013)	Mensura o impacto da recuperação de investimentos em Infraestrutura Hídrica
Garcia; Romeiro (2013)	Valoração da água sob uma abordagem econômica ecológica
Moreira (2014)	Propor mecanismos alternativos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos no que se refere à assimilação de efluentes, procurando-se a inserção de novos parâmetros, além da DBO, como critério de cálculo; e avaliar o potencial de arrecadação tomando-se como estudo de caso a bacia hidrográfica do rio Doce
Rodrigues; Aquino (2014)	Análise comparativa entre as metodologias de cobranças dos Estados do Ceará e de São Paulo
Finkler <i>et al.</i> (2015)	Revisão metodológica da aplicação da cobrança
Magalhães Filho; Vergara; Rodrigues (2015)	Estudo para implementar cobrança no rio Formoso - TO. Considera que água tem diferentes valores de uso, logo, apresenta diferentes valores de troca.
Rodrigues; Aquino; Thomaz (2015)	Aplicação da análise por envoltória para avaliar o desempenho da cobrança nas principais categorias de uso das bacias do Estado do Ceará
Vasconcellos; Brabo; Costa; Ferreira; Beltrão (2015)	Analizou experiências de cobrança pelo uso da água no Brasil e o contexto de sua aplicação no Estado do Pará
Araújo; Coutinho (2016)	Análise da disposição a pagar por métodos de cobrança da água bruta em perímetros irrigados
Novaes; Silva (2016)	Aplicação de metodologia de Disposição a Pagar para avaliar a aplicação da cobrança
Ramos (2016)	Valoração da água com base na disponibilidade sazonal de recursos hídricos e na efetiva demanda hídrica das culturas na bacia do Paracatu
Schechi (2016)	Regionalizou a estrutura básica de cobrança pelo uso da água através da inserção, à fórmula de cobrança, de um coeficiente de disponibilidade hídrica que considera características físicas da bacia hidrográfica
Gutierrez; Fernandes; Rauen (2017)	Estabeleceu uma relação entre os valores cobrados e o volume consumido de água residencial mediante a análise de indicadores de consumo e de remuneração da população

Quadro 11 – Estudos trouxeram contribuição ou revisão metodológica do instrumento da cobrança pelo uso da água no Brasil (continuação)

Referência	Aspecto analisado
Rodrigues; Aquino; Thomaz (2017)	Utilizaram ferramenta computacional para analisar eficiência da cobrança no setor de abastecimento público
Ladwig; Silva; Back (2017)	Análise da eficiência e do impacto da cobrança na cultura de arroz
Garrido (2018)	Análise de preços ótimos e preços praticados na bacia do Paraíba do Sul
Silva Neto (2018)	Desenvolver um modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos capaz de induzir o uso mais racional da água através de maior objetividade, completeza, parcimônia e transparência dos processos envolvidos em sistemas de recursos hídricos controlados por reservatórios
Acselrad; Souza; Bastos; Johnsson (2019)	Fez um registro da evolução do PU da cobrança no Estado do Rio de Janeiro, desde o seu valor inicial estipulado de forma compulsória em 2004, até 2019, com os colegiados de recursos hídricos atuando de forma propositiva
Rosa (2019)	Avaliou a situação da cobrança e o alcance de seus objetivos, por meio de técnicas de pesquisa qualitativa e entrevistas semiestruturadas
Ferreira; Ribeiro; Beltrão; Merlin (2020)	Identificou os critérios de incidência e de destinação da taxa hídrica, da compensação financeira e da cobrança pelo uso da água para, em seguida, construir uma análise crítica da natureza jurídica de cada um deles
Magro (2021)	Proposta de roteiro metodológico que possa contribuir em futuras revisões de estudos de fundamentação de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio do estado de São Paulo
Vilarinho; Muller; Cavalcante; Costa; Gonçalves (2021)	Avaliou a cobrança pelo uso da água e sua eficácia na melhoria do Índice de Qualidade da Água (IQA) estabelecida pelo órgão gestor
Rodrigues; Aquino; Thomaz; Lima; Pereira (2022)	Avaliou a eficiência relativa, por meio da análise envoltória de dados, do instrumento da cobrança pela água bruta das principais categorias de uso nas bacias cearenses

Quadro 12 – Estudos que abordaram aspectos teóricos sobre instrumentos econômicos na cobrança pelo uso da água no Brasil (continua)

Estudos que abordaram aspectos teóricos sobre instrumentos econômicos	
Referência	Aspecto analisado
Botelho; Silva; Leite (2012)	Diferentes perspectivas sobre a cobrança
Silva (2012)	Participação social e implementação da cobrança
Zapelini (2012)	Análise documental e entrevistas para verificar a prioridade da cobrança dentro do Comitê de Bacia
Campos (2013)	Perspectiva histórica da gestão integrada
Garcia; Romeiro (2013)	Análise dos preços praticados sob uma perspectiva econômica ecológica
Godecke (2014)	Análise da experiência brasileira e internacional da cobrança para mensurar o real valor do recurso
Sousa; Silva; Martins; Vergara (2015)	Simulação de cobrança pelo uso dos recursos hídricos na bacia do ribeirão Taquarussu Grande, Palmas-TO
Lopes; Neves (2016)	Perspectiva histórica da aplicação da cobrança pelo uso da água no Estado de São Paulo
Armada; Lima (2017)	Abordagem jurídica sobre o instrumento da cobrança
Correa (2017)	Uma análise da cobrança fundamentada no princípio do usuário-pagador
GVces (2017)	Estudo sobre utilização de instrumentos econômicos para gerir os recursos hídricos
Silva (2017)	Avaliou a gestão dos recursos hídricos no Estado de São Paulo (2010 até 2015), levando em consideração a crise hídrica entre 2013 e 2015, através uma análise dos dados oficiais a partir de indicadores de gastos em investimento
Schechi et al. (2017)	Análise das relações entre cobrança pelo uso da água e aplicação do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e prestação de Serviços (ICMS) Ecológico
Bof (2018)	Avaliou os trade-offs econômicos entre energia e produção agrícola irrigada na região e mostrar como essa informação poderia contribuir para a alocação negociada da água, a partir do seu valor econômico, comparando com o sistema de alocação atual
Costa; Almeida (2018)	Análise da eficiência da entidade delegatária em relação à aplicação dos recursos arrecadados através da cobrança pelo uso da água
Cerqueira (2019)	Estudo metodológico de contribuição e análise sobre mercados de água e cobrança pelo uso de recursos hídricos
Fadel; Marques (2019)	Parte do reconhecimento da água como um recurso escasso como sendo fundamental para a constatação de que deve ser compreendida como um bem econômico com ênfase nas políticas de alocação de água

Quadro 12 – Estudos que abordaram aspectos teóricos sobre instrumentos econômicos na cobrança pelo uso da água no Brasil (continuação)

Referência	Aspecto analisado
Ferreira; Ribeiro; Dutra (2020)	Verificou a aplicação da valoração econômica dos recursos naturais como uma metodologia para fornecer uma estimativa econômica dos serviços ambientais relacionados aos recursos hídricos
Batista (2020)	Avaliou o comportamento dos usuários de recursos hídricos no Brasil de uma bacia hidrográfica de domínio federal em decorrência dos critérios adotados para outorga e cobrança em cada UP da bacia
Picoli (2020)	Analisou o papel da cobrança enquanto instrumento de gestão das águas na construção de um sistema integrado de gestão dos recursos hídricos, dentro de um contexto de urbanização acelerada e ausência de investimentos em infraestrutura básica que resultou na diferença entre disponibilidade e demandas hídricas

Quadro 13 – Estudos que analisaram impactos da cobrança sobre os usuários (continua)

Estudos que analisaram impactos da cobrança sobre os usuários	
Referência	Aspecto analisado
Pires (2013)	Analisou a possibilidade da cobrança pelo uso da água provocar um aumento significativo nos custos de produção da lavoura de arroz, inviabilizando sistemas de produção
Freitas (2014)	Analisou o processo de discussão para a implementação da cobrança pela utilização dos recursos hídricos no Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (2006 a 2010), de modo a examinar como ocorreu o processo participativo e qual foi o nível de participação das entidades estatais, dos municípios e da sociedade civil
Demajorovic; Caruso; Jacobi (2015)	Analisa os impactos da cobrança no comportamento dos usuários industriais na bacia hidrográfica do PCJ
Furquim (2017)	Foram elaborados cenários alternativos à configuração atual de uso do solo pela agricultura irrigada, decorrentes dos diferentes valores de cobrança a serem instituídos gradualmente
Mendonça; Carra; Broch; Sobrinho (2017)	Análise do posicionamento do setor industrial em relação à cobrança através dos seus preços
Ostrensky; Garcia (2017)	Análise do impacto econômico da cobrança sobre os usuários industriais na região metropolitana de Curitiba
Alencar; Moreira; Silva (2018)	Analisou o custo da cobrança pelo uso da água no cerrado brasileiro

Quadro 13 – Estudos que analisaram impactos da cobrança sobre os usuários (continuação)

Referência	Aspecto analisado
Barateiro (2019)	Avaliou a precificação de água bruta para o setor de abastecimento urbano no estado do Rio Grande do Norte e analisar a sensibilidade deste setor a aplicação da cobrança, propondo uma tabela de preços unitários de tarifas
Furquim; Abdala (2019)	Apresentou um panorama de sustentabilidade da expansão da agricultura irrigada em Goiás

Após análise sobre a evolução dos estudos que abordaram o tema da cobrança pelo uso da água é possível depreender que:

- A aplicação desse instrumento não se baseou nas análises de elasticidade-preço, dado os baixos valores aplicados atualmente;
- Com o passar dos anos os estudos deixaram propor uma metodologia de precificação da água e passaram a aceitar a informalidade em sua definição; e
- A agricultura irrigada, responsável por grande parte da captação e uso da água, tem valor da cobrança irrisório se comparado aos usos priorizados por lei (abastecimento humano e dessedentação animal). Anteriormente esse valor poderia justificar-se no potencial poluidor dos efluentes humanos e industriais, contudo hoje, em virtude do grande número de agrotóxicos aprovados por lei e de seu potencial de bioacumulação, o valor precisa ser revisto.

3.2. Relação entre o volume medido e o volume outorgado (Q_{med}/Q_{out})

Segundo o Plano da Bacia Hidrográfica do rio Sergipe (SERGIPE, 2015), a disponibilidade hídrica é bastante reduzida na parte alta da UP Jacarecica. Em sua porção média e baixa, como nas UPs do Baixo Sergipe, Cotinguiba e Poxim, existe maior produção de água, respondendo praticamente pelo total da disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Sergipe.

Dessa forma, nota-se que em uma área correspondente a aproximadamente 40% do total da bacia está concentrada quase que a totalidade das águas, provenientes do Rio Sergipe em sua parte baixa e de seus afluentes Jacarecica, Cotinguiba e Poxim; ratificando a dependência de fontes externas ou de águas subterrâneas para o atendimento das demandas hídricas.

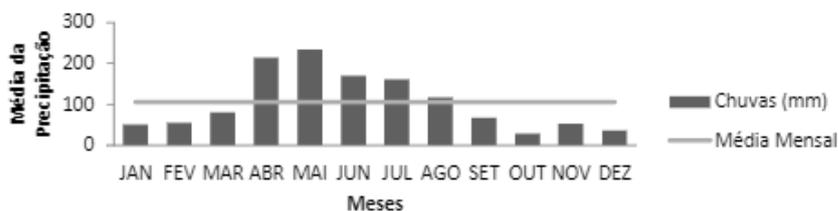
Como apresentado no capítulo anterior, a equação proposta pelo estudo foi pensada para levar em consideração a sazonalidade e volumes outorgado, outorgável e medido. Essas características são representadas pelo índice Q_{bacia} , na Equação (6).

$$Q_{bacia} = K_P(K_{out} \cdot Q_{cap\ out} + K_{med} \cdot Q_{cap\ med}) \quad (6)$$

O peso atribuído à sazonalidade hidrológica da bacia (K_P) foi dimensionado em função da precipitação na bacia. Batista e Gonçalves (2015) mostraram que o período chuvoso para a sub-bacia hidrográfica do rio Jacarecica ocorre de abril a agosto (Figura

11), sendo assim nada mais justo que nesse período em que, teoricamente a disponibilidade hídrica é maior, o valor da captação seja reduzido.

Figura 11 – Média Thiessen da precipitação mensal da sub-bacia hidrográfica do rio Jacareica



Fonte: Batista; Gonçalves (2015)

Sendo assim, baseando-se em trabalhos como o de Goiás (2016), Ceará (2017) e São Paulo (2020), a relação entre a sazonalidade de hídrica (K_p), o volume outorgado (K_{out}) e efetivamente captado pelo usuário (K_{med}) é dada em função do índice de disponibilidade hídrica (DH) e de sua especulação (IEH) da seguinte forma (Quadro 14):

Quadro 14: Relação entre os índices K_{out} , K_{med} e K_p com o IEH e DH.

IEH	DH	K_{out}	K_{med}	K_p^*	K_p^{**}
< 0,7	> 0,6	0,7	0,3	0,8	0,6
< 0,7	< 0,6	0,7	0,3	0,9	0,7
$1,0 > IEH \geq 0,7$	> 0,6	0,6	0,4	0,7	0,5
$1,0 > IEH \geq 0,7$	< 0,6	0,6	0,4	0,8	0,6
> 1,0	< 0,6	0,5	0,8	0,9	0,7

K_p^* índice considerado nos períodos mais secos da bacia; K_p^{**} índice considerado nos períodos chuvosos da bacia.

Para situações as quais não há medição da vazão captada deve-se assumir que a vazão outorgada é igual à captada, então $K_{out}=1,0$; $K_{med}=0$; $K_p^*=0,6$; e $K_p^{**}=0,4$. Já para casos em que nem o usuário nem o órgão gestor considera variação da disponibilidade hídrica em função da sazonalidade hidrológica no pedido de outorga, deve-se assumir $K_p=1,0$.

3.3. Coeficiente que leva em conta as dimensões de desempenho dos SAAs (K_{SAA})

Como conhecido, a água é um recurso essencial à sobrevivência da humanidade, que por sua vez é sua principal usuária e também sua maior poluidora. O fluxo de

movimento de água para consumo pode ser resumidamente descrito como seu movimento de onde se encontra disponível para onde seja necessário, e removê-la após a utilização, com seu retorno ao ambiente.

Em todo esse processo de manipulação, a água sofre diversas modificações em suas características de qualidade e quantidade, que refletem em uma diminuição de sua disponibilidade, tanto para o uso humano, quanto para os processos ecológicos.

Com o surgimento e a difusão do conceito de desenvolvimento sustentável, que implica na premissa de que a presente e próximas gerações possam satisfazer suas necessidades, a água passa a ser considerada um recurso esgotável e objeto de grande preocupação em termos de sua disponibilidade. Além deste aspecto ambiental, também são motivos de atenção outras dimensões da sustentabilidade associadas à água, como a social, a econômica e a política, para que se possa ter melhor qualidade de vida para a população.

Para a região Nordeste a sustentabilidade e desempenho dos sistemas de abastecimento humano é de caráter mais urgente, visto que grande parte do território apresenta características de clima semiárido. Dessa maneira, para enfrentar as dificuldades encontradas no setor de saneamento se faz necessário a utilização de ferramentas que auxiliem na sua gestão. Sendo assim, a utilização de indicadores de desempenho, medida quantitativa da eficiência dos serviços prestados à população por parte de uma entidade gestora referente a aspectos específicos, são fundamentais para traduzirem as informações de modo claro, racional e transparente.

Os sistemas de distribuição de água estão diretamente relacionados aos conceitos de sustentabilidade em todas as suas dimensões: ambiental, política, social e econômica. Dito isso, a avaliação da sustentabilidade é de extrema importância para promover o aumento da qualidade de vida da população, garantindo saúde, acesso aos serviços, melhorias no sistema e um mínimo de danos ao meio ambiente.

Sendo assim, o desempenho sustentável nos sistemas de abastecimento de água pode ser avaliado dentro das dimensões da qualidade do produto, eficiência operacional e gestão estratégica. Essas macrodimensões são subdivididas em índices já trabalhados por diversas entidades e organizações nacionais e internacionais, como o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR), o programa desenvolvido pelo Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento (PNQS), a *Water Association (IWA)*, *Asociación de Entes Reguladores de*

Agua Potable e Saneamiento de las Americas (ADERASA). Oliveira (2016) agrupou essas subdivisões em sete critérios, como apresentado no Quadro 15.

Quadro 15: Indicadores distribuídos conforme dimensões e aspectos do desempenho de SAA

DIMENSÕES	CRITÉRIOS		ASPECTOS OBSERVADOS
Qualidade do Produto	1	Qualidade da água e quantidade ofertada (QUALI)	Atendimento aos padrões de potabilidade e controle do processo
			População atendida / Quantidade fornecida
Eficiência Operacional	2	Operação e eficiência energética (OPER)	Eficiência energética
	3	Manutenção/qualidade do serviço (MANUT)	Operação
Manutenção			
Gestão Estratégica	4	Disponibilidade hídrica e capacidade instalada (DISPO)	Qualidade do serviço / Satisfação da população
			Disponibilidade hídrica
	5	Planejamento/Potencial de antecipação (PLAN)	Capacidade instalada
			Planejamento
	6	Proteção e respeito às questões ambientais (PROT)	Potencial de antecipação
			Proteção aos recursos hídricos
	7	Capacidade de cobertura dos custos e investimentos (COBER)	Respeito às questões ambientais
Capacidade de cobertura dos custos			
Capacidade de cobertura dos investimentos			

Fonte: OLIVEIRA, 2016.

Para apresentar a maneira como o uso de indicadores de sustentabilidade nos SAAs está sendo incorporada na literatura, foi construído um quadro demonstrativo que engloba a última década (Quadro 16).

Quadro 16 – Estudos que desenvolveram ou aplicaram índices de eficiência em Sistemas de Abastecimento de Água (continua)

Referência	Aspecto analisado
Camboim (2012)	Desenvolveu um sistema Fuzzy para o controle de pressão de redes de distribuição de água com o objetivo de reduzir o consumo energético
Carvalho (2012)	Desenvolveu um controlador não-linear aplicável a redes pressurizadas de distribuição de água setorizadas, automatizadas e com sistema de bombeamento distribuído, visando diminuir o consumo de energia elétrica
Vicentini (2012)	Trabalhou com índices de desempenho que envolviam perdas de água nos sistemas de abastecimento
Vilanova (2012)	Propôs, desenvolveu e aplicou quatro indicadores de desempenho dos SAAs (indicador de operação otimizada de bombeamento, indicador de recuperação de energia hidráulica, indicador de carga hidráulica disponibilizada e indicador de eficiência hídrica)
Carvalho (2013)	Desenvolveu um conjunto de indicadores para avaliação da prestação de serviços de abastecimento de água que capturou e comparou o desempenho a partir da perspectiva do usuário dos serviços e do prestador de serviços
Gebrim (2013)	Desenvolveu um modelo de otimização para o sistema de abastecimento do rio Descoberto, no Distrito Federal, para redução do consumo elétrico
Lamoglia (2013)	Analisou a operação de setores do sistema de distribuição de água com vistas à eficiência hidroenergética
Scaratti; Michelon; Scaratti (2013)	Avaliou eficiência da gestão dos serviços municipais de abastecimento de água e esgotamento sanitário utilizando-se da abordagem <i>Data Envelopment Analysis</i>
Botelho (2014)	Utilizou das tecnologias de informação ao desenvolvimento de uma ferramenta informática que permitirá às Entidades Gestoras agregar toda a informação decorrente das diversas atividades relacionadas com a gestão de água para consumo humano
Rasera (2014)	Elaborou indicadores destinados à melhoria do acesso aos serviços de abastecimento de água de São Paulo através do modelo de regulação <i>Sunshine</i>

Quadro 16 – Estudos que desenvolveram ou aplicaram índices de eficiência em Sistemas de Abastecimento de Água (continuação)

Referência	Aspecto analisado
Ensslin.; Ensslin; Kusterko; Chaves (2015)	Selecionou e identificou artigos de forma estruturada sobre o tema “Avaliação de Desempenho em Sistemas de Abastecimento de Água”
Araújo; Silva Filho; Silva; Cabral Filha; Nogueira (2016)	Avaliou o desempenho dos serviços de abastecimento de água na região Nordeste do Brasil através de indicadores de desempenho
Biasutti (2016)	Revisou, registrou e avaliou comparativamente os tipos de indicadores de perdas utilizados atualmente no Brasil, identificando as variações nas terminologias, unidades e fórmulas
Carvalho (2016)	Propôs um método de simulação de desempenho por bombeamento fotovoltaico para otimização dos custos em energia elétrica
Oliveira (2016)	Propôs um método multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de abastecimento de água (SAAs)
Sobrinho; Borja (2016)	Identificou os fatores técnicos, operacionais, econômico-financeiros, administrativos e gerenciais que têm influenciado na efetividade da gestão das perdas de água e eficiência energética em sistemas públicos de abastecimento de água da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA)
Sobreira; Fortes (2016)	Identificou por dados do SNIS o panorama de perdas de água na distribuição no estado do Piauí de 2010 a 2014, e o comparou com a situação do país e da região Nordeste
Pertel; Volschan Junior; Azevedo (2017)	Definiu critérios para o estabelecimento de parâmetros de avaliação de desempenho operacional (benchmarking) utilizando como referência 22 prestadores regionais de serviços de saneamento no Brasil
Ribeiro; Andrade; Zambon (2017)	Definiu e apresentou ações que possam ajudar a melhorar a prestação do serviço e a sustentabilidade econômica no setor de saneamento
Duarte (2018)	Analisou a eficiência hidroenergética em sistemas de abastecimento de água

Quadro 16 – Estudos que desenvolveram ou aplicaram índices de eficiência em Sistemas de Abastecimento de Água (continuação)

Referência	Aspecto analisado
Kusterko; Ensslin; Ensslin; Chaves (2018)	Construiu um modelo de avaliação de desempenho para gerir as perdas no sistema de abastecimento de água
Santi (2018)	Identificou, no contexto das operadoras das bacias PCJ, quais práticas de controle estão associadas aos desempenhos superiores no controle de perdas de água na distribuição
Bezerra; Pertel; Macêdo (2019)	Avaliou o abastecimento de água de municípios do Agreste brasileiro com base em indicadores do SNIS relacionados às perdas de água
Castro (2019)	Avaliou, com base em indicadores e índices a sustentabilidade do sistema hídrico da bacia do rio Descoberto frente a diferentes cenários
Barros; Lima (2020)	Analisou o volume de perdas da cidade de Porto Nacional/TO e as soluções e medidas tomadas para um melhor desempenho da distribuição de água

Ao analisar os trabalhos acima citados percebeu-se um predomínio de indicadores de desempenho voltados às perdas e gastos com energia elétrica no sistema.

Esses dois índices se complementam, visto que a complexa relação entre aumento de demanda, expansão urbana e ausência de investimentos e manutenção preventiva é uma realidade presente no contexto dos sistemas de abastecimento humano de água.

Como mostrado anteriormente, as perdas de água nos SAAs ocorrem de duas maneiras: as perdas aparentes e reais. O controle das primeiras depende muito mais de ações gerenciais e de fiscalização contínua, o que é de difícil mensuração, visto que depende de investimentos internos e treinamentos. Já as perdas reais são mais fáceis de se identificar e de solucionar, contudo também necessitam de investimentos constantes em manutenção preventiva e corretiva.

As perdas reais se tornam cada vez mais presentes dada a necessidade de ampliação da rede por conta da expansão urbana, o que gera um aumento da carga dos sistemas existentes por meio de estações de bombeamento. A queda em investimentos em ações de desenvolvimento operacional, somados a esse aumento de energia para transportar a água, resulta em elevados níveis de pressões atuantes, fazendo com que as empresas prestadoras de serviços de distribuição de água invistam em válvulas redutoras de pressão (VRP), uma solução ideal para o problema de aumento de carga piezométrica na rede, mas não indicada para resolver definitivamente a problemática geral.

Contudo existe uma contradição muito grande na solução apresentada acima: se existe pressão em excesso devido a elevada cota piezométrica dos reservatórios, pode-se questionar a eficiência energética do sistema, visto que foi gasto energia elétrica para recalcar a água até os reservatórios, e agora esta energia estaria sendo dissipada utilizando as válvulas redutoras de pressão.

Sendo assim, o presente estudo investiu esforços em propor um coeficiente de eficiência relacionado às perdas reais, visto que indiretamente está trabalhando concomitante na eficiência energética, já que o sistema não precisaria impor mais energia para compensar a perda de pressão por conta dos vazamentos.

Além das propostas de indicadores apresentadas nos trabalhos citados no Quadro 16, foram analisados os indicadores de perdas oriundos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

O SNIS utiliza 84 indicadores divididos em quatro categorias: financeiros, operacionais, de qualidade e balanço contábil para avaliar a qualidade dos serviços de saneamento básico no Brasil. Nesse estudo, foram elencados dois indicadores

operacionais do componente Água e Esgotos da base de dados do SNIS para realizar as análises. Os indicadores operacionais selecionados foram: índice de atendimento total de água (IATA) e índice de perdas na distribuição (IPD). Na Tabela 04 estão as equações utilizadas no cálculo para obtenção dos índices pelo SNIS.

Tabela 04 – Indicadores para avaliação do SAAs e suas respectivas equações

Indicadores	Equação	Informações das siglas adotadas
IATA (%)	$IATA = \frac{PTABA}{PTM} \times 100$	<ul style="list-style-type: none"> - <i>PTABA</i>: população total dos municípios atendida com abastecimento de água ano de referência (habitantes) - <i>PTM</i>: população total dos municípios, segundo o IBGE 2010 (habitantes)
IPD (%)	$IPD = \frac{(VAP + VATI) - (VAC - VS)}{VAP + VATI - VS}$	<ul style="list-style-type: none"> - <i>VAP</i>: volume de água produzido (m³/ano) - <i>VAC</i>: volume de água consumido (m³/ano) - <i>VATI</i>: Volume de água tratada importado (m³/ano) - <i>VS</i>: Volume de serviço (m³/ano)

Fonte: Adaptado do SNIS, 2021.

Dado o caráter universal da necessidade de água potável à sobrevivência humana, o presente trabalho adapta esses indicadores supracitados trazendo o aspecto social e ambiental buscado pelo desenvolvimento sustentável. Sendo assim, o índice K_{SAA} proposto para equação da cobrança é calculado segundo a Equação (12).

$$K_{SAA} = 1 + \frac{IPD}{IATA} \quad (12)$$

O índice K_{SAA} além de levar em consideração as perdas de água na distribuição, considera o índice de atendimento total de água, abordando dessa maneira duas das principais obrigações dos sistemas de abastecimento de água: eficiência e universalidade no fornecimento de água potável, visto sua importância à solução de problemas relacionados à saúde humana.

3.4. Coeficiente que leva em conta o Índice Tecnológico dos Irrigantes (K_{ITI})

Como visto no Capítulo 1, a agricultura irrigada é o conjunto de técnicas e equipamentos programados e operados de maneira racional para alcançar o objetivo principal que é o de irrigar as plantas, proporcionando boa produtividade.

Sendo assim, a incorporação e expansão de áreas irrigadas devem estar associadas ao uso sustentável e eficiente da água, para evitar danos permanente aos sistemas naturais. Nesse sentido são muitas as preocupações em relação à condução desse processo produtivo, pois dada a intensiva demanda por alimentos que dependem essencialmente desse modelo produtivo, seu uso resulta, muitas vezes, em uma exploração desconsiderando preceitos da sustentabilidade ambiental.

Somados a isso, no Brasil, a escassez (carência) hídrica já é notória e traz diversos transtornos para algumas regiões, em maior proporção no Nordeste. A Agência Nacional de Águas (ANA) tem alertado sobre o aumento dos conflitos pelo uso da água na região, que tem a seca como uma das principais causas da falta de água. Dentre os eventos de seca identificados no país de 2017 a 2020, o Nordeste lidera com 80% dos 8.227 registros, prejudicando o abastecimento público e a oferta de água para as atividades econômicas (ANA, 2021).

Dessa maneira, em razão das mudanças do clima e do aumento da frequência de eventos hidrológicos extremos, que afetam a disponibilidade de água e, que impactam as demandas associadas à geração de energia elétrica e consumo industrial, é imprescindível aumentar a eficiência do uso da água na agricultura, produzindo maior quantidade de alimentos por volume de água utilizado.

Dado todo contexto apresentado e embasado no levantamento bibliográfico apresentado nos Quadros 08 a 11, além de estudos como os de Ceará (2017), Sousa *et al.* (2017), Melo *et al.* (2018), Camilo *et al.* (2019), Ely *et al.* (2019), Sousa (2020), Santos *et al.* (2021), dentre muitos outros, que o presente estudo decidiu por mensurar o índice relacionado à tecnologia dos irrigantes apenas na eficiência dos sistemas de irrigação implantados.

Para as faixas de eficiência apresentadas na Tabela 05, que são as já consolidadas na bibliografia, o K_{ITI} é igual a 1,00, ou seja, aplica-se a cobrança padrão ao usuário. Para eficiências maiores ou menores que a padrão o K_{ITI} vai majorar ou minorar o valor cobrado, como apresentado nos Quadros 17 a 23.

Tabela 05: Indicadores de eficiência de uso da água para sistemas de irrigação

Método	Sistema de irrigação	Eficiência de Referência (%)
Superfície	Sulcos	60 a 70
	Inundação	50 a 60
Aspersão	Convencional com linhas laterais ou malha	70 a 80
	Pivô central	75 a 85
	Linear	80 a 90
Localizado	Gotejamento	85 a 95
	Microaspersão	80 a 90

Fonte: Adaptado de ANA, 2017.

Quadro 17 – Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por inundação

Eficiência do sistema de inundação (%)	K_{ITI}	Impacto na cobrança
$0 \leq E \leq 25$	1,40	Acréscimo
$25 \leq E \leq 50$	1,20	Acréscimo
$50 \leq E \leq 60$	1,00	Inalterado
$60 \leq E \leq 80$	0,80	Redução
$80 \leq E \leq 100$	0,60	Redução

Quadro 18 – Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por sulcos

Eficiência do sistema de sulcos (%)	K_{ITI}	Impacto na cobrança
$0 \leq E \leq 20$	1,60	Acréscimo
$20 \leq E \leq 40$	1,40	Acréscimo
$40 \leq E \leq 60$	1,20	Acréscimo
$60 \leq E \leq 70$	1,00	Inalterado
$70 \leq E \leq 85$	0,80	Redução
$85 \leq E \leq 100$	0,60	Redução

Quadro 19 – Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por aspersão convencional

Eficiência do sistema de aspersão convencional (%)	K_{ITI}	Impacto na cobrança
$0 \leq E \leq 30$	1,60	Acréscimo
$30 \leq E \leq 50$	1,40	Acréscimo
$50 \leq E \leq 70$	1,20	Acréscimo
$70 \leq E \leq 80$	1,00	Inalterado
$80 \leq E \leq 90$	0,80	Redução
$90 \leq E \leq 100$	0,60	Redução

Quadro 20 – Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por pivô central

Eficiência do sistema de pivô central (%)	K_{ITI}	Impacto na cobrança
$0 \leq E \leq 30$	1,60	Acréscimo
$30 \leq E \leq 50$	1,40	Acréscimo
$50 \leq E \leq 75$	1,20	Acréscimo
$75 \leq E \leq 85$	1,00	Inalterado
$85 \leq E \leq 95$	0,80	Redução
$95 \leq E \leq 100$	0,60	Redução

Quadro 21 – Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por aspersão linear

Eficiência do sistema de aspersão linear (%)	K_{ITI}	Impacto na cobrança
$0 \leq E \leq 30$	1,60	Acréscimo
$30 \leq E \leq 50$	1,40	Acréscimo
$50 \leq E \leq 80$	1,20	Acréscimo
$80 \leq E \leq 90$	1,00	Inalterado
$85 \leq E \leq 95$	0,80	Redução
$95 \leq E \leq 100$	0,60	Redução

Quadro 22 – Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por gotejamento

Eficiência do sistema de irrigação por gotejamento (%)	K_{ITI}	Impacto na cobrança
$0 \leq E \leq 30$	1,60	Acréscimo
$30 \leq E \leq 60$	1,40	Acréscimo
$60 \leq E \leq 85$	1,20	Acréscimo
$85 \leq E \leq 95$	1,00	Inalterado
$95 \leq E \leq 100$	0,80	Redução

Quadro 23 – Coeficientes relacionados à eficiência de irrigação por microaspersão

Eficiência do sistema de irrigação por microaspersão (%)	K_{ITI}	Impacto na cobrança
$0 \leq E \leq 30$	1,60	Acréscimo
$30 \leq E \leq 50$	1,40	Acréscimo
$50 \leq E \leq 80$	1,20	Acréscimo
$80 \leq E \leq 90$	1,00	Inalterado
$90 \leq E \leq 100$	0,80	Redução

Como nota-se nos quadros acima, o índice K_{ITI} tem por objetivo estimular o aumento da eficiência nos sistemas de irrigação, que pode ser feito através das ações apresentadas no Quadro 24.

Quadro 24 – Ações para aumentar a eficiência nos sistemas de irrigação

Área de atuação	Ações
Campo	Melhorar precisão de quanto e quando irrigar
	Monitorar a umidade disponível no solo
	Conhecimento das necessidades hídricas das culturas irrigadas
Técnico-administrativas	Ampliação do monitoramento climático e disponibilização de dados
	Conhecimento da capacidade de armazenamento dos solos e divulgação da umidade disponível
Sistemas	Avaliar e manter boa uniformidade de aplicação de água pelos sistemas de irrigação
	Reduzir perdas no sistema
	Investimento em manutenção preventiva

3.5. Coeficiente que leva em conservação dos serviços ambientais na bacia (K_{cons})

A água é fundamental para a vida de todo ser vivo e o manejo consciente deste recurso é de extrema importância. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2020), o Brasil tem 12% de toda água potável do mundo e, mesmo com toda essa abundância, nem todos têm acesso igual à água: o abastecimento é prejudicado em virtude das variações climáticas ao longo do ano e, ou, inadequações resultantes de limitações socioeconômicas.

Além disso, a utilização dos recursos naturais de maneira imprudente tem provocado impactos desastrosos ao meio ambiente: as florestas têm sido destruídas, a paisagem alterada, grandes extensões de terras em função da mudança de uso do solo perderam a fertilidade pela erosão decorrente da remoção da vegetação original provocando a perda dos nutrientes, parte da fauna foi dizimada e as fontes de água foram sendo reduzidas.

Dentre os impactos acima citados, os principais fatores que geram alterações no ciclo hidrológico são as mudanças de uso do solo, compactação dos solos e erosão, que atuam diretamente na taxa de infiltração, conseqüentemente, elevando as perdas por

escoamento superficial, além de resultar na diminuição do abastecimento dos lençóis freáticos e na redução na reserva de água subterrânea (SOUZA, 2015).

Algumas das consequências da erosão hídrica no solo, tanto no local, quanto à jusante são destacadas o Quadro 25.

Quadro 25 – Danos causados pela erosão hídrica

Danos locais da erosão hídrica	Danos à jusante pela erosão hídrica
Perda de matéria orgânica	Contaminação das águas
Degradação da estrutura do solo	Eutrofização das águas
Compactação da superfície de solo	Inundações
Redução da infiltração de água	Enterramento de infraestrutura
Redução da alimentação dos lençóis freáticos	Obsrtrução das redes de drenagem
Perda de solo à superfície	Alteração da secção dos cursos de água
Remoção de nutrientes	Assoreamento das vias navegáveis e dos portos
Aumento da fração grossa do solo	Aumento dos custos para tratamento da água
Produção de regos e sulcos	Redução da capacidade de geração de energia em reservatórios de usinas hidrelétricas
Redução da produtividade do solo	Diminuição da biodiversidade aquática

Fonte: Silva, 2018.

Contudo a intervenção humana nos ecossistemas pode tanto degradar quanto recuperar bens, produtos e serviços. A habilidade do ser humano de manejar áreas intencionalmente a fim de manter, recuperar ou até ampliar processos e componentes ecossistêmicos leva ao conceito de serviços ambientais (CHIODI; MARQUES; MURADIAN, 2018). Como discutido anteriormente no trabalho, nas últimas décadas vem se popularizando no mundo todo um instrumento de incentivo econômico destinado ao estímulo à preservação dos ecossistemas, denominado pagamento por serviços ambientais (PSA).

Desde meados da década de 1970 existem propostas para introdução de mecanismos de caráter econômico que contribuam para a gestão ambiental, satisfazendo, assim, as demandas de conservação do meio ambiente e atuando onde medidas regulatórias não alcançam. Esse caráter econômico visa otimizar a alocação de recursos, reduzindo incertezas relativas a seus provimentos.

Contudo atribuir valor econômico aos serviços ecossistêmicos e ambientais não é trivial, já que depende diretamente da percepção de valor cultural, distintos aspectos biológicos, ecológicos e antropológicos de difícil averiguação (Gjorup *et al.*, 2016). Sendo assim, o presente trabalho procurou embasar-se nas propostas de conservação ambiental trazida pelos programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), mais precisamente o Programa Produtor de Águas (PPA) – que tem por objetivo garantir o provimento dos serviços ecossistêmicos e ambientais através da transferência de recursos (ou benefícios) a quem contribui ativamente para esse propósito – com a diferença de que as ações de conservação (Quadro 26) trarão um abatimento no valor cobrado pelo uso da água.

Quadro 26 – Sugestões de ações para PSA Hídrico

Ações em iniciativas de PSA Hídrico
Práticas mecânicas para a conservação do solo e da água
Práticas de recuperação florestal
Atividades de educação ambiental
Recuperação e restauração de áreas degradadas
Recuperação, restauração e proteção de nascentes
Ações para apoiar/incentivar a produção em bases sustentáveis
Proteção/intervenção em áreas ecologicamente relevantes
Transações sobre direito de uso da água
Gestão de águas pluviais
Tecnologias para limitar a descarga de poluentes
Ações visando a redução das disparidades de desenvolvimento social
Ações de saneamento rural

Fonte: Caetano *et al.*, 2016; ANA, 2018; Silva, 2018; Vitória, 2019

Considerando a diversidade de opções e critérios para aplicação de ações que objetivam a conservação dos recursos hídricos é importante que se leve em consideração a especificidade das problemáticas e condições locais ou regionais, bem como a relação entre o uso da água e os objetivos específicos da ação proposta.

Assim, o índice de conservação de serviços ambientais (K_{CONS}) se mostra na equação de cobrança pelo uso da água da seguinte maneira:

- $K_{cons} = 0,8$, quando utiliza práticas conservativas ou investe em seu uso em áreas que influenciam diretamente a recarga e proteção do solo na bacia;
- $K_{cons} = 1,0$, quando utiliza práticas conservativas ou investe em seu uso em áreas que não influenciam diretamente a recarga e proteção do solo na bacia; e
- $K_{cons} = 1,2$, quando não utiliza práticas conservativas ou não investe em seu uso.

3.6. Estudo de caso para a sub-bacia hidrográfica do rio Jacarecica

Como afirmado anteriormente o estudo simulou o valor arrecadado para a equação de cobrança proposta para os usos de captação para abastecimento humano e agricultura irrigada. Deu-se prioridade a esses usos não apenas por sua importância social e econômica, mas também por mau uso em virtude do desperdício, o que vem em acordo com a proposta holística do desenvolvimento sustentável tão almejado para os recursos hídricos desde a implementação da lei 9.433/1997.

Simulou-se o valor arrecadado com a cobrança pelo uso da água para três cenários: o cenário 01 é real, baseado em informações de outorga, consumo e perdas para o ano de 2017; o cenário 02 é hipotético para o ano de 2030 e ele representa uma situação pessimista, em que, além de ter havido investimentos suficientes na gestão de recursos hídricos estadual, o instrumento da cobrança não motivou melhoras no comportamento de captação para o abastecimento humano e a irrigação; e o cenário 03, também hipotético, é um cenário otimista para o ano de 2030 que representa projeção otimista para a gestão sustentável dos recursos hídricos, ou seja, a cobrança gerou resultados positivos no comportamento dos usuários estudados, o estado investiu recursos significativos e a conservação desse serviço ambiental é uma realidade. No Apêndice A é apresentado todo o passo a passo nos cálculos do Cenários 01, sendo que para os Cenários 02 e 03 os cálculos são equivalentes.

Esse intervalo temporal foi escolhido em virtude de ter sido o horizonte de longo prazo determinado para resolução das metas propostas no plano de bacia hidrográfica do rio Sergipe (SERGIPE, 2015), além de coincidir com os intervalos de planejamento de consumo adotados pela ANA no Manual de Usos Consuntivos de Água do Brasil (ANA, 2019) e com o prazo para se atingir a Agenda 2030 proposta pela ONU.

A Equação (13) representa a equação proposta no trabalho para calcular o valor arrecadado com o instrumento de cobrança pela captação da água:

$$Valor_{cap} = K_P(K_{out} \cdot Q_{cap\ out} + K_{med} \cdot Q_{cap\ med}) \cdot K_{SAA} \cdot K_{ITI} \cdot K_{cons} \cdot PPU_{cap} \quad (13)$$

Lembrando que:

$Q_{cap\ out}$ = volume anual de água captado segundo valores da outorga (m³/ano);

$Q_{cap\ med}$ = volume anual de água captado segundo dados de medição (m³/ano);

K_{out} = peso atribuído ao volume anual de captação outorgado (adimensional);

K_{med} = peso atribuído ao volume anual de captação medido (adimensional);

K_p = peso atribuído à sazonalidade hidrológica da bacia (adimensional);

K_{SAA} = coeficiente que leva em conta as dimensões de desempenho dos SAA;

K_{ITI} = coeficiente que se refere ao Índice Tecnológico dos Irrigantes;

K_{cons} = coeficiente que considera a conservação dos serviços ambientais na bacia; e

PPU_{cap} = é o preço público unitário para cada uso outorgado (R\$/m³).

Como afirmado anteriormente, apesar de existirem diversas metodologias de precificação do recurso hídrico, o caráter informal prevalece. Dessa maneira, dado a impossibilidade de consultar os membros do conselho de recursos hídricos da bacia do rio Sergipe, o presente trabalho decidiu por fazer uso dos valores propostos para o Estado (SERGIPE, 2018a), apresentados anteriormente no Quadro 01.

Quadro 01: Preços Públicos Unitários

Parcela de cobrança	Preço Público Unitário – PU (R\$/m³)
Captação de água superficial - PU_{cap_sup}	0,03
Captação de água subterrânea - PU_{cap_sup}	0,035
Transposição - PU_{cap_transp}	0,04
Lançamento de efluente - $PU_{lanç}$	0,0012

Fonte: Sergipe, 2018a.

É importante destacar que apesar da metodologia consultiva ser predominante no Brasil para precificar esse recurso ambiental, o que confere um caráter informal ao método, esse, apesar de incentivar o aspecto consultivo e deliberador do comitê de bacia, é um procedimento bastante arriscado, já que, caso o comitê não tenha sido capacitado e preparado para tal incumbência, o valor tende a ser minorado, para minizar assim os seus gastos com captação da água, gerando uma arrecadação aquém ao dano ambiental.

3.6.1. Cenário 01: valor arrecadado para o ano de 2017

Como dito logo acima, a simulação 01 equivale aos dados de outorga, consumo e perdas para o ano de 2017. Os valores outorgados foram conseguidos através de consulta ao banco de dados de outorga do estado de Sergipe. As informações conseguidas foram

para o ano de 2017, o que fez com que os resultados ficassem desatualizados com relação aos valores atuais, porém, essa incongruência temporal é interessante, visto que o plano de bacia do rio Sergipe data o ano de 2015. Dessa maneira pode-se comparar a simulação dos valores arrecadados com as metas propostas no plano.

Sendo assim, nos Quadro 27 e 28 são apresentados os índices propostos com posterior explicação para cada um dos valores tomados.

Quadro 27: Determinação dos índices relacionados à outorga e à situação hidrológica da bacia (Cenário 01)

Uso	K_p	K_{out}	$Q_{cap\ out}$ (m ³ /ano)	K_{med}	$Q_{cap\ med}$ (m ³ /ano)
Abastecimento humano	1,0	1,0	1.724.428,80	0	1.724.428,80
Agricultura irrigada	1,0	1,0	12.387.648,00	0	12.387.648,00

Como já conhecido e afirmado, diversas vezes, em diferentes momentos pelo próprio órgão gestor de recursos hídricos do estado de Sergipe, o déficit de mão de obra especializada para ir a campo fazer a conferência das bombas dos usuários é uma constante e ao questionar a SERHMA sobre inconsistências entre as vazões medidas e outorgadas, ratificou a impossibilidade de verificação entre as informações *in loco*. Dessa forma deve-se supor que a vazão medida é igual à outorgada e, como proposto anteriormente, para essas situações em que não há medição ou controle da vazão captada $K_{out}=1,0$ e $K_{med}=0$.

De acordo com o banco de dados de outorga de Sergipe, verifica-se que a outorga sazonal existe, mas não é praticada/estimulada como deveria. A outorga é dada mensalmente, mas os usuários simplesmente repetem o valor requerido, sem ao menos levar em consideração a variação hidrológica da bacia. Dessa forma, como o estudo também propõe para essas situações, deve-se assumir $K_p=1,0$.

Quadro 28: Determinação dos coeficientes que consideram os objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água (Cenário 01)

Uso	K_{SAA}	K_{ITI}	K_{cons}
Abastecimento humano	1,48	-	1,0
Agricultura irrigada	-	1,2	0,8

Para determinar o valor do K_{SAA} usou-se a média dos índices de atendimento total de água (IATA) e índice de perdas na distribuição (IPD) dos municípios de Areia Branca e Itabaiana fornecidos pelo SNIS para o ano de 2017, inseridos na Equação (12) proposta anteriormente.

Segundo dados da COHIDRO (Anexo A), os sistemas de irrigação dos perímetros irrigados Jacarecica I e II são irrigação localizada, microaspersão e irrigação convencional. Segundo informações da própria empresa, existe manutenção dos sistemas de irrigação, mas não de forma preventiva. Dessa maneira decidiu-se por majorar o valor do índice K_{ITI} para 1,2.

Com relação ao K_{cons} , sabe-se que a COHIDRO investe constantemente em ações de conscientização ambiental e especialização técnica em seus perímetros irrigados, o que faz com que o referido índice tenha o valor de 0,8. Já em pesquisas feitas no próprio *site* da DESO, percebeu-se que houve ações de conservação ambiental, mas nenhuma informação sobre o local ou tipo específico de ação. Dessa forma, para a captação de água para abastecimento humano decidiu-se por quantificar o índice K_{cons} em 1,0, ou seja, utiliza práticas conservativas e investe em seu uso em áreas que não influenciam diretamente a recarga e proteção do solo na bacia.

Sendo assim, segundo o Quadro 29 o valor arrecadado por ano para cada um dos usos é de.

Quadro 29: Arrecadação com a cobrança pela captação da água com a equação proposta (Cenário 01)

Uso	Q_{bacia}	K_{cap}	PPU	$R\\$/ano$
Abastecimento humano	1.724.428,80	1,48	0,03	76.564,64
Agricultura irrigada	12.387.648,00	0,96	0,03	356.764,26

O Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Sergipe (SERGIPE, 2015), propõe para a referida bacia ações voltadas para a recuperação de áreas degradadas, proteção de áreas estratégicas para a conservação e gestão adequada dessas áreas com orçamento de R\$ 9.710.000 para época. O valor arrecadado com a proposta corresponde acerca de 4,46% do valor orçado para implementação das propostas de ações presentes no plano.

Nota-se que é uma porcentagem arrecadada ínfima, se comparada ao valor total necessário, contudo é importante salientar que esse valor arrecadado é por ano e o prazo de duração das atividades é enquanto o plano durar, mesmo com atualizações.

3.6.2. Cenário 02: modelo pessimista de comportamento para o ano de 2030

O cenário 02 equivale a uma simulação em que, como dito anteriormente, a cobrança não obteve resultados positivos com relação ao comportamento dos usuários, além de os investimentos do estado terem sido abaixo dos necessários para atingir as metas propostas.

Para simular os valores outorgados o trabalho simulou o novo consumo acrescido da porcentagem de aumento prevista no Manual de Usos Consuntivos do Brasil (ANA, 2019) para cada um dos usos estudados, conforme é apresentado no Quadro 30. Salienta-se que não foi levado em consideração a situação hídrica da sub-bacia do rio Jacarecica, ou seja, não foi analisado se a disponibilidade hídrica seria capaz de suprir o aumento da demanda.

Quadro 30: Simulação de captação de água para abastecimento humano e agricultura irrigação segundo ANA (2019)

Uso	Consumo 2017 (m ³ /s)	Consumo 2030 (m ³ /s)	%
Abastecimento humano	496,20	553,00	11,45
Agricultura irrigada	1.083,00	1.313,00	21,4

Nos Quadros 31 e 32 são apresentados os índices propostos com posterior explicação para cada um dos valores tomados.

Quadro 31: Determinação dos índices relacionados à outorga e à situação hidrológica da bacia (Cenário 02)

Uso	K_p	K_{out}	$Q_{cap\ out}$ (m ³ /ano)	K_{med}	$Q_{cap\ med}$ (m ³ /ano)
Abastecimento humano	1,0	1,0	1.921.875,90	0	1.921.875,90
Agricultura irrigada	1,0	1,0	15.038.604,67	0	15.038.604,67

Considerou-se para este cenário que a situação de controle e fiscalização *in loco* das outorgas ainda não estava acontecendo efetivamente, sendo assim, como para o cenário anterior, supôs-se que a vazão medida é igual à outorgada e, como proposto

anteriormente, para essas situações em que não há medição ou controle da vazão captada $K_{out}=1,0$ e $K_{med}=0$.

Também foi considerado que a outorga sazonal ainda não teria sido implementada respeitando a variação hidrológica local e, também como para o caso anterior, K_p foi considerado igual a 1,0.

Quadro 32: Determinação dos coeficientes que consideram os objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água (Cenário 02)

Uso	K_{SAA}	K_{ITI}	K_{cons}
Abastecimento humano	1,49	-	1,0
Agricultura irrigada	-	1,4	0,8

Segundo Cambrinha e Fontana (2015) as perdas nos sistemas de abastecimento de água podem ser explicadas pelo aumento do volume da água coletada e pelo aumento da extensão da rede de distribuição sem sua devida manutenção. Indo de acordo com os autores, como para esse cenário houve um aumento da demanda de água, pode-se impor também que houve um aumento nas perdas reais.

O estudo usou como referência os municípios de Areia Branca e Itabaiana e os dados do SNIS para quantificar o índice de perdas e a porcentagem da população atendida. Sabe-se que o estado de Sergipe tem investido na ampliação da rede de abastecimento de água, sendo assim supôs-se para o Índice Total de Atendimento de Água o valor referente à capital do estado para o ano de 2020 (98,87%) e para o Índice de Perdas na Distribuição a média deste índice para os municípios supracitados para o ano de 2020 (48,11%) (SNIS, 2021).

Para determinar o valor do K_{ITI} supôs-se que a manutenção nos sistemas de irrigação ainda foi menos frequente, o que reduziu ainda mais sua eficiência.

Com relação ao K_{cons} decidiu-se por manter os valores do modelo anterior para os usos, sendo assim a COHIDRO investiria o mínimo na conservação no serviço ambiental na própria bacia de captação, visto que os perímetros irrigados estão inseridos na bacia estudada, enquanto que a DESO continuaria sem investir na própria bacia de captação de forma direta.

Sendo assim, segundo o Quadro 33 o valor arrecadado por ano para cada um dos usos é de.

Quadro 33: Arrecadação com a cobrança pela captação da água com a equação proposta (Cenário 02)

Uso	Q_{bacia}	K_{cap}	PU	$R\\$/ano$
Abastecimento humano	1.921.875,90	1,49	0,03	85.907,85
Agricultura irrigada	15.038.604,67	1,12	0,03	505.297,12

Para esse modelo pessimista supôs-se que não houve reajuste no PU, ou seja, os valores inicialmente propostos ainda seriam mantidos.

Nota-se que, apesar de ter existido um aumento na arrecadação (36,43%), esse acréscimo não seria suficiente para suprimir as consequências do uso irresponsável da água somada ao descaso dos usuários e Estado. Além disso, o problema da arrecadação ínfima se comparada às metas propostas no plano ainda existiria, visto que o orçamento para realização de tais ações teria passado por um reajuste, o que aumentaria tais valores necessários.

3.6.3. Cenário 03: modelo otimista de comportamento para o ano de 2030

O cenário 03 equivale a uma simulação em que, como dito anteriormente, a cobrança obteve resultados positivos com relação ao comportamento dos usuários, além de o estado ter sido mais atuante em investimentos e ações com o intuito de se atingir as metas propostas no plano de bacia.

Para simular a nova demanda por água nesse cenário usou-se da mesma lógica do item anterior, ou seja, simulou o novo consumo acrescido da porcentagem de aumento prevista no Manual de Usos Consuntivos do Brasil (ANA, 2019) para cada um dos usos estudados, como foi apresentado no Quadro 30.

Sendo assim, nos Quadros 34 e 35 são apresentados os índices propostos com posterior explicação para cada um dos valores tomados.

Quadro 34: Determinação dos índices relacionados à outorga e à situação hidrológica da bacia (Cenário 03)

Uso	K_p	K_{out}	$Q_{cap\ out}$ (m³/ano)	K_{med}	$Q_{cap\ med}$ (m³/ano)
Abastecimento humano	0,8	0,7	1.921.875,90	0,3	1.921.875,90
Agricultura irrigada	0,8	0,7	15.038.604,67	0,3	15.038.604,67

Para essa situação foi considerado que a outorga sazonal estaria funcionando como é previsto, ou seja, nos períodos de maior disponibilidade hídricas haveria a possibilidade de outorgar maiores volumes de água e vice-versa. Sendo assim o índice K_p foi considerado igual à média aritmética dos valores apresentados no Quadro 14. Infelizmente não foi possível fazer uma distinção entre a arrecadação nos períodos chuvosos e secos, pois seria impossível simular para as outorgas vigentes as demandas hídricas individuais de cada usuário para os meses secos e chuvosos, dado o desconhecimento de suas demandas e da documentação de requerimento de outorga.

Também nesse modelo supôs-se que a problemática com relação à falta de mão de obra para medição e controle das vazões outorgadas foi solucionada, sendo assim foi proposto os valores de $K_{out}=0,7$ e $K_{med}=0,3$, como também apresentados no Quadro 14. É destacado que os valores desses índices são dados em função da disponibilidade hídrica (DH) – Equação (8) – e da especulação hídrica (IEH) – Equação (9) –, dois índices também trabalhados no estudo. Como para essa situação a proposta é um valor otimista, foi considerado a baixa especulação hídrica e a captação em conforme à disponibilidade hídrica local.

Quadro 35: Determinação dos coeficientes que consideram os objetivos específicos a serem atingidos mediante a cobrança pela captação de água (Cenário 03)

Uso	K_{SAA}	K_{ITI}	K_{cons}
Abastecimento humano	1,33	-	0,8
Agricultura irrigada	-	0,73	0,8

Santos *et al.* (2022) mostram que as metas do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) objetivam orientar as políticas públicas para o setor de saneamento, seja no meio rural ou urbano, e impõe para ser atingido até 2033, salvo, nos locais de baixa rentabilidade, a meta de 33% de índices de perdas na distribuição de água.

Sendo assim, a presente simulação estipulou essa meta para o Índice de Perdas na Distribuição e manteve valor do Índice Total de Atendimento de Água referente à capital do estado para o ano de 2020 (98,87%).

Para determinar o valor do K_{ITI} supôs-se que a manutenção preventiva nos sistemas de irrigação eram frequentes e as corretivas aconteciam logo que necessário, além de haver constantes treinamentos aos irrigantes, o que aumentou ao máximo a eficiência de seus sistemas. Como nos perímetros irrigados existem três sistemas de

irrigação diferentes (localizada, microaspersão e convencional), decidiu-se por tirar a média de suas eficiências.

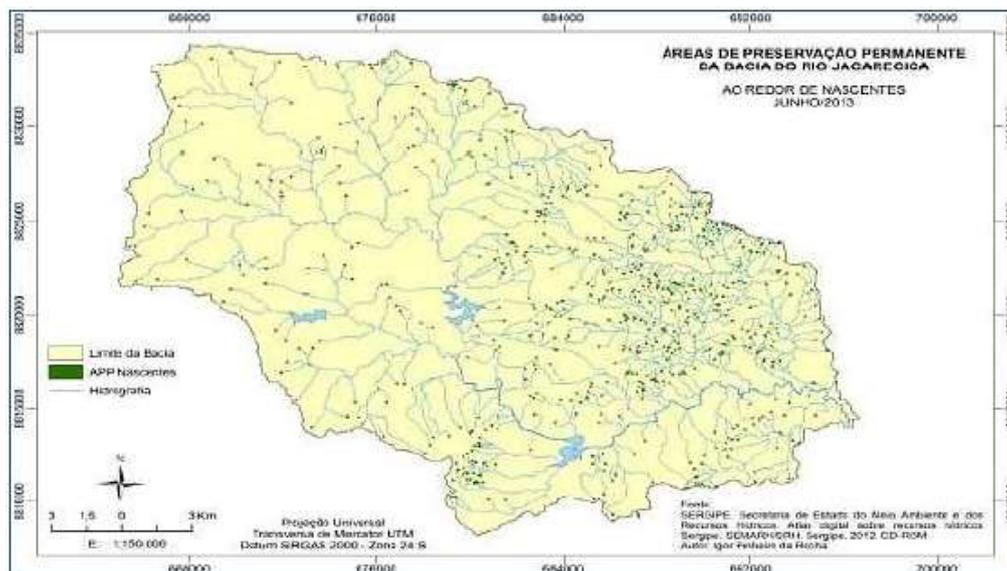
Com relação ao K_{cons} , para esse cenário supôs-se que a COHIDRO e a DESO investiram na conservação de serviços ambientais na bacia de captação. Rocha e Almeida (2020) em seu estudo destacaram as áreas de preservação permanente (Figura 12) e as nascentes na bacia do rio Jacarecica (Figura 13), o que pode orientar essas ações.

Figura 12 – Mapa temático das Áreas de Preservação Permanente das margens de cursos d’água da bacia do rio Jacarecica-SE.



Fonte: Rocha e Almeida, 2020.

Figura 13 – Mapa temático das Áreas de Preservação Permanente ao redor de nascentes da bacia do rio Jacarecica-SE.



Fonte: Rocha e Almeida, 2020.

Sendo assim, segundo o Quadro 36 o valor arrecadado por ano para cada um dos usos é de.

Quadro 36: Arrecadação com a cobrança pela captação da água com a equação proposta (Cenário 03)

Uso	Q_{bacia}	K_{cap}	PPU	$R\\$/ano$
Abastecimento humano	1.537.500,72	1,06	0,039	63.560,28
Agricultura irrigada	12.030.833,73	0,58	0,039	272.137,46

Já é comum em diversos modelos de cobrança pelo uso da água no Brasil o reajuste do PU. As bacias do rio São Francisco, Doce, PCJ e Velhas já o praticam desde a última atualização de seu plano de bacia. Os reajustes normalmente são feitos pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) e corrigidos a cada ano, contudo ainda é de critério de cada bacia hidrográfica se vai seguir essa referência para o aumento ou se ainda será mantido a metodologia de consulta ao comitê, responsável por gerar conflitos e pela defasagem dos preços.

Nota-se uma queda na arrecadação apesar de que o consumo aumentou se comparado ao primeiro cenário. Isso se deve principalmente ao índice K_{cons} , que supôs para este cenário um aumento de atitudes sustentáveis e conservacionistas dos usuários na bacia de captação. Essa perda de valor, apesar de significativa, supõe-se ser compensada pelos benefícios ambientais criados.

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÃO

O principal intuito desse trabalho foi propor um modelo de cobrança para captação da água para abastecimento humano e agricultura irrigada que levasse em consideração não apenas a racionalização do recurso hídrico, mas também o aspecto social e holístico da água e a conservação efetiva dos serviços ambientais relacionados a este recurso, considerando inclusive algumas metodologias implantadas em bacias hidrográficas e estados brasileiros, promovendo uma compreensão significativa no que se refere aos mecanismos de cobrança adotados atualmente no âmbito nacional, tanto em bacias federais, quanto estaduais, demonstrando inclusive a complexidade de cada um deles.

Apesar de o instrumento da cobrança pelo uso da água ser um dos mais polêmicos e controversos, haja vista a complexidade de seus objetivos e mecanismos propostos e à falta de transparência que ocasiona desconfiança e a falsa ideia de se tratar de mais um imposto, ele é considerado como uma etapa fundamental no que se refere à evolução do controle ambiental e da qualidade das águas das bacias hidrográficas brasileiras.

Nessa perspectiva, é pertinente ressaltar que não se pode confundir a cobrança com o valor pago pela prestação de serviço de abastecimento de água e tratamento de esgoto. A cobrança pelo uso da água bruta, objetiva garantir que os recursos financeiros arrecadados sejam direcionados prioritariamente para ações de fortalecimento institucional, proteção e recuperação da bacia e educação ambiental, conforme metas previamente estabelecidas em seu plano de investimentos.

Embora os modelos empregados nacionalmente na cobrança possuam uma mesma base, é preciso diferenciar cada bacia por meio das suas especificidades e coeficientes. Para tal finalidade, além de serem levantadas informações físicas e químicas, dados socioeconômicos e administrativos atualizados são fundamentais para entender os impactos exercidos não apenas sobre a bacia hidrográfica estudada, mas também sobre a sociedade que faz uso do recurso hídrico a ser cobrado.

O estudo salientou a importância de ampliar as pesquisas sobre os instrumentos da cobrança pelo uso água nas bacias hidrográficas, considerando os potenciais interesses dos usuários de diferentes setores da sociedade e as complexidades locais das bacias hidrográficas. Assim para atender os objetivos desta pesquisa, inicialmente fez-se um levantamento não apenas dos principais modelos utilizados, mas também das propostas de modelos, com a finalidade de se preencher as lacunas e dificuldades anteriormente apresentadas para esse instrumento.

Apesar de para grandes bacias com alta demanda hídrica o valor arrecadado com o instrumento da cobrança possa ser de grande valia ao auxílio da implementação das

metas propostas nos planos de bacia, para bacias de pequeno porte, como é o caso da estudada, viu-se a partir das estimativas dos custos das ações e do planejamento, que foram previstas pelo PERH, que a arrecadação anual simulada não é suficiente para sustentar o sistema de gerenciamento da sub-bacia estudada, o que vem a sugerir a necessidade de estudos posteriores com a finalidade de construir um modelo que englobe os outros usuários da água na bacia.

Além disso, a relevância das discussões quanto à disponibilidade e ao uso da água remete à utilização ótima dos recursos hídricos frente ao aumento da concorrência entre usuários, à diminuição gradativa em quantidade e qualidade, dado o aumento da demanda por usuários urbanos, agropecuários e industriais, além da necessidade de manutenção dos diversos ecossistemas. Assim, alcançar a eficiência técnica no uso do sistema de abastecimento de água e irrigação assegura não somente o retorno financeiro ao outorgado em detrimento do capital investido para o exercício da atividade, mas, especialmente, a minimização de danos ambientais.

Dessa forma, os recursos hídricos, enquanto fator de produção, acarretam custos mesmo que seu preço não esteja explícito, pois o valor econômico desse recurso encontra-se expresso no gasto com energia para realizar o bombeamento, no investimento para aquisição de equipamento para o transporte da água e, especialmente, no custo social de oportunidade, por ser um bem público. Sendo assim, a gestão pública dos recursos comuns precisa, além de atender às demandas dos diversos usuários atuais e futuros, resguardar a conservação dos ecossistemas, conforme assegurado em lei.

Pode-se notar no decorrer do trabalho que o instrumento econômicos não são capazes de induzir a mudanças na eficiência e racionalidade no uso da água, ou seja, esse incremento nos custos de captação ou produção não é suficiente para promover alterações significativas nas decisões de manutenção, aumento de eficiência energética, uso de estimulantes e defensivos agrícolas, uso do solo e provavelmente do recurso hídrico, diferentemente da abordagem de comando e controle, que restringe o acesso legal à água pelas diversas esferas de governo, pela imposição de regras e padrões. Isso ocorre principalmente por conta da transferência dos custos das perdas e excessos aos usuários finais da água, seja o consumidor dos produtos agropecuários ou o cliente da empresa de abastecimento público de água.

Sendo assim, este trabalho contribui, ainda, para o aprimoramento institucional do problema apresentado, uma vez que fornece subsídios para um melhor prognóstico dos

resultados, reduzindo algumas das limitações apresentadas pela literatura em relação aos mecanismos de mercado como instrumento de gestão de recursos ambientais.

Também se reconhece as limitações do modelo ao pressupor equilíbrio de mercado, uma vez que não foi possível concebê-lo como função dos lucros, devido à ausência de dados de custos, o que o tornaria mais representativo em termos de avaliação do impacto na estrutura de decisão econômica do empreendedor.

Por fim sugere-se continuidade da pesquisa no sentido do seu aprimoramento operacional ao:

- Quantificar o valor de cada etapa do processo produtivo e de abastecimento de água, para que se possa chegar ao valor unitário mais próximo da realidade;
- Considerar outros dados de entrada, como aspectos energéticos e administrativos, uso de defensivos agrícolas, exportação de insumos e importação de água;
- Simular a arrecadação para todos os tipos de usuários, fazendo uma análise de quanto a bacia deixa de arrecadar até mesmo com os usos insignificantes;
- Estabelecer o PU de acordo com as reais necessidades da bacia e individual para cada um dos usos outorgados;
- Análise dos impactos da cobrança da água bruta sobre a renda dos usuários da bacia; e
- Verificar a aceitabilidade da cobrança da água bruta por parte dos usuários.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, M. V.; SOUZA, M. C.; BASTOS, F. M.; JOHNSON, R. M. F. Aperfeiçoando a cobrança pelo uso da água no estado do Rio de Janeiro: a evolução do Preço Público Unitário. In: Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu, 2019.

AIDAM, P. W. The impact of water-pricing policy on the demand for water resources by farmers in Ghana. In: Agricultural Water Management, v. 158, p. 10-16, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Programa Produtor de Água. Brasília - DF, 2009. 20 p. 1 Manual Operativo.

_____. Curso de Manejo da Irrigação: Como, Quando e Quanto Irrigar? Curso EaD, 2016. 36 p.

_____. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília - DF, 2017. 86 p.

_____. Pagamento por Serviços Ambientais: Curso EaD, 2018. 56 p.

_____. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília - DF, 2019. 75 p.

_____. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe. Brasília - DF, 2020. 77 p.

_____. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Capítulo 5 - Segurança Hídrica . Brasília - DF, 2021. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/seguranca-hidrica>. Acesso em: 20 de junho de 2021.

ALAGOAS. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF). Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025. 298 p. Alagoas, 2016.

ALENCAR, K. M.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Cost of charging for water use in the Brazilian Cerrado hydrographic basin. In: Rev. Ambient. Água, v. 13, n° 5, 2018. DOI: 10.4136/1980-993X

ALMEIDA, M. A.; CURI, W. F. Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança. In: Rev. Ambiente e Água, v. 11, p. 989-1005, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1820>.

AMORIM, M. M. L.; CAMPOS, M. A. S. Determinação da vazão de projeto para a escolha dos hidrômetros de edificações residenciais com medição individualizada. In: Ambiente Construído (on-line), v. 21, p. 403-420, 2021. DOI: 10.1590/s1678-86212021000100511.

AQUINO, T. S. A.; GOMES, C. C.; SOUZA FILHO, F. A.; SILVA, S. M. O. impacto da recuperação do investimento em infraestrutura hídrica na cobrança pelo uso da água. In: RBRH, v. 18, n° 1, jan/mar 2013. DOI: 10.21168/rbrh.v18n1.p87-98.

ARAÚJO, R. C. P.; COUTINHO, A. C. Disposição a pagar por métodos de cobrança da água bruta no perímetro irrigado dos tabuleiros de Russas, Ceará-BR. In: REGA, v. 13, n. 1, p. 11-28, jan./jun. 2016.

ARAÚJO, S. C.; SILVA FILHO, J. A.; SILVA, G. M. S.; CABRAL FILHA, M. C. S.; NOGUEIRA, V. F. B. Distribuição espacial de indicadores operacionais de serviço de

abastecimento de água no Nordeste Brasileiro. In: Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 11, nº 1, p. 20-28, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i1.4470>.

ARMADA, C. A. S.; LIMA, R. L. R. A cobrança pelo uso da água como importante instrumento jurídico-econômico da gestão hídrica no contexto da região Nordeste. In: Revista Eletrônica Direito e Política, v. 12, n. 3, 2017. DOI: 10.14210/rdp.v12n3.p1390-1413.

AZEVEDO, L. M. N. Calibração, validação e aplicação do modelo invest para a estimativa de benefícios aos serviços ecossistêmicos na bacia do Ribeirão Pípiripau (DF/GO). Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologias, Universidade de Brasília. Distrito Federal, p. 98, 2017.

BARATEIRO, B. S. Precificação da água bruta para o abastecimento urbano no estado do Rio Grande do Norte. Dissertação (Mestre em Engenharia Sanitário e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 32, 2019.

BARROS, P. H. S.; LIMA, D. P. Estudo das perdas de água no sistema de abastecimento da cidade de Porto Nacional/TO. In: Natural Resources, v. 10, nº 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2020.003.0011>.

BATISTA, J. A. Influência das distintas dominialidades das águas no Brasil na gestão dos recursos hídricos: estudo de caso. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, p. 109, 2020.

BATISTA, L. GONÇALVES, A. A. Precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Jacarecica. In: Anais do XXV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem (CONIRD), São Cristóvão, 2015.

BECK, C. O Pagamento por Serviços Ambientais como instrumento jurídico e econômico na busca do desenvolvimento sustentável. Dissertação (Mestre em Direito). Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, p. 93, 2014.

BERNARDES, C.; SOUZA JÚNIOR, W. C. Pagamento por Serviços Ambientais: experiências brasileiras relacionadas à água. ANPPAS, 2010.

BEZERRA, S. T. M.; PERTEL, M.; MACÊDO, J. E. S. Avaliação de desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste brasileiro. In: Ambient. constr., v. 19, nº 3, jul/sep 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300336>.

BIASUTTI, S. Indicadores de perdas para serviços de abastecimento de água: padronização e limitações da aplicação no Brasil. Dissertação (Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 164, 2016.

BOF, P. H. Uma proposta de instrumento de alocação negociada na bacia do rio São Marcos baseada no valor econômico da água. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 120, 2018.

BOLSON, S. H.; HAONAT, A. I. A governança da água, vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. In: Veredas do Direito (Belo Horizonte), v. 13, p. 223-248, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18623/rvd.v13i25.575>.

BONGIOVANI, P. F. Mudanças climáticas, seus impactos na cultura da mandioca no semiárido brasileiro e estratégias de manejo para mitigação das perdas. Dissertação (Mestre em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 159, 2020.

BOTELHO, A. J. S. B. Modelação de custos associados aos sistemas de abastecimento de água. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho. Portugal, p. 118, 2014.

BOTELHO, D. O.; SILVA, S. S.; LEITE, E. T. Influência de diferentes perspectivas ambientais sobre a política de cobrança pelo uso da água no BRASIL. In: Revista Alcance, v. 19, nº 03, p. 295-307, jul./set. 2012. DOI: 10.14210/alcance.v19n3.p295-307.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. Definição de critérios de classificação dos corpos d'água nacionais. Brasília-DF, 1986. 15p.

_____. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico. 1988. 292p.

_____. Leis, etc. 1934. Decreto Nº. 24.643, de 10 de julho de 1934. In: A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos. M.M.A., IBAMA. Brasília-DF. 1994

_____. Leis, etc. 1997. Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos: Lei Federal No. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 64p.

_____. Lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000. Dispõem sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA -, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília-DF, 2000.

_____. Lei nº 10.831 de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Brasília-DF, 2003.

_____. Ministério da Saúde. Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde. Brasília-DF: Secretaria de Vigilância em Saúde, Ministério da Saúde (Série A. Normas e Manuais Técnicos), 252p, 2006.

_____. Decreto nº 7.794 de 20 de agosto de 2012. Institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica. Brasília-DF, 2012.

_____. Lei nº 12.787 de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação. Brasília-DF, 2013.

_____. Ministério das Cidades. Plano de Saneamento Básico Participativo. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília-DF, 2014a.

_____. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução 162 de 15 de dezembro de 2014. Aprova os valores e mecanismos para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Brasília-DF, 2014b.

_____. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação Nº 888, de 04 de maio de 2021. Brasília, DF, 2017

_____. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília-DF, 2020.

_____. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília-DF: MCidades, 2021.

CAETANO, P. P.; MELO, M. G. S.; BRAGA, C. F. C. Pagamento por serviços ambientais (PSA): análise de conceitos e marco regulatório. In: Revista Principia, n. 31, p. 115-127, dez. 2016.

CAMBOIM, W. L. L. Aplicações de técnicas de Controle Fuzzy em sistemas de abastecimento de água visando melhoria no rendimento energético e hidráulico. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 143, 2012

CAMBRAINHA, G. M. G.; FONTANA, M. E. Análise da aplicação de investimentos em perdas de água no nordeste brasileiro. In: Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, mai-ago. 2015. DOI: 105902/2236117015520.

CAMILO, J. A.; TIGGES, C. H. P.; ANDRADE, C. L. T.; RESENDE, A. V.; BORGHI, E. Produtividade da água do milho irrigado para diferentes condições de manejo do sistema de produção. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 18, 2019.

CAMPOS, J. N. B. A gestão integrada dos recursos hídricos: uma perspectiva histórica. In: Gesta, v. 1, nº 1, p. 111-121, 2013. DOI: 10.9771/gesta.v1i1.7109.

CAMPOS, I. Z. A., MARQUES, C. A análise histórica internacional do princípio do desenvolvimento sustentável. In: Caderno de Relações Internacionais, v. 8, n. 14, jan./jun. 2017.

CÁNEPA, E. U.; PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. L. A política de recursos hídricos e o princípio usuário-pagador (PUP). In: RBRH, vol. 4, n. 1, jan/mar 1999. DOI: 10.21168/rbrh.v4n1.p103-117.

CARNEIRO F. F.; AUGUSTO, L. G. S.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A. C. (Org.). Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 628 p, 2015.

CARVALHO, G. O. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma visão contemporânea. In: R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 8, n. 1, p.779-792, jan/mar. 2019. DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019779-792.

CARVALHO, B. E. F. C. A Avaliação de desempenho da prestação de serviços de abastecimento de água independe da perspectiva, se usuário ou prestador? Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Distrito Federal, p. 172, 2013.

CARVALHO, P. S. O. Controle para bombeamento distribuído com vistas à minimização dos custos energéticos aplicado a sistemas de abastecimento de água. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 170, 2012.

CARVALHO, R. D. Aspectos econômicos e ambientais em sistemas de abastecimento de água usando energia solar fotovoltaica e captação subterrânea. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 105, 2016.

CASTRO, C. M. S. N. Emprego de indicadores e índices de sustentabilidade na avaliação de medidas emergenciais de gestão da água: caso da bacia do Rio Descoberto, DF. Dissertação (Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 110, 2019.

CEARÁ, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. Estudos de análise e integração dos instrumentos de gestão com foco na outorga, cobrança e fiscalização: relatório 09 – volume outorgado. Fortaleza, p. 50, 2017.

CERQUEIRA, G. A. Instrumentos econômicos na gestão de recursos hídricos: análise e contribuições sobre mercados de água e cobrança pelo uso de recursos hídricos. Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologias, Universidade de Brasília. Distrito Federal, p. 175, 2019.

CHIODI, R. E.; MARQUES, P. E. M. Políticas públicas de pagamento por serviços ambientais para a conservação dos recursos hídricos: origens, atores, interesses e resultados da ação institucional. In: *Desenvolv. Meio Ambiente*, v. 45, p. 81-104, abril 2018. DOI: 10.5380/dma.v45i0.48757.

CHIODI, R. E.; MARQUES, P. E. M.; MURADIAN, R. Ruralidades e política ambiental: heterogeneidade socioeconômica e lógicas indiferenciadas dos projetos públicos de pagamento por serviços ambientais. In: *Revista de Economia e Sociologia Rural* (impresso), v. 56, p. 239-256, 2018.

COELHO, N. R.; GOMES, A. S.; CASSANO, C. R.; PRADO, R. B. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 27, p. 1-7, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190055>.

CORRÊA, P. S. G. Recursos Hídricos: a cobrança fundamentada no princípio do usuário-pagador e sua implantação em âmbito federal. In: *Organizações e Sustentabilidade*, v. 5, p. 26-63, 2017.

COSTA, A. M. Perfil social e agrícola do perímetro irrigado Califórnia – Sergipe. Dissertação (Meste em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, p. 76, 2015.

COSTA JUNIOR., N. R. Combate às Perdas de Água – Unidade de Negócio Leste - SABESP. 6º Encontro Técnico Interamericano de Alto Nível. AIDIS, São Paulo, 2013.

DELEVATI, D. M.; MORAES, J. A.; COSTA, A. B.; LOBO, E. A. Histórico do programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) na bacia hidrográfica do Arroio Andréas, RS, Brasil. In: Caderno de Pesquisa. Santa Cruz do Sul, v. 30, n. nesp, p. 29-40, 2018. DOI: 10.17058/cp.v30i1.12206.

DEMAJOROVIC, J.; CARUSO, C.; JACOBI, P. R. Cobrança do uso da água e comportamento dos usuários industriais na bacia hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiá. In: Rev. Adm. Pública, v. 49, n. 5, p. 1193-1214, set./out. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7612137792>.

DINIZ, G. M. Avaliação da cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia do rio Jundiá (SP). Tese (Doutora em Desenvolvimento Econômico) – Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p 130, 2020.

DUARTE, C. K. A. R. Avaliação do desempenho hidroenergético do sistema de abastecimento de água Utinga – Bolonha – Setor Guanabara. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Belém, p. 112, 2018.

ELOY, L.; COUDEL, E.; TONI, F. Implementando Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil: caminhos para uma reflexão crítica. Sustentabilidade em Debate, v.4, n.1, p. 22-42, jul/dez 2013.

ELY, M. F.; BARBOSA, G. V.; FLORES, J. P. M.; MARTINS, A. P.; TIETZ, R. S.; DENARDIN, L. G.; QUEVEDO, J. B.; TRINDADE, J. K. Desenvolvimento de planta e produtividade de grãos de arroz irrigado na integração lavoura-pecuária com adubação de sistemas. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, Balneário Camburiú, 2019.

EMPRESA DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO DE SERGIPE (EMDAGRO). Produção e valor da produção das principais culturas 2016 a 2019. Disponível em: <https://www.emdagro.se.gov.br/wp-content/uploads/2021/08/SERGIPE-Producao-e-valor-da-produco-das-principais-culturas-2016-a-2019.pdf>. Acessado em 13 de outubro de 2022.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. In: Ecological Economics, v.65, 2008, p.663-674.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; KUSTERKO, S. K.; CHAVES, L. C. Avaliação de desempenho em sistemas de abastecimento de água: seleção de referencial teórico e análise bibliométrica. In: Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, p. 899-912, 2015.

ESTEVES, C. J. O. A aplicação dos instrumentos da política nacional e estadual de recursos hídricos no Paraná: sistematização de informações e abordagem panorâmica. In: Caderno IPARDES, v. 7, n. 1, p. 20-60, jan./jun. 2017.

EXPÓSITO, A.; BERBEL, J. Why is water pricing ineffective for deficit irrigation schemes? A case study in southern Spain. In: *Water Resources Management*, v.31, p.1047-1059, 2017.

FADEL, A. W.; MARQUES, G. A cobrança pelo uso da água: excesso de precificação ou ressarcimento pela gestão? In: *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Foz do Iguaçu, 2019.

FAGANELLO, C. R. F. Fundamentação da cobrança pelo uso da água na agricultura irrigada, na microbacia do Ribeirão dos Marins, Piracicaba/SP. Piracicaba, 2007. 134 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

FARACO, J. R.; CASTRO, N. M. R.; LOUZADA, J. A.; SILVA, P. R. F.; SCHOENFELD, R.; MAASS, M. B.; PAGLIARINI, N. Rendimento de grãos e eficiência do uso de água da cultura do milho em áreas de cultivo de arroz inundado com diferente manejo de irrigação e drenagem. In: *Irriga*, p. 274-290, 2016.

FAROLFI, S.; GALLEGUO-AYALA, J. Domestic water access and pricing in urban areas of Mozambique: between equity and cost recovery for the provision of a vital resource. In: *International Journal of Water Resources Development*, v.30, p.728-744, 2014.

FÁVERO, L. P. *et al.* Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões. Primeira edição. Rio de Janeiro. Elsevier. 2009, p.195-265.

FERREGUETTI, G. A. Análise comparativa de manejo e sistemas de irrigação. In: *Anais do Simpósio do Papaya Brasileiro*, Vitória, 2018.

FERREIRA, F. N.; RIBEIRO, H. M. C.; DUTRA, V. A. B. Potencialidades da cobrança pelo uso da água na gestão hídrica brasileira. In: *Rev. Ambient. Água*, v. 15, nº 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2531>.

FERREIRA, F. N.; RIBEIRO, H. M. C.; BELTRÃO, N. E. S.; MERLIN, L. V. C. T. Instrumentos econômicos e a exploração dos recursos hídricos paraenses: taxa, compensação e cobrança pelo uso. In: *Interfaces Científicas, Humanas e Sociais*, v. 8, nº 3, p. 333–350, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17564/2316-3801.2020v8n3p333-350>.

FERREIRA, H.; CASSIOLATO, M.; GONZALEZ, R. Uma Experiência de desenvolvimento metodológico para avaliação de programas: o modelo lógico do Programa Segundo Tempo. In: *CARDOSO JR., J. C. P.; CUNHA, A. S. (Orgs.). Planejamento e Avaliação de Políticas Públicas*. p. 333-376. Brasília: IPEA, 2015. 475p.

FINKLER, N. R.; MENDES, L. A.; BORTOLIN, T. A.; SCHNEIDER, V. E. Cobrança pelo uso da água no Brasil: uma revisão metodológica. In: *DMA Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v.33, p.33-49, abr. 2015.

FORGIARINI, F. R.; SILVEIRA, G. L. da; CRUZ, J. C. Modelagem da Cobrança pelo uso da Água Bruta na Bacia do Rio Santa Maria/RS: I - Estratégia Metodológica e Adaptação à Bacia. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, p. 65-77, 2008. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v13n1.p65-77>.

- FRANÇA, F. H. V. Indicadores de Desempenho e Recursos Hídricos: proposta de um índice multidimensional para avaliação da implementação de Planos de Recursos Hídricos. Dissertação (Mestre em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, p. 194, 2019.
- FREITAS, S. S. Análise sobre a discussão para implementação da cobrança pelo uso da água: desafios da gestão participativa no Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 148, 2014.
- FURQUIM, M. G. D. Efeito da instituição da cobrança pelo uso da água na configuração agrícola irrigada em Cristalina-GO. Dissertação (Mestre em Agronegócio) – Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, p. 63, 2017.
- FURQUIM, M. G. D.; ABDALA, K. O. Sustentabilidade e expansão da agricultura irrigada: um olhar para o setor no estado de Goiás. In: Natural Resources, v. 9, nº 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2019.001.0006>.
- GALVÃO JÚNIOR, A. C.; PAGANINI, W. S. Aspectos conceituais da regulação dos serviços de água e esgoto no Brasil. In: Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14, n.1, Rio de Janeiro, p.79-88, 2009.
- GARCIA, J. R.; ROMEIRO, A. R. Valoração e Cobrança pelo Uso da Água: uma abordagem econômico-ecológica. In: Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba, v.34, n.125, p.101-121, jul./dez. 2013.
- GARRIDO, R. J. S. Contribuições à cobrança pelo uso da água no Brasil – abordagem econômica e avaliação de preços ótimos *vis-à-vis* preços praticados na bacia do rio Paranaíba do Sul. Tese (Doutor em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de Brasília. Distrito Federal, p. 265, 2018.
- GEBRIM, D. V. B. Otimização operacional de sistemas de abastecimento de água com objetivo de redução de custo de energia elétrica. Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Distrito Federal, p. 134, 2013.
- GJORUP, A. F.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E. Análise de procedimentos para seleção de áreas prioritárias em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos. In: Revista Ambiente & Água, v. 11, p. 225/1-238, 2016.
- GODECKE, M. V. Cobrança pelo uso da água: a experiência internacional e brasileira como referenciais para o estado do Rio Grande do Sul. In: Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, nº 1, p. 113-126, abr. 2014.
- GOIÁS. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraniába – CBH PARANAÍBA. Deliberação nº 61 de 10 de março de 2016. Dispõe sobre mecanismos e valores de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, propõe as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão na bacia hidrográfica do rio Paranaíba e dá outras providências. Goiânia-GO, 2016.

GONÇALVES, A. P. R. Perspectivas para o Pagamento por Serviços Ambientais para Promover a Agroecologia. Florianópolis. Dissertação (Mestre em Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

GOSENHEIMER, I. C. A utilização do pagamento por serviços ambientais (PSA) como estratégia de incremento para a transição agroecológica. Lajeado, 2018. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento). Universidade do Vale do Taquari.

GUIMARÃES, P. C. V. Instrumentos econômicos para gerenciamento ambiental: a cobrança pelo uso da água no estado de São Paulo. In: Revista de Administração de Empresas, v. 33, n. 5, p. 1-10, 1993.

GUTIERREZ, R. L.; FERNANDES, V.; RAUEN, W. B. Princípios protetor-recebedor e poluidor-pagador como instrumentos de incentivo à redução do consumo de água residencial no município de Curitiba (PR). In: Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 22, p. 899-909, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017151387>.

GVces. Estudo de Aplicação de Instrumentos Econômicos à Gestão dos Recursos Hídricos em Situações Críticas: Sumário Para Tomadores de Decisão. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas. São Paulo, p. 533, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico Brasileiro 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>> Acesso em 10 de fevereiro de 2021.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios. 272 p. GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (Org.). Brasília: MMA, 2011.

INSTITUTO MARCELO DÉDA. Caracterização das UPs da bacia hidrográfica do rio Sergipe. Disponível em: <http://www.institutomarcelodeda.com.br/senado-aprova-contrato-de-us-70-mi-com-bird-para-revitalizar-o-rio-sergipe/>. Acesso em: 13 de outubro de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 13 de outubro de 2022.

IRIGARAY, C. T. J. H. Pagamento por Serviços Ecológicos e o Emprego da REDD na Amazônia. In.: LAVRATTI P.; PRESTES, V.B. (Org.) Direito e Mudanças Climáticas: serviços ecológicos. São Paulo: Instituto o Direito por um Planeta Verde, 2010.

JERÓNIMO, J. A.; HENRIQUES, P. D.; CARVALHO, M. L. da S. Impactos do preço da água na agricultura no perímetro irrigado do Vale de Caxito. In: Revista de Economia e Sociologia Rural, v.53, n.04, p.699-714, 2015.

KANAKOUDISA, V.; TSITSIFLIA, S.; GONELASA, K.; PAPADOPOULOUA, A.; KOUZIAKISB, C.; LAPPOSB, S. Determining a socially fair drinking water pricing policy: the case of Kozani, Greece. In: Procedia Engineering, v.162, p.486-493, 2016.

- KUSTERKO, S. ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; CHAVES, L. C. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. In: Engenharia Sanitária e Ambiental, v.23, n.3, maio/jun 2018, p. 615-626.
- LADWIG, N. I.; SILVA, E. P.; BACK, A. J. A cobrança do uso da água e o impacto no custo da produção do arroz irrigado na região sul do estado de Santa Catarina. In: Boletim de Geografia, v. 35, nº 2, p. 31-44, 2017. DOI: 10.4025/bolgeogr.v35i2.31711.
- LAMOGLIA, H. A. Estudo da correlação entre perdas de água e energia para setores do sistema de abastecimento de água da cidade de São Lourenço – MG. Dissertação (Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, p. 237, 2013.
- LANDA, G. G. Tributação Ambiental e sua Importância. In: Revista de Ciências (Caratinga, MG), v. 9, p. 111-121, 2018.
- LANNA, A. E. L. Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos. Brasília: IBAMA, 1995. 171p.
- LOPES, M. M.; NEVES, F. F. A cobrança pelo uso da água no estado de São Paulo: panorama geral. In: Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 11, nº 5, jun/dez. 2016. DOI: 10.22292/mas.v11i05.479.
- MAGALHÃES FILHO, L. N. L.; VERGARA, F.; RODRIGUES, W. Cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio Formoso - TO: estudo de viabilidade financeira. In: REGA, v. 12, nº 1, p. 53-61, jan/jun. 2015. DOI: 10.21168/rega.v12n1.p53-61
- MAGRO, S. A. Proposta de roteiro metodológico para revisão de estudos de fundamentação de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista. Sorocada, p. 147, 2021.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de Pesquisa. 9ª ed. São Paulo: Atlas, 2021.
- MATAVELI, G. A. V.; GUERRERO, J. V. R.; CHAVES, M. E. D.; JUSTINO, R. C.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. O Programa Conservador das Águas e sua relação com o uso da terra em Extrema-MG. In: Revista do Departamento de Geografia, v. 36, 2018. DOI: 10.11606/rdg.v36i0.14042.
- MATTIUZI, C. D. P.; MARQUES, G. F.; MEDELLIN-AZUARA, J.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação do valor econômico da água em região agrícola de arroz e soja – bacia do rio Santa Maria/RS. In: Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis, 2017.
- MELO, M. L. A.; ANDRADE, C. L. T.; RIOS, S. A.; FAVARIN, A. M.; VASCONCELLOS, J. H. Perfil de usuários de tecnologias para a agricultura irrigada. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 68, 2018.
- MELO, R. A. P.; RODRIGUES, E. O. S.; OLIVEIRA, M. C. B.; SILVA, C. R. S. Sistema de indicadores de desempenho da tratabilidade da água como auxiliar para uma

fiscalização in loco. In: Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 3, p. 14904-14924, mar. 2020. DOI: [oi.org/10.34117/bjdv6n3-382](https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-382).

MENDONÇA, C. P.; CARRA, L. F. R. A.; BROCH, S. A. O.; SOBRINHO, T. A. Cobrança pelo uso da água: a visão do setor industrial. In: REGA, v. 14, jan/dez 2017. DOI: 10.21168/rega.v14e4.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Água. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo hidrologico](https://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico)>. Acesso em: 20 junho de 2022.

MISUNI, S. G.; MOURA, A. A.; JARDIM, M. L. G.; RAVARIO, M. H. Considerações sobre estado da arte, levantamento bibliográfico e pesquisa bibliográfica: relações e limites. In: Revista Gestão Universitária (on-line), 2018. Disponível em: gestaouniversitaria.com.br>. Acessado em 31 de maio de 2022.

MOLINOS-SENANTE, M.; DONOSO, G. Water scarcity and affordability in urbanwater pricing: a case study of Chile. In: Utilities Policy, v. 43, p.107-116, 2016.

MORAES, M. G. A. *et al.* Avaliação de instrumentos econômicos alocativos na gestão de bacias hidrográficas usando modelo econômico-hidrologico integrado. In: REGA. Vol 6, nº 2, pags 49-64, jul-dez. 2009

MOREIRA, A. R. Mecanismos alternativos de cobrança pelo uso dos Recursos hídricos para assimilação de efluentes. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, p. 73, 2014.

MOREIRA, D. A.; ZAIDAN, S. R.; KOZLOWSKI, H. L.; ARRES, R. V. Responsabilidade ambiental pós-consumo à luz do princípio do poluidor-pagador: uma análise do nível de implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos. In: Revista de Direito da Cidade, v. 8, n. 4, p. 1442- 1467, nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.12957/rdc.2016.25492>.

MORENO, J. Avaliação e gestão de riscos no controle da qualidade da água em redes de distribuição: estudo de caso. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 579, 2009.

MUNK, N. Inclusão dos serviços ecossistêmicos na avaliação ambiental estratégica. Dissertação (Mestre em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 179, 2015.

NHAMPOSSA, J. A.; GOMES, L. J.; BRITO, F. B.; AGUIAR NETTO, A. O. Índice de sustentabilidade do perímetro irrigado Betume, baixo São Francisco – Sergipe. In: Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.11, nº.1, p. 1135 - 1144, 2017. DOI: 10.7127/rbai.v11n100532.

NIKOU EI, A.; WARD, F. A. Pricing irrigation water for drought adaptation in Iran. In: Journal of Hydrology, v.503, p.29-46, 2013.

NOGUEIRA, A. C.; BORJA, P. C. Planos Municipais de saneamento básico no Brasil: revisão das principais vertentes de planejamento. In: 18.º Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENASB)/18.º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA). Porto: ENASB/AIDIS, 2018.

NOGUEIRA, S. H. M. Avaliação do risco à perda da qualidade ambiental do aquífero freático na região metropolitana de Goiânia. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, p. 76, 2017.

NOVAES, V. G. B.; SILVA, I. M. Valoração do recurso “água” a partir da disposição a pagar dos usuários: estudo aplicado nas áreas atendidas pela COSANPA na região metropolitana de Belém. In: HOLOS Environment, v. 16, nº 1, p. 49, 2016. DOI: 10.14295/holos.v16i1.10406.

OLIVEIRA JUNIOR, C. J. F.; SANTOS, J. L.; MAXIMO, L. C. A agroecologia e os serviços ambientais. In: Nature and Conservation, Aquidabã, v.7, n.1, p.19-32, 2014.

OLIVEIRA, M. L. Desenvolvimento de método para avaliação de desempenho de sistemas de abastecimento de água: aplicação ao caso da RIDE DF e entorno. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Tecnologias, Universidade de Brasília. Distrito Federal, p. 225, 2016.

OLIVEIRA, A. N. G. Aplicação de metodologias relacionadas à valoração da água para as bacias dos rios Grande e Paranaíba. Dissertação (Mestre em Meteorologia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 162, 2017.

OSTRENSKY, V. P.; GARCIA, J. R. A cobrança pelo uso da água na região metropolitana de Curitiba: uma análise dos impactos econômicos no setor industrial. In: Rev. FAE, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 7-20, jul./dez. 2017

PAGIOLA, S., PLATAIS, G. Payments for Environmental Services: from theory to practice. Washington: World Bank. 2007.

PENNA, L. F. R., BARONY, F. J. A; AMORIM, D. D., SOUZA, J. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, L. M.; COSTA, G. S. Produção de água com a aplicação de práticas mecânicas e vegetativas de conservação do solo e água em área de pastagem degradada. In: Research, Society and Development, v. 9, n. 7, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4237>.

PEREIRA, A. P. S. A gestão hídrica no estado de Roraima a partir da utilização de instrumentos econômicos. Dissertação (Mestre em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Roraima. Porto Alegre, p. 112, 2012.

PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. L.; CÁNEPA, E. M. Desenvolvimento de um sistema de apoio à cobrança pelo uso da água: aplicação à bacia do Rio dos Sinos, RS. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 4, n. 1, p. 77-101, 1999.

PERES, M.; PAZINATO, L. F. H. A adoção do princípio poluidor pagador e os reflexos no consumo. In: Revista Jurídica Luso-Brasileira (RJLB), v. 3, p. 1231-1249, 2022.

PERTEL, M.; VOLSCHAN JÚNIOR, I.; AZEVEDO, J. P. S. Avaliação de sistemas brasileiros de abastecimento de água baseada em 10 anos de indicadores de desempenho operacional relacionados a perdas. In: Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017.

PICOLI, I. T. Gestão integrada dos recursos hídricos e cobrança pelo uso da água no âmbito das bacias Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Tese (Doutora em Ambiente e Sociedade) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 218, 2020.

PIEIDADE, N. S.; SILVA, A. A. G. Caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica do rio Jacarecica. In: Caracterização ambiental e hidrológica da bacia hidrográfica do rio Jacarecica, vol. 2. Org: GARCIA, C. A. B.; SOUSA, I. F.; MONTEIRO, A. S. C.; SANTANA, N. R. F. Editora Poisson: Belo Horizonte, p. 08-16, 2020. DOI: 10.36229/978-65-86127-74-4.

PIMENTEL, J. S. Diferenciação da cobrança pelo uso de recursos hídricos no setor rural em função do custo de produção de uma cultura e a vazão captada. Tese (Doutora em Ciências) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 122, 2012.

PIRES, P. J. F. Implicações agroeconômicas da cobrança pelo uso da água em sistemas de produção de arroz: uma simulação na área de abrangência da Barragem do Arroio Taquarembó – Dom Pedrito – RS. Tese (Doutor em Desenvolvimento Rural) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 257, 2013.

PIZAIA, M. G.; RIDÃO, M. A.; SANCHES, R. P. A cobrança pelo uso da água bruta rural. In: SOBER, 47. Anais... Porto Alegre. 2009.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo, RS: Feevale, p. 276, 2013.

RAMOS, M. C. A. Critérios de valoração da água com base na sazonalidade das vazões e na efetiva demanda hídrica das culturas. Dissertação (Mestre em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 73, 2016.

RASERA, D. Indicadores de universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em áreas com populações em vulnerabilidade socioambiental: estudo de caso no município de Cubatão/SP. Dissertação (Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 196, 2014.

RESENDE, R. S.; AMORIM, J. R. A.; CRUZ, M. A. S. Uso da água no distrito de irrigação Platô de Neópolis, em Sergipe. In: 25 Congresso Nacional de Irrigação (CONIR), 2015, Aracaju. v. 1. p. 1252-1258.

RIBEIRO, L. C. L. J.; ANDRADE, J. G. P.; ZAMBON, A. G. Gestão de sistema de abastecimento de água através de ações para redução de perdas. In: Revista Ibero-

Americana de Ciências Ambientais, v. 8, nº 2, 2017. DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0013.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E.; PEREIRA, J. S. Elasticidade-preço da demanda e a cobrança pelo uso da água. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte: ABRH, 1999.

RIBEIRO, R. B. Critérios de valoração do uso da água considerando o manancial de captação subterrâneo e a regularização de vazões. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 94, 2016.

ROCHA, I. P.; ALMEIDA, J. A. P. Utilização do atlas de recursos hídricos do estado de Sergipe para mapeamento das áreas de preservação permanente em margens de corpos d'água da bacia do rio Jacarecica. In: Caracterização ambiental e hidrológica da bacia hidrográfica do rio Jacarecica, vol. 1. Org: GARCIA, C. A. B.; SOUSA, I. F.; MONTEIRO, A. S. C.; SANTANA, N. R. F. Editora Poisso: Belo Horizonte, p. 08-16, 2020. DOI: 10.36229/978-65-86127-74-4.

RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D. Análise comparativa entre a cobrança pelo uso da água bruta do estado do Ceará com a cobrança aplicada no estado de São Paulo. In: REGA, v. 11, p. 37-51, 2014. DOI: 10.21168/rega.v11n2.p37-51.

RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D.; THOMAZ, A. C. F. Análise por envoltória de dados utilizada para medir o desempenho relativo da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas do estado do Ceará. In: REGA, v. 12, p. 15-29, 2015. DOI: 0.21168/rega.v12n1.p15-29.

RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D.; THOMAZ, A. C. F. Seleção de variáveis em análise por envoltória de dados na análise da eficiência do instrumento da cobrança pela água bruta no setor do abastecimento público nas bacias cearenses por meio da ferramenta computacional SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão). In: Revista DAE, v. 65, nº 208, out. 2017. DOI: 10.4322/dae.2017.002.

RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D.; THOMAZ, A. C. F.; LIMA, S. H. D.; PEREIRA, R. F. Análise da eficiência do instrumento da cobrança pela água bruta nas bacias cearenses: uma aplicação da fronteira invertida em análise envoltória de dados. In: Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, v.15, p. 448-464, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.1.82340>.

ROSA, D. W. B. Aprimoramento da cobrança pelo uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais: perspectivas dos integrantes do sistema estadual de gestão de recursos hídricos. In: REGA, v. 16, e. 4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21168/rega.v16e4>.

SANCHES, C. D. A. A contribuição da sistematização de experiências para o fortalecimento do campo agroecológico e da agricultura familiar. Cadernos de Agroecologia, v.6, n.2, p 1-5, dez. 2011.

SANTANA, A. D.; NUNES, J. O. R. Práticas conservacionistas e recuperação de área degradada por voçoroca em uma propriedade rural, no Município de Regente Feijó (SP). In: Geoambiente On-line, Goiânia, n. 40, 2021. DOI: 10.5216/revgeoamb.i40.69189.

- SANTOS, A. B.; HEINEMANN, A. B.; SILVA, M. A. S.; STONE, L. F.; PIMENTA, L. B.; SANTOS, D. Manejo da irrigação na cultura do arroz irrigado e na eficiência do uso da água em várzeas tropicais. In: Revista Agri-Environmental Sciences, v. 7, Ed. Especial, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v7i2.5294>.
- SANTOS, E. C. B.; PINTO, J. E. S. S. Espaço rural da sub-bacia hidrográfica do rio Jacarecica: algumas considerações. In: Caracterização ambiental e hidrológica da bacia hidrográfica do rio Jacarecica, vol. 2. Org: GARCIA, C. A. B.; SOUSA, I. F.; MONTEIRO, A. S. C.; SANTANA, N. R. F. Editora Poisso: Belo Horizonte, p. 87-100, 2020. DOI: [10.36229/978-65-86127-74-4](https://doi.org/10.36229/978-65-86127-74-4).
- SANTOS, G. O.; DÉA, T. K. G.; ABREU, L. D.; CABRAL, R. F.; THIESEN, A. C. O.; CARVALHO, R.; DINIZ, R. G. Manejo da agricultura irrigada: orientações técnicas aos horticultores-feirantes. In: Revista Conexão UEPG, vol. 15, núm. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5212/Rev.Conexao.v.15.i2.0010>.
- SANTOS, L. C. D.; NHAMPOSSA, J. A.; COSTA, C. C.; GOMES, L. J. Atuação do Comitê da bacia hidrográfica do rio Sergipe na denúncia e encaminhamento de conflitos socioambientais. In: REGA, v. 12, n. 2, p. 35-45, jul./dez. 2015.
- SANTOS, S. M. C.; PINTO, F. R.; MORAIS, J. S. D.; CLAUDINO-SALES, V. Saneamento básico no Nordeste: metas, desafios e investimentos. In: Ciência Geográfica, v. XXVI, n. 1, jan./dez. 2022.
- SANTOS, T. R. Conflitos e impactos de uso da terra e da água em Área de Preservação Permanente (APP) da barragem Jacarecica II. In: Caracterização ambiental e hidrológica da bacia hidrográfica do rio Jacarecica, vol. 2. Org: GARCIA, C. A. B.; SOUSA, I. F.; MONTEIRO, A. S. C.; SANTANA, N. R. F. Editora Poisso: Belo Horizonte, p. 110-118, 2020. DOI: [10.36229/978-65-86127-74-4](https://doi.org/10.36229/978-65-86127-74-4).
- SÃO PAULO, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil. Org.: PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. São Paulo: SMA/CBRN, p. 336, 2013.
- SCARATTI, D.; MICHELON, W.; SCARATTI, G. Avaliação da eficiência da gestão dos serviços municipais de abastecimento de água e esgotamento sanitário utilizando Data Envelopment Analysis. In: Eng. Sanit. Ambient., v. 18, nº 04, out/dez 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000400005>.
- SCHECHI, R. G. Regionalização dos mecanismos de cobrança pelo uso da água nas bacias do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira: o caso do Rio Pequeno, São José dos Pinhais, Paraná. Tese (Doutor em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 152, 2016.
- SCHECHI, R. G.; NIEBISCH, C. H.; MULLER, I. I.; RIZZI, N. E. Relações entre cobrança pelo uso da água com o ICMS ecológico. In: Nativa, v.5, nº3, p. 189-198, 2017. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v5i3.4179>

SERAPHIM, A. P. A. C. C.; BEZERRA, M. C. L. Identificação de áreas de recarga e aquíferos e suas interfaces com áreas propícias à urbanização. In: P@ranoá (UNB), p. 68-83, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18830>.

SERGIPE. Elaboração dos Planos das Bacias Hidrográficas dos rios Japaratuba, Piauí e Sergipe. Relatório Final – Bacia Hidrográfica do rio Sergipe. Aracaju: SEMARH, 2015. 448 p.

_____. Programa Produtor de Água de Sergipe: manual operativo. Aracaju: SEMARH, 2017. 27 p.

_____. Elaboração de estudo para implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos e para implantação da cobrança tarifária dos irrigantes nos perímetros irrigados jacarecica i e poção da ribeira, no estado de Sergipe. Aracaju: SEMARH, 2018a. 145 p.

_____. Relatório de atividades 2018. Aracaju: EMDAGRO, 2018b. 36 p.

_____. Plano plurianual 2020-2023. Programa temático: inclusão produtiva e desenvolvimento rural. Aracaju: SEAGRI, EMDAGRO e COHIDRO, 2019. 22 p.

SILVA, M. V. D. C. De que Participação estamos falando afinal? A Participação Social na Implementação da Cobrança pelo Uso da Água Bruta no Comitê de Integração da Bacia do Rio Paraíba do Sul-CEIVAP. In: RIGS, v. 1, nº 1, jan./abr. 2012. DOI: 10.9771/23172428rigs.v1i1.10086

SILVA, A. A. Panorama da aplicação de conservação de solo e água nos Programas de Pagamento por Serviços Ambientais hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia e Ciências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 148, 2018.

SILVA, P. S. O. Avaliação da sustentabilidade do perímetro irrigado Poção da Ribeira em Itabaiana, Sergipe. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, p. 92. 2016.

SILVA, G. Gestão dos recursos hídricos no estado de São Paulo: análise dos investimentos realizados e implementação da cobrança pelo uso da água, 2004-2016. Dissertação (Mestre em Economia) - Universidade Estadual Paulista. Araraquara, p. 15, 2017.

SILVA, R. G. Avaliação econômica dos serviços ambientais da Bacia do Rio Acre. In: Inclusão Social (on-line), v. 12, p. 152-160, 2018.

SILVA, M. L. N.; MANSUR, K. L.; NASCIMENTO, M. A. L. Serviços Ecosistêmicos da Natureza e sua Aplicação nos Estudos da Geodiversidade: uma Revisão. In: Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 41, p. 699-709, 2018.

SILVA NETO, E. D. Modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos em sistemas controlados por reservatórios. Tese (Doutor em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, p. 158, 2018.

SILVAL, A. O.; SILVA, B. A.; SOUZA, C. F.; AZEVEDO, B. M.; BASSOI, L. H.; VASCONCELOS, D. V.; BONFIM, G. V.; JUAREZ, J. M.; SANTOS, A. F.;

CARNEIRO, F. M. A irrigação na era da agricultura 4.0: manejo, monitoramento e precisão. In: Rev. Ciênc. Agron., v. 51, Special Agriculture 4.0, e20207695, 2020. DOI: 10.5935/1806-6690.20200090.

SOBREIRA, M. G. A.; FORTES, A. C. C. Utilizando dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): um panorama dos índices de perdas na distribuição. In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (VII ConGeA), Campina Grande, 2016.

SOBRINHO, R. A.; BORJA, P. C. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. In: Engenharia Sanitária e Ambiental. v.20, n.3, p.783-795, out/dez 2016.

SOUSA, J. J. B. Influência da Tecnologia na Capacidade de Pagamento dos irrigantes do perímetro Platôs de Guadalupe no estado do Piauí. Dissertação (Mestre em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará, p. 83, 2014.

SOUSA, P.; SILVA, J.; MARTINS, A.; VERGARA, F. Simulação de cobrança pelo uso dos recursos hídricos na bacia do ribeirão Taquarussu Grande, Palmas-TO. In: REGA, Porto Alegre – Vol. 12, no. 2, p. 17-24, jul./dez. 2015. DOI: 10.21168/rega.v12n2.p17-24.

SOUSA, J. J. B; CAMPOS, R. T.; CAMPO, K. C.; BRITO, M. A. Influência da tecnologia na capacidade de pagamento dos irrigantes do perímetro Platô de Guadalupe, no estado do Piauí. In: INTERAÇÕES, Campo Grande, MS, v. 18, nº 2, p. 185-197, abr./jun. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v18i2.131>.

SOUZA, F. L. Análise de (in) viabilidade no implemento de pagamentos por serviços ambientais no Município de Itajubá-MG. Dissertação (Mestre em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, p. 110, 2018.

SOUZA, M. H. C. Estratégias de alocação de água para irrigação no perímetro irrigado Pontal Sul. Tese (Doutor em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, p. 82, 2020.

SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, G. S.; ALVES, L.H. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. In: Cadernos da Fucamp, v.20, n.43, p.64-83/2021.

TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. In: Revista DAE, v.201, n.1622, 15p, 2016.

TEIXEIRA, T. C. S.; SANTOS, K. V.; AGUIAR, G. S.; JULIEN, D. L. L. Cobrança pelas perdas no setor de saneamento na bacia hidrográfica do rio São Francisco: estudo de impacto sobre prestadores selecionados. In: Anais do 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (30º CBESA), Natal, 2019.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. 3ª Edição. Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica. 643 p, 2006.

- VASCONCELLOS, R. C.; BRABO, L. D. M.; COSTA, T. N. C.; FERREIRA, J. V.; BELTRÃO, N. E. S. Cobrança pelo uso da água como instrumento econômico na gestão de recursos hídricos. In: Enciclopédia Biosfera, v. 11 n° 21, 2015.
- VENTURI, L. A. B. A Geografia e o estudo do Ambiente. In: Ciência e Natura, Santa Maria, v. 36 Ed. Especial, 2014, p. 246–256.
- VETTORAZZI, C. A. Avaliação multicritérios, em ambientes SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando a conservação de recursos hídricos. Tese (Doutor em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 151, 2006.
- VIANA, I. M. S. Produtividade, eficiência e tecnologia na produção de frutas no perímetro irrigado Senador Nilo Coelho. Dissertação (Mestre em Economia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 66, 2020.
- VICENTINI, L. P. Componente do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 196, 2012.
- VILANOVA, M. R. N. Desenvolvimento e avaliação de indicadores de eficiência hidráulica e energética para sistemas de abastecimento de água como ferramenta de suporte à tomada de decisões. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, p. 319, 2012.
- VILARINHO, C. M. R.; MULLER, M. G.; CAVALCANTE, A. S.; COSTA, M.M. L.; GONÇALVES, J. A. C. Eficácia da cobrança pelo uso de recursos hídricos condicionada ao Índice de Qualidade da Água: estudo de caso, Minas Gerais, Brasil. In: Revista Brasileira de Geografia Física, v. 1, n° 1, 2021.
- VITÓRIA, M. R. Dinâmica de serviços de regulação hídrica na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, Goiás. Dissertação (Mestre em Agronegócio) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, p. 130, 2019.
- WANG, L. K.; SHAMMAS, N. K. Abastecimento de água e remoção de resíduos. 3ª Edição. Editora GEN – LTC. 776 p, 2013.
- WIENKE, F.F. As políticas de Pagamento por Serviços Ambientais direcionados à agroecologia: da emergência da experiência européia e da inexistência de mecanismos no Brasil. In: Revista Direito Agrário e Agroambiental. Curitiba v.2, n.2, p.59-78, jul/dez 2016.
- ZAPELINI, M. B. Cobrar ou não Cobrar pela Água? A Decisão da Cobrança no Comitê Itajaí. In: RIGS, v. 1, n° 1, jan./abr. 2012. DOI: 10.9771/23172428rigs.v1i1.10087.
- ZHAOA, J.; NI, H.; PENG, X.; LI, J.; CHENA, G.; LIU, J. Impact of water price reform on water conservation and economic growth in China. In: Economic Analysis and Policy, v.51, pp.90-103, 2016.

APÊNDICES

Apêndice A: Cálculo Cenário 01

Para o Cenário 01 foi considerado a demanda hídrica (outorgas) fornecida pelo banco de dados de outorga superficial da SERHMA-SE para o ano de 2017.

A Equação (13), citada anteriormente, representa a equação proposta no trabalho para calcular o valor arrecadado com o instrumento de cobrança pela captação da água:

$$Valor_{cap} = K_P (K_{out} \cdot Q_{cap\ out} + K_{med} \cdot Q_{cap\ med}) \cdot K_{SAA} \cdot K_{ITI} \cdot K_{cons} \cdot PPU_{cap} \quad (13)$$

Lembrando que:

$Q_{cap\ out}$ = volume anual de água captado segundo valores da outorga (m³/ano);

$Q_{cap\ med}$ = volume anual de água captado segundo dados de medição (m³/ano);

K_{out} = peso atribuído ao volume anual de captação outorgado (adimensional);

K_{med} = peso atribuído ao volume anual de captação medido (adimensional);

K_P = peso atribuído à sazonalidade hidrológica da bacia (adimensional);

K_{SAA} = coeficiente que leva em conta as dimensões de desempenho dos SAA;

K_{ITI} = coeficiente que se refere ao Índice Tecnológico dos Irrigantes;

K_{cons} = coeficiente que considera a conservação dos serviços ambientais na bacia; e

PPU_{cap} = é o preço público unitário para cada uso outorgado (R\$/m³).

Os índices K_{out} e K_{med} são dados em função da disponibilidade hídrica local e da especulação hídrica. Como, infelizmente, para esse modelo não existe dados de medição da captação, não tem como comparar se houve caso de especulação hídrica na bacia; já para informações de disponibilidade hídrica local, como a captação é feita em reservatório com vazão regularizada, supõe-se que esteja numa situação confortável de oferta, mesmo que a realidade hidrológica da bacia prove o contrário. Sendo assim, $K_{out} = 1$ e $K_{med} = 0$. Além disso, como explicado anteriormente, por não existir uma outorga sazonal feita de maneira correta, considerou-se o índice $K_P = 1$.

O índice K_{SAA} é dado em função da relação entre os índices de atendimento total de água (IATA) e de perdas na distribuição (IPD), como mostrado anteriormente na Equação (12).

$$K_{SSA} = 1 + \frac{IPD}{IATA} \quad (12)$$

Tanto o IPD quanto o IATA utilizados nesse primeiro cenário foi a média para os municípios de Areia Branca e Itabaiana, como justificado anteriormente, e fornecidos

pelo SNIS para o ano de 2017, para coincidir com as informações de captação. Sendo assim temos:

$$IPD = \frac{IPD_{AB} + IPB_{It}}{2} = \frac{47,76 + 48,37}{2} = 48,065$$

$$IATA = \frac{IATA_{AB} + IATA_{It}}{2} = \frac{99,38 + 99,22}{2} = 99,30$$

$$K_{SSA} = 1 + \frac{48,065}{99,30} = 1,48$$

O índice K_{ITI} é dado em função da eficiência dos sistemas de irrigação utilizados que, para o caso dos perímetros irrigados Jacarecica I e II, inseridos na região, é irrigação localizada, microaspersão e irrigação convencional. Como afirmado anteriormente, a manutenção por não ser tão frequente e feita de maneira preventiva, como recomendado, utilizou-se a eficiência de 80% para cada um dos sistemas supracitados, tendo como resultado $K_{ITI} = 1,2$ (Quadros 15 a 21).

Como justificado anteriormente em questão a ações de conservação do serviço ambiental hídrico, considerou-se que a COHIDRO investe diretamente em ações na própria bacia de captação ($K_{cons} = 0,8$), enquanto que a empresa responsável por captação para abastecimento humano investe em ações ambientais em outras bacias, mas não na de captação ($K_{cons} = 1,0$).

Sendo assim:

$$Valor_{cap}^{AH} = 1(1 \cdot 1.724.428,80 + 0 \cdot 1.724.428,80) \cdot 1,48 \cdot 1,0 \cdot 0,03 = R\$ 76.564,64$$

$$Valor_{cap}^{IRR} = 1(1 \cdot 12.387.648,00 + 0 \cdot 12.387.648,00) \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,03 = R\$ 356.764,26$$

Sendo

$Valor_{cap}^{AH}$ = valor arrecadado com a cobrança pelo uso da água para abastecimento humano (R\$); e

$Valor_{cap}^{IRR}$ = valor arrecadado com a cobrança pelo uso da água para agricultura irrigada (R\$).

ANEXOS

Anexo A: Dados gerais sobre os perímetros irrigados de Sergipe (COHIDRO)

PERÍMETRO	ÁREA TOTAL Há	ÁREA IRRIGADA (ha)	LOTES	QTD	TIPOS DE IRRIGAÇÃO	CAPTAÇÃO	TIPOS DE SOLOS	PRINCIPAIS CULTURAIS	PÚBLICO BENEFEICIADO (PESSOAS)	ÁREA DA BACIA (ha)	SITUAÇÃO FUNDIÁRIA
CALIFÓRNIA (Canindé)	3980	1360	Familiars	293	Aspersão Gotejamento Microaspersão.	Rio S. Francisco	Bruno não cálcico Vertissolo Litólocos Eutroficicos	Quiabo, milho, feijão, Goiaba, Aipim, Abóbora, Acerola, Banana e Uva	1863	-	Assentamento e exploração empresarial
			Empresariais	19							
			Sequeiros	61							
			Total	373							
RIBEIRA (Itabaiana)	1970	650	Familiars	466	Irrigação localizada e Microaspersão	Rio Traíras	Podzólico V.A Planossolo Latossolo	Batata doce, alface e coentro	4660	238.31	Particular
JACARECICA I (Itabaiana)	398	252	Familiars	126	Irrigação localizada e Microaspersão	Barragem do Rio Jacarecica	Planossolo Solódico Eutrófico	Batata doce, amendoim e Hortaliças	630	115.4	Assentamento
PIAUÍ (Lagarto)	1450	550	Familiars	421	Aspersão convencional e irrigação localizada.	Barragem no Rio Piauí	Podzólico V.A Planossolo Plintossolos	Aipim e amendoim, repolho, pimentão e maracujá	3515	367	Particular
JACARECICA II (Malhador)	1998	820	Familiars	420	Aspersão convencional e irrigação localizada.	Barragem do Rio Jacarecica	Podzólico V.A	Cana de açúcar Cana Cayana Batata Doce Inhame, Aipim, Feijão de Corda Fruticultura	2965	260	Assentamento e exploração empresarial
			Empresariais	12							
			Sequeiros	46							
			Total	478							
JABIBERI (Tobias Barreto)	362	112	Familiars	75	Aspersão convencional.	Barragem do Rio Jabiberi	Aluviais eutroficicos Plintossolos	Pecuária de leite	370	60.64	Assentamento
PLATÔ NEÓPOLIS	10422	7063	Empresariais	42	Aspersão convencional e irrigação localizada.	São Francisco	-	Côco, Manga, Mamão, Limão, Laranja, Banana, Maracujá, Cana de Açúcar, Grama ornamental e Mandioca	-	-	Exploração empresarial
TOTAL	20,580	10,807		1,981	-	-			14,003		

FONTE: COHIDRO