



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

NADJA VALÉRIA PINHEIRO

**MODELAGEM HIDROLÓGICA E O PAGAMENTO POR SERVIÇOS
AMBIENTAIS NO PROCESSO DECISÓRIO PARA A CONSERVAÇÃO DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS.**

RECIFE

2023

NADJA VALÉRIA PINHEIRO

**MODELAGEM HIDROLÓGICA E O PAGAMENTO POR SERVIÇOS
AMBIENTAIS NO PROCESSO DECISÓRIO PARA A CONSERVAÇÃO DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Professora orientadora: Dra. Josiclêda Domiciano Galvício – (UFPE)

RECIFE

2023

Catálogo na Fonte
Bibliotecário: Rodrigo Leopoldino Cavalcanti I, CRB4-1855

P654m Pinheiro, Naja Valéria.
Modelagem hidrológica e o pagamento por serviços ambientais no processo decisório para a conservação de bacias hidrográficas / Naja Valéria Pinheiro. – 2023.
143 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora : Josiclêda Domiciano Galvínio.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente,
Recife, 2023.

Inclui referências e anexos.

1. Meio ambiente. 2. Serviços ecossistêmicos. 3. SWAT/SUPer. 4. Balanço hídrico. 5. Reservatórios. 6. Gestão de recursos hídricos. I. Galvínio, Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Título.

363.7 CDD (22.ed.)

UFPE (BCFCH2023-206)

NADJA VALÉRIA PINHEIRO

**MODELAGEM HIDROLÓGICA E O PAGAMENTO POR SERVIÇOS
AMBIENTAIS NO PROCESSO DECISÓRIO PARA A CONSERVAÇÃO DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovado em 11/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª.Dra. Josiclêda Domiciano Galvício – (UFPE)

Orientadora

Prof^ª Dr^ª. Luciana Mayla de Aquino França – (UFPE)

Membro Externo

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Regina Alves Cavalcanti Silva – (IFMA)

Membro Externo

Prof^º. Dr. Inajá Francisco de Sousa – (UFS)

Membro Externo

Prof^º. Dr.Tarciso Cabral da Silva – (UFPB)

Membro Externo

Dedico esta Tese ao “Meu Garoto” Vinicius e aos meus 20 gatinhos, pela paciência da minha ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus criador e razão de toda existência, que me oportunizou esta conquista, concedendo força, sabedoria e infinitas ajudas em todos os momentos difíceis passados durante esse tempo.

À UFPB / CCSA / Departamento de Administração pela concessão da licença de quatro anos para capacitação neste programa e aos professores substitutos que me substituíram ao longo desta jornada.

À orientadora profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvíncio, pela oportunidade e confiança, pelos ensinamentos que me fizeram crescer como pesquisadora e como ser humano, orientando com competência, sendo compreensiva e paciente, meus agradecimentos.

À coordenação do PRODEMA na representação da coordenadora prof^a. Dra. Vanice Selva por toda competência, ética e justiça nos processos e dos funcionários: Solange e Tarcísio que muito me ajudaram nessa jornada.

À banca examinadora – Professores Drs: Inajá, Luciana, Elizabeth e Joélia que me ajudaram muito com suas contribuições.

A todos os professores das disciplinas que cursei, pela transmissão de conhecimento.

Aos colegas, da turma do doutorado 2019, pelos incentivos, união e companheirismo.

Às minhas irmãs Fawzia e Alessandra e meus cunhados Ruy e Carlos Horácio pela acolhida em Recife me fazendo sentir em casa.

Ao “meu garoto” Vinicius que segurou toda a barra das minhas idas a Recife.

Às minhas colegas de universidade Maria Limeira, Márcia Felix, Esdras Matheus e Graça Rodrigues pela força, incentivo e apoio para que eu chegasse até aqui.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com o desenvolvimento desta tese.

RESUMO

A degradação natural e antrópica de ecossistemas e, em particular, de cursos d'água é preocupação em todo o planeta pela importância da água para a sobrevivência humana e equilíbrio da natureza, o que torna constante o debate sobre serviços ecossistêmicos com a aplicação e desenvolvimento de instrumentos que possam promover à conservação e recuperação de bacias hidrográficas. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a modelagem hidrológica e o pagamento por serviços ambientais – PSA no processo decisório para a conservação da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe - PE. Para isso, a metodologia utilizada teve como natureza a pesquisa exploratória e descritiva. Foi realizada uma revisão sistemática sobre o PSA e gestão hídrica. Os dados primários foram retirados do *shapefile* Capibaribe no banco de dados do SWAT/SUPer. Para o método de análise dos dados foi usado o qualitativo/quantitativo com a interpretação dos dados. O estudo de caso foi feito na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe – PE. Os resultados obtidos com a revisão, demonstram a tendência global pelo envolvimento ao tema de conservação dos recursos hídricos nas últimas décadas tanto pela modelagem hidrológica como também pela elaboração de programas de PSA. O Brasil está presente no ranking de maiores pesquisadores dessa área interdisciplinar da Ciência Ambiental. Quanto aos dados analisados foram observados que a Bacia é bastante complexa por correr em dois biomas, agreste e Zona da Mata Atlântica e manguezais. Os principais reservatórios são Carpina, Goitá, Tapacurá, destacando Jucazinho, em Surubim região do agreste de Pernambuco. Os mesmos servem para controlar as cheias, além do abastecimento, irrigação e piscicultura. Como resultado final, a referida bacia apresenta deficiência hídrica. Com relação ao PSA como instrumento de ação para promover a solução do problema é preciso que haja parcerias entre o Governo do Estado de Pernambuco com os seus órgãos de gestão hídrica, os 42 municípios que fazem parte do curso d'água da bacia e todos os demais agentes que direta ou indiretamente usufruem da água, que sejam elaborados projetos de PSA voltado com especificidade para cada município, tendo a recuperação/conservação da mata ciliar em comum para todos estes projetos. Por fim, os resultados obtidos comprovam que a modelagem hidrológica e os programas de PSA, podem ser utilizados no planejamento e gestão da água, como apoio ao processo decisório para a conservação não só da bacia do Rio Capibaribe, mas podem ser aplicados em qualquer bacia hidrográfica.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos; SWAT/SUPer.; balanço hídrico; reservatório; gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT

The natural and anthropic degradation of ecosystems and, in particular, watercourses is a concern throughout the planet for the importance of water for human survival and balance of nature, which makes the debate on ecosystem services constant with the application and development of instruments that can promote the conservation and recovery of river basins. Thus, the purpose of this study was to evaluate the hydrological modeling and payment for environmental services - PES in the decision-making process for the conservation of the Capibaribe River Basin - PE. For this, the methodology used was exploratory and descriptive research. A systematic review on PES and water management was performed. The primary data were taken from the Capibaribe shapefile in the SWAT/SUPER database. For the method of data analysis was used qualitative/ quantitative with the interpretation of data. The case study was done in the Capibaribe river basin - PE. The results obtained with the review demonstrate the global trend for involvement in the theme of conservation of water resources in recent decades both by hydrological modeling and also by the development of PES programs. It was also found the presence of Brazil in the ranking of major researchers in this interdisciplinary area of Environmental Science. Brazil is present in the ranking of major researchers in this interdisciplinary area of Environmental Science. As for the data analyzed were observed that the Basin is quite complex to run in two biomes, wild natural environment and Atlantic Forest Zone and mangroves.. The main reservoirs are Carpina, Goitá, Tapacurá, highlighting Jucazinho, in Surubim region of the *agreste* of Pernambuco. They serve to control floods, in addition to supply, irrigation and fish farming. As a final result, this basin has water deficiency. Regarding the PES as an instrument of action to promote the solution of the problem, there must be partnerships between the Government of the State of Pernambuco with its water management bodies, the 42 municipalities that are part of the watercourse of the basin and all other agents that directly or indirectly enjoy the water, which are elaborated PES projects focused on specificity for each municipality, having the recovery/conservation of the riparian forest in common for all these projects. Finally, the results show that hydrological modeling and PES programs can be used in water planning and management, as a support to the decision-making process for the conservation of the Capibaribe River basin, but can be applied in any watershed.

Keywords: ecosystem services; SWAT/SUPER; water balance; reservoir; water resources management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de PSA praticado.	24
Figura 2 - Espécies de instrumentos econômicos	31
Figura 3 - Unidades Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos	53
Figura 4 – Localização da Bacia do Rio Capibaribe	65
Figura 5 – Localização e afluentes do Rio Capibaribe	66
Figura 6 – Curso principal do Rio Capibaribe (PE),	66
Figura 7 - Zoneamento da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe por Unidades de Análise - UA	72
Figura 8 - Balanço hídrico médio anual na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	76
Figura 9 - Isoietas anuais médias (mm) mostrando o aumento da precipitação média de montante para jusante da baciahidrográfica do Rio Capibaribe.....	75
Figura 10 - Evaporação da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em m ³ /s	79
Figura 11 - Fluxo de entrada e saída de água na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em m ³ /s	80
Figura 12 - Isolneas anuais médias de evapotranspiração potencial de Hargreaves (mm). ...	87
Figura 13 - Média mensal de Evaporação da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em m ³ /s	88
Figura 14 - Média mensal do fluxo de entrada e saída na Bacia Hidrográfica do Rio Caspibaribe em m ³ /s.....	89
Figura 15 - Média mensal da sedimentação de entrada e saída Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em tons.	90
Figura 16 - Média mensal da concentração de sedimentação na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	91
Figura 17 - Isotermas anuais médias (°C).....	92
Figura 18 - Média mensal da temperatura, Temperatura Máxima e a Temperatura Mínima na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	93
Figura 19 - Foz dos rios Capibaribe, Beberibe, Jordão, Pina e Tejipió.....	100

Figura 20 - Localização dos principais reservatórios da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	102
Figura 21 - Comparação entre ferramentas de modelagem de serviços ecossistêmicos	106
Figura 22- Fluxograma das Etapas do Planejamento estratégico hídrico.....	110
Figura 23- Fluxograma do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos de Pernambuco	111
Figura 24 - Apresentação ABRHidro, 2019.	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Bens rivais e não rivais; de uso exclusivo e não exclusivo.....	28
Quadro 2 - PNPSA - Lei 14.119 (2021) Cap. 1 Art. 2º	36
Quadro 3 - Principais resultados com os termos “payment for ecosystem services” e “water management”	58
Quadro 4 - Metodologia adotada para o estudo.....	62
Quadro 5 - Reservatórios da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe.....	75
Quadro 6 - Climatologia de Pesqueira.....	94
Quadro 7 - Climatologia de Caruaru	95
Quadro 8 - Climatologia de Surubim – PE.....	95
Quadro 9 - Climatologia de Recife.....	96
Quadro 10-Previsão das demandas de água para o abastecimento humano na bacia hidrográfica do rio Capibaribe para 2025.....	101

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Artigos publicados com os termos “payment for ecosystem services” e “water management” no intervalo de cinco anos - 2018 a 2022.	55
Gráfico 2 – Média Diária de Evaporação da Bacia Hidrográfica Rio do Capibaribe	79
Gráfico 3 - Média diária do Fluxo de entrada de água na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em m ³ /s.....	81
Gráfico 4 - Média diária do Fluxo de saída e o TLOSS na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	82
Gráfico 5 – Resumo da sedimentação da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe	83
Gráfico 6 – Média diária da relação do Fluxo de Saída em m ³ /s, o TLOSS em Tons e a temperatura em °C da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.	84
Gráfico 7 - Balanço hídrico médio mensal na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.	85
Gráfico 8 – Comparativo dos Extratos completos dos balanços hídricos dos quatro municípios estudados.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACE	Certificado Análise de Custo-Efetividade
AEM	Avaliação Ecológica do Milênio
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
ARS	Serviço de Pesquisa Agrícola
ATDEFN	Autarquia Territorial Distrito Estadual de Fernando de Noronha
CBH	Comitês de bacia hidrográfica
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
CICES	Classificação Internacional Comum de Serviços Ecológicos
CNP	Certificados Negociáveis de Poluição
COB26	Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Consu	Conselhos Gestores de Reservatórios
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CRH/PE	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
DAC	Disposição de Aceitar
DAP	Disposição a pagar
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
EEA	Agência Ambiental Europeia
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EUA	Estados Unidos da América
ET	Evapotranspiração
FAS	Fundação Amazônia Sustentável
FGBPN	Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza
GL	Grupo de bacias de pequenos rios Litorâneos
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
HRU	Unidades de Respostas Hidrológicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MEA	Millennium Ecosystem Assessment
MMA	Ministério do Meio Ambiente

OCDE	Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONG	Organizações Não Governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
PEDI	Parque Estadual de Dois Irmãos
PERH-PE	Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco
PEPSA	Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais
PET	Potencial de Evapotranspiração
PNPSA	Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PSE	<i>Payment for Environment Service</i>
REDD+	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
RD	Regiões de desenvolvimento de Pernambuco
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos
SEMAS	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SECTMA	Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente.
SHRE	Política Estadual de Recursos Hídricos e de Saneamento
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SUPer	Sistema de Unidades de respostas hidrológicas para Pernambuco
SWAT	<i>Soil and Water Assessment Tool</i>
UA	Unidades de Análise
UP	Unidade de Planejamento Hídrico
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USP	Universidade de São Paulo
VET	Valor Econômico Total
ZCIT	Zona de convergência intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Geral	20
1.1.2	Específico	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E SERVIÇOS AMBIENTAIS	21
2.1.1	Serviços de provisão	23
2.1.2	Serviços de regulação	24
2.1.3	Serviços de suporte	24
2.1.4	Serviços de cultura	24
2.2	MODELAGEM HIDROLÓGICA	25
2.3	O SWAT/SUPer	26
2.4	CONCEITOS ECONÔMICOS	27
2.4.1	Bens públicos	28
2.4.2	Externalidades	28
2.4.2.1	Externalidade negativa	29
2.4.2.2	Externalidade positiva	29
2.4.2.3	Internalização	29
2.4.3	Valoração econômica ambiental -----	29
2.4.4	Instrumentos econômicos -----	30
2.4.4.1	Preços e tributos	31
2.4.4.2	Prêmios	32
2.4.4.3	Certificados negociáveis de poluição	32
2.4.4.4	Depósito-retorno	32
2.5	O PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS	33
2.5.1	Benefícios monetários e não monetários	37
2.5.2	Fontes de financiamento	37
2.5.3	Monitoramento	39
2.5.4	Arranjos institucionais	40
2.5.5	Iniciativas nacionais e internacionais	40
2.6	GOVERNANÇA AMBIENTAL	41

2.6.1	O Conceito de governança.....	42
2.6.2	Governos locais.....	47
2.6.3	Planejamento dos recursos hídricos.....	48
2.6.4	Comitê de bacia e conciliação de conflitos.....	49
2.6.5	Os arranjos institucionais de gestão.....	50
2.7	GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM PERNAMBUCO.	51
2.8	REVISÃO SISTEMÁTICA ABORDANDO PSA E GESTÃO DA ÁGUA	54
3	METODOLOGIA	61
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE	64
3.2	O CICLO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE.	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
4.1	A BACIA EM FOCO	70
4.2	SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NA REGIÃO NOR- DESTE DO BRASI	72
4.3	O BALANÇO HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE.....	74
4.4	BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO.....	94
4.4.1	Pesqueira (UA1)	94
4.4.2	Caruaru (UA2).....	94
4.4.3	Surubim (UA3).....	95
4.4.4	Recife (UA4).....	96
4.5	DEMANDA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	100
4.5.1	Reservatório Carpina.....	102
4.5.2	Reservatório Eng. Gercino Pontes.....	103
4.5.3	Reservatório Goitá.....	103
4.5.4	Reservatório Jucazinho.....	103
4.5.5	Reservatório Machado.....	104
4.5.6	Reservatório Poço Fundo.....	104
4.5.7	Reservatório Tapacurá.....	104
4.5.8	Reservatório Várzea do Uma.....	105
4.6	O PROCESSO DECISÓRIO PARA A CONSERVAÇÃO DA BACIA...	105

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
	REFERÊNCIAS.....	118
	ANEXO A - DISTRIBUIÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA BACIA POR REGIÃO DE DESENVOLVIMENTO	138
	ANEXO B – ÁREA DE OCUPAÇÃO DOS MUNICÍPIOS NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE,,,,,,.....	141
	ANEXO C - MUNICÍPIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE E RESPECTIVA UNIDADE DE ANÁLISE (UA).	142

1 INTRODUÇÃO

Com a degradação do ambiente devido aos impactos causados pelas atividades humanas e a própria ação da natureza, faz-se necessário uma gestão adequada para proporcionar uma maior resiliência e sustentabilidade aos recursos hídricos.

Estudado pela ecologia, os ecossistemas são compreendidos como um conjunto complexo de seres vivos e características ambientais em interação, cujos processos ecológicos são responsáveis pelo funcionamento dos sistemas ambientais e pelos serviços ecossistêmicos (Santos et al., 2019). Assim, em 2001, foi criada uma agenda internacional e de pesquisa para investigar as mudanças ambientais e fazer possíveis previsões. Desta forma surgiu a plataforma “Millennium Ecosystem Assessment” - MEA (2005), ou seja, a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM), com o propósito de estudar os ecossistemas mundiais que resultou na explicação e na criação de categorias para as múltiplas relações que ocorrem entre os ecossistemas e as sociedades.

A modelagem hidrológica através da simulação de cenários em busca da melhor solução para o processo de decisão na gestão da escassez hídrica é uma forma de quantificar os serviços ecossistêmicos, gerando o balanço hídrico possibilitando, posteriormente, a valoração desses serviços e a criação de políticas de recuperação e conservação dos recursos hídricos.

O instrumento utilizado para tal ação é o *Soil and Water Assessment Tool* – SWAT que segundo Francescon *et al* (2016, p. 625), “é uma ferramenta de modelagem usada para ajudar a quantificar os serviços ecossistêmicos, incorporando os benefícios coletivos que os sistemas naturais fornecem principalmente aos seres humanos”. Pode ser utilizado em escala temporal desde pequenas bacias até bacias hidrográficas continentais (RADCLIFFE *et al*, 2015, apud FRANCESCON *et al*, 2016, p. 625), devido a divisão da mesma em Unidades de Respostas Hidrológicas (HRU) feito pelo referido software para a modelagem. Por ter uma política de acesso aberto e documentação bem detalhada, tem ampla aceitação e aplicação em vários países, sendo uma tendência mundial, ainda segundo o referido autor.

Estudos desta ferramenta incluem também a análise do transporte de nutrientes e sedimentos relacionando as melhores práticas de manejo, áreas alagadas, irrigação, cultivo de bioenergia, mudanças climáticas, uso da terra, entre outros, mas tem sucesso comprovado principalmente em bacias hidrográficas. Os serviços ecossistêmicos que são mais precisos para a modelagem são os de provisão e regulação. Os serviços de suporte e culturais podem

ser modelados, mas de forma indireta por se tratar de serviços que dependem da percepção humana sobre os mesmos (FRANCESCON *et al.*, 2016).

Para operacionalizar a ação humana, temos um instrumento econômico utilizado em vários países, inclusive no Brasil, que é o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Segundo Wunder, (2005), “trata-se de uma transação voluntária, na qual um serviço ambiental bem definido ou um uso da terra que possa assegurar este serviço é comprado por, pelo menos, um comprador de, pelo menos, um provedor sob a condição de que o provedor garanta a provisão deste serviço”, ou seja, a utilização do princípio pagador-provedor.

O Pagamento por Serviços Ambientais por ser um tema recente, seu estudo se deu a partir da experiência da Costa Rica no final do século XX e Estados Unidos e começou a ser discutido no Brasil a partir do início do século XXI (Brasil, 2009), ainda de forma tímida, mas que teve impulso com os resultados obtidos nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia entre outros.

O mesmo busca remunerar aquele que preserva o meio ambiente. No Brasil há muitas oportunidades potenciais e o PSA se constitui num instrumento de gestão estratégica, como se pode observar nos projetos que tiveram sucesso e estão sendo aplicados como, por exemplo: O projeto Conservador de Águas implantado no município de Extremas em Minas Gerais e o projeto Produtor das Águas de Vera Cruz – RS (Moraes, 2012), entre outros que foram pioneiros e que são utilizados como referência de estudos nesta área. Atualmente destacam-se os projetos de PSA Oásis, da Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza (FGBPN, (2022)), e Produtor de Água, da Agência Nacional de Água (ANA, (2019)). Esses programas já estão em prática há 10 anos, sendo aprimorados e disseminados em todas as regiões do país. .

O PSA vem representando um considerável avanço no ordenamento jurídico e nas políticas públicas, com a publicação da LEI Nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021 que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais - PNPSA (PNPSA, 2021). A Lei das Águas - lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabeleceu instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal (aqueles que atravessam mais de um estado ou fazem fronteira) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), (ANA (2022)).

Os resultados destes instrumentos, modelagem hidrológica e PSA, são utilizados para a gestão de recursos hídricos no planejamento estratégico, mais explicitamente, através da determinação de políticas, permitindo ainda estimar os impactos socioeconômicos e

ambientais, identificando soluções sustentáveis, contribuindo com o processo de tomada de decisão.

A Governança da Água é um aspecto da Governança Ambiental e implica em determinar papéis e responsabilidade dos diferentes atores e seus interesses na gestão hídrica. Refere-se, então, ao conjunto de aspectos políticos, sociais, econômicos e sistemas administrativos que estão no local para desenvolver e gerenciar os recursos hídricos, a prestação de serviços de água e para implantação de soluções para melhoramento da qualidade da água, em diferentes níveis da sociedade (MATOS E DIAS, 2017). Assim, cabe a gestão local da água tornar viável a solução de problemas provocada pela escassez de água potável, mediando conflitos através do estímulo a cooperação dos indivíduos. Uma boa gestão da água em síntese requer a ação nacional, regional e internacional.

A Bacia do Rio Capibaribe é o objeto desse estudo pela sua importância para o abastecimento no Estado de Pernambuco, bem como pelo seu valor econômico, social e ambiental. Assim sua sustentabilidade se faz necessária por meio de uma gestão participativa que crie ações para a recuperação e conservação da mesma.

Devido às diversas condições climáticas que determinam a existência de secas e enchentes que são inerentes à própria bacia, por ter o seu curso d' água percorrendo dois biomas: Caatinga e Zona da Mata, e também o ecossistema de manguezais no litoral, estas condições provocam contrastes no comportamento do fluxo de água, e também impactos que causam desastres naturais como os deslizamentos, as inundações, a falta d' água e a desertificação, associados ao desequilíbrio das massas continentais e oceânicas sob o efeito da mudança climática e ações antrópicas, causando problemas pelas erosões pluviais, marítimas e costeiras, criando cenários diferentes e mutáveis do uso e ocupação do solo, cobertura vegetal modificada, frequentemente, pelo desmatamento, bem como tendo a qualidade e quantidade da água afetada pela poluição. Além disto, existem conflitos sociais e econômicos entre os atores envolvidos por questão de diferenças de interesses seja na agricultura seja na área urbana, como a especulação imobiliária ou pela gestão pública e iniciativa privada de um modo geral.

Desta forma a questão deste estudo é de como a modelagem hidrológica e o pagamento por serviços ambientais podem ser aplicados para a resolução de conflitos sociais, econômicos e ambientais, direcionando para a conservação da Bacia do Rio Capibaribe e demais bacias hidrográficas, dando suporte á tomada de decisão na gestão de recursos hídricos na criação de ações que possam ser voltadas para o bem-estar da sociedade e natureza local.

A hipótese que norteou este estudo foi: A modelagem hidrológica e o PSA são instru-

mentos distintos, mas juntos podem reduzir a incerteza no processo decisório hídrico, no desenvolvimento de estratégias para a conservação da Bacia do Rio Capibaribe – PE, observando as particularidades e complexidade da mesma, podendo ser estendido para as demais bacias hidrográficas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Avaliar a modelagem hidrológica e o pagamento por serviços ambientais – PSA no processo decisório para a conservação da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe - PE.

1.1.2 Específicos

- ✓ Identificar os tipos de serviços ecossistêmicos da bacia do Capibaribe que podem ser utilizados na modelagem e também no PSA.
- ✓ Analisar o balanço hídrico da Bacia do Rio Capibaribe – PE e seu uso na tomada de decisão.
- ✓ Averiguar a viabilidade de aplicação de programas de pagamento por serviços ambientais relacionados à conservação de cursos d'água na Bacia do Rio Capibaribe, baseado na literatura.

Para abordar esse assunto temos a seguir o Referencial Teórico que é à base de sustentação no campo da literatura científica existente sobre este estudo, onde reúne os autores principais expondo o conhecimento atual sobre o tema em discussão. Em seguida é apresentada a metodologia aplicada e como se deu o desenvolvimento do referido estudo e também as características do sujeito da pesquisa que é a Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. Na quarta seção apresentamos os resultados e fazemos a discussão dos mesmos, destacando o Balanço Hídrico da referida Bacia e a influência das mudanças climáticas sobre a captação e disponibilidade da água nos reservatórios. Na sexta seção expomos a utilização dos instrumentos estudados na gestão dos recursos hídricos. Por fim, temos as considerações finais do que foi estudado e as referências utilizadas para construir esta tese.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E SERVIÇOS AMBIENTAIS

A necessidade de água no planeta é vital para a sobrevivência das espécies, mas a sua disponibilidade é desigual e a oportunidade de aumentar essa oferta é limitada em muitos lugares, devido à escassez de recursos e impactos causados pelas mudanças climáticas. No Brasil essa preocupação também é uma constante, então, de acordo com o contexto da Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB (Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998), temos a seguinte definição:

Diversidade biológica corresponde à variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, entre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas. (MMA 2022)

Para isso, é necessário que medidas de conservação e utilização sustentável dos ecossistemas, resguardem a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. Como está definida no Art.8 da CDB (MMA, 2022),

- a) estabelecimento de um sistema de áreas protegidas ou áreas onde medidas especiais precisem ser tomadas para conservar a diversidade biológica;
- b) desenvolvimento, se necessário, de diretrizes para a seleção, o estabelecimento e a administração de áreas protegidas ou áreas onde medidas especiais precisem ser tomadas para conservar a diversidade biológica;
- c) regulamentação ou administração de recursos biológicos importantes para a conservação da diversidade biológica, dentro ou fora de áreas protegidas, a fim de assegurar sua conservação e utilização sustentável;
- d) proteção de ecossistemas, habitats naturais e manutenção de populações viáveis de espécies em seu meio natural;
- e) promoção do desenvolvimento sustentável e ambientalmente sadio em áreas adjacentes às áreas protegidas a fim de reforçar a proteção dessas áreas;
- f) recuperação e restauração de ecossistemas degradados e promoção da recuperação de espécies ameaçadas, mediante, entre outros meios, a elaboração e implementação de planos e outras estratégias de gestão;
- g) estabelecimento ou manutenção dos meios para regulamentar, administrar ou controlar os riscos associados à utilização e à liberação de organismos vivos modificados resultantes da biotecnologia que provavelmente provoquem impacto ambiental negativo que possa afetar a conservação e a utilização sustentável da diversidade biológica, levando também em conta os riscos para a saúde humana;
- h) impedimento da introdução, controle ou erradicação de espécies exóticas que ameacem os ecossistemas, habitats ou espécies;
- i) promoção das condições necessárias para compatibilizar as utilizações atuais com a conservação da diversidade biológica e a utilização sustentável de seus componentes;
- j) em conformidade com sua legislação nacional, respeito, preservação e manutenção do conhecimento, inovações e práticas das comunidades locais e populações indígenas com estilo de vida tradicionais relevantes à conservação e à utilização sustentável da diversidade biológica e incentivo à sua mais ampla aplicação com a aprovação e a participação dos detentores desse conhecimento, inovações e práticas; e encorajamento da repartição equitativa dos benefícios oriundos da utilização desse conhecimento, inovações e práticas;
- k) elaboração ou manutenção da legislação em vigor necessária e/ou de outras disposições regulamentares para a proteção de espécies e populações ameaçadas;

- l) quando se verifique um sensível efeito negativo à diversidade biológica, regulamento ou administração dos processos e das categorias de atividades em causa; e
- m) cooperação com o aporte de apoio financeiro e de outra natureza para a conservação, particularmente aos países em desenvolvimento.

Os serviços ecossistêmicos podem identificar custos e benefícios para a conservação desse recurso, embora limitado à compreensão de suas funções e características ecológicas. Estes serviços são básicos e servem como entrada para utilização nos processos de modelagem hidrológica e pagamento por serviços ambientais, possibilitando reduzir a incerteza na tomada de decisão na gestão da água.

. A discussão desse tema tomou forma com pesquisas sobre mudanças ambientais na plataforma Millennium Ecosystem Assessment – (MEA, 2005) que envolveu mais de 1300 cientistas e foi definido o conceito e classificação de serviços ecossistêmicos, onde o mesmo passa a ser utilizados por grande parte de interessados, incluindo cientistas, economistas, profissionais de diversas áreas do conhecimento, gestores de políticas públicas, gestores de terras e educadores ambientais, enfim os responsáveis pela tomada de decisão no âmbito ambiental. (BRENDA, F; TURNER, R. K; MORLING, P. 2009).

Criado pelo World Resources Institute (Washington, DC.), esse programa de pesquisa busca avaliar os ecossistemas mundiais, e segundo Daniel et al. (2012), sua criação, como uma abordagem formal, possibilitou explicar e categorizar as múltiplas relações que ocorrem entre os ecossistemas e as sociedades. Ainda de acordo com o referido autor, são apresentados três conceitos clássicos sobre serviços ecossistêmicos:

1. As condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que os compõem, sustentam e atendem a vida humana. (DAILY, 1997).
- 2 Os benefícios que as populações humanas retiram, direta ou indiretamente, de funções ecossistêmicas. (COSTANZA et al., 1997).
- 3 Os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. (MEA, 2005).

Para os autores Brenda, Turner e Morling, (2009), o conceito de serviços ecossistêmicos só faz sentido dentro do contexto geográfico e especificando as características dos serviços de interesse, que são categorizados, de acordo com o MEA (2005) como sendo serviços de provimento, serviços de regulação, serviços de suporte e serviço cultural. Os dois primeiros apresentam uma grande quantidade de estudos. O que torna o termo também muito utilizado na literatura científica interdisciplinar da ciência ambiental e a geografia.

O Daily apud Francesconi et al., (2016) definiu o conceito de Serviços Ecosistêmicos “como função ecológica que sustenta a vida”, ou seja, liga o bem-estar humano com a função ecológica.

A Lei 14.119 que regulamenta o PSA no Brasil, O PNPSA (2021) Art. 2º faz as seguintes considerações:

I - Ecossistema: complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e de microrganismos e o seu meio inorgânico que interagem como uma unidade funcional; e

II - Serviços ecossistêmicos: benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais, nas seguintes modalidades:

a) serviços de provisão: os que fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros;

b) serviços de suporte: os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético;

c) serviços de regulação: os que concorrem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono, a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, a minimização de enchentes e secas e o controle dos processos críticos de erosão e de deslizamento de encostas;

d) serviços culturais: os que constituem benefícios não materiais providos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas e do desenvolvimento intelectual, entre outros;

2.1.1 Serviços de provisão

São responsáveis pela capacidade dos ecossistemas de prover algo. São serviços ecossistêmicos de provisão: disponibilidade da água para irrigação na agricultura, uso doméstico,

produção de energia através de barragens e centrais hidroelétricas e para o serviço de lazer e turismo, além de produção de alimentos, biocombustíveis e habitat para a vida selvagem (MEA, 2005). Exemplos: alimentos, matéria-prima, recursos genéticos, água, etc.

2.1.2 Serviços de regulação

São benefícios resultantes de processos naturais reguladores de condições ambientais, exemplos: regulação do clima, controle de sedimentos, enchentes/inundação, regulação de fluxo para a bacia, erosão e abastecimento d'água e lavoura, purificação do ar, qualidade e quantidade de água, nutrientes, cobertura vegetal e uso do solo. MEA (2005).

2.1.3 Serviços de suporte

A classificação do MEA (2005) coloca o serviço de suporte como apoio para as outras categorias de serviços. Francesconi, (2016). Apresenta como exemplo de serviços de suporte a formação do solo, ciclo de nutrientes e da produção de fotossíntese, sendo assim muito difícil de modelar , de acordo com o citado autor.

2.1.4 Serviços de cultura

São serviços com significados culturais imputados, recreação e espiritual de bem-estar. Para Francesconi (2016), “consta de uma série de atividades recreativas ao ar livre como caminhadas, camping, natação ou serviços estéticos como observação de paisagens rurais ou litorâneas e serviços espirituais como: locais de cerimônias sagradas”.

Serviços ambientais são, então, os benefícios gerados pelos ecossistemas para a sociedade e, geralmente, podem ser agrupados em quatro categorias de acordo com a Figura 1.

Figura 1 - Tipos de PSA praticado.



Fonte: Alterman et al (2015).

Desta forma, ressaltamos a importância da conservação e preservação dos serviços ecossistêmicos pela sua implicação na vida de todos os habitantes da Terra. Os serviços ecossistêmicos hídricos servem como entrada na técnica de modelagem hidrológica que é um meio utilizado no processo decisório hídrico, que através do instrumento de modelagem SWAT/SUPer simula os cenários para serem analisados e servirem de base para a tomada de decisão. Os resultados são utilizados para o monitoramento ambiental e também podem ser aplicados ao pagamento por serviços ambientais.

2.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA

Neste contexto, para reduzir o grau de incerteza na tomada de decisão na gestão hídrica, devido à falta de informação que pudesse subsidiar o processo decisório, faz-se necessário o estudo do fenômeno em questão através da modelagem hidrológica. Então se cria um modelo que pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade. Feito as devidas abstrações, partimos para a simulação das variáveis deste modelo, testando hipóteses e criando cenários possíveis para a resolução de problemas.

Desta forma, os mesmos podem ser classificados de acordo com vários aspectos, segundo Maidment (1993; VERTESSY et al. 1993; TUCCI, 1998, apud RENNÓ E SOARES 2022), como sendo: 1. Tipo de variáveis utilizadas na modelagem – estocástica ou determinística; 2. Tipo de relação entre variáveis – empíricas ou conceituais; 3. Forma de representação dos dados – discretos ou contínuos e 4. Existência de dependência temporal – estáticos ou dinâmicos. 5. Variáveis de entrada e saída – pontuais (concentrados ou agregados) ou distribuídos.

Os modelos descrevem os processos com diferentes níveis de detalhamento e diferentes escalas temporais, podendo simular o comportamento de regiões ou parte da mesma como é o caso do estudo de bacias hidrográficas que é uma unidade hidrológica, delimitada pelos divisores de água, e supostamente com um único ponto de saída que é o estuário, de acordo com Rennó e Soares (2022).

Para criar o modelo é preciso caracterizar o sistema no qual o fenômeno está inserido, fazer algumas suposições sobre como os integrantes trabalham e se interagem, traduzindo tudo em equações, procedimentos, simulações e por fim validação do mesmo.

Assim sendo, a modelagem hidrológica neste estudo utiliza o Soil and Water Assessment Tool – SWAT, cuja aplicação parece ser uma tendência mundial. Este sistema utiliza os serviços ecossistêmicos como variáveis de entrada no sistema, que tem se tornado

uma questão central na gestão ambiental para a elaboração de políticas que venham colaborar com uma proposta de maior aproveitamento e uso dos recursos hídricos. A quantificação e valoração destes serviços tornam-se importante para a sua eficácia no processo de tomada de decisão.

2.3 O SWAT/SUPer

Segundo Francescon et al., (2016), SWAT “é uma ferramenta de modelagem usada para ajudar a quantificar os serviços ecossistêmicos, incorporando os benefícios coletivos que os sistemas naturais fornecem principalmente aos seres humanos”. É indicado para bacias hidrográficas tendo sido utilizado em escala temporal desde pequenas bacias até bacias hidrográficas continentais. Por ter uma política de acesso aberto e documentação bem detalhada, tem ampla aceitação e aplicação em vários países, sendo uma tendência mundial, ainda segundo o referido autor. Foi desenvolvido no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) pelo Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) para simular fluxo, sedimentos, nutrientes e escoamento de pesticidas de bacias hidrográficas agrícolas (Arnold et al., 1998). Inicialmente o SWAT possuía somente a base hidrológica, mas ao longo do tempo se transformou em um modelo/sistema ambiental. Ainda, segundo Francescon *et al.*, (2016) a modelagem hidrológica integra a vegetação, solo, água, gestão e componentes meteorológicos e paisagens.

O SWAT como modelo foi proposto como um mecanismo para ajudar a quantificar serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas (VIGERSTOL E AUKEMA, 2011, apud FRANCESCON *et al.*, 2016). Sendo um software de acesso livre e documentação detalhada, tem como entrada os serviços ecossistêmicos como a qualidade e quantidade de água. Em seguida, faz a calibragem e validação dos dados e na saída do processamento temos as variáveis que também são serviços ecossistêmicos como a produção de sedimentos, escoamento superficial, evapotranspiração, armazenamento do aquífero superficial e o aquífero profundo, carga de fósforo e nitrato, manejo do solo, fluxo lateral, fluxo da água subterrânea, fluxo da água, rendimento da água, água do solo e percolação (FRANCESCONI et al, 2016). Os resultados também são utilizados para o monitoramento ambiental.

Outros modelos são o Modelo Integrado Multi-escala de Serviços Ecossistêmicos (MIMES), a Inteligência Artificial para Serviços Ecossistêmicos (ARIES), a Avaliação Integrada de Serviços Ecossistêmicos e Compensações (InVEST), Co\$ting Nature, VIC entre

outros (BOUMANS et al., 2015; MULLIGAN, 2015; GÓMEZ-BAGGETHUN et al., 2014 et al., 2013b; ARNOLD et al., 1993 apud FRANCESCONI, 2016).

Segundo os autores acima citados, embora essas ferramentas exijam a integração de processos ecossistêmicos e socioeconômicos através de abordagens distintas, eles encontram um ponto em comum em que eles tentam simular o efeito do desenvolvimento e da gestão da terra sobre os sistemas de capitais naturais, humanos e construídos.

Como ferramenta de pesquisa voltada para bacias de Pernambuco, temos o Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco – SUPer que é um software de avaliação de bacias hidrográficas para o referido Estado, baseado no HAWQS v1.0 User Guide preparado pelo Laboratório de ciências espaciais da Texas A&M AgriLife Research, College Station, TX. Este Sistema complementa o SWAT na modelagem hidrológica em bacias do Estado de Pernambuco (De acordo com o Manual do SUPer, versão 1.0, sem data apresentada, e também segundo o Guia do Usuário do software (2023)). O referido software – o SUPer foi desenvolvido como um sistema distribuído utilizando a Inteligência Artificial para permitir interação entre usuários em qualquer parte do mundo e poder interagir com o SWAT e outros softwares também desenvolvidos com esta tecnologia de desenvolvimento de programas avançados.

Assim, o mesmo se constitui em um avançado sistema interativo de modelagem hidrográfica para as bacias de Pernambuco, contendo um grande banco de dados, interfaces e modelos desenvolvidos e calibrados para avaliar os impactos do manejo do solo, da poluição hídrica e das mudanças climáticas sobre a quantidade e qualidade da água dos rios e reservatórios de Pernambuco. Apresenta os resultados em diferentes escalas espaciais e temporais, simulando condições de disponibilidade e qualidade da água, tais como: sedimentação, Patógenos, Nutrientes, Demanda biológica de oxigênio, Oxigênio Dissolvido, Pesticidas e Temperatura da água, podendo ser utilizado na gestão de recurso hídricos do estado de Pernambuco.

2.4 CONCEITOS ECONÔMICOS

À medida que os *habitats* naturais e a proteção vegetal vão se tornando escassos, os serviços ecossistêmicos antes oferecidos gratuitamente pela natureza vêm sendo cada vez mais ameaçados. Essa crescente escassez os torna sujeitos potenciais para a comercialização. Para abordar este tema apresentamos a seguir conceitos e definições e a base econômica deste instrumento.

2.4.1 Bens públicos

Um bem público puro “é aquele que possui as seguintes características: é não rival no consumo e seus benefícios são não excludentes (ou não exclusivo” Thomas; Scott, (2010) apud Altmann (2015). A não exclusividade indica que ninguém pode evitar que esses bens sejam consumidos por outra pessoa, em qualquer quantidade. Exemplos de bens não exclusivos seriam a luz do sol ou o ar. Já em relação aos bens não rivais, ocorre quando uma pessoa utiliza um bem ou serviço, mas essa utilização não diminui a quantidade disponível do bem ou serviço para outras pessoas que queiram consumi-los, (PAGIOLA; LANDELL-MILLS; BISHOP , 2005 apud ALTMANN et al 2015). Os serviços ecossistêmicos têm esta peculiaridade, ou seja, são de uso não exclusivo e não rival em sua grande maioria, como mostra o Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 - Bens rivais e não rivais; de uso exclusivo e não exclusivo.

BENS PÚBLICOS	Bens de uso exclusivo	Bens de uso não exclusivo
Rivais no consumo	A maioria dos serviços de provisão. São capturados pelos mercados.	Alguns serviços de provisão (água de alta qualidade, estoque de peixes).
Não rivais no consumo	Alguns serviços de recreação (clubgoods – golfcourses)	A maioria dos serviços de regulação e culturais (beleza cênica)

Fonte: Altmann, et al (2015).

2.4.2 Externalidades

Externalidades são os benefícios ou custos percebidos por terceiros e que não são contabilizados nos preços de mercado. Dividem-se em: 1 Externalidades negativas, também chamadas deseconomias externas, ou 2. Externalidades positivas, também chamadas economias externas (SANDRONI, 2010, p. 276 apud ALTMANN et al (2015)).

2.4.2.1 Externalidade negativa

O conceito de externalidade negativa apud Altmann et al (2015).é normalmente utilizado na economia ambiental para designar a poluição e a degradação ambiental. A solução normalmente adotada é a internalização destes custos, em decorrência do princípio do poluidor pagador, de acordo com este princípio, o poluidor deve responder pelo dano ambiental causado e internalizar as externalidades do processo produtivo. Seu fundamento se encontra no art.225, parágrafo 3º.da CF/88 e no art. 4o., VII da Lei no. 6.938/81.

2.4.2.2 Externalidade positiva

Segundo Altmann et al (2015 p. 30), “externalidades positivas são atividades que geram diversos benefícios ambientais, sem qualquer tipo de incentivo econômico ou contraprestação àqueles que participaram do processo que resultou neste benefício, mas que são usufruídos por todos.” Exemplo é o caso de um proprietário de uma área verde preservada que proporciona serviços ecossistêmicos tais como a regulação climática, o sequestro de carbono, o habitat de espécies, a preservação da biodiversidade, etc., é um exemplo de externalidade positiva gerada pela escolha preservacionista desse proprietário.

Ainda de acordo com o autor acima citado, através dessa concepção teórica, ao eliminar estas externalidades, internalizando os custos e benefícios ambientais, seria possível demonstrar o real valor dos serviços ecossistêmicos para o homem, corrigindo as falhas de mercado e garantindo o fluxo de serviços ecossistêmicos.

2.4.2.3 Internalização

Altmann et al (2015) define internalização como sendo “a correção de externalidades produzindo efeitos econômicos favoráveis”. Assim a internalização de tais externalidades ocorreria através da utilização de instrumentos econômicos que oneram quem polui e, por outro lado, remuneram ou premiam quem preserva. A teoria que fundamenta a aplicação de instrumentos econômicos para a correção de externalidades nos é fornecida por duas correntes de pensamento: a Teoria Pigouviana e a Teoria Coaseana.

2.4.3 Valoração econômica ambiental.

Segundo Altmann, et al (2015), para orientar as escolhas diante de recursos limitados, através de uma análise de custo-benefício, a economia utiliza-se de valoração econômica.

Através da valoração seria possível, por exemplo, sinalizar os valores das perdas experimentadas com o declínio dos bens e serviços providos pela natureza, o valor dos benefícios de sua preservação e calcular o custo de oportunidade quando a questão é preservar ou não determinado ecossistema.

O valor econômico, segundo o mesmo autor, é uma resposta monetária definida diante de diferentes oportunidades de escolha entre alternativas que possam ser comparadas. Entretanto, pela característica de bens públicos não transacionados em mercados que detém grande parte dos serviços ecossistêmicos e pelo fato de vários deles ser de uso indireto, os valores a eles atribuídos não refletem o seu Valor Econômico Total (VET), lembrando que o VET compreende o valor de uso e de não uso. Por tais bens e serviços não contemplarem o VET, o agente econômico não tem condições de fazer a melhor escolha em termos econômicos produzindo as chamadas falhas de mercado. Para os teóricos da Economia Ambiental ou neoclássica, bastaria um ajuste de preços para corrigir esta falha de mercado. Neste sentido, diferentes métodos foram desenvolvidos para estimar a disposição a pagar (DAP) e disposição de aceitar (DAC) perdas individuais de bens que não são transacionados em mercados (ALTMANN et al 2015, p. 35).

O Custo de oportunidade é um conceito de custos utilizado por Marshall apud Altmann et al 2015 que define como sendo, “os custos não devem ser considerados absolutos, mas iguais a uma segunda melhor oportunidade de benefícios não aproveitada”. Ou seja, quando a decisão para as possibilidades de utilização de A exclui a escolha de um melhor B, podem-se considerar os benefícios não aproveitados decorrentes de B como *opportunity costs*, custos de oportunidade (SANDRONI, 2010 apud ALTMANN, 2015).

2.4.4 Instrumentos econômicos

Considerando que o uso dos recursos naturais produz externalidades positivas e negativas, os instrumentos econômicos (Figura 2) são aqueles que buscam oferecer um incentivo na forma de um prêmio, ou alterar o preço (custo) de utilização de um recurso, internalizando as externalidades e, portanto, afetando seu nível de utilização ou sua oferta (MOTTA, 2006, p. 76 apud ALTMANN et al 2015).

Figura 2 - Espécies de instrumentos econômicos



Fonte: Adaptado de OCDE, 1997, p. 15. Apud Alterman et al (2015).

2.4.4.1 Preços e tributos

Para Young (2016), “precificar não é uma tarefa fácil muito menos de serviços ambientais”. Nesse sentido, a tarefa de precificação reveste-se de enorme complexidade técnica e sensibilidade política e econômica, visto que impacta grupos de agentes pagadores e recebedores. A definição dos valores a serem cobrados/pagos afeta a viabilidade de implementação dessa política – decisões concretas para a implementação do PSA requerem o conhecimento prévio, ainda que estimado, da dimensão financeira dos pagamentos envolvidos.

Os tributos ambientais são aqueles que visam a arrecadar receita para o financiamento das políticas ambientais e encontram fundamento no poder de tributar do Estado. Os tributos ambientais em sentido amplo, de acordo com Montero (2013, p. 133 apud YOUNG, 2016), ressaltam que:

Os tributos ambientais em sentido amplo são tributos com uma finalidade predominantemente arrecadadora, mas que em algum dos seus elementos percebe-se algum traço de caráter ecológico. De maneira que, fala-se de tributos ambientais em sentido amplo quando na tributação ordinária são introduzidos elementos ambientais que produzem efeitos de caráter extrafiscal. A tributação ambiental em sentido amplo compreende o uso de técnicas fiscais – incentivos e benefícios fiscais - para estimular a proteção ambiental, e os tributos ordinários que de maneira secundária ou indireta contemplam problemas de caráter ambiental.

Segundo o referido autor et al (2016) é importante sinalizar que sem um sistema de contabilidade – seja dentro das empresas, seja o sistema nacional de contabilidade – que

reproduza os custos e benefícios da preservação dos serviços ecossistêmicos, os tributos ambientais perdem parte de seu potencial.

2.4.4.2 Prêmios

Os prêmios constituem uma espécie de instrumento econômico que tem como finalidade o incentivo aos agentes econômicos para que estes adotem determinadas condutas ou façam escolhas voltadas para a consecução da política pública que os institui. São exemplos de incentivos que atuam na forma de prêmio: o crédito subsidiado; as isenções de impostos e; outras facilidades contábeis para efeito de redução da carga fiscal (como, por exemplo, a depreciação acumulada) (MENDES; MOTTA, 1977, p. 03 apud YOUNG 2016).

2.4.4.3 Certificados negociáveis de poluição

Segundo Canepa (2010, p. 83 apud YOUNG, 2016), os Certificados Negociáveis de Poluição (CNP) têm uma aplicação crescente na solução da poluição do ar, através de mecanismos de mercado também conhecidos como “capand trade” (CANEPA, 2010, p. 83 apud YOUNG, 2016).

O Certificado Análise de Custo-Efetividade (ACE) ainda de acordo com autor (idem) busca alternativas de “abatimento da poluição que atinjam metas socialmente estabelecidas ao menor custo possível” O certificado ACE é utilizado para o combate à poluição do ar e da água, substituiu gradativamente as políticas de comando e controle.

Uma política ambiental custo-efetiva de combate à poluição é aplicada, fundamentalmente, por meio de dois instrumentos de incentivo aos agentes econômicos: a cobrança por despejos de efluentes no bem ambiental objeto da política (Princípio do Poluidor Pagador), ou, equivalentemente, o estabelecimento de Certificados Negociáveis de Poluição. Esse programa inspirou o Mercado de Créditos de Carbono adotado pelo Protocolo de Quioto.

2.4.4.4 Depósito-retorno

Ainda de acordo com Young (2016) “os sistemas de depósito-retorno (ou reembolso do depósito/caução) reembolsam o consumidor pelo retorno de produtos ou embalagens”. Este conceito é baseado no mercado muito utilizado em décadas anteriores, entrou em desuso quando surgiu a logística reversa, ou seja, o descarte do resíduo sólido utilizado não vai para os aterros, mas volta para as empresas produtoras do mesmo para serem reutilizados ou ter o descarte correto, atualmente é usado pelas empresas sustentáveis.

Nesse sistema, é atribuído um valor ao produto ou embalagem usado, nem que seja em centavos, valor esse que será cobrado a mais no preço do produto, representando uma espécie

de caução. O consumidor é instruído a retornar o produto ou embalagem após o uso, quando será ressarcido do valor pago quando da aquisição. O caso mais comum é o retorno de vasilhame, no qual os recipientes possuem um determinado valor que é restituído ao consumidor ao retorná-los ao fornecedor. Algumas empresas estão retornando a esse costume, com devolução de vasilhames de vidro na indústria de bebidas.

De todos os instrumentos de mercado, o sistema de depósito-retorno, quando aplicado para promover a restituição das embalagens, é o que apresenta os melhores resultados (MARTINI, 2013, p. 145 apud YOUNG, 2016). É, portanto, um sistema eficiente no que tange à destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. É possível a utilização do sistema de depósito-retorno para incentivar a troca de produtos usados por novos, quando o fornecedor recebe o produto usado para a reciclagem mediante um abatimento no preço do produto novo.

O quinto instrumento econômico, o pagamento por serviços ambientais (Ver Figura - 2) é o instrumento para agregar valor a este estudo, passando a ser tratado a seguir de forma mais direta para o entendimento do que venha a ser o mesmo.

2.5 O PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS

Designado também por Pagamento por Serviços Ambientais ou Ecosistêmicos é baseado no princípio do protetor-recebedor e visa a corrigir as falhas de mercado que levam a economia a perceber tais serviços como bens “livres”. Tão logo ficou evidenciada a complexidade de desenvolver tais mercados e a forma como eles podem impactar negativamente os mais pobres e vulneráveis, uma segunda geração de PSA surgiu (PORRAS *et al*, 2008, p. 10), desvinculada da lógica de mercado (ALTMANN, 2015, p. 87). Em suma, ao valorizar e remunerar a conservação, o PSA procura corrigir as externalidades positivas permitindo que o agente que as produziu recupere os custos por ele incorridos, necessários à produção desses benefícios ainda de acordo com o autor acima citado.

O PSA se utiliza majoritariamente de um benefício, ao invés de uma punição (princípio poluidor-pagador), para obter comportamentos socialmente desejáveis. Oferece benefícios como contrapartida de práticas que melhorem, mantenham ou recuperem o estoque de capital natural necessário à produção de serviços ecossistêmicos os quais seriam provavelmente perdidos ou degradados sem o uso deste incentivo (STANTON, 2015).

O princípio do poluidor-pagador, ainda de acordo com o autor acima citado, não está em eliminar o efeito negativo, ele está inscrito na lógica do ótimo de Pareto, exigindo uma

ponderação, uma espécie de custo-benefício econômico/financeiro. Dentro dessa perspectiva, a economia de mercado atinge o seu grau ótimo quando realiza uma satisfatória relação entre o uso de um recurso natural e sua conservação, encontrando um preço que permita a utilização do bem ao mesmo tempo em que conserva. Em outras palavras, a relação uso e não uso deve atingir um estágio ótimo que permita a continuação desta prática econômica, ou seja, a sustentabilidade do desenvolvimento. (ALTMANN et al, 2015).

Como um instrumento de incentivo, o PSA se reveste da forma contratual, contendo partes, direitos, obrigações, deveres, preço, penalidades e prazo. Considerando que as práticas de manejo ou abstenções exigidas dos provedores serão bastante variáveis, haverá sempre alguns provedores e diversos serão os benefícios oferecidos, não existindo um único padrão ou modelo adotado, comum em qualquer formato de contrato que é a concretização de um acordo, resultado de uma negociação. Nos projetos sendo desenvolvidos, costuma-se adotar contrato de prestação de serviços, termo de compromisso, termo de adesão, ou ainda, contrato de doação onerosa. É objetivo de um contrato de PSA a conduta que resulte na manutenção, recuperação ou melhora de serviços ecossistêmicos. (STANTON, 2015).

O Contrato de PSA, segundo o mesmo autor, pressupõe pelo menos duas partes o comprador ou pagador e o provedor. Desta forma, o potencial comprador é todo aquele que se beneficia da provisão de um serviço ecossistêmico, o que inclui pessoas físicas e pessoas jurídicas, de direito público e privado. Importante salientar que o comprador de um serviço ambiental nem sempre será o seu usuário direto, principalmente pela dificuldade em fazer-se uma relação direta entre a prática de manejo, a conservação do serviço e o benefício usufruído. Na grande maioria dos casos, o benefício é difuso e usufruído por todos, o que restringe o número de entidades privadas dispostas a pagar pelo serviço. Nestes casos, os governos ingressam na relação como compradora em nome e em benefício de toda a sociedade.

No outro lado temos os provedores que são aqueles que se comprometem a manter, recuperar ou melhorar um serviço ecossistêmico, mediante a promessa de um benefício. Incluem-se nesta categoria: indivíduos ou empresas, Governos, Silvícolas Comunidades tradicionais e ONGs. O PNPSA (2021) Art 2º alíneas V e VI faz as seguintes definições:

V - pagador de serviços ambientais: poder público, organização da sociedade civil ou agente privado, pessoa física ou jurídica, de âmbito nacional ou internacional, que provê o pagamento dos serviços ambientais nos termos do inciso IV deste **caput**;

VI - provedor de serviços ambientais: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, ou grupo familiar ou comunitário que, preenchidos os critérios de elegibilidade, mantém, recupera ou melhora as condições ambientais dos ecossistemas.

Stanton (2015) exemplifica utilizando os tipos de contratos firmados pela Organização não Governamental The Nature Conservancy, na aplicação do Programa Produtores de Água da ANA, que utiliza um modelo de contrato de prestação de serviços ambientais padrão e outro exemplo é o contrato do Projeto Oásis que utiliza um modelo de contrato de doação onerosa chamada “Contrato de Premiação por Serviços Ambientais”.

Em um PSA de Conservação Hídrica a contrapartida exigida do provedor de serviços ambientais depende obviamente do tipo de PSA estabelecido e das pressões identificadas, o objetivo a ser alcançado será a melhoria da qualidade e da quantidade da água e, portanto, serão exigidas práticas de manejo compatíveis com estes objetivos. Normalmente é exigida a conservação e/ou a recuperação da cobertura vegetal, especialmente da mata ciliar e áreas de recarga, através do isolamento da área ao acesso de animais, da proteção ou restauração de APP, da construção de fossas sépticas, terraços e bacias de infiltração (BRASIL, ANA, 2012 apud ALTMANN et al, 2015).

Embora os serviços ecossistêmicos sejam fornecidos diretamente pela natureza, o tipo, a qualidade e a quantidade dos serviços são afetados pelas decisões tomadas pelos usuários de recursos naturais. Segundo Silva et al (2016) “o objetivo de um PSA é tornar vantajoso para esses proprietários à manutenção ou aumento da oferta de serviços ambientais”. Em termos genéricos, PSA é uma ação compensatória para indivíduos ou comunidades por realizarem ações que aumentem a provisão de serviços ecossistêmicos (SILVA et al, 2016). No Brasil é regulamentado pelo Programa Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais que serve de base para regulamentação em todos os demais Estados, sendo, portanto, um instrumento amparado por lei que tem o governo como agente central como formulador de políticas públicas.

O Quadro 2 apresenta o segmento da Lei 14.119 que regulamentou o PSA no país definindo as categorias de serviços ecossistêmicos, seguindo de base para a regulamentação do mesmo nos Estados. Para os fins desta Lei, consideram-se:

Quadro 2 - PNPSA - Lei 14.119 (2021) Cap. 1 Art. 2º.

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS:	
CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Serviços de Provisão	Os que fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros;
Serviços Reguladores	Os que concorrem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono, a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, a minimização de enchentes e secas e o controle dos processos críticos de erosão e de deslizamento de encostas;
Serviços de Suporte	Os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético.
Serviços Culturais	Os que constituem benefícios não materiais providos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas e do desenvolvimento intelectual, entre outros;

Fonte: adaptado do PNPSA (2021).

As negociações no livre mercado sobre os bens e serviço ambientais encontram dificuldades de precificá-los, ou seja, nas técnicas de valoração desses bens e serviços, o que faz com que o preço adotado nem sempre se torne atrativo para adoção o que relativiza a

alocação econômica ótima, fazendo com que outros meios sejam utilizados, como a valoração social, para que haja uma precificação justa.

2.5.1 Benefícios monetários e não monetários

Conforme já referido, o PSA procura induzir comportamentos mediante a oferta de um incentivo positivo. Portanto, de acordo com Altmann et al (2015) “a adequada definição do incentivo oferecido é crucial para a eficácia e eficiência da política”. Definir o valor a ser oferecido, o incentivo e a periodicidade faz parte da fase de planejamento de um projeto de PSA. O valor do benefício deve ser no mínimo, equivalente ao custo de oportunidade do provedor do serviço ambiental como foi mencionado anteriormente, sob pena de não ser suficientemente atrativo para induzir a mudança de comportamento. O incentivo pode ser oferecido em quaisquer das modalidades identificadas a seguir: dinheiro; crédito facilitado; treinamento e assistência técnica; insumos; equipamentos; serviços e infraestrutura para a comunidade. O mais comum é o oferecimento de um pacote de benefícios que englobe várias das modalidades acima listadas.

2.5.2 Fontes de financiamento

A questão da fonte de financiamento é condição *sine-qua-non* para o sucesso de um esquema de PSA, pois dela dependem os benefícios oferecidos e a sustentabilidade do programa. É importante a existência de um fluxo regular de recursos que garanta a manutenção do benefício em prazos mínimos adequados para a consecução dos fins pretendidos. Esse é um dos maiores problemas do projeto de PSA. Assim, de acordo com Young (2016), as fontes de recursos identificadas com maior frequência nas leis estaduais são recursos orçamentários do Estado e doações. Outras formas identificadas de financiamento são: multas por infração de legislação ambiental; cobrança pelo uso da água; recursos decorrentes de acordos, contratos, convênios não especificados; Taxa de Fiscalização Ambiental; recursos provenientes dos royalties de petróleo; compensação pela utilização dos recursos naturais; recursos de acordos bilaterais ou multilaterais; investimentos privados; rendimentos de aplicação financeira; créditos de carbono; recursos provenientes de controle de poluição veicular; empréstimos; recursos oriundos de pagamentos por produtos, serviços ambientais; receitas das unidades de conservação; dentre outros tipos de fontes não especificadas.

Embora existam muitas formas de financiamento, poucos têm garantia de continuidade e frequência da disponibilidade dos recursos por depender de orçamentos públicos, por estes

serem alterados de acordo com a situação econômica e financeira do Estado. Como se trata de política pública este fato tem alta probabilidade de acontecer devido à mudança de prioridades estabelecidas pelos gestores públicos baseados em suas formas de gestão, como veremos mais adiante na seção seguinte, o que pode prejudicar o andamento dos programas de PSA.

Como modelos de financiamentos têm o PSA Oásis do Grupo Boticária atuando na Amazônia e o Programa Produtor de Água que trabalham com a proposta de parcerias e possuem uma metodologia de estabelecimento dos pagamentos ambientais relativamente simples. Essas metodologias se baseiam na utilização do custo de oportunidade da terra para estabelecer um valor básico da remuneração. Contudo, no caso da ANA, a fórmula está centrada nas alterações do uso do solo, enquanto a fórmula do Oásis utiliza critérios de qualificação ambiental, dando pesos e importâncias diferenciadas para aspectos distintos das áreas selecionadas.

Para solucionar o problema da sustentabilidade financeira em longo prazo para o PSA na gestão hídrica, é sugerido pelos autores Altermann et al (2015), a aplicação de taxas na conta dos usuários de água e utilização do valor arrecadado para pagar aos proprietários de terras para conservar florestas e os serviços hidrológicos que fornecem, porém, o valor por não poder ser razoável para o pagamento pode não ser a solução para o problema além de causar conflitos devido à arbitrariedade da cobrança que não avalia as preferências das famílias para os resultados da aplicação destes programas.

Outra sugestão é o mecanismo de financiamento vigente que segue o mesmo preceito, mas através da figura de preço público, é a cobrança pelo uso da água. (YOUNG, 2016). Ainda segundo o referido autor:

Essas experiências têm tido continuidade e êxito em proteger os recursos hídricos, através da proteção de florestas e boas práticas de utilização do solo, portanto, sua iniciativa deve ser constantemente acompanhada e, se possível replicada, em outros projetos. Aliás, acredita-se que além dos custos, esses projetos de PSA também geram benefícios à própria sociedade que precisam ser contabilizados. No caso da água, esses benefícios se referem principalmente à redução nas despesas com seu tratamento.

A grande dificuldade para a generalização da cobrança pelo uso da água, de acordo com o mesmo autor, é a articulação institucional dos órgãos envolvidos com a gestão e consumo dos recursos hídricos (comitês de bacia, companhias de abastecimento de água e tratamento de esgoto, poder público, sociedade civil, etc.). Entretanto, as experiências como as dos programas Oásis e Produtor de Água, mostram a viabilidade desse tipo de iniciativa se a articulação ocorrer desde os primeiros estágios do processo. Assim sendo, o modelo de cobrança da água apresenta-se como a mais viável para a continuidade de programas de PSA

nacional. Desta forma, o autor acima citado defende a cobrança pelo uso da água como aplicabilidade de uma fonte doméstica de recursos.

Nesse sentido, surge com destaque a cobrança pelo uso da água como fonte para o financiamento de uma política nacional de pagamento por serviços ambientais. Recomenda-se, para tal fim, que seja acelerada a cobrança pelo uso da água, e que parte das receitas obtidas seja utilizada para financiar a manutenção ou recuperação de vegetação nativa. A grande vantagem desse mecanismo é não depender de fontes externas ao país e nem de acordos internacionais sobre o tema, que têm avançado muito lentamente sem grandes efeitos práticos.

A Cobrança pelo uso da água se caracteriza por ser uma fonte estável de recursos, independente de orçamentos públicos e de prioridades de gestores, vinculando diretamente o usuário como pagador e o protetor dos recursos naturais e também o fornecedor do serviço ambiental, tornando-os responsáveis pela conservação e recuperação dos recursos hídricos. Young (2016) continua apontando dificuldades institucionais para o estabelecimento dessa cobrança, devido à diferença de atores, como governo do estado, municípios, comitês de bacias e organizações não governamentais. De acordo com as experiências já realizadas, essas dificuldades devem ser enfrentadas antes mesmo de se iniciarem os pagamentos por serviços ambientais, pois é necessário firmar as parcerias, estabelecendo suas funções nos projetos. A esse despeito, a cobrança pelo uso da água é uma ótima opção, pois é uma fonte estável de recursos e existem experiências bastante avançadas de PSA baseados na conservação de recursos hídricos. Sem a estabilidade dos recursos a chance de comportamento especulativo é imensa, colocando em risco os projetos de PSA.

2.5.3 Monitoramento

A condicionalidade dos pagamentos à provisão do serviço ambiental depende de um mecanismo de monitoramento eficiente e periódico, o que requer a elaboração de uma linha de base para a verificação das modificações ocorridas na provisão do serviço ecossistêmico. Segundo Altmann et al (2015), as questões de custos não estão limitadas a metodologia de precificação, mas também deve considerar o custo de gestão, fiscalização e monitoramento dos programas que podem ser bastante altos. Ainda de acordo com o referido autor que prossegue afirmando que “Um equívoco comum é considerar apenas os custos diretos custo de oportunidade da terra e, quando é o caso, custos de recuperação florestal ignorando-se que é necessário acompanhar, monitorar e prover assistência técnica aos proprietários envolvidos”.

2.5.4 Arranjos institucionais

A definição do arranjo institucional de um PSA implica na definição de quem participa e com quais funções. Um programa ideal deve contemplar diferentes instituições, de diferentes níveis (local, regional, nacional e, até mesmo, internacional) com funções reguladoras, executoras, financiadoras, de monitoramento e de resolução de conflitos. Não existe uma fórmula padrão e o arranjo ideal deve refletir a realidade onde ele será implantado (GREIBER, 2009, p. 38).

2.5.5 Iniciativas nacionais e internacionais

No âmbito internacional, os programas de PSA mais conhecidos são o da Costa Rica, França e de Nova Iorque (EUA), neste último embora o PSA tenha tido um papel pequeno frente às demais medidas, teve grande destaque porque representou uma análise de custo/benefício onde prevaleceu à opção por investimentos em infraestrutura natural, em detrimento de infraestrutura construída. Encontramos ainda projetos e programas em diversas localidades como, por exemplo: na América Latina existem disposições normativas instituindo o PSA na Colômbia, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Venezuela, República Dominicana e Costa Rica (ALTMANN et al 2015) e em vários outros países como pode ser visto na revisão sistemática a seguir. Enfim há programas de PSA nos cinco continentes e está cada vez mais sendo aplicado no mundo todo.

No Brasil os programas de maior sucesso são o Oásis de iniciativa privada e o Programa Nacional de Águas de iniciativa pública da ANA. Mas há programas espalhados por todas as regiões do país, embora a que mais aplica esse mecanismo é a região Norte, em seguida temos as regiões Sudeste e Sul, sendo tímido ainda na Região Centro-Oeste e Nordeste. (ANA, 2022).

Alguns Estados já têm sua regulamentação, por exemplo, o Estado de Pernambuco, com a Lei nº. 15809 de 17 de maio de 2016 que instituiu a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e criou o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e o Fundo Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais. Todas as regulamentações dos Estados devem estar em conformidade com a Lei Federal do PNPSA (2021), regulando a aplicabilidade desse mecanismo econômico para a conservação e recuperação dos serviços ecossistêmicos dentro de suas quatro categorias.

O PSA, como instrumento de incentivo econômico, tem a finalidade de manter, restaurar e incrementar os processos ecológicos, ecossistemas e suas espécies, conforme

comando constitucional previsto no art. 225, parágrafo 1º da Constituição Federal (BRASIL, 1988), sendo mais eficaz quando estes estiverem ameaçados, mas não perdidos.

Para abordar esse tema foi feito também um estudo de revisão sistemática e como o mesmo é uma ferramenta de gestão e sendo assim utilizado no processo decisório, unimos este à gestão da água.

2.6 GOVERNANÇA AMBIENTAL

A preocupação com a sustentabilidade do planeta, uma melhor qualidade de vida para todos e a busca da erradicação da pobreza tornou-se um propósito global. A questão ambiental e as mudanças climáticas passaram a ser discutidas a partir da década de 70, quando vários países se reuniram e foi emitido o primeiro documento levando em consideração a natureza: o Relatório Limites do Crescimento (Clube de Roma e Massachusetts Institute of Technology (MIT)) e a importância da Conferência de Estocolmo - Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano – 1972 (PLATAFORMA AGENDA 2030, 2019).

A Agenda 21 foi criada em 1992, decorrente da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento - Rio 92, na cidade do Rio de Janeiro-BR, que de acordo com a Plataforma Agenda 2030 (2019): “foi a primeira carta de intenções para promover, em escala planetária, um novo padrão de desenvolvimento para o século XXI”. Vinte anos depois, com a Conferência Rio +20 no qual mobilizou a comunidade global em 2012 para participar da discussão sobre a realidade ambiental global e sua operacionalidade do desenvolvimento e do ambiente. A Conferência em si não alcançou o objetivo esperado, mas as consequências futuras levaram a bons resultados como a Agenda 2030, relatado a seguir.

Devido à conjuntura do momento marcado pelo aumento das incertezas relacionadas com a degradação ambiental e da necessidade de buscar novas formas de cooperação e mudanças que se fazem para a governança global, este momento afetou o Brasil e o mundo e a reunião apenas avaliou o progresso obtido até então e produziu o documento “O Futuro que Queremos”, que guiou as ações da comunidade internacional nos três anos seguintes dando início ao processo de consulta global que resultou na construção de um conjunto de objetivos universais de desenvolvimento sustentável para além de 2015. A Agenda 2030 foi aprovada na Assembleia Geral da ONU em 2015. O documento “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” tem 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, combinando os objetivos do milênio criados durante a década de noventa e

aprovada em 2000 com oito objetivos e os processos resultantes da reunião Rio +20 (Plataforma Agenda 2030, 2019).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA (2022) tem sido a principal autoridade global que determina a agenda ambiental, promove a implementação coerente da dimensão ambiental e do desenvolvimento sustentável no Sistema das Nações Unidas e serve como autoridade defensora do meio ambiente no mundo. O PNUMA é o responsável sobre a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), o qual apoia países a desenvolver e implementar processos nacionais de GIRH.

A sexta ODS da Agenda 2030 diz respeito à Água Potável e Saneamento, ou seja, visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos, ressaltando a importância da água para o desenvolvimento sustentável nas três dimensões: ambiental, econômica e social (Plataforma Agenda 2030 e IBGE, 2019). Este objetivo trata da escassez de água no planeta, destacando o papel dos recursos hídricos para alcance do crescimento econômico e a sustentabilidade através da gestão da água e com a cooperação internacional, proporcionar a proteção de nascentes, rios e bacias, bem como o compartilhamento de tecnologia para o tratamento de água. (IBGE, 2019).

A questão ambiental vem ganhando amplitude envolvendo não só ações governamentais nos níveis global e local, mas também a participação em parceria pública e privado, além da comunidade local e ainda a contribuição de pesquisadores onde todos anseiam por alternativas e soluções inovadoras aplicadas à conservação dos ecossistemas e no caso deste estudo a conservação e recuperação de corpos d'água.

Os problemas de gestão de recursos naturais, por afetar a todos os cidadãos, surgiram como os elementos impulsionadores, por excelência, no desenvolvimento do conceito da governança, oferecendo a governos e gestores, um campo fértil para a reflexão e a ação, que possam ajudar a diminuir as suas dificuldades. Assim, em geral, os gestores públicos procuram atender aos princípios embutidos no conceito da governança, como, por exemplo, a descentralização da gestão, a divulgação de informações, a participação de todos os grupos interessados nas decisões.

2.6.1 O Conceito de governança

A governança é uma forma de administrar/negociar situações de conflitos que englobam vários atores e sua relação político, econômica, social e ambiental, sendo muito maior do que o simples governar. Envolvem os princípios da administração de planejamento

organização, coordenação, controle e gestão, perfeitamente aplicada às questões ambientais. (CHIAVENATO, 2008 e LIMEIRA, 2008).

O conceito de governança compreende a ação conjunta de Estado, sociedade civil e empresas privadas, na busca de soluções e resultados para problemas comuns. Castellanos e Fernández (2008) enfatizam que a presença dos cidadãos nas decisões públicas que os afetam, deve partir do nível local em conformação com os centros de decisão, e que, por sua vez, os permitam influenciar nas decisões de políticas públicas oferecidas pelo Estado.

No trabalho de Kaufmann e Kraay (2008) sobre indicadores de governança, eles definem desenho da governança como:

As tradições e instituições pelas quais a autoridade de um país é exercida. Este inclui o processo pelo qual os governos são escolhidos, monitorados e substituídos; a capacidade do governo de efetivamente formular e implementar políticas sólidas; e o respeito dos cidadãos e do Estado para com as instituições que governam interações sociais e econômicas entre eles.

Gonçalves apud Limeira et al (2012) ressalta que o conceito de governança compreende a ação conjunta de Estado e sociedade, na busca de soluções e resultados para problemas comuns. Chama a atenção para o fato de que o surgimento dos atores não estatais é central, para o desenvolvimento da teoria e da prática da governança. Para Rosenau e Czempiel (2000 apud LIMEIRA et al, 2012),

Governança é um fenômeno mais amplo que governo; abrange as instituições governamentais, mas implica também mecanismos informais, de caráter não governamental, que fazem com que as pessoas e as organizações dentro da sua área de atuação tenham uma conduta determinada, satisfaçam suas necessidades e respondam às suas demandas.

Ainda de acordo com os mesmos autores Rosenau e Czempiel (2000 apud LIMEIRA, 2012), apontam que, apesar desses dois conceitos referirem-se a um comportamento visando um objetivo, as atividades orientadas para metas e a sistemas de ordenação, diferem no sentido que governo sugere atividades sustentadas por uma autoridade formal e pelo poder de polícia para garantir políticas instruídas. Enquanto governança refere-se a “atividades apoiadas por objetivos comuns, que podem ou não derivar de responsabilidades legais e formalmente prescritas e não dependem, necessariamente, do poder de polícia para que sejam aceitas e vençam resistências”.

Segundo Kemp, Parto e Gibson (2005 apud GOUVEIA, SELVA E PAZ 2019), “a governança se caracteriza pela maneira como alguém pode agir, através dos tipos de interações (deliberação, negociação, autoregulação) e à medida que os atores se unem para decisões coletivas”. Para o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA

(2022), a governança ambiental é fundamental para o alcance da sustentabilidade ambiental e para um desenvolvimento sustentável. A natureza sendo parte que não pode ser dissociada do meio ambiente tem suas relações interligadas com os fatores econômicos e sociais do desenvolvimento sustentável, sendo assim, todos os processos de tomadas de decisão precisam ser coerentes e sem qualquer fragmentação (GOUVEIA, SELVA E PAZ 2019),

Desta forma, governança diz respeito aos meios e processos que são utilizados para produzir resultados eficazes, reflete o deslocamento nas áreas de ciências sociais e de políticas públicas de abordagens ampliando o conceito de governo para um conceito mais abrangente de governança que incorpora os atores não estatais.

A **Governança Ambiental**, de acordo com Jacobi e Sinisgalli (2012) envolve todos nas decisões sobre o meio ambiente, por meio das organizações civis e governamentais, a fim de obter ampla e irrestrita adesão ao projeto de manter a integridade do planeta. Está relacionado com a inserção socialmente aceitável de políticas públicas, um termo mais inclusivo que governo, por abranger a relação sociedade, Estado, mercados, direito, instituições, políticas e ações governamentais, associadas à qualidade de vida e ao bem-estar, notadamente os aspectos relacionados com a saúde ambiental. Ainda segundo Jacobi e Sinisgalli (2012).

Isto implica no estabelecimento de um sistema de regras, normas e condutas que reflitam os valores e visões de mundo daqueles indivíduos sujeitos a esse marco normativo. A construção desse sistema é um processo participativo, e acima de tudo, de aprendizagem.

Continuando com os mesmos autores (JACOBI E SINISGALLI, 2012), situações de conflito e de assimetrias de poder são frequentes nos mecanismos mais relevantes para assuntos ambientais no Brasil: os conselhos de meio ambiente em níveis federal, estadual e municipal, os relatórios de impacto ambiental as audiências públicas e os comitês de bacias hidrográficas. Pode-se, portanto entender governança como um processo que envolve tomadores de decisão e não tomadores de decisão, com objetivo comum: o problema a ser enfrentado e o desenho da gestão ambiental, onde a participação descentralizada e corresponsável seja a tônica do processo. Pressupõe atuação em rede, como forma de capacitação dos autores, atuação integrada e o ganho de poder dos atores envolvidos na gestão, interagindo com os tomadores de decisões.

A gestão da administração pública nos estados e municípios, ou seja, a forma de lidar com as atividades, ações e resoluções de conflitos, amplia um espaço de interlocução muito mais complexo e ampliando o grau de responsabilidade de segmentos que sempre tiveram

participação assimétrica na gestão pública, ou seja, as informações divulgadas pelos gestores sobre a sua atuação na administração dos recursos coletivos tendem a ser incompletas ou visando assegurar que os cidadãos não tenham informação sobre a atuação dos gestores, tem o mesmo significado de comportamento oportunista (AKDERE e AZEVEDO, 2006, p. 47 apud JACOBI e SINISGALLI, 2012). O trabalho entre os órgãos do governo se apresenta como uma importante contribuição, estabelecendo melhores condições para uma lógica cooperativa, abrindo possíveis espaços não só para a sociedade civil, mas também para os sistemas peritos na gestão ambiental.

A Governança ambiental, que se insere dentro do conceito de governança, trata da criação de políticas para conservação ambiental ou restauração de áreas degradadas, com a difícil tarefa de equilibrar o desenvolvimento econômico e o bem-estar social. Com a missão de criar e aprimorar condições de governança local e global tem na gestão ambiental o suporte para a execução de políticas públicas e estratégias de desenvolvimento e resolução de conflitos na área ambiental.

A Gestão Ambiental está intrinsecamente ligada à responsabilidade social, possui várias interpretações e conceitos, mas de um modo geral diz respeito às ações governamentais voltadas para o controle e utilização dos recursos naturais. Gestão Ambiental pressupõe:

O ato de administrar, de dirigir ou reger os ecossistemas naturais e sociais em que se insere o homem, individual e socialmente, num processo de interação que atenda ao desenvolvimento das atividades humanas, à preservação dos recursos naturais e das características essenciais do entorno, dentro de padrões de qualidade definidos, tendo como finalidade última estabelecer, recuperar ou manter o equilíbrio entre a natureza e o homem (DE CARLOS, 2006, p.47 apud JACOBI e SINISGALLI, 2012).

Desta forma, o homem é o agente que historicamente transforma o ambiente natural, promovendo adaptações ou modificação do espaço/território de acordo com os seus interesses. Assim quanto maior for a aglomeração ou concentração populacional maiores serão as transformações do ambiente natural e maiores serão a quantidade e a diversidade dos resíduos gerados. (CABRAL et al ,2015, p.272).

Cabe aos gestores públicos municipais à competência para regular o uso dos recursos naturais seguindo as diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente, e deve atender às necessidades econômicas, sociais, culturais e ambientais da população local. A Gestão Ambiental ocorre em um ambiente de conflito entre os diversos atores e a mediação dos mesmos implica na elaboração de política ambiental que determine a eficiência e eficácia da tomada de decisão.

A **Governança da Água**, segundo Matos e Dias (2016), “é um aspecto da governança ambiental e implica em determinar papéis e responsabilidade dos diferentes atores e seus interesses no gerenciamento dos recursos hídricos”. Governança da água refere-se, então, ao conjunto de aspectos políticos, sociais, econômicos e sistemas administrativos que estão no local para desenvolver e gerenciar os recursos hídricos, a prestação de serviços de água e para incrementar soluções para melhoramento da qualidade da água, em diferentes níveis da sociedade.

Na visão de Brooks (2004 apud MATOS E DIAS, 2016), as estratégias de gestão local da água podem se constituir na verdade como as melhores alternativas práticas do que os métodos centralizados, caros e de grande escala que dominaram no passado, e que não alcançaram os objetivos a que se propuseram. Para o citado autor as estratégias de gestão local também são importantes como complemento para os métodos de manejo da água em maior alcance. Contudo, não são infalíveis, e não considerar suas limitações e incertezas ou ignorá-las é expor-se a produzir danos tão sérios como os do passado.

Uma das razões para a gestão local da água, apresentadas por esse estudioso, acima citado, de gestão em recursos naturais refere-se ao fato de que ainda que os conflitos internacionais pela água sejam raros, as disputas domésticas ou entre as comunidades não o são. Devido à escassez da água potável, quando mal gerida, ocorre um risco frequente de conflito. Por isso, é tão importante a gestão que torne viável as soluções mais pela cooperação do que por confrontação dos indivíduos.

Uma boa gestão da água em síntese requer a ação nacional, regional e internacional. Ainda de acordo com o autor acima citado o mesmo acrescenta que ainda assim, as estratégias nacionais e internacionais por si mesmas, não são suficientes. A experiência em todo o mundo evidencia que a gestão local é essencial para uma exploração sustentável dos recursos hídricos. Dessa forma, é facultado às pessoas, em particular as mais pobres, tomarem parte nas decisões, que vão definir seu futuro. Além disso, estimula a integração do saber tradicional com a inovação da ciência, para exercer uma gestão justa e sustentável da água.

De acordo com o PNUMA (2022) a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) promove o desenvolvimento e a gestão coordenada da água, da terra e de recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar econômico e social de forma equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais.

A GIRH é uma abordagem Inter setorial que vem sendo reconhecida como uma solução para o pensamento tradicional da fragmentação dos setores responsáveis pelo gerencia-

mento de recursos hídricos, que resultou no uso insustentável da água e em serviços de má qualidade. A ideia tem como base o entendimento de que os recursos hídricos são um componente integrado ao ecossistema, um recurso natural e um bem socioeconômico. Sua essência é que os diversos usos de recursos hídricos finitos são interdependentes. A alta demanda de irrigação e a poluição proveniente da agricultura, por exemplo, refletem em menos água doce para consumo humano ou uso industrial; as águas residuais municipais e industriais poluem rios e ameaçam ecossistemas; quanto maior for a necessidade da água para a proteção da pesca e de ecossistemas (fluxos ambientais), menor é a possibilidade de desvio deste recurso para o cultivo. (PNUMA, 2022)

A aplicação da Gestão Integrada de Recursos Hídricos, portanto, auxilia na proteção do meio ambiente no mundo, fomenta o crescimento econômico e o desenvolvimento agrícola, promove a participação democrática na governança e melhora a saúde humana. (PNUMA, 2022)

No Brasil, observa-se que a governança da água não enfrenta apenas a escassez da água em regiões semiáridas, onde o acesso à água é uma preocupação antiga e duradoura para a vida. A escassez está também chegando de forma igualmente danosa, em outras regiões do país e em comunidades que não estavam acostumadas a lutar pela água potável. Essa escassez surge devido à inadequada pluviosidade, esgotamento e contaminação das fontes de água doce, como também da pressão da densidade populacional urbana, geralmente agravada pela negligência e desgovernos.

2.6.2 Governos locais.

De acordo com Navarro e Ramírez (2005) para uma análise de governos locais, apresentam-se avanços teóricos e empíricos a partir de dois enfoques: o institucionalista e o localista. Eles analisam o primeiro, como o elo que tem como objeto a autonomia do governo local, os limites ou barreiras, que lhe são impostos por outras unidades de governo, em esfera político e territorial maior, assim como as estratégias adotadas frente às mesmas. Salientam que, esse primeiro enfoque estuda a distribuição do poder entre diferentes âmbitos territoriais, desde a conhecida aproximação “centro-periferia” até os “sistemas de multi-governança”. O segundo, o enfoque localista, os autores ressaltam que, se refere aos processos decisórios locais, as formas como se articulam os interesses políticos locais para se chegar à tomada de decisões.

Cada enfoque, em algum aspecto procura explicar a dinâmica política dos governos locais, e de certo modo, os autores Navarro e Ramirez (2005), destacam que falta um elemento essencial, isto é, uma visão integrada da ação desses governos locais. O primeiro enfoque centra a atenção na “dimensão vertical”, onde se ressalta o que eles denominam de “estrutura de oportunidades de ação dos governos locais”, que abrangeria a análise tanto do marco institucional, como as regras do jogo que definem as relações entre as esferas de governo. Por outro lado, o segundo enfoque, “a dimensão horizontal”, analisa qual dos elos teria a capacidade de influir nas decisões do governo local, e quais as condições nas quais surgem as redes ou coligações políticas locais. Nesse segundo enfoque se evidencia o pressuposto de que diferentes estruturas de oportunidades determinam, em grande parte, a capacidade de ação dos governos municipais, e daí as respostas diferenciadas na articulação de interesses e demandas locais. (NAVARRO e RAMIREZ, 2005)

Assim, seja qual for o modelo de gestão adotado, cabe à gestão local de a água tornar viável a solução de problemas provocada pela escassez de água potável, mediando conflitos através do estímulo a cooperação dos indivíduos. Uma boa gestão da água em síntese requer a ação nacional, regional e internacional.

2.6.3 Planejamento dos recursos hídricos.

O planejamento impõe uma racionalidade e proporciona direcionamento das ações, enquanto, estratégico se apresenta sobre os seguintes parâmetros: a visão do futuro, atenção aos fatores do contexto local com suas especificidades e limitações, e, concepção de um consenso com perspectivas em longo prazo de maneira cíclica e interativa (CHIAVENATO, 2009). Desta forma, o planejamento hídrico necessita de uma análise integrada sempre numa concepção de sustentabilidade, deverá considerar os usos da água, a cadeia produtiva instalada e a ser implantada na bacia, as vulnerabilidades dos ecossistemas, os cenários alternativos de desenvolvimento da bacia em relação aos recursos hídricos, a biodiversidade e ao uso do solo, em convergência com desenvolvimento inter-regional e nacional (PORTO e TUCCI, 2009).

Uma maneira de buscar este equilíbrio, ainda de acordo com Porto e Tucci (2009) é a utilização de ferramentas de gestão ambiental como EIA (Estudo de Impacto Ambiental), RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) e PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas) já exigidos em casos como a construção de barragens entre outros.

A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, instituída pela Lei Federal nº 9.433 de 1997 (art. 2º) tem como objetivo principal assegurar à atual e às futuras gerações a

necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, ao mesmo tempo em que busca a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos e o desenvolvimento sustentável, através da utilização racional e integrada dos recursos hídricos.

Para atingir esses objetivos, segundo Silva e Silva (2014), foi adotado um conjunto de princípios, de instrumentos técnicos e um arranjo institucional que de forma integrada garanta uma gestão participativa e descentralizada do uso da água. Os instrumentos da PNRH (art. 5º) são os seguintes: O Plano Nacional de Recursos Hídricos e os Planos Estaduais de Recursos Hídricos; O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; A cobrança pelo uso de recursos hídricos; O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. (SILVA E SILVA, 2014). O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos é composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos; Câmaras Técnicas; Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos; Comitês de Bacia Hidrográfica.

2.6.4 Comitê de bacia e conciliação de conflitos

Os comitês de bacia hidrográfica - CBH são órgãos colegiados instituídos com o objetivo de promover debates sobre a questão dos recursos hídricos no âmbito da bacia e sub-bacias a que pertence. Compete aos mesmos, participar e acompanhar todo o processo de elaboração do plano diretor da bacia, assim como programas de ações para atendimento de situações críticas e homologação dos mesmos; definição de valores da cobrança; atuação na secretaria executiva, devendo integrar os órgãos e entidades estaduais e municipais na escala regional e incentivar a participação da sociedade civil no processo de tomada de decisão. Conforme, os requisitos legais da Lei Federal nº 9.433/97, Art. 38 (BRASIL, 1997) e da Política Estadual de Pernambuco, Art.47 (PERNAMBUCO, 2005).

Com a ampliação pela sociedade pós-industrial da diversidade de usos da água gerou o aparecimento de demandas conflitantes, a negociação assume uma função importante para proteção dos recursos hídricos com propósito em conciliar as diversas entidades públicas, privadas e sociedade civil (REBOUÇAS, 1997; LANNA, 2007).

A Constituição Federal de 1988, de acordo com Silva e Silva (2014) trouxe em seu bojo os princípios da descentralização e da participação para administração pública, que mais tarde, foram recepcionados pela PNRH, em 1997. Sob um modelo sistêmico de integração participativa instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. (SILVA; SILVA, 2014).

2.6.5 Os arranjos institucionais de gestão

No que diz respeito à gestão ambiental dos recursos hídricos, deve ser observado a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, mais conhecida como o Novo Código Florestal- Lei 12651 de 25 de maio de 2012 que estabelece normas sobre a proteção da vegetação, Áreas de Preservação Permanente (Capítulo II – artigo 4, inciso I) e Áreas de Reserva Legal, a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos.(L12651, 2012)

Em seu capítulo II, sobre as Áreas de Proteção Permanente, define a mesma como sendo “áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

O artigo 4 da referida Lei diz que “ Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei”: e inciso I delimita as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima em cinco faixas, bem comum as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; as áreas no entorno dos reservatórios d’água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d’água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento; as encostas ou partes destas com declividade superior a 45° , equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive; as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; os manguezais, em toda a sua extensão;

As áreas de preservação permanente somente poderão ser ocupadas em casos de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental. Caso contrário, o proprietário dessas áreas tem como dever preservá-las. O CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente é o órgão fiscalizador de atividades poluidoras ligadas ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) que se incumbem de estabelecer as normas e os critérios referentes ao uso racional dos recursos ambientais existentes nas Reservas Ecológicas. (CONAMA, 2005 apud BRASIL, 2012).

Referente à Gestão Ambiental, na esfera federal temos a Agência Nacional de Águas – ANA, criada pela lei nº 9.984 de 2000, é a agência reguladora dedicada a fazer cumprir os

objetivos e as diretrizes da Lei das Águas do Brasil, a lei nº 9.433 de 1997 (ANA, 2019), ligada ao Ministério do Meio Ambiente – MMA.

A Lei das Águas - lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabeleceu instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal (aqueles que atravessam mais de um estado ou fazem fronteira) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), (ANA (2019)).

Segundo a ANA (2019), essa Lei criou um sistema nacional que integra União e Estados, numa gestão participativa por inovar com a instalação de comitês de bacias hidrográficas que une poderes públicos nas três instâncias, usuários e sociedade civil na gestão de recursos hídricos, a PNRH é considerada uma lei moderna que criou condições para identificar conflitos pelo uso das águas, por meio dos planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas, e arbitrar conflitos no âmbito administrativo.

O acompanhamento da evolução da gestão dos recursos hídricos em escala nacional é feito por meio da publicação do Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos, que a cada quatro anos faz um balanço das ações dos instrumentos de gestão, dos avanços institucionais do Sistema e da conjuntura dos recursos hídricos no País. São instrumentos de gestão: Planos de Recursos Hídricos e enquadramento dos corpos de água em classes; Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; Cobrança pelo uso de recursos hídricos; Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (ANA (2019)).

2.7 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM PERNAMBUCO.

A gestão dos recursos hídricos em Pernambuco é caracterizada pela descontinuidade da gestão pública estadual, que contribui na desestruturação das ações planejadas e implantadas. O que determina constante mudança do gestor responsável pelo gerenciamento dos órgãos, já que a ocupação dos cargos é uma atividade política do chefe do executivo. Isto ocorre desde a promulgação da Política Estadual de Recursos Hídricos, Lei nº 11.426/1997 e que foi revisada em 2005, mediante Lei Estadual nº 12.984/2005, a Lei das Águas de Pernambuco. Em 1997, a atribuição coube a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – SECTMA (PERNAMBUCO, 2008).

Em 1999, é criada a Secretaria de Recursos Hídricos – SRH, Lei nº 11.629/1999, com atribuição específica em gerir os recursos hídricos. Após uma reforma administrativa, em 2003, Lei Complementar nº 49/2003, extinguiu a SRH, distribuindo suas atribuições para três secretarias: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente; Secretaria de Infraestrutura

Hídrica; e Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária. Com mais uma mudança de governo, em 2007, o Estado recriou a Secretaria de Recursos Hídricos, Lei nº 13.205/2007, que atualmente é denominada de Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos responsável pela implantação da Política Estadual de Recursos Hídricos e de Saneamento - SHRE (PERNAMBUCO, 2008). Mas as mudanças continuaram a ocorrer caracterizando a descontinuidade da administração pública. Em 2011 foi criada a Secretaria do Meio Ambiente e em 2018 a Secretaria de Recursos Hídricos que passa a ser Secretaria de Infraestrutura e recursos Hídricos.

A questão da continuidade e da descontinuidade administrativa segundo Spink (1987 apud CHIAVENATO, 2008) apresenta-se como um entrave ao desenvolvimento de políticas públicas devido à interrupção de projetos, programas, ações, destituições de órgãos, que promovem mudanças radicais de prioridades, sempre em função de um viés político. Desconsiderando qualidades ou méritos das ações anteriores desenvolvidas. E conseqüentemente, verificamos o desperdício de recursos públicos, o desânimo das equipes envolvidas, a perda de memória intelectual e saber institucional. Ainda segundo o mesmo autor “A expressão ‘continuidade e descontinuidade administrativa’ refere-se aos dilemas, práticas e contradições que surgem na Administração Pública, Direta ou Indireta, a cada mudança de governo e a cada troca de dirigentes”.

Prosseguindo, é criada em 2010 a Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC, mediante da Lei Estadual nº 14.028/2010, vinculada a então, SRHE. A agência tem por finalidade executar a Política Estadual de Recursos Hídrico e regular o uso da água, no âmbito dos recursos hídricos estaduais e federais nos termos em que lhe forem delegados, bem como realizar monitoramento hidro meteorológico e previsões de tempo e clima no Estado, ainda é responsável também pelas emissões de outorgas em águas de domínio do Estado. As águas de domínio dos Estados e do Distrito Federal são aquelas que não estão entre os bens da União, incluindo as águas subterrâneas.

Atualmente, são órgãos gestores de recursos hídricos no Estado de Pernambuco. Segundo a ANA (2022):

- 1 A Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos – SEINFRA, órgão integrante da estrutura administrativa do Poder Executivo Estadual, foi criada pela Lei nº 16.520, de 27 de dezembro de 2018.

Tem como atribuições formular e executar as políticas estaduais de recursos hídricos, infraestrutura rodoviária e de saneamento; coordenar o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (SIGRH);

implantar e consolidar os instrumentos da política estadual de recursos hídricos; promover a gestão integrada, racional e participativa da infraestrutura no Estado. Além disso, é responsável por desenvolver meios para a construção e gerenciamento do Sistema de Transporte Rodoviário, proporcionando conforto, segurança e fortalecimento da economia em benefício da população pernambucana. Também está entre as suas atribuições promover a universalização dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário; exercer a gestão dos fundos destinados aos recursos hídricos e ao saneamento, além de propor, coordenar, gerenciar e executar estudos, pesquisas, programas, projetos, obras e serviços referentes ao transporte, malha rodoviária estadual, recursos hídricos e saneamento; e regular o uso da água. A pasta realiza, ainda, o monitoramento hidro meteorológico e previsões de tempo e clima SEINFRA (2022).

Estão vinculadas à SEINFRA a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e o Departamento de Estradas de Rodagem (DER). SEINFRA (2022)

- 2 A Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS é um órgão da Administração Direta do Poder Executivo Estadual, criada pela Lei nº 14.264, de 06 de janeiro de 2011. A referida secretaria SEMAS é fruto do desmembramento da extinta Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – SECTMA em duas secretarias, a Secretaria de Ciência e Tecnologia e a SEMAS.

Tem como principal atribuição formular, atualizar e implementar as Políticas Públicas Ambientais do Estado. São elas: Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas, Política Estadual de Gerenciamento Costeiro, Política Estadual de Resíduos Sólidos, Política Estadual Florestal e a Política de Educação Ambiental de Pernambuco (SEMAS, 2022).

Ligada a esta secretária estão às unidades de Gestão dos recursos hídricos que são os comitês de bacias, como podemos ver na Figura 3.

Figura 3 - Unidades Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos.



Fonte: ANA (2022)

Ainda de acordo com o site da ANA (2022) são instrumentos de gestão dos recursos hídricos do Estado de Pernambuco as seguintes políticas:

✓ **Política Estadual de Recursos Hídricos e Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos**

1. - Lei nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005, dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.

2 - Lei Ordinária Nº 14.028 de 26 de março de 2010 - Cria a Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, e dá outras providências.

3 - Decreto nº 37.387, de 10 de novembro de 2011, aprova o Regulamento da Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC, e dá outras providências.

✓ **Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH/PE)**

Conselho Estadual de Recursos Hídricos instituídos pela Lei nº 11.426, de 17 de janeiro de 1997.

✓ **Fundo Estadual de Recursos Hídricos**

Instituído pelo artigo 56 da Lei nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005.

✓ **Plano Estadual de Recursos Hídricos**

O primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH-PE) foi concluído em 1998. Atualmente o PERH está em processo de atualização com conclusão prevista para 2022.

2.8 REVISÃO SISTEMÁTICA ABORDANDO PSA E GESTÃO DA ÁGUA

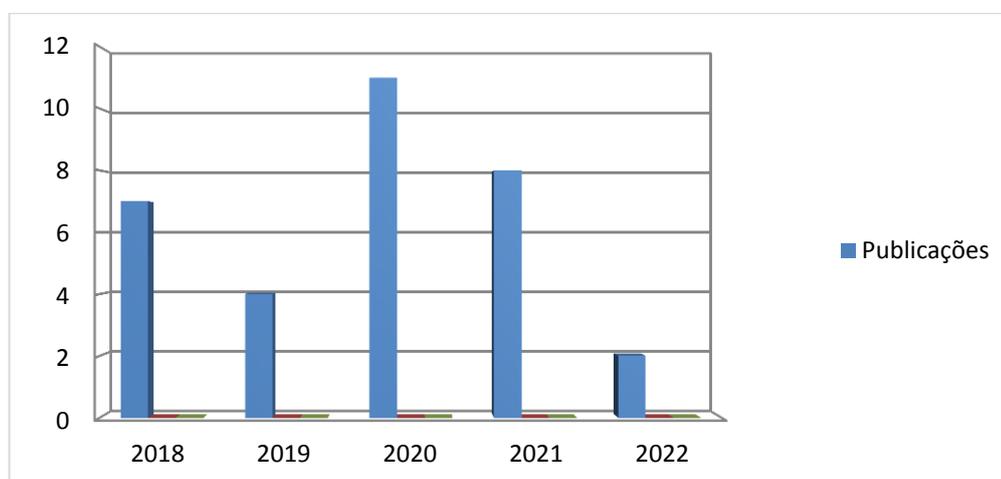
Payment for Ecosystem Service e Water Management são termos muito amplos, inclusive o segundo termo que diz respeito à gestão da água, tendo uma enorme preocupação no campo científico mundial, por se tratar da escassez da água doce essencial à vida no planeta. Então, na pesquisa foram obtidos um total de 162.353 publicações, isto até 2013, na base de dados da Scopus.

O PSA é um tema discutido no mundo desde a década passada, no Brasil teve sua primeira experiência bem sucedida na cidade de Extrema - MG e depois se espalhou por outros estados. No Nordeste ainda é um campo promissor para este estudo por ter poucas

iniciativas e somente agora desponta como área de pesquisa e incentivo a sua aplicação no processo decisório da gestão dos recursos hídricos.

O resultado desta pesquisa, realizada em junho de 2022, resultou em 1.688 publicações com a expansão para o seu universo que contabiliza artigos publicados a partir de 2013 pela referida base de dados. Utilizando a amostragem para um intervalo de tempo de cinco anos, ou seja, de 2018 a 2022 foi obtido como resultado 32 publicações utilizando a interação entre os dois temas como mostra no Gráfico 1

Gráfico 1 - Artigos publicados com os termos “payment for ecosystem services” e “water management” no intervalo de cinco anos - 2018 a 2022.



Fonte: Scopus (2022).

Tendo o PSA transformado em projeto como política pública e utilizado na tomada de decisão dos gestores dos recursos hídricos, percebemos que mesmo com a pandemia de COVID-19 que prejudicou muitas áreas de pesquisas, neste caso temos os resultados de artigos publicados em número considerável no período de isolamento social e preocupação com a saúde, assim temos o ano de 2020, início da imposição de protocolos sanitários, com onze publicações e 2021 com oito artigos publicados. Sendo os anos de maiores destaque em publicação na integração destes temas, ainda temos o ano de 2018 com sete publicações, 2019 com quatro artigos e 2022 com apenas duas publicações e o ano em curso.

As publicações remetem a estudos de casos nos cinco continentes e apenas dois não estavam conectados a estudos de gestão de bacias hidrográficas, foram eles os artigos:

- ✓ Green energy and water resource management: a case study of fishery and solar power symbiosis in Taiwan, que tratou de um estudo de caso em Taiwan sobre energia solar e PSA e
- ✓ Valorization of farm pond biomass as fertilizer for reducing basin-scale phosphorus losses, que apresentou um estudo sobre saturação do fósforo (P), em escala de bacia.

O pagamento por serviços ecossistêmicos é uma medida importante para resolver a contradição entre a proteção ecológica regional e o desenvolvimento econômico. (ZHAO, Z., YU, D., WANG, K., LÜ, A., 2020). Outro aspecto importante abordado na maioria dos estudos de caso publicados foi à modelagem hidrológica antecedendo o pagamento por serviços ambientais e suas aplicações na gestão dos recursos hídricos. Então, de acordo com Lopes, T.R., et al (2020) “A aplicação da modelagem hidrológica é muito importante para apoiar os tomadores de decisão, fornecendo base técnica para melhor gestão dos recursos hídricos, uso correto do solo e introdução de políticas e programas setoriais, identificando áreas potenciais para sua implementação”. Outras publicações versão sobre o PSA, serviços ecossistêmicos e gestão da água, visando à conservação do meio ambiente e duas publicações apontam metodologias:

- ✓ Metodologia para pagamento de serviços ecossistêmicos baseada no conceito de uso e capacidade de gestão da terra, (MONTEIRO, et al., (2018)) que desenvolveu uma metodologia para PSA que segue os princípios básicos do sistema de classificação de capacidade de uso da terra proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e,
- ✓ Uma abordagem sistemática de determinação da compensação e alocação para o ambiente hídrico da bacia hidrográfica com base no controle total de poluentes (CHENG, Y., WU, D., BIAN, Y.(2020)), no qual explora os custos racionais da compensação e a alocação de recursos na bacia do rio Xin'na (China) com base em acordos de taxas. A compensação é determinada de acordo com o modelo de compensação total baseado no método de custo de oportunidade e alocada pelo método de entropia da informação.

Considerando que na China o conceito de PSA tem as suas particularidades e forte influência Estatal, no final a metodologia de custo de oportunidade é mesma, a mais utilizada

em todo o mundo, embora atualmente esteja sendo muito divulgada a metodologia de contingente.

Assim, podemos ver que a presença do Estado é acentuada em todas as publicações, inclusive o PSA é relacionado, pelos artigos de autores brasileiros como Lopes, T.R., et al, (2020) e Dos Santos et al (2020) como políticas públicas. Poucos programas têm sido estabelecidos de maneira autônoma entre agentes privados (WUNDER *et al*, 2008, p. 41). Segundo Landell-Mills; Porras, (2002, p. 21) apud Nogueira (2013), seria interessante estimular projetos voluntários com parceria público-privado, pode incentivar mecanismos para que o mercado solucione problemas públicos, seria a responsabilidade social que permite transferir parte do custo de provisão de serviços ambientais para atores não governamentais.

O Quadro 3, apresenta a síntese do resultado da revisão sistemática sobre o tema PSA e Gestão da água.

Quadro 3 – Principais resultados com os termos “payment for ecosystem services” e “water management”.

CATEGORIA	RESULTADOS	ANO/QUANTIDADE
Autores que mais publicaram.	- Aydjbegovic M., Bálíková K., Malovrh Š. P., Ostoić, S.K., Paletto, A., Posavec, S., Potočki, K. e Vuletić, D.	- 2 artigos cada.
Autores: os mais citados .	- Sone J. S; Alves Sobrinho T et al, - Brenner, L.L.; Hamel, P.; Ponette-Gonzalez, A. G.; Saad, S.I; Brauman, K. A em 2020 e Beura, F em 2019. Uma diferença considerável com relação aos autores anteriores.	- 31 citações em 2019. O artigo foi Water provisioning improvement through payment for ecosystem services, publicado em 2019 no periódico Science of the Total Environment 655, pp. 1197-1206. - 19 citações em 2020/2019.
Área temática	- Environmental Science. - Social Sciences.	- 29 artigos. - 15 publicações.
Principais periódicos	- Water Switzerland, - Journal Of Environmental Management. - Sustainability Switzerland,	- 4 publicações.
Centros de Pesquisas	- Universidade de São Paulo – USP, - University of Chinese - Academy of Sciences University of Zagreb, - Nature Conservancy, - Croatian Forest Research Institute, - Univerza v Ljubljani, University of Sarajevo, - University of Zagreb, - Faculty of Forestry and Wood Technology - Sveučilište u Zagrebu, - Građevinski Fakultet,	- 2 membros/autores.
Fundações de apoio a	- National Natural Science Foundation of China. - CAPES e Conselho Nacional de	- Financiando 4 pesquisadores.

pesquisa	Desenvolvimento Científico e Tecnológico. -European Cooperation in Science and Technology, -Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Nature Conservancy, - Universidade Estadual Paulista, - World Bank Group	- 3 pesquisadores. - Instituição de fomento com 2 pesquisadores cada.
Principais países em publicações	- China. - Brasil e EUA. - Austrália, Canadá e Itália. - Bosnia e Herzegovina, Croacia, Alemanha e Servia.	- 7 publicações. - 6 publicações. - 3 publicações. - 2 publicações.

Fonte: autora, (2022).

As Áreas Temáticas predominantes foram a Ciência Ambiental e a Ciência Social, como podemos perceber as duas áreas se interagem com os temas PSA e gestão da água se complementando na interdisciplinaridade. As publicações foram predominantemente artigos, mas teve dois capítulos de livro e nenhuma revisão sistemática.

Os periódicos que mais uma vez se destacaram foram o jornal Water Switzerland e o Journal Of Environmental Management pela credibilidade e preferência entre os autores. Sendo assim, as instituições de apoio que mais se destacaram nesse período estudado foram: Universidade de São Paulo – USP, University of Chinese Academy of Sciences University of Zagreb, Nature Conservancy, Temos, mais uma vez Brasil, China e EUA com suas Instituições de pesquisa em destaques bem como as instituições financiadoras de pesquisas.

Desta forma, estudos sobre Pagamento por Serviços Ambientais que começou com a experiência de Costa Rica, Estados Unidos e França e se espalhou pelo mundo, teve no Brasil após os casos de Minas Gerais e Rio de Janeiro um crescimento lento até ser instituída a base jurídica deste instrumento econômico para ser aplicado como política pública com apoio da iniciativa privada, para que pudessem conservar o meio ambiente em especial os recursos hídricos pela importância da água na vida de todos. Assim observamos pela base de dados Scopus a importante participação do Brasil nas pesquisas sobre PSA que tem como foco auxiliar na tomada de decisão na gestão da água.

Em todo o mundo a pandemia do COVID-19 causou uma estagnação muito grande, mas no âmbito da ciência, houve muitos avanços e neste caso foram os anos de maior produção em publicações, envolvendo PSA como ferramenta de gestão. (2020 e 2021). Os

artigos tratam da apresentação dos estudos de casos em seus respectivos territórios de origem como as instituições de pesquisas e as de fomento a mesma, onde reafirmam a importância de centros de pesquisas no Brasil (no caso da USP, por exemplo), China e EUA sobre este tema. Os periódicos escolhidos para publicação têm a maior credibilidade e impacto e estão ligados à área de Ciências Ambientais, principalmente.

Conseqüentemente, os países que mais produziram artigos foram Brasil, China e EUA, evidenciando que o tema tem crescido muito no país e que é um campo promissor e atual para o desenvolvimento da pesquisa, buscando a sustentabilidade através da conservação dos nossos recursos hídricos, fomentando incentivo para reverter à ação antrópica na natureza pela participação do homem no cuidado com a mesma. A seguir serão apresentados os métodos e materiais utilizados para conduzir esta pesquisa.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada consistiu na realização de uma análise, a partir do arcabouço teórico onde foi utilizado como fontes de dados secundários à pesquisa bibliográfica e dados documentais. Os dados primários foram obtidos através da pesquisa realizada no banco de dados do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco - SUPer, um software para processamento e avaliação hidrológica e da qualidade da água que funciona como uma interface ao SWAT no ArqGIS, o ArqSWAT. A natureza da pesquisa foi exploratória e descritiva onde a pesquisa descritiva tem como principal objetivo descrever o fenômeno suas, características ou funções. Tem o caráter de estudo transversal que envolve a coleta de informações de qualquer amostra de elementos da população apenas uma vez. (MALHOTRA, 2012).

O método de coleta dos dados foi feito através de levantamentos em sites como Periódicos Capes e a base de dados Scopus para realização da revisão da literatura, e outros sites oficiais importantes para realização da pesquisa bibliográfica. A captação de dados para processamento de imagens foi feita através de bancos de dados existentes no SUPer.

O método de análise adotado foi o quantitativo-qualitativo, considerando-se o caráter de complementariedade entre os métodos (MALHOTRA, 2012). Quanto à pesquisa qualitativa, foi utilizado como técnica a interpretação dos dados levantados pela pesquisa secundária, e para a pesquisa quantitativa foi feito à análise dos dados obtidos através de pesquisas em base de dados que faz parte do estudo. O Quadro 4 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para alcançar os objetivos deste estudo de caso.

Quadro 4 – Metodologia adotada para o estudo

OBJETIVOS	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS
Identificar os tipos de serviços ecossistêmicos da bacia do Capibaribe que podem ser utilizados na modelagem e em seguida no PSA	Pesquisa bibliográfica e análise documental
Analisar o balanço hídrico da Bacia do Rio Capibaribe – PE e seu uso na tomada de decisão.	Pesquisa bibliográfica e análise documental, pesquisa no banco de dados do SUPER e sites como INMET, APAC, ANA e Secretarias do Estado e órgãos do governo de Pernambuco.
Averiguar a viabilidade de aplicação de programas de pagamento por serviços ambientais relacionados à conservação de cursos d'água na Bacia do Rio Capibaribe, baseado na literatura.	Pesquisa bibliográfica e análise documental, bem como pesquisa no site Periódicos Capes, na plataforma Scopus para conhecer o estado da arte no mundo e no Brasil com relação ao uso do PSA em conservação de Bacias Hidrográficas.

Fonte: a autora, (2023).

Para a revisão sistemática sobre o PSA e gestão da água foi utilizado à base de dados Scopus cuja pesquisa foi feita com as palavras-chave “payment for ecosystem service” e “water management”. Foi obtida uma amostra do universo, limitado pelo intervalo de cinco anos de publicação, ou seja, de 2018 a 2022. Essa amostra foi determinada de forma não probabilística por conveniência, tendo como critério a atualidade das publicações.

A correlação das palavras-chave se deu por ser o Pagamento por Serviços Ambientais, denominação brasileira do termo: “payment for ecosystem service”, com legislação própria e incentivada por instituições responsáveis pela tomada de decisão em recursos hídricos como a Agência Nacional de Águas – ANA e outras instituições em níveis estaduais e municipais a sua implantação como política pública de apoio a gestão da água. Portanto, o PSA é um instrumento econômico aplicado às Ciências Ambientais na busca da recuperação e conservação do meio ambiente com foco, neste caso, aos recursos hídricos.

Para o estudo de caso a modelagem hidrológica da bacia do Rio Capibaribe, foi feita uma pesquisa bibliográfica e documental em sites oficiais e periódicos, além da obtenção dos dados no Banco de dados do SWAT/SUPER. A Bacia é dividida, de acordo com o SWAT em 53 sub-bacias e 253 HRUs. A série histórica avaliada foi de 01/01/1961 a 31/03/2021. Foi utilizado para aquecer o modelo dois anos de observação (1961-1962). O modelo foi rodado na escala diária. A versão do SWAT utilizada neste estudo foi do ano de 2012.

O SWAT é um modelo determinístico de modelagem de bacias hidrográficas, possibilitando à simulação de diferentes cenários ou analisando a produção da combinação entre estes, servindo de apoio à tomada de decisão. O SWAT como modelo foi proposto como um mecanismo para ajudar a quantificar serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas (Vigertol e Aukema, 2011). Sendo um software de acesso livre e documentação detalhada, tem como entrada os serviços ecossistêmicos como a qualidade e quantidade de água, descrevendo as propriedades do solo, topografia, uso da terra, gestão e clima. Possui cinco principais componentes: hidrologia, solo, clima, vegetação e manejo da terra; e é capaz de prover resultados em quatro resoluções temporais: anual, mensal, diário e sub-diário (ARNOLD et al., (2012) apud MIRANDA (2017)).

Desta forma, simula processos de bacias hidrográficas, primeiro dividindo a bacia em sub-bacias hidrográficas, e depois dividindo as sub-bacias em combinações únicas de uso da terra, solo e declives chamadas Unidades de Respostas Hidrológicas – HRUs (LOGSDON, CHAUBEY, 2013).

Em seguida, faz a calibragem e validação dos dados, onde são feitas as mensurações e criados os parâmetros que são transformados em variáveis de saída do sistema que servem para determinar o potencial da produção dos serviços ecossistêmicos. Em todo o mundo, vários pesquisadores têm realizado o processo de calibração do SWAT com o software SWAT-CUP (*SWAT Calibration and Uncertainty Programs*; ROUHOLAHNEJAD et al., (2012) apud MIRANDA (2017)), recomendado pelos desenvolvedores do SWAT, com a utilização do algoritmo SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting 2*) que consiste num método iterativo de calibração que combina otimizações e análises de incertezas de múltiplos parâmetros, este processo também foi utilizado na Bacia Hidrológica do Rio Capibaribe, realizado por Miranda (2017). Para este fim foi utilizado à análise de sensibilidade global para avaliação de múltiplos parâmetros. A calibração ocorreu através dos parâmetros de evapotranspiração e Índice de área Foliar, através dos produtos MOD021KM e MOD09GA do sensor MODIS, disponí-

veis em <https://search.earthdata.nasa.gov/> e <https://earthexplorer.usgs.gov/> (MIRANDA, 2017).

Os seguintes índices estatísticos são usados para as fases de calibração e validação: o Nash – Sutcliffe, coeficiente de eficiência (NS); o logaritmo NS (NSlog); o percentual de viés (PBIAS) e a razão entre o erro quadrático médio e o desvio padrão dos dados medidos (RSR). Todas essas técnicas são usadas porque testando apenas algumas variáveis, as mesmas podem levar a resultados enganosos e inadequados na seleção do modelo, segundo Tedeschi (2006) apud Fukunaga, D.C., et al. (2015).

Segundo Francisconi et al (2016) as saídas disponíveis atualmente no SWAT são limitadas a serviços ecossistêmicos relacionados a água, dando exatidão e personalizando o modelo que pode ser padronizado pela estimativa e identificação de processos de degradação do ecossistema que ocorrem ao redor do mundo. Ainda conforme os referidos autores, neste caso o SWAT pode servir como ferramenta de monitoramento, podendo ser direcionadas ao preenchimento de lacunas de conhecimento neste milênio. Após a simulação são apresentados os resultados em diferentes escalas espaciais e temporais sobre a bacia hidrográfica.

O SUPer foi desenvolvido pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) associado com Texas A&M University (TAMU), seguindo os padrões do SWAT e que consiste numa amostragem simplificada de modelagem de bacias hidrográficas especificamente do estado de Pernambuco, funcionando como interface ao SWAT no ArqGIS (ArqSWAT). Ambos se complementam e são usados para a modelagem em bacias pernambucanas.

Sendo modelo de apoio à decisão, seus resultados são utilizados para a gestão de recursos hídricos no planejamento estratégico, mais explicitamente, através da determinação de políticas, permitindo ainda estimar os impactos das ações de gestão antes da execução, ou seja, os impactos socioeconômicos e ambientais, identificando soluções sustentáveis, contribuindo com o processo de tomada de decisão e desenvolvimento de estratégias de gestão.

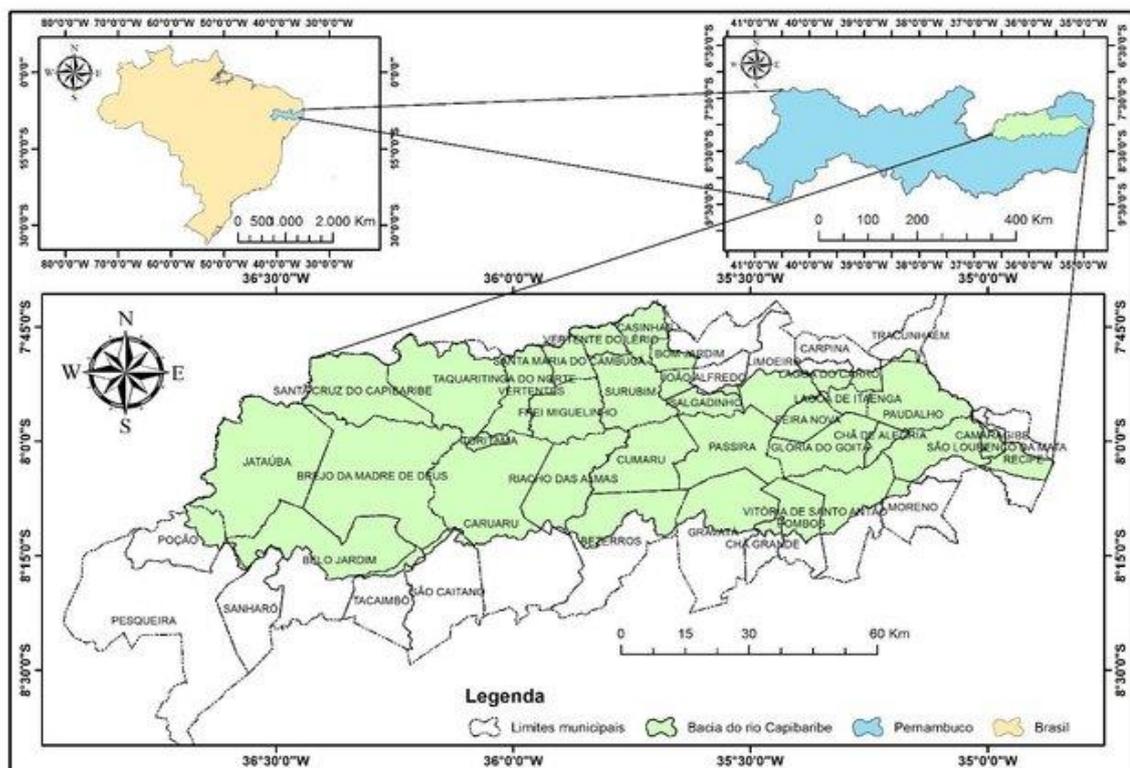
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE.

O Rio Capibaribe nasce na Serra de Jacarará divisa dos municípios de Jataúba e Poção, na Zona do Agreste na região semiárida do Estado de Pernambuco, a uma altitude aproximada de 1.000 m. Está localizada entre 07° 41' 20'' e 08° 19'30'' de latitude sul, e 34° 51' 00'' e 36° 41' 05'' de longitude oeste. Apresenta direção inicial sudeste-nordeste, até as proximidades de Santa Cruz do Capibaribe, quando seu curso toma a direção oeste-leste, como pode ser visto na Figura 4. Após atravessar toda a Zona da Mata deságua no Oceano Atlântico.

co, em pleno centro urbano da capital pernambucana, percorrendo uma extensão total de cerca de 280 km até sua foz, na cidade do Recife (PERNAMBUCO, 2010).

Limita-se ao norte com o Estado da Paraíba, a bacia do rio Goiana (UP1) e grupo de bacias de pequenos rios litorâneos: Metropolitano Norte e Metropolitano Sul - GL1(UP14), ao sul com a bacia do rio Ipojuca (UP3) e o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 2 - GL2 (UP15), a leste com o Oceano Atlântico e os grupos GL1 e GL2 e, a oeste, com o Estado da Paraíba e a bacia do rio Ipojuca (LIMA et al 2018).

Figura 4 – Localização da Bacia do Rio Capibaribe



Fonte: –: Cartas SRTM EMBRAPA (Brasil em Relevo), Base Cartográfica IBGE. Adaptado por Silva, R. N. no ArcGIS. (2016).

Durante a sua trajetória recebe cerca de 70 afluentes nas duas margens. Seus principais afluentes pela margem direita, são: riacho do Mimoso, riacho Tabocas, riacho da Onça, riacho Carapatós, riacho das Éguas, riacho Caçatuba, riacho Batatã, rio Cotumubá, rio Goitá e rio Tapacurá. Pela margem esquerda, destacam-se: riacho Jataúba, riacho Doce, riacho Topada, riacho do Manso e riacho Cajaí (PERNAMBUCO, 2010). Conforme pode ser visto na Figura 5 e a Figura 6 apresenta o seu principal curso d'água.

1998), serve como divisa entre os municípios de Porção e Jataúba e dos municípios de Santa Cruz do Capibaribe e Brejo da Madre de Deus. Os municípios de Chã da Alegria, Cumaru, Feira Nova, Frei Miguelinho, Glória do Goitá, Jataúba, Lagoa do Itaenga, Passira, Santa Cruz do Capibaribe, Santa Maria do Cambucá, Surubim, Toritama, Vertente e Vertente do Lério estão totalmente inseridos na bacia. Os municípios que possuem sede na bacia são Camaragibe, Casinhas, Limoeiro, Paudalho, Pombos, Recife, Riacho das Almas, Salgadinho, São Lourenço da Mata, Taquaritinga do Norte e Vitória de Santo Antão e os municípios parcialmente inseridos na bacia são Belo Jardim, Bezerros, Bom Jardim, Carpina, Caruaru, Chã Grande, Gravatá, João Alfredo, Lagoa do Carro, Moreno, Pesqueira, Poção, Sanharó, São Caetano, Tacaimbó e Tracunhaém (PERNAMBUCO, 2010).

A Bacia Hidrográfica possui 13 reservatórios com capacidade superior a um milhão de metros cúbicos, que estão atualmente em estágio de eutrofização e hipereutrofização em decorrência da ausência de esgotamento sanitário dos municípios localizados na sua bacia de drenagem e dos processos inadequados de urbanização (PERNAMBUCO, 2010). O clima semiárido é caracterizado pela baixa precipitação pluviométrica entre 300 mm a 800 mm (PERNAMBUCO, 2010).

3.2 O CICLO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE.

O ciclo da água é um processo natural onde a água circula no nosso planeta de forma constante e permanente, podendo migrar pelos estágios da água (sólida, líquida e gasosa) por meio da energia solar que aquece os rios e mares.

Este ciclo, de acordo com Rennó et al (2022), ocorre quando a água no estado líquido evapora e condensa, essa água em estado gasoso volta a se tornar líquida, formando nuvens de chuva, quando a nuvem satura, ocorre a precipitação em formato de chuvas, granizo ou orvalho. Nas áreas onde tem florestas, uma parte dessa precipitação é interceptada pelas plantas e evapora. A outra parcela de água escorre e infiltra no solo (se esse solo não estiver impermeabilizado ou encharcado) e escorre, de forma a se movimentar até o lençol freático, mantendo umedecida qualquer superfície por onde evapora. Uma parte dessa água subterrânea é absorvida pelas plantas. Essas, por sua vez, liberam a água para a atmosfera por meio da transpiração, sendo esse conjunto, evaporação mais transpiração, chamado de evapotranspiração. Parte da água infiltrada flui entre as partículas e espaços vazios dos solos e das rochas, podendo ficar armazenada por um período muito variável, formando os aquíferos.

A evapotranspiração é definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas. A evapotranspiração é a soma de dois termos: transpiração e evaporação. Quando a água penetra pelas raízes das plantas, ela é utilizada na construção dos tecidos ou é emitido pelas folhas, reintegrando-se à atmosfera, este processo é a transpiração. Quando a água evapora do terreno nu (adjacente às plantas), e/ou de uma superfície de água, e/ou das superfícies das folhas (molhadas por chuva ou irrigação) sem ter sido usada pelas plantas, trata-se da evaporação (KLAR, 1988).

Quando a precipitação é maior do que a infiltração no solo, a água escoar sobre a superfície até rios ou lagos de onde evapora retornando à atmosfera, caracterizando assim o balanço hídrico, que, de modo geral, pode ser resumido pela Eq. 1 pelo autor acima citado, em:

$$P - E_{int} - E_s - E_p - Q_{saída} + Q_{entrada} - \Delta\theta = 0, \quad (1)$$

onde P é a precipitação (chuva, neve ou neblina), E_{int} é a água interceptada pelo dossel que posteriormente é evaporada, E_s é a evaporação do solo, E_p é a transpiração pelas plantas, $Q_{saída}$ é o escoamento de água para fora do sistema, $Q_{entrada}$ é o escoamento de água para dentro do sistema (fluxo ascendente, escoamento superficial e subsuperficial de elementos à montante) e Dq é variação do estoque de água no solo. O termo $P - I$ é geralmente chamado de precipitação líquida, ou seja, refere-se a parte da precipitação que realmente chega à superfície do solo. Os termos $E_{int} + E_s + E_p$ são denominados evapotranspiração. A equação do balanço pode ser utilizada para eventos simples de precipitação ou para uma série temporal, embora as escalas temporais de cada um dos processos possam ser consideravelmente diferentes (RENNÓ et al, 2022).

O ciclo hidrológico no SWAT é baseado na equação do balanço hídrico: Eq. 2, onde SW_f e SW_i são quantidade de água no solo final e inicial respectivamente (mm), t é tempo (dias), P é precipitação (mm), Q_s é escoamento superficial (mm), ET é evapotranspiração (mm), W_s é percolação (mm) e Q_{gw} é fluxo de base (mm). (MIRANDA, 2017).

$$SW_f = SW_i + \sum_{t=1}^t (P - Q_s - ET - W_s - Q_{gw}) \quad (2)$$

Desta forma, o balanço hídrico da Bacia do Rio Capibaribe em sua média anual, apresenta uma variação anual e interanual de precipitação muito grande, pois dependem principalmente dos fenômenos El Niño, La Niña e o Dipolo do Atlântico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos com o estudo de caso sobre a modelagem hidrológica da Bacia do Rio Capibaribe, com relação à gestão dos recursos hídricos que possam auxiliar na tomada de decisão dos seus gestores. Então apresentamos a análise dos dados do Balanço Hídrico, obtidos no banco de dados do SWAT/SUPer.

4.1 A BACIA EM FOCO.

A origem do nome Capibaribe vem da língua tupi e significa Capivara, embora não tenha esse animal ao longo do seu curso. A mesma está localizada na região nordeste do estado, como foi dito anteriormente, correspondendo à unidade de planejamento hídrico UP2, segundo o modelo estabelecido no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH-PE, 1998), abrangendo parte das regiões de desenvolvimento (RD): RD 08 – agreste central, RD 09 – agreste setentrional, RD 10 – mata sul, RD 11 – mata norte e RD 12– região metropolitana.

Ocupa trechos que caracterizam a Zona da Mata Atlântica com clima tropical úmido; e trechos de Caatinga também denominada de Agreste, que tem clima tropical semiúmido, bem como ecossistemas de manguezais no litoral, exibindo um ambiente complexo determinado pelos contrastes: climáticos, de relevo, de solos e de cobertura vegetal, além das diferenças socioeconômicas existentes, o que requer um modelo de gestão hídrica adaptável às peculiaridades sub-regionais e locais por onde corre a bacia. A distribuição dos municípios de acordo com a RD pode ser visualizada no ANEXO - A (PERNAMBUCO, 2010).

O Rio Capibaribe teve grande importância histórica no desenvolvimento socioeconômica do estado de Pernambuco e da própria região Nordeste. No período colonial foi denominada de rio-ponte pelo seu significativo: o envolvimento com a cultura da cana-de-açúcar na zona da mata devido ao tipo de solo, o massapê, terra vermelha e fértil, própria para a agricultura canavieira e também pela existência dos currais do agreste e do sertão com a pecuária, sendo assim, o desenvolvimento do estado se deu não apenas do centro para a periferia, mas também dos engenhos para o centro comercial, de acordo com Machado 2010 apud Pernambuco (2019).

O Plano Hidroambiental da Bacia do Capibaribe apud Pernambuco (2019) aponta que embora haja essa importância histórica da região a maioria dos municípios permanecem pequenos, como pode ser visto no ANEXO B, com o percentual de ocupação dos mesmos na bacia, sendo que cerca de 65% possui até 50.000 habitantes. 86% do total de habitantes da

bacia residem em áreas urbanas, com maior concentração na capital e sua região metropolitana.

Há muita variação entre os municípios investigados, tanto em termos socioculturais, quanto econômicos, por exemplo, enquanto alguns municípios permanecem com atividades rurais, alguns integram o polo madeireiro do Estado de Pernambuco, como Gravatá, Pombos, Pesqueira e João Alfredo e outros se destacam no setor de tecidos e confecções, formando, inclusive, segundo o Instituto de Tecnologia de Pernambuco, arranjos produtivos, como é o caso de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, tendo também mais ao norte o polo de cerâmicas vermelhas (PERNAMBUCO, 2019).

O Plano Diretor da Bacia Hidrográfica, elaborado em 2002, estabelece a divisão para fins de gestão da bacia em quadro unidades de análise (UA), conforme apresentada pela Figura 7 e ANEXO C: a UA1 – Unidade de Toritama que abrange aproximadamente o terço superior da bacia; A UA2 ou Unidade de Jucazinho, envolvendo parte da bacia que vai desde Toritama até o reservatório Jucazinho; A UA3 ou Unidade de Limoeiro que compreende as áreas de drenagem do Capibaribe desde o reservatório Jucazinho até o reservatório Carpina, e a UA4 ou unidade de São Lourenço da Mata, abrangendo as áreas de drenagem do terço inferior da bacia (PERNAMBUCO, 2010).

Figura 7 - Zoneamento da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe por Unidades de Análise – UA



Fonte: PDRH (2002) apud PERNAMBUCO (2010).

A Bacia também compreende três regiões: Alto Capibaribe onde o percurso ocorre entre sua nascente e o município de Taquaritinga do Norte, predominando as maiores altitudes da bacia, influenciadas pelo Planalto da Borborema. O Médio Capibaribe segue até o município de Limoeiro, onde o regime hidrológico deixa de ser intermitente e o Baixo Capibaribe marca a trajetória perene do rio principal até desaguar no oceano Atlântico. Os municípios de Gravatá, Passira e Salgadinho são cortados pela linha que delimita o Polígono das Secas. (SALGUEIRO et al, 2014).

4.2 SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.

Os sistemas meteorológicos com atuação significativa na Bacia são a Zona de convergência intertropical (ZCIT) e ondas de leste, de acordo com Pernambuco (2019). A ZCIT é uma nuvem que circula em todo globo terrestre na região equatorial. A mesma é formada pela convergência dos ventos alísios com origem no hemisfério norte (alísios de nordeste) se posicionando aproximadamente 14° ao norte e os ventos do hemisfério sul (alísios de sudeste) posicionada o ano inteiro a 2° ao sul da Linha do Equador, soprando, assim, dos trópicos para a linha do equador, da zona de maior pressão para a de menor pressão, sendo o principal sistema de produção de chuva no sertão e agreste pernambucano. Além dos ventos alísios, as altas temperaturas da superfície do mar também influenciam no posicionamento e intensidade da ZCIT (INMET, 2023).

Sua atuação, na bacia, é facilmente identificável com a presença de nebulosidade com alta taxa de precipitação e atua sobre uma região qualquer por períodos superiores há dois meses. No sertão, caracteriza um período chuvoso que vai de dezembro a maio, e no agreste, um período chuvoso de fevereiro a julho, com máximas precipitações nos meses de abril e maio. Pode causar inundações na região metropolitana no Recife e na Zona da Mata Atlântica, em anos chuvosos, quando atua nos meses de março e/ou abril produz seca, principalmente no semiárido (PERNAMBUCO, 2010).

Ondas de Leste são perturbações de pequena amplitude, geralmente observadas nos ventos alísios que atuam no leste de Pernambuco e do Nordeste, principalmente no período de maio a agosto. O deslocamento dessas ondas ocorre de leste para oeste, do Oceano Atlântico para o litoral. Apesar da sua pequena amplitude essas ondas podem produzir chuvas intensas e inundações, e em alguns casos penetrar até 300 km dentro do continente. (PERNAMBUCO, 2010).

Os fenômenos do sistema oceano-atmosfera produzem uma variação interanual muito grande por causa do El Niño que é o aquecimento da água do mar no Pacífico Tropical da costa do Peru/Equador até o oeste do Pacífico, e o La Niña que é o resfriamento da água também no mar do Pacífico Tropical, desde a costa da América do Sul até o oeste do Pacífico. Essa anomalia na temperatura das águas oceânicas influi na pressão atmosférica e na circulação geral da atmosfera e é denominado de Oscilação do Sul. Assim nos anos de El Niño/Oscilação do Sul a pressão atmosférica é baixa no Pacífico e alta na região tropical, levando a mudanças nos ventos alísios, provocando inibição na formação de nuvens no Nordeste brasileiro com redução da precipitação, favorecendo a seca. No caso de La Niña ocorre o processo inverso, implicando aumento da precipitação inclusive na Bacia do Capibaribe (PERNAMBUCO, 2019).

O fenômeno do Dipolo do Atlântico significa que a mudança na temperatura da água do Oceano Atlântico Tropical provoca mudanças na circulação meridional da atmosfera, inibindo o aumento da formação de nuvens no Nordeste e na costa da África e consequentemente aumentando ou diminuindo a precipitação (PERNAMBUCO, 2019).

Estes dois fenômenos meteorológicos influenciam na precipitação pluviométrica ao longo do curso da bacia, fazendo com que apresente uma média de 1133 mm, com o comportamento de um aumento da precipitação média de montante para jusante da bacia. O período mais chuvoso concentra-se entre os meses de março a julho, sendo o período seco entre os meses de agosto a fevereiro. Os ventos vêm do oceano Atlântico e avança sob o continente

ocasionando a precipitação pluviométrica formando o ciclo hidrológico da bacia (PERNAMBUCO, 2019).

Além desses fenômenos, os Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior – VCAS, que aparecem com pouca frequência, podem provocar tanto inundações como os veranicos severos de novembro a fevereiro (SALGUEIRO et al, 2014).

A temperatura média anual da bacia varia de $20^{\circ} 46'$ C a $26^{\circ} 14'$ C, apresentando aumento no sentido montante para jusante no Rio e esse comportamento também se mostra com relação à temperatura média mínima variando de $16^{\circ} 90'$ C a $23^{\circ} 27'$ C e a máxima variando de $25^{\circ} 50'$ C a $29^{\circ} 92'$ C (PERNAMBUCO, 2019).

4.3 O BALANÇO HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE.

O balanço hídrico é um instrumento de trabalho que estuda a relação de comparação entre as disponibilidades e as demandas de água em uma determinada bacia hidrográfica, UA (unidade de análise) ou região. Através dele se pode concluir que os recursos disponíveis existentes atendem à demanda e avaliar as conveniências e possibilidades de transferências de água entre unidades de planejamento. O ciclo hidrológico que determina o balanço hídrico está estreitamente relacionado às condições climáticas.

A bacia hidrográfica é o objeto de estudo dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam numa única saída. A bacia pode constituir a unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia, ou então, pode ser subdividida segundo diversas abordagens a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas.

A disponibilidade hídrica superficial encontra-se distribuída na malha fluvial e nos reservatórios hidráulicos como pode ser visto no Quadro 4. Alguns deles projetados para contenção das cheias periódicas, porém, adaptados para o aproveitamento hídrico, devido à carência demandada com o crescimento populacional. Em anos muito chuvosos, o reservatório de Carpina tem suas comportas abertas para espera do volume de precipitação, quando previsto pelo serviço meteorológico (SALGUEIRO et al, 2014).

Quadro 5 - Reservatórios da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe.

Reservatórios	Capacidade (m³ x 106)	Municípios
Carpina	270,0	Lagoa do Carro
Cursai	13,0	Paudalho
Eng. G. Pontes	13,6	Caruaru
Goitá	52,0	Paudalho
Jucazinho	327,0	Surubim
Machado	6,8	Brejo da Madre de Deus
Mateus Vieira	2,7	Taquaritinga do Norte
Matriz da Luz	1,5	São Lourenço da Mata
Oitis	3,0	Brejo da Madre de Deus
Poço Fundo	27,7	Santa Cruz do Capibaribe
Sítio Piaca	1,2	Belo Jardim
Tapacurá	94,2	Belo Jardim
Várzea do Una	11,6	São Lourenço da Mata

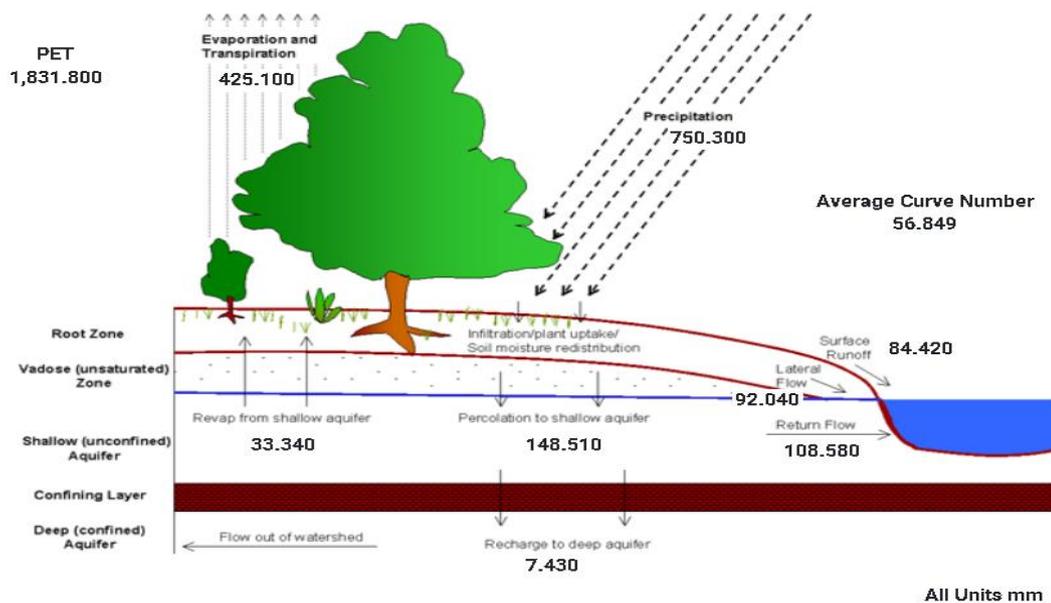
Fonte: Salgueiro et al (2014).

O monitoramento dos níveis dos reservatórios com volumes superiores a um milhão de m³ é realizado diariamente pela APAC. Do ponto de vista hidrológico, o solo pode ser entendido como um reservatório, cujo volume de água armazenado pode ser bastante variável no tempo, dependendo de muitos fatores como pode ser visto no ciclo da água da bacia hidrográfica (SALGUEIRO et al, 2014).

O Balanço Hídrico se dá pela relação entre a Precipitação e a Evapotranspiração (ET), ou seja, as entradas e saídas de água de um sistema. O resultado fornece a água disponível no sistema (no solo, rios, lagos, vegetação úmida e oceanos), ou seja, na biosfera. O balanço entre a água que entra na bacia pela chuva e que sai por ET, irá resultar na vazão (Q) do sistema de drenagem. Para períodos em que a chuva é menor do que a demanda atmosférica por vapor d'água, a vazão (Q) diminui, ao passo em que nos períodos em que a chuva supera a demanda, Q aumenta (RENNÓ et al, 2022).

Neste ciclo hídrico da Bacia do Rio Capibaribe, se observou uma média de precipitação anual de 750,300 mm de chuva, conforme pode ser visto na Figura 8. Este valor é considerado baixo, sendo característico de áreas de Caatinga, porém, ao se aproximar do litoral, a precipitação aumenta gradativamente. Assim, a variabilidade espacial de chuvas confirma a influência dos dois principais sistemas atmosféricos que ocorrem na região estudada: Zona de Convergência Intertropical e Ondas de Leste.

Figura 8 - Balanço hídrico médio anual na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.

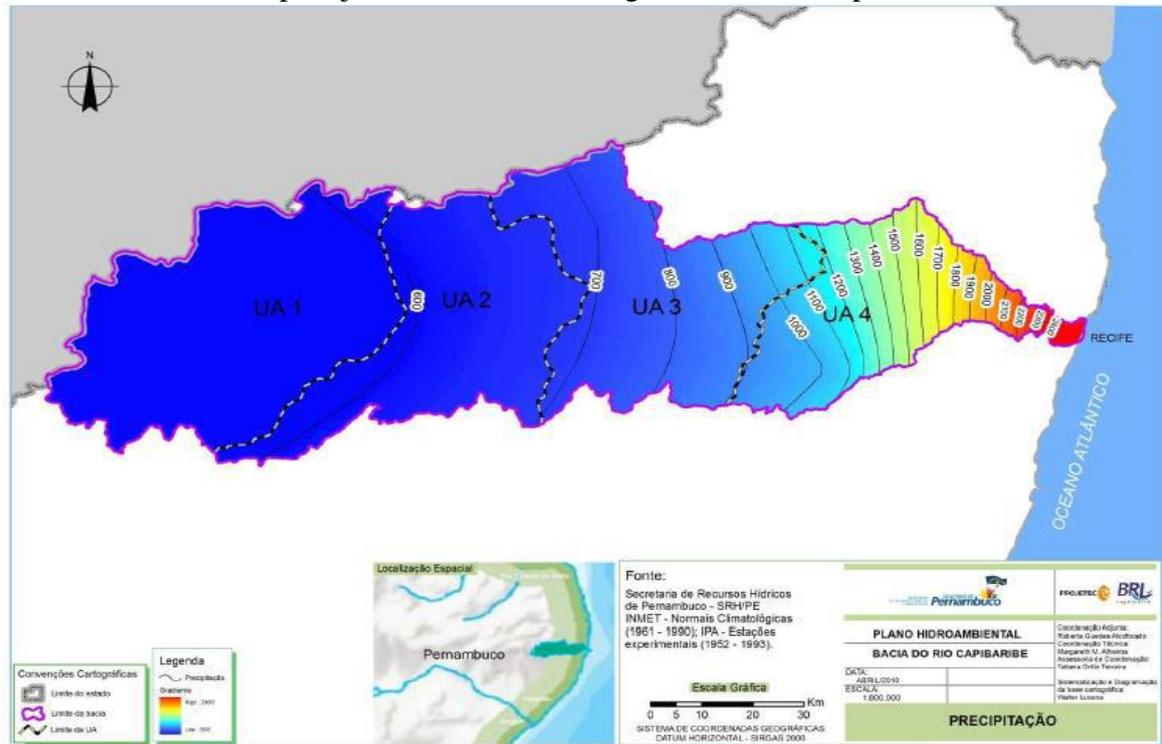


Fonte: SUPer (2023).

Desta forma, a Figura 9 mostra a precipitação média anual onde podemos observar que as maiores precipitações ocorrem a partir do curso do rio que está no bioma Zona da Mata Atlântica até a sua foz no litoral da cidade de Recife, percurso este onde o rio é perene e as

chuvas são mais intensas devido aos fenômenos meteorológicos, podendo ocorrer inundações e deslizamentos. As menores precipitações ocorrem na zona do agreste que por ter o solo arenoso não favorece a retenção da pouca água da chuva que cai na região.

Figura 9 - Isoietas anuais médias (mm) mostrando o aumento da precipitação média de montante para jusante da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe.



Fonte: PERNAMBUCO (2010).

A Região Nordeste do Brasil, particularmente no semiárido, as baixas disponibilidades de água, além das formas de uso, representam uma barreira para o desenvolvimento local. Essa região tem uma característica climática de chuvas concentradas em poucos meses do ano e a elevada evaporação, além dos solos com baixa capacidade de retenção de água (PÁDUA, 2013).

Neste contexto, estudos dos componentes do ciclo hidrológico, em especial a evapotranspiração, são subsídios à gestão dos recursos hídricos nessas áreas com significativa carência hídrica, proporcionando resultados tanto para órgãos gestores dos recursos hídricos como para a população local.

Assim sendo, a evapotranspiração no ciclo hidrológico da Bacia do Rio Capibaribe foi de 426,100 mm, correspondendo a 57% da precipitação, sendo o valor muito alto, pois apenas 43% da água de chuva é que escorre para formar o reservatório ou é absorvido, ocorrendo

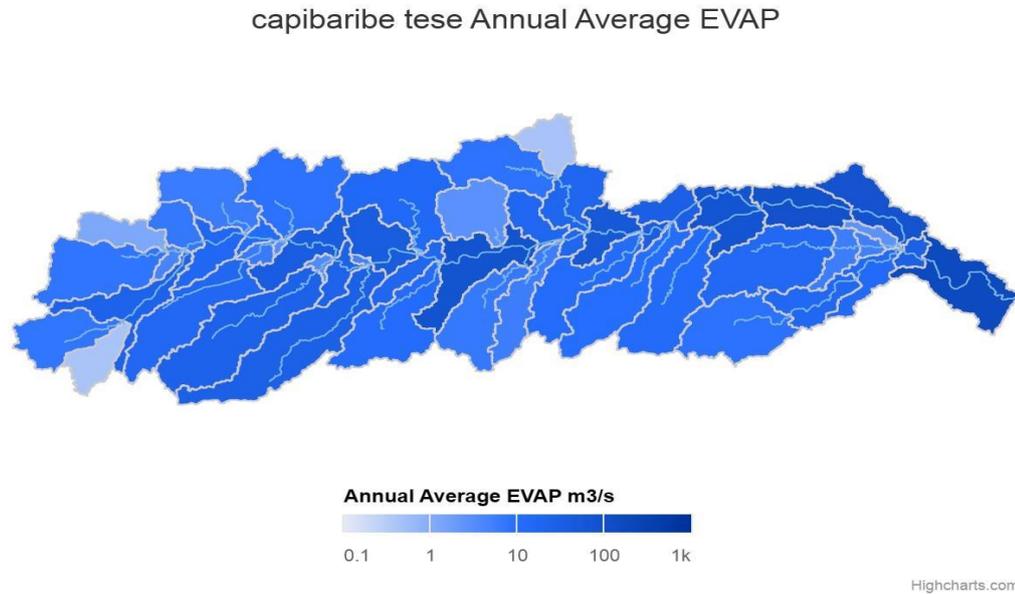
também grande variabilidade ao longo do percurso da bacia, determinado pelos mesmos fatores acima citados, por exemplo: no baixo Capibaribe tem-se os maiores índices pluviométricos e menores índices de evapotranspiração, no alto e médio Capibaribe, os índices se invertem contrastando com a Zona da Mata Atlântica e litoral, o que faz com que a média seja mais baixa.

Como resultado do balanço tem o potencial de evapotranspiração - PET de 1.831,800 mm, e a média do ciclo é de 56,429 mm, o que denota um grande volume de água no computo geral. Outras médias importantes são: o escoamento superficial de 84,4 mm, que indica que o solo tem pouca cobertura vegetal por ser este muito alto, mantendo-se num bom nível de escoamento de entrada para formar a drenagem superficial e sub-superficial, importantes para o equilíbrio do balanço hídrico, mas denotando um grande problema no uso do solo.

Apresenta ainda, o fluxo lateral médio de 92,0 mm, o fluxo de retorno de 108,6 mm e a média de evaporação de aquífero raso de 33,3 mm, entrando no cálculo do escoamento de saída. A média de percolação para aquífero raso de 148,510 mm é muito baixo, indicando que fica pouca água retida no solo e isso também é um sinal de que pode haver problemas na disponibilidade hídrica e para completar o ciclo, tem-se a recarga para aquífero profundo de 7,4 mm indicando boa disponibilidade de água subterrânea que pode servir para o abastecimento, agricultura, indústria e outros fins, apesar de pouca retenção de água.

Para uma maior visualização da ocorrência das variáveis que compõem o balanço hídrico da bacia do Rio Capibaribe, apresentamos a seguir os dados anual e diário retirados da base de dados do SUPer. A Figura 10 apresenta a média anual de Evapotranspiração da Bacia de acordo com a série histórica citada na metodologia, corroborada pelo Gráfico 2 que expõe a média diária sobre o mesmo tema. Ambos mostram uma variação grande na média anual e diária, reflexo das condições climáticas da bacia anteriormente comentada e ocorrendo em áreas onde a precipitação aumenta, mas a evapotranspiração tem influência na captação da água de chuva e seu armazenamento.

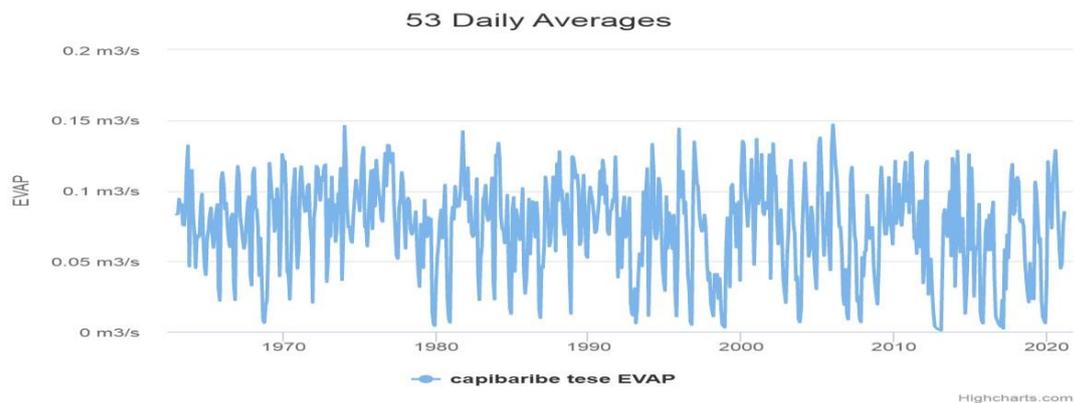
Figura 10 - Evaporação da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em m³/s



Fonte: SUPer (2023).

No Gráfico 2 percebemos que a variação é grande, mas com um comportamento constante diariamente ao longo de décadas, dentro de um intervalo de 0 m³/s até 0,15 m³/s.

Gráfico 2 – Evaporação da Bacia Hidrográfica Rio do Capibaribe



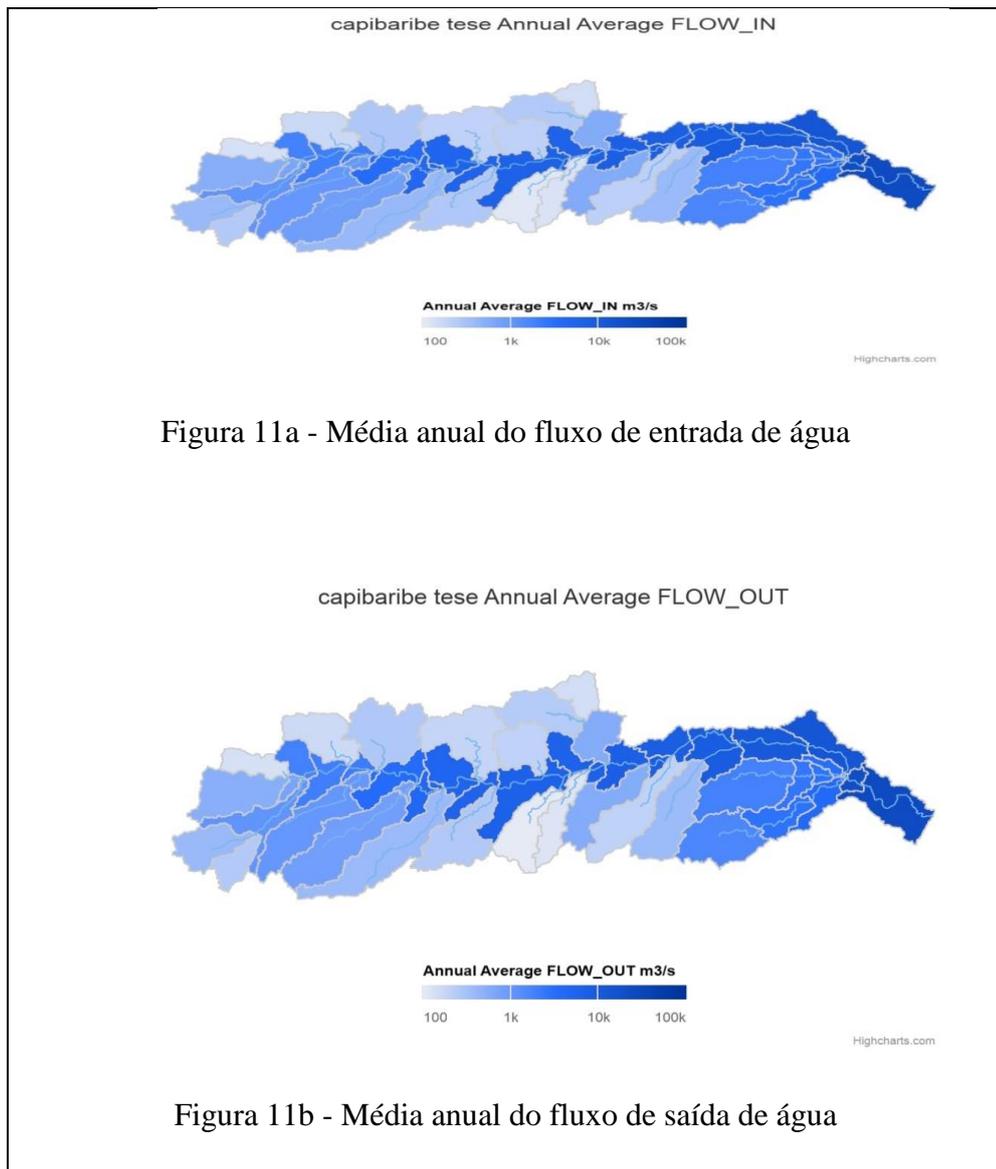
Fonte: SUPer (2023).

A Figura 11 apresenta a média anual do fluxo de entrada e de saída na bacia onde os maiores volumes do fluxo de água ocorrem no curso onde o rio é perene e se encontra na Zona da Mata Atlântica, onde se observa um crescimento de montante para jusante e o fluxo

segue na área central do leito principal da bacia, e assim o maior fluxo de entrada ocorre no baixo Capibaribe. O Fluxo de saída apresenta o mesmo comportamento do Fluxo de entrada

Tanto o mapa de fluxo de saída mensal e o gráfico que apresenta a média diária de saída de água têm o mesmo comportamento do fluxo de entrada. O que significa que não há retenção de água. A variação é grande, mas o fluxo de água que entra é a mesma de saída.

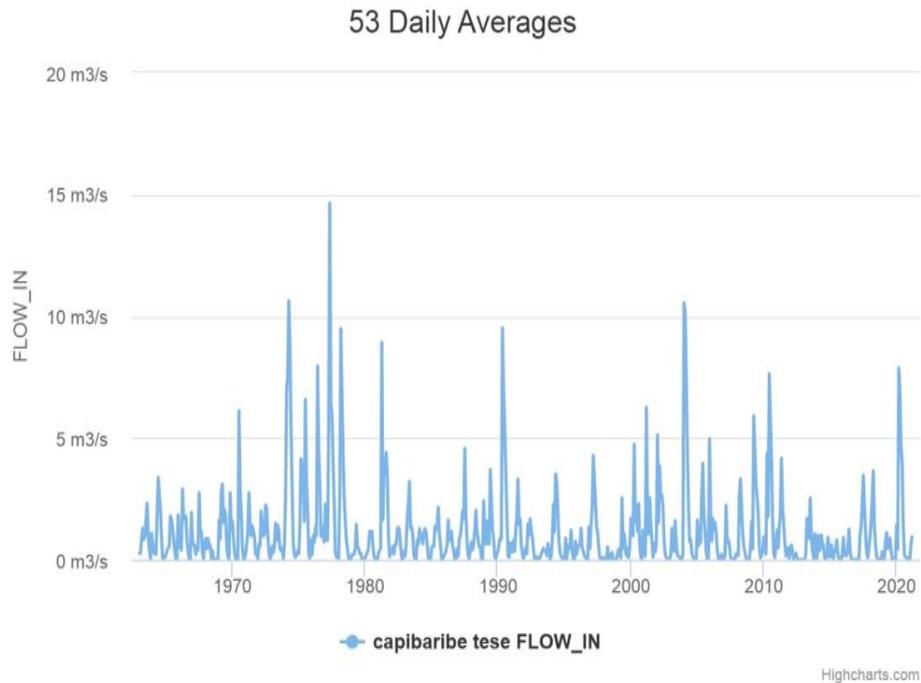
Figura 11 – Fluxo de entrada e saída de água na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em m^3/s



Fonte: SUPer (2023).

Quanto ao fluxo diário as maiores entradas ocorreram entre 1970 e 1980, depois o fluxo foi reduzindo e em 2020 mesmo no pico o mesmo foi baixo em relação às outras décadas apresentada pela série histórica no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Fluxo de entrada de água na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em m^3/s



Fonte: SUPer (2023).

A relação da média do fluxo de saída da água na bacia e a perda diária média de água do alcance por transmissão – TLOSS é apresentada no Gráfico 4. Então, enquanto o fluxo de saída é variável ao longo de décadas com picos distintos e grandes baixas, onde o maior pico se deu próximo à década de 80, chegando a $15\text{m}^3/\text{s}$, o TLOSS é constante ao longo dos anos sendo nula sempre. Ou seja, o fluxo de saída é sempre maior que a perda diária média de água por transmissão-TLOSS.

Gráfico 4 - Fluxo de saída e o TLOSS na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.

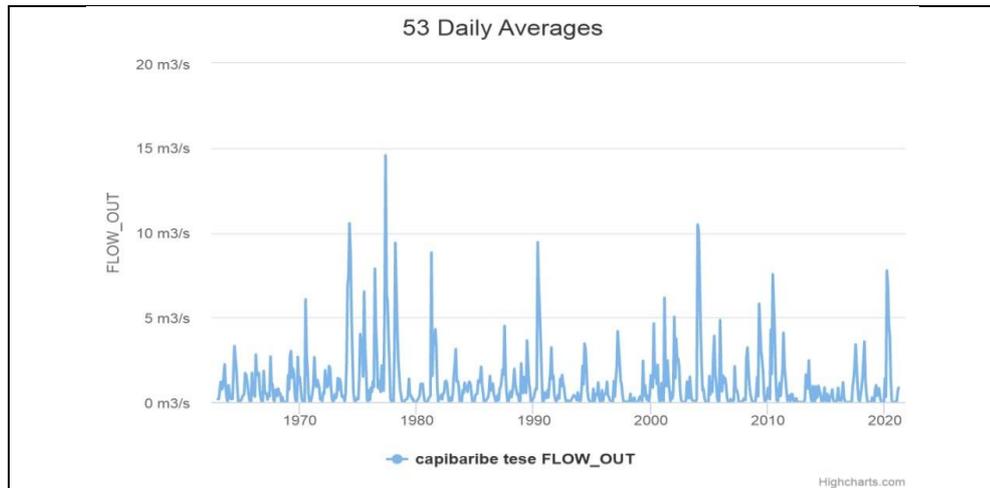
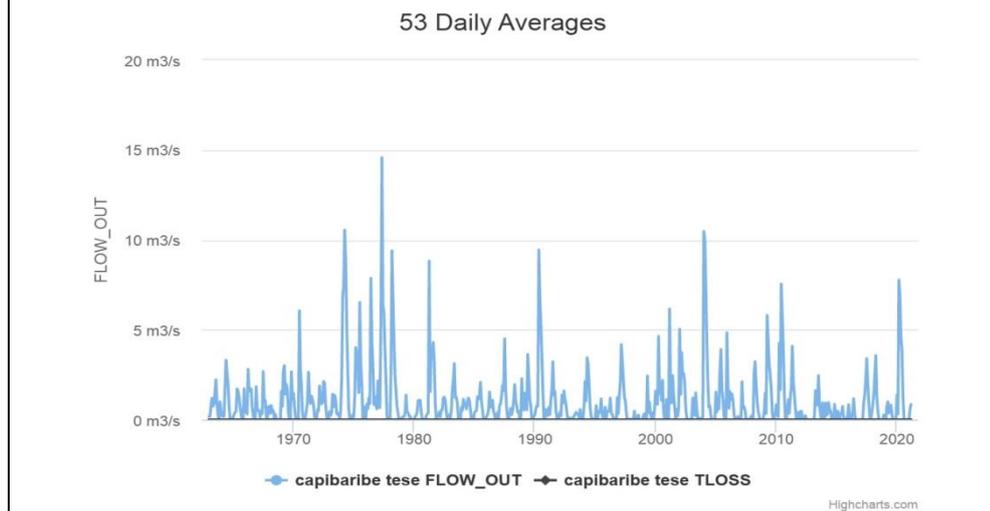


Gráfico 4a - Média diária do Fluxo de saída na Bacia hidrográfica do rio Capibaribe



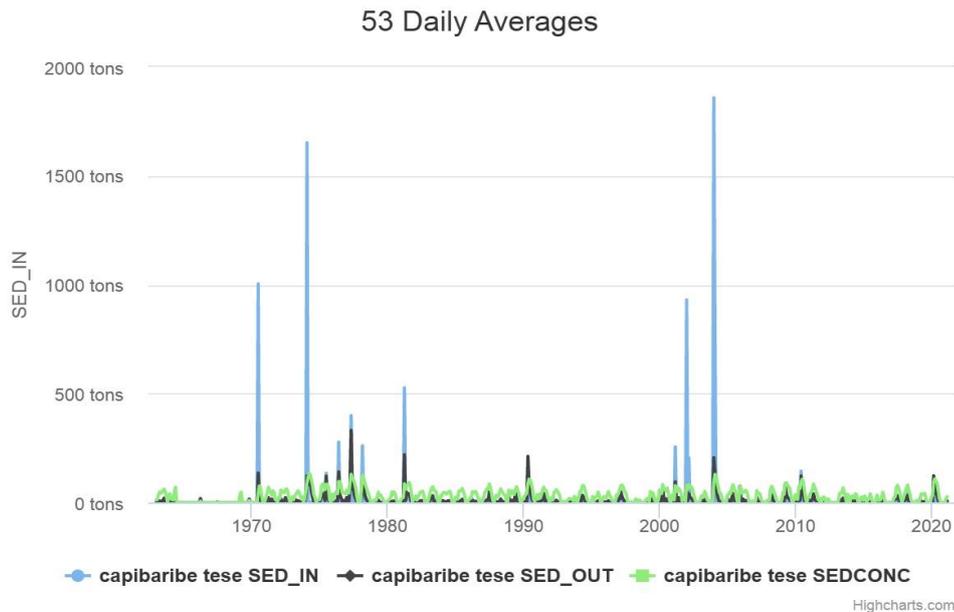
Gráfica 4b - Média diária do Fluxo de saída e o TLOSS na Bacia hidrográfica do rio Capibaribe

Fonte: SUPer (2023).

O Gráfico 5 apresenta a média diária de sedimentação de entrada, sedimentação de saída e a concentração de sedimentos na bacia em toneladas (tons) . Então podemos perceber que os picos de sedimentação de entrada na bacia ocorreram nas décadas de 70 com dois pi-

cos e na década de 2000 também com dois picos. Quanto à sedimentação de saída não acompanhou os níveis de entrada e a concentração de sedimentos na bacia permaneceu estável ao longo das décadas da série. Por esses dados à bacia hidrográfica do Rio Capibaribe é uma bacia com tendência a ser sedimentar, podendo ter problemas com o assoreamento.

Gráfico 5 – Resumo da sedimentação da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe

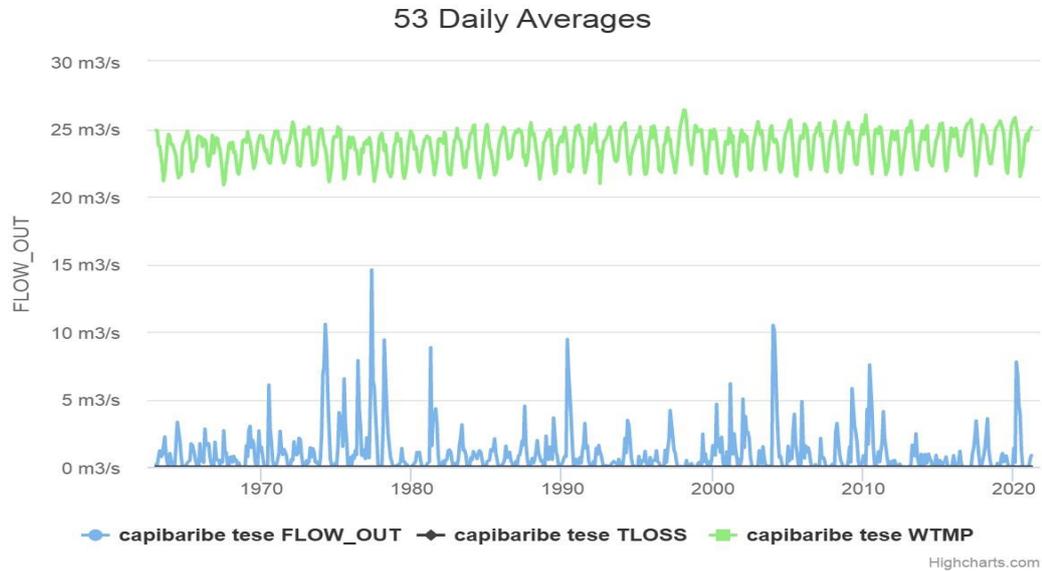


Fonte: SUPer (2023).

No Gráfico 6 temos também a comparação da variação diária da referida bacia com base no fluxo de saída (FLOW OUT), perda diária média de água do alcance de transmissão (TLOSS) e a temperatura, onde este último tem grande influência no processo da modelagem hidrológica por constar no método curva número que aparece no balanço hídrico da Bacia Hidrológica do Rio Capibaribe e pela metodologia de Thornthwaite-Mather (1955).

Podemos perceber que o fluxo de saída é muito variável ao longo da série histórica, enquanto a perda de água é constante e nula, enquanto a temperatura também oscila muito, mas fica dentro do intervalo entre 20 m³/s. a 25 m³/s. A temperatura tem forte influência no fluxo de saída e na perda de média diária de água, pelo mesmo motivo acima citado o que é corroborado com Silva, et al (2021).

Gráfico 6 – Relação do Fluxo de Saída em m³/s, o TLOSS em Tons e a temperatura em °C da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.



Fonte: SUPer (2023).

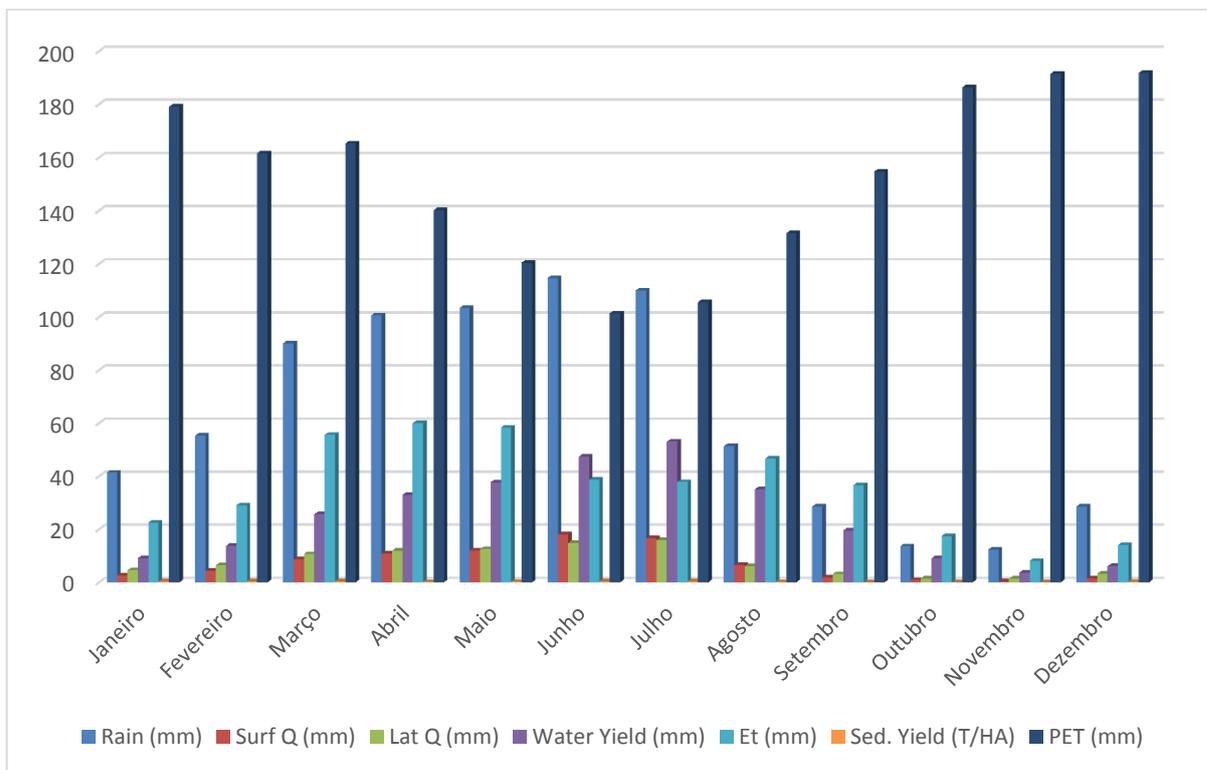
Silva, et al (2017) relataram que diversos estudos têm demonstrado o aumento da temperatura média do planeta, e isto estão causando uma intensificação do ciclo hidrográfico, o que poderá ocasionar mudanças nos regimes de chuvas, como o aumento da ocorrência de eventos hidrológicos extremos, alterando fortemente a disponibilidade hídrica de uma região e a qualidade de vida da população. Este estudo analisou tendências de mudanças climáticas nas bacias dos rios Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém, Una, Mundaú, Ipanema, Moxotó, Terra Nova, Brígida, Garças e Pontal e constatou uma tendência de aumento dos eventos extremos máximos de precipitação.

Outro estudo realizado anteriormente por Assis *et al* (2012) confirmou a detecção de mudanças climáticas no padrão pluviométrico da bacia do Rio Capibaribe. Nesta pesquisa foram utilizados os índices de detecção de mudanças climáticas sugeridos pela OMM (Organização Meteorológica Mundial) e os resultados mostraram mudança no padrão das precipitações observadas sobre a bacia do Rio Capibaribe com tendência de aumento de dias secos e intensificação dos dias com precipitações fortes.

Tendo como base estes estudos, nota-se uma grande convergência entre os pesquisadores para a acentuação dos eventos climáticos com maiores magnitudes de cheias e secas mais prolongadas.

Quanto ao balanço hídrico médio mensal da bacia estudada, de acordo com o Quadro 5, observa-se que o período chuvoso ocorre nos meses de maio a julho onde essa média tem um significativo aumento em relação as precipitações dos demais meses, tendo os meses de setembro a dezembro como os menos chuvosos, essa média tem influência também das condições climáticas e do comportamento da bacia, que na Zona da Mata Atlântica e na região metropolitana do Recife, onde está o estuário da bacia, têm os maiores índices pluviométricos.

Gráfico 7 - Balanço hídrico médio mensal na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.



Fonte: a autora (2023).

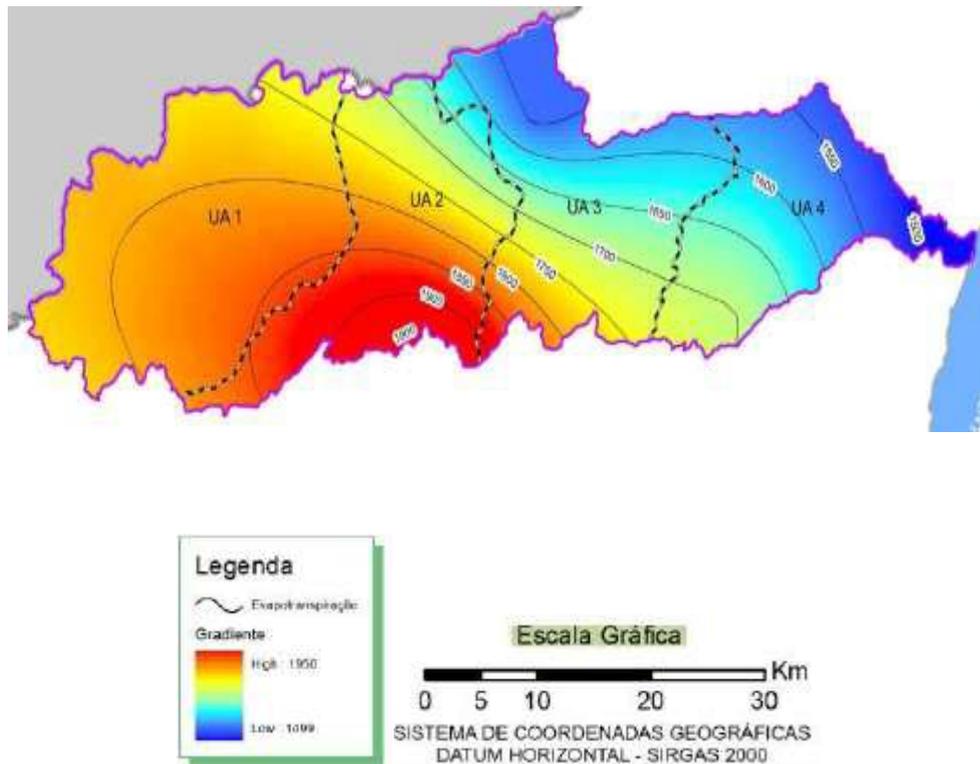
Quanto ao escoamento superficial – **SURF Q** bem como as médias do escoamento lateral - **LAT Q**, seguem com as maiores médias nos meses chuvosos onde há maior possibilidade de ocorrer precipitação, nos demais meses tem redução significativa, mantendo coerên-

cia com a ocorrência de chuvas. Desta forma o rendimento da água também segue o comportamento das demais médias anterior.

Com relação à Evapotranspiração, as médias vão crescendo ao longo dos meses quentes, e a partir de março tem suas médias mensais mais altas, atingindo o ápice em abril e depois em maio, começando a cair em junho no início do período chuvoso, indo até julho, onde acontecem os desastres naturais frequentes como as inundações, deslizamentos, erosão hídrica e erosão costeira, a temperatura baixa, maior precipitação e pouca evapotranspiração. Em agosto tem um comportamento atípico porque tem um ligeiro crescimento e volta a cair nos meses quentes. Essas médias mensais são influenciadas pelas ocorrências climáticas da Zona da Mata Atlântica. As médias de sedimentação mensais são muito baixas, variando bastante de acordo com a temperatura, a maior média se deu em fevereiro, possivelmente houve elevação de temperatura mais que o normal ou provocado por algum fenômeno oceânico com o aquecimento das águas do mar, como mostra a Figura 13.

Ainda de acordo com a figura 13, dentro da UA1, a evapotranspiração potencial variou de 1700 a 1850 mm, no sentido de norte para sul. Com o mesmo sentido de crescimento da evapotranspiração potencial, a UA2 apresenta uma variação de 1600 a 1900 mm. Quanto à UA3, observa-se uma diminuição da evapotranspiração na medida em que se aproxima da barragem de Carpina, ao nordeste da área, atingindo um valor em torno de 1580 mm. Por fim, o comportamento desta variável climatológica dentro da UA4, apresenta valores maiores na região Sudoeste, em torno de 1700 mm, com uma diminuição em direção ao litoral, onde o valor baixa para 1500 mm.

Figura 12 - Isolinhas anuais médias de evapotranspiração potencial de Hargreaves (mm).

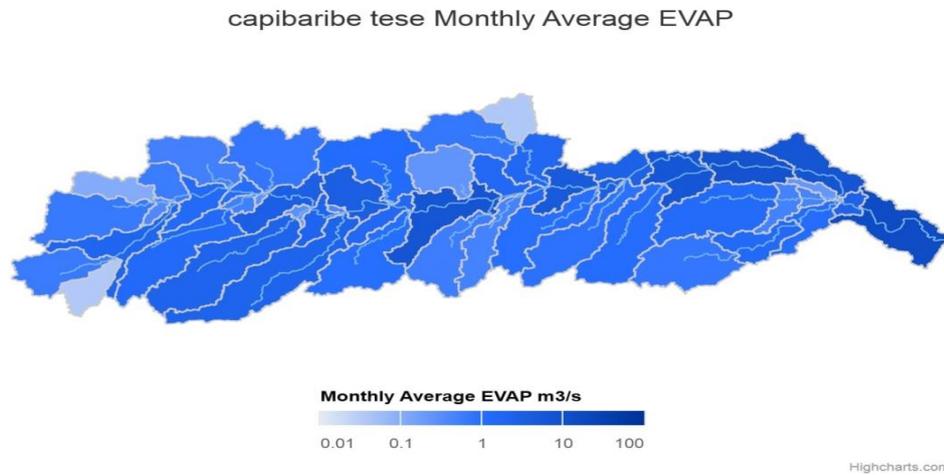


Fonte: PERNAMBUCO (2010).

Por fim, o Potencial de Evapotranspiração (PET em mm), tem médias altas em meses em que houve menos precipitação e mais evapotranspiração, obtendo as maiores médias em dezembro e médias menores entre maio a julho nos meses chuvosos. Para uma maior visualização do balanço hídrico mensal da Bacia do Rio Capibaribe, apresentamos alguns dados capturados do banco de dados do SUPer (2023).

A Figura 13 apresenta média mensal de evapotranspiração onde percebemos que tem o mesmo comportamento do mapeamento anual, ou seja, a evapotranspiração é maior na região da Mata Atlântica e mais a nordeste da bacia, embora que apareça em menor área no interior, assim, ocorre aumento da evapotranspiração à medida que a temperatura aumenta e as chuvas diminuem, sendo o agreste central e setentrional que tem as maiores médias de evapotranspiração.

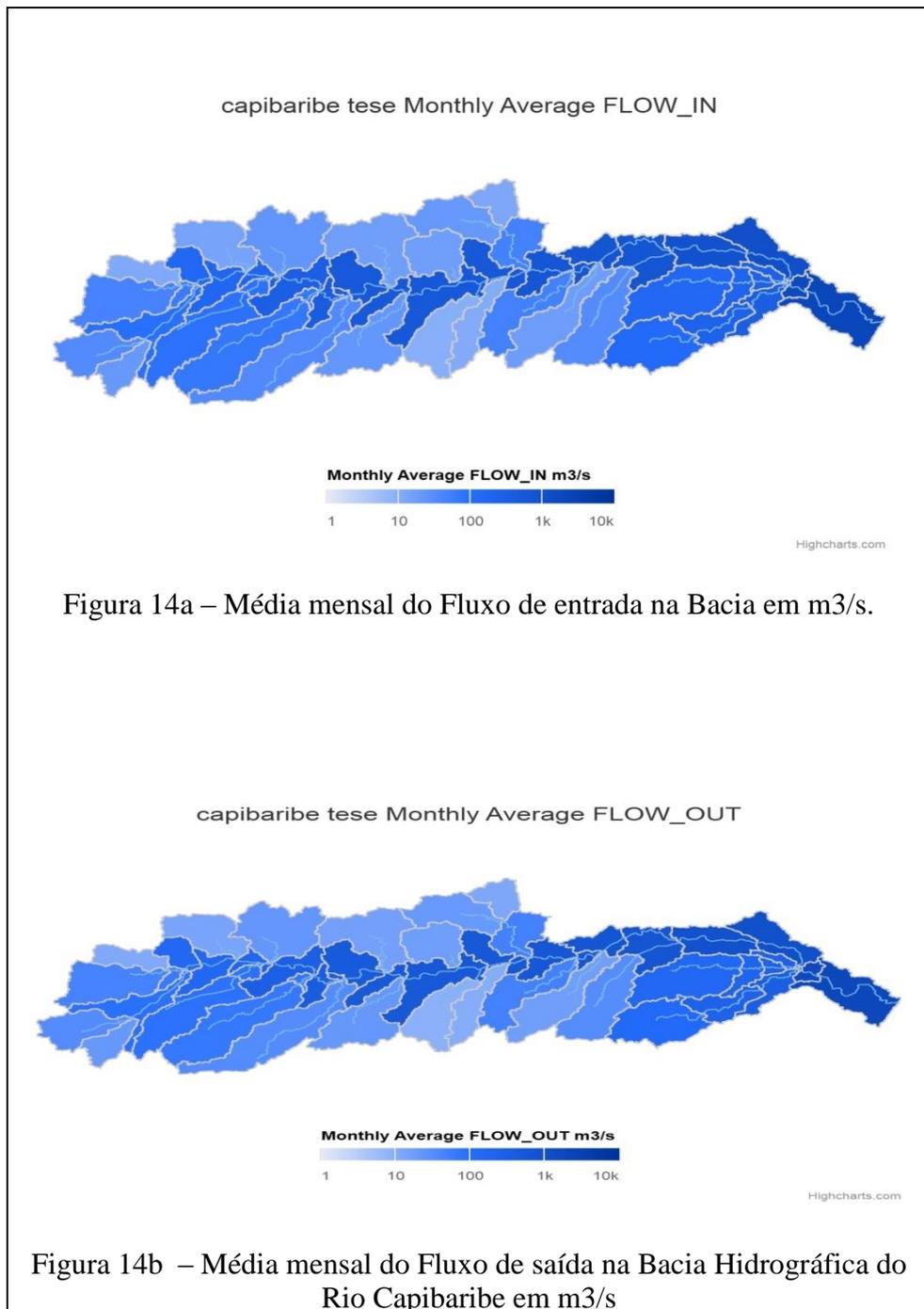
Figura 13 - Média mensal de Evaporação da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em m³/s



Fonte: SUPer (2023).

A Figura 14 expõe a média mensal do fluxo de entrada e de saída da água na bacia, onde, no fluxo de entrada, o maior volume em m³/s ocorre mais a jusante da referida bacia, isso ocorre também com a média anual do fluxo de entrada, havendo assim um comportamento homogêneo para este evento, que é importante para se calcular o excedente ou o déficit hídrico no balanço hídrico do objeto de estudo. Por aqui é possível observar que a maior entrada da água na bacia ocorre onde o rio é perene e onde há maior precipitação, ou seja, na Zona da Mata Atlântica. Quanto ao fluxo de saída apresenta a média mensal do fluxo de água que sai da bacia e esta também é semelhante à média anual de FLOW OUT, tendo o mesmo comportamento o que leva a percepção que os fluxos terminam se anulando no balanço hídrico, ou seja, o fluxo que entra também sai, não havendo retenção da água ou se houve é insignificante.

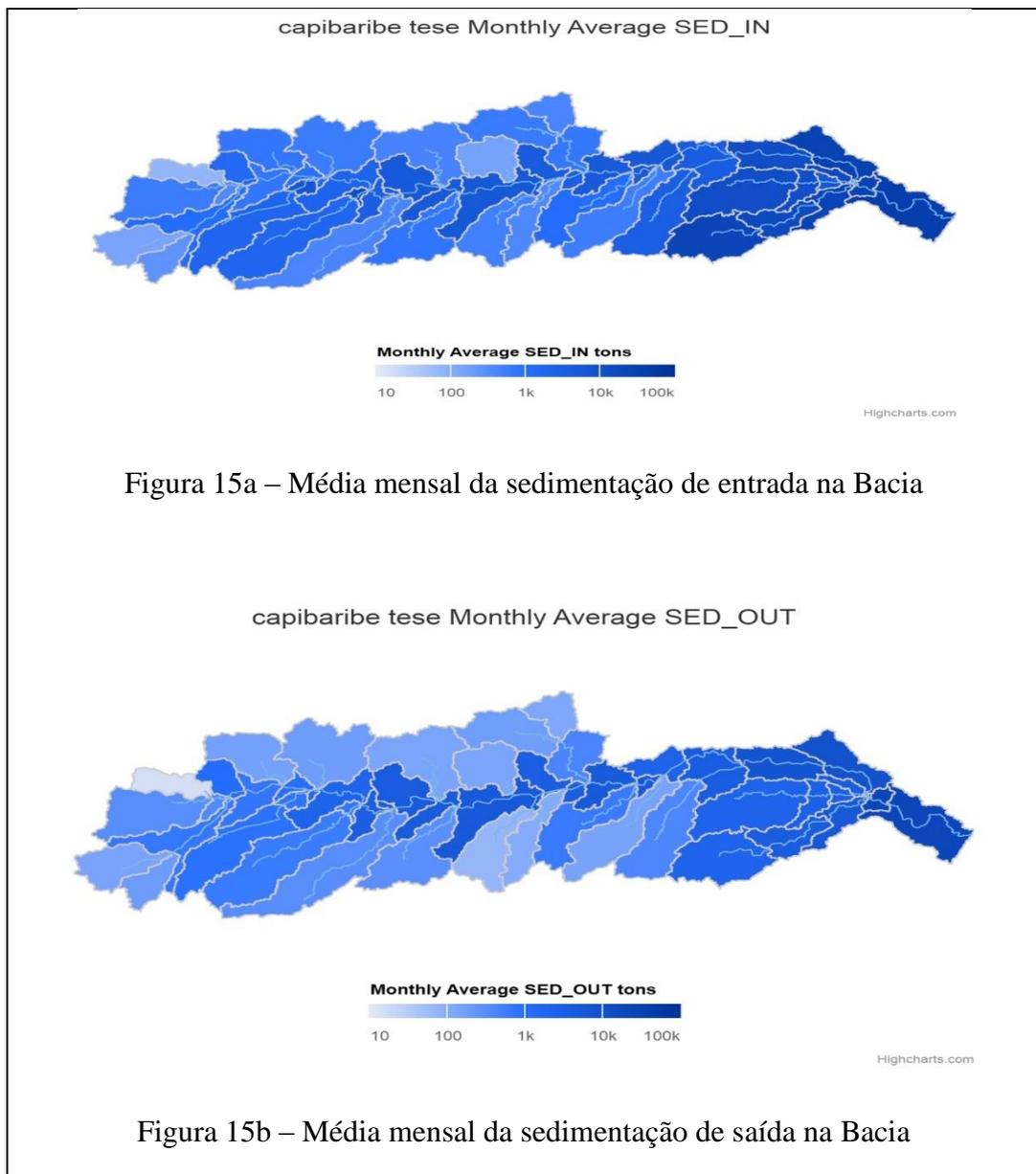
Figura 14 - Média mensal do fluxo de entrada e saída na Bacia Hidrográfica do Rio Caspibaribe em m³/s.



Fonte: SUPer (2023).

A Figura 15 mostra a média mensal da sedimentação de entrada e saída da bacia em toneladas, onde a sedimentação de entrada ocorre mais na Zona da Mata Atlântica e principalmente nos manguezais em direção à foz do Rio Capibaribe e a sedimentação de saída na bacia também em toneladas, que de acordo com o mapa tem o comportamento semelhante da sedimentação de entrada, porém a sedimentação de saída ocorre mais em princípio na margem direita e vai em direção à parte central da mesma, se espalhando mais que no caso anterior.

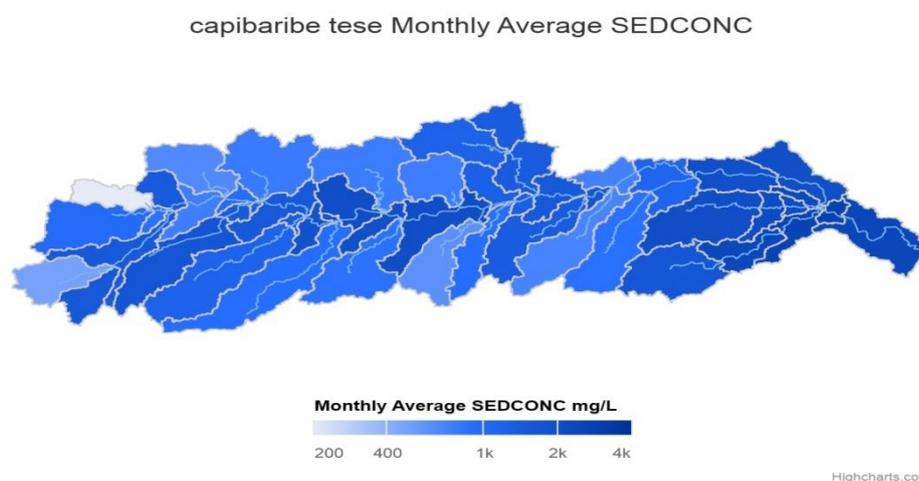
Figura 15 – Média mensal da sedimentação de entrada e saída Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em tons.



Fonte: SUPer (2023).

Com relação à Figura 16 que mostra o mapa da média mensal da concentração de sedimentação em mg/l na referida bacia, temos maiores concentrações na Zona da Mata Atlântica e manguezais, bem como na região do Agreste Central e Setentrional numa faixa mais central ao longo do curso d'água. O que leva a percepção que a Bacia do Rio Capibaribe seja sedimentar, devido também à concentração de segmentação permanecer constante como abordado anteriormente.

Figura 16 – Média mensal da concentração de sedimentação na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.



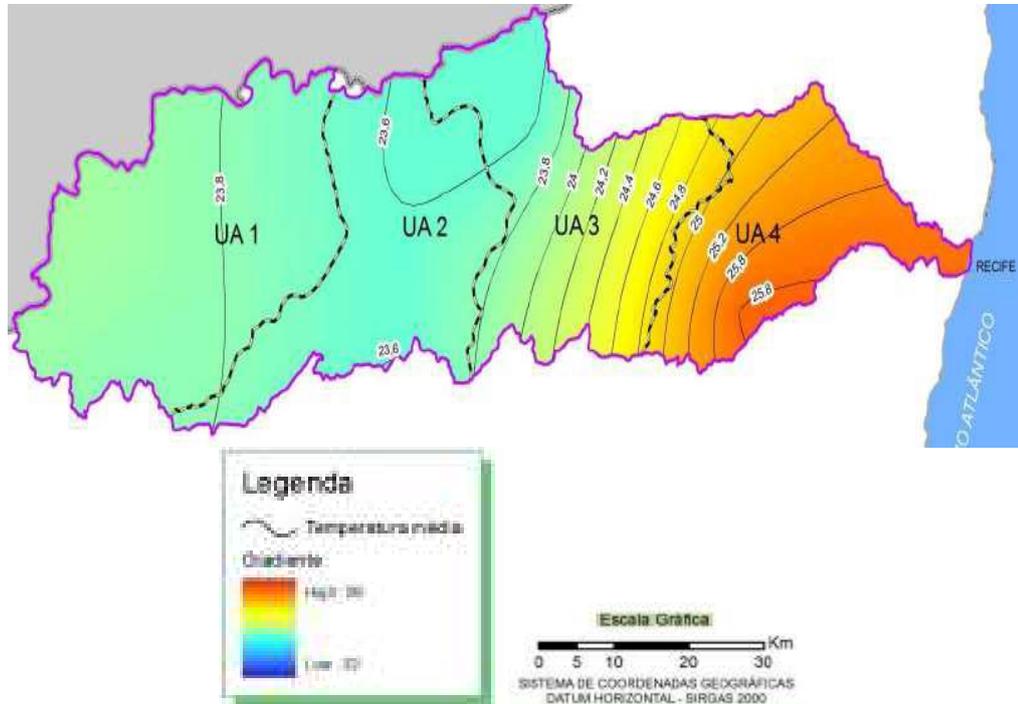
Fonte: SUPer (2023).

A **Temperatura** é outra variável determinante no balanço hídrico porque tem grande influência na precipitação e na evapotranspiração da água, levando os impactos na erosão e sedimentação com a elevação da temperatura da água, estando presente nos fenômenos meteorológicos que determinará o comportamento do ciclo hidrológico da bacia.

Desta forma, a Figura 17 expõe a média anual de temperatura em $^{\circ}\text{C}$ e a Figura 18 apresenta a média mensal de temperatura da bacia, bem como a temperatura máxima e a mínima, onde se percebe que a maior temperatura se encontra na região metropolitana do Recife. A temperatura máxima em $^{\circ}\text{C}$ é muito elevada em quase todo curso d'água, chegando a $28,4^{\circ}\text{C}$, mas permanecendo em média em $28,2^{\circ}\text{C}$. Isso influencia na evapotranspiração e sedimentação, no ciclo hídrico. As temperaturas mínimas são fornecidas também em $^{\circ}\text{C}$, variando de 17°C a 21°C , tem o mesmo comportamento da média mensal de temperatura acima apresen-

tado e o inverso das regiões onde ocorrem as temperaturas máximas, como pode ser vistas nos quatro mapas apresentados nas referidas figuras.17 e 18.

Figuras 17 - Isotermas anuais médias ($^{\circ}\text{C}$).



Fonte: PERNAMBUCO (2010).

Figura 18 – Média mensal da temperatura, Temperatura Máxima e a Temperatura Mínima na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

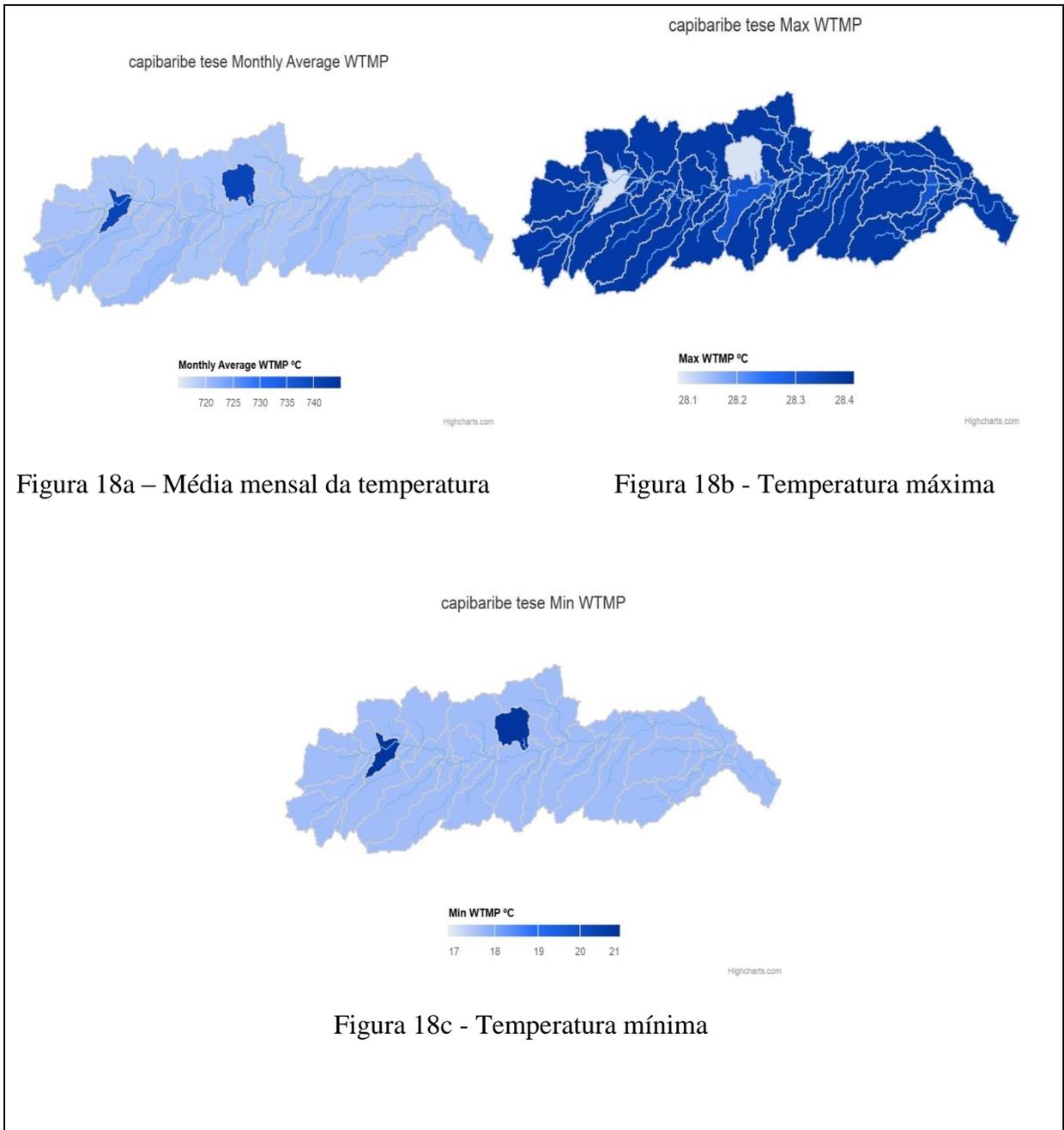


Figura 18a – Média mensal da temperatura

Figura 18b - Temperatura máxima

Figura 18c - Temperatura mínima

Fonte: SUPer (2023).

Para uma abordagem mais específica, vamos a seguir mostrar o Balanço Hídrico climatológico de quatro cidades representativas das quatro unidades de análise, de acordo com o Plano Diretor da Bacia Hidrográfica (2002), apud Pernambuco 2010.

4.4 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

As cidades de Pesqueira (UA1), Caruaru (UA2), Surubim (UA3) e Recife (UA4) foram escolhidas pelas suas posições de destaque na unidade e pelo acesso à informação nas estações no INMET (2023).

4.4.1 Pesqueira (UA1)

Pesqueira é um município localizado na região de desenvolvimento RD08, ocupando uma área de 4 Km², correspondendo a 0,4% de ocupação na bacia. Situado no agreste central e na unidade de análise - UA1, fazendo parte da área da bacia do Rio Capibaribe e da bacia do Rio Ipojuca, ocupando uma área de apenas 0,05% na Bacia do Rio Capibaribe. Na unidade ocupa uma área de 4,03 Km² referente a 0,04 % na bacia estudada. De acordo com os Gráficos 8 a 15 temos as médias mensais da climatologia do município resultante do Quadro 6. O município possui solo arenoso.

Quadro 6 – Climatologia de Pesqueira.

MÊS	ARM	ETr	DEF	EXC	ETo	P	TEMP
Jan	0,00	43,88	129,62	0,00	173,49	43,88	24,16
Fev	0,00	90,10	59,26	0,00	149,36	90,10	24,04
Mar	0,00	127,53	32,69	0,00	160,22	127,53	24,16
Abr	0,00	115,84	14,49	0,00	130,33	115,84	23,57
Mai	0,00	95,17	17,62	0,00	112,79	95,17	22,58
Jun	0,00	80,91	11,49	0,00	92,40	80,91	21,24
Jul	0,00	69,02	29,46	0,00	98,40	69,02	21,24
Ago	0,00	40,62	75,91	0,00	116,53	40,62	20,56
Set	0,00	17,39	127,27	0,00	144,66	17,39	21,86
Out	0,00	17,00	159,06	0,00	176,06	17,00	23,08
Nov	0,00	21,73	153,39	0,00	175,12	21,73	23,76
Dez	0,00	32,01	143,16	0,00	175,17	32,01	23,99

Fonte: INMET (2023)

4.4.2 Caruaru (UA2)

Caruaru está localizado na região de desenvolvimento RD08, ocupando uma área de 933 Km² e 57% da área na Bacia do Capibaribe. Situado no agreste central e na unidade de análise - UA1 e principalmente UA2, fazendo parte da área da bacia do Rio Capibaribe e da bacia do Rio Ipojuca, ocupando uma área de apenas 7,13% na Bacia do Rio Capibaribe. Na unidade UA2 ocupa uma área de 443,12 Km² e na UA1 é igual a 88,72 Km² De acordo com os

Gráficos 16 aos 23, temos as médias mensais da climatologia do referido município resultante do Quadro 7. O município possui solo arenoso.

Quadro 7 – Climatologia de Caruaru

MÊS	ARM	ETr	DEF	EXC	ET _o	P	TEMP
Jan	0,08	53,36	114,91	0,00	168,27	53,18	24,74
Fev	0,04	87,33	62,77	0,00	150,10	67,30	24,75
Mar	0,03	133,47	27,42	0,00	160,89	133,46	25,00
Abr	1,13	132,96	0,00	0,00	132,96	134,06	24,53
Mai	9,84	115,04	0,00	0,00	115,84	124,56	23,57
Jun	49,77	96,67	0,00	0,00	96,07	136,59	22,24
Jul	77,25	100,09	0,00	0,00	100,09	127,57	21,47
Ago	53,43	102,89	13,05	0,00	115,94	79,07	21,45
Set	19,73	73,40	65,92	0,00	139,31	39,70	22,44
Out	4,71	40,51	128,29	0,00	168,80	25,48	23,55
Nov	1,06	26,65	144,97	0,00	171,61	23,00	24,50
Dez	0,26	34,45	140,07	0,00	175,32	33,64	24,65

Fonte: INMET (2023).

4.4.3 Surubim (UA3)

Surubim fica localizado na região de desenvolvimento R9, ocupando uma área de 257 Km² com ocupação de 100% da área na bacia, ou seja, está totalmente inserido na mesma, sendo uma das sedes de gestão da referida bacia. O município está situado no agreste setentrional e na unidade de análise – UA3, fazendo parte apenas da área da bacia do Rio Capibaribe, onde ocupa uma área de apenas 3,44%. Na unidade ocupa uma área de 217,07 Km². De acordo com os Gráficos 24 aos 31 tem as médias mensais da climatologia do município resultante do Quadro 8. O solo do referido município é arenoso.

Quadro 8 – Climatologia de Surubim – PE

MÊS	ARM	ETr	DEF	EXC	ET _o	P	TEMP
Jan	0,07	46,51	124,82	0,00	171,53	46,33	25,56
Fev	0,03	73,67	81,23	0,00	154,90	73,63	25,43
Mar	0,02	120,56	40,18	0,00	160,74	120,55	25,53
Abr	0,02	132,43	1,05	0,00	133,48	132,43	25,03
Mai	1,12	119,49	0,00	0,00	119,49	120,59	24,12
Jun	50,95	100,93	0,00	0,00	100,93	150,76	22,87
Jul	89,92	104,76	0,00	0,00	104,78	143,73	22,15
Ago	62,73	113,31	8,82	0,00	122,12	86,12	22,17
Set	21,97	80,67	64,16	0,00	144,84	39,91	23,13
Out	5,01	41,41	130,79	0,00	172,20	24,46	24,24
Nov	1,07	22,95	150,83	0,00	173,79	19,01	24,90
Dez	0,25	30,11	145,89	0,00	176,00	29,79	25,25

Fonte: INMET (2023).

4.4.4 Recife (UA4)

Recife é um município onde se encontra o estuário do Rio Capibaribe, localizado na região de desenvolvimento RD 12, ocupando uma área de 217 Km², correspondendo a 31,8% na referida região, situado na Zona da Mata Atlântica na região metropolitana e na unidade de análise – UA4, fazendo parte da área da bacia do Rio Capibaribe, ocupando uma área de apenas 0,92% na Bacia do Rio, sendo também uma de suas sedes. Na unidade ocupa uma área de 68, 62 Km² da bacia. De acordo com os Gráficos 32 aos 40 temos as médias mensais da climatologia do Recife, resultante do Quadro 9. O seu solo é massapê.

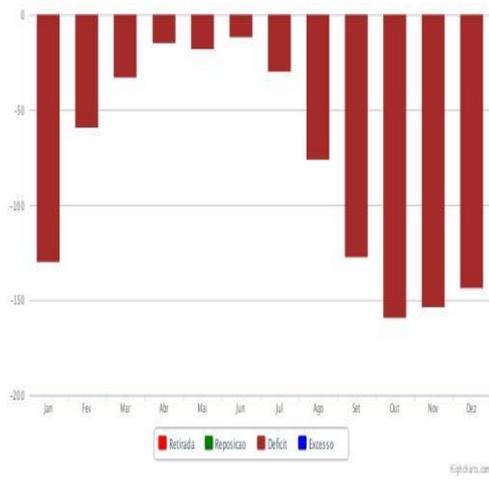
Quadro 9 – Climatologia de Recife

MÊS	ARM	ETr	DEF	EXC	ETo	P	TEMP
Jan	1,87	113,15	49,95	0,00	163,10	111,90	26,95
Fev	1,74	142,23	7,07	0,00	149,30	142,10	27,09
Mar	71,49	153,77	0,00	0,00	153,77	223,52	27,09
Abr	100,00	127,40	0,00	146,86	127,40	302,78	26,34
Mai	100,00	114,35	0,00	208,47	114,35	322,82	25,69
Jun	100,00	99,03	0,00	302,97	99,03	402,00	24,77
Jul	100,00	104,24	0,00	258,59	104,34	362,83	24,15
Ago	100,00	121,63	0,00	101,51	121,63	223,24	24,24
Set	76,20	134,99	3,38	0,00	138,37	111,19	25,07
Out	28,27	109,70	51,23	0,00	160,04	61,78	25,93
Nov	8,69	64,49	98,34	0,00	162,83	44,92	26,54
Dez	3,12	69,01	96,95	0,00	165,96	63,43	26,90

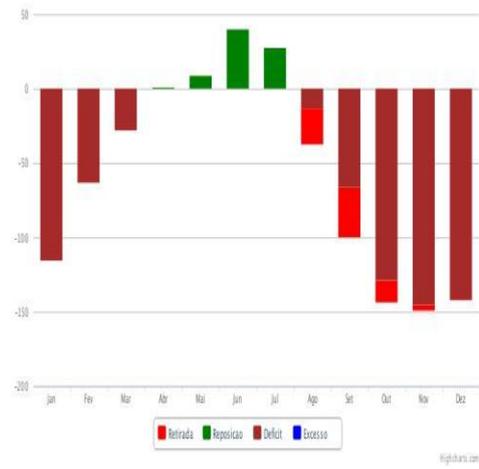
Fonte: INMET (2023)

Gráfico 8 – Comparativo dos Extratos completos dos balanços hídricos dos quatro municípios estudados.

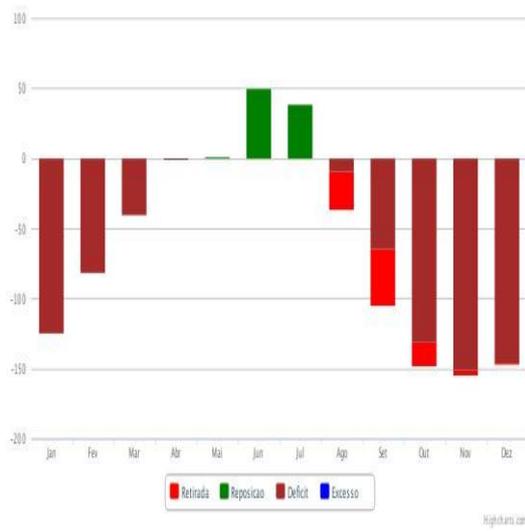
PESQUEIRA



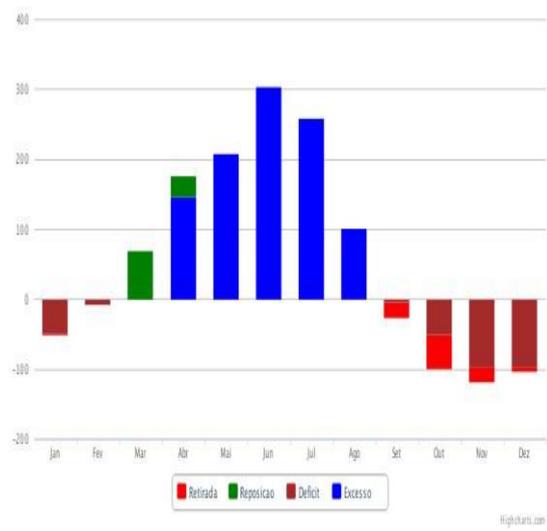
CARUARU



SURUBIM



RECIFE



Fonte: INMET (2023).

Em Pesqueira percebemos que só houve um parâmetro de análise, o déficit hídrico. Portanto, o município apresenta problema na disponibilidade de água de difícil resolução no processo decisório de gestão pública do município.

Como podemos perceber no município de Caruaru predomina o déficit hídrico, o que é esperado pela falta de chuvas na região durante o ano, e assim, também não existe excesso hídrico. Quanto à retirada da água resultante da diferença entre precipitação e evapotranspiração temos nos meses de agosto a novembro a presença desse evento. Já a reposição ocorre entre abril a julho, onde em junho se deu a maior média de reposição. Assim, continua com a predominância da escassez hídrica no município, característica da região, mas numa condição melhor que o município de Pesqueira, continuando ainda a ser um problema para a gestão pública a disponibilidade hídrica do referido município.

Como não poderia ser diferente, pelos resultados discutidos anteriormente, Surubim apresenta comportamento semelhante ao município de Caruaru em sua climatologia, onde não há excedente hídrico, o déficit supera a retirada e a reposição da água do solo, pois também possui solo arenoso o que facilita a evapotranspiração, sendo característica na região do agreste setentrional onde se localiza o município. A reposição ocorre mais no mês de junho e a retirada em setembro.

Em Recife percebemos entre as variáveis que compõe o balanço hídrico que a média mensal predominante foi a do excedente, a média mensal do déficit vem em seguida. A média mensal de retirada de água do solo ocorreu nos meses de setembro e levemente em janeiro e a reposição de água do solo se deu apenas nos meses de março e abril, tendo a maior média de reposição em março devido não ter tido nem déficit nem excesso de água e setembro teve a maior média considerada para a retirada.

Assim temos Pesqueira e Recife como extremos, com comportamento climatológico totalmente diferente, caracterizado pelas influências climáticas entre ambos os municípios, onde o primeiro se encontra na Zona do agreste, tendo seu solo arenoso típico dessa região de clima semiárido com predominância de déficit hídrico. O segundo localizado na Zona da Mata Atlântica, na faixa litorânea, onde ocorrem as maiores precipitações, devido às condições climáticas advindas da ZCIT e dos fenômenos oceânicos, causando inundações e outros desastres naturais com bastante frequência. O solo também é muito diferente sendo o massapê, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento econômico dessa região.

Temos também dois municípios intermediários Caruaru e Surubim com bastantes semelhanças climatológicas entre os mesmos, mas diferente dos demais extremos. Ambos estão

localizados no agreste, sendo Surubim no agreste setentrional, mas mantêm características comuns, inclusive com solos do mesmo tipo, o arenoso, típico da caatinga.

Podemos observar a predominância do déficit hídrico como resultado do balanço hídrico da Bacia do Rio Capibaribe, por este ocorrer nos quatro municípios em quatro unidades de análise estudada, embora com médias menores em Recife, sendo este o único município com médias de excesso de água e grande capacidade para o armazenamento. Mas o déficit é muito alto nos demais municípios, principalmente em Pesqueira. Portanto, apresenta uma demanda de consumo maior que a oferta da água.

Isto tem impacto direto no abastecimento de água para consumo da população, para indústrias, para a agricultura, para a dessedentação dos animais, enfim impacta o desenvolvimento econômico, social e ambiental, levando ao racionamento do uso da água e a busca para o deslocamento da mesma, ou outras soluções como o armazenamento de águas de chuva em cisternas, ou aberturas de poços para captação da água subterrânea, para suprir essa deficiência hídrica e procurar o equilíbrio entre a relação demanda e oferta de água nos municípios estudados. Isto é um sério problema no processo decisório na gestão da água.

A Figura 23 mostra o estuário da Bacia do Capibaribe que, ao entrar na região metropolitana do Recife se bifurca em sul do Capibaribe que corre em áreas mais carentes e se junta com os Rios Jordão, Tejipió e Pina, formando a Bacia do Pina, que deságua nos recifes naturais, constituindo a região portuária do Recife, contendo ainda o Manguezal do Pina e na maré baixa de sizígia, observamos a formação da Coroa dos Passarinhos entre os dois canais navegáveis, que também pode ser observada na Figura 23. O braço norte do Rio Capibaribe corre pela área mais nobre do Recife e recebe as águas do Rio Beberibe que vem de Olinda e com a convergência das duas bacias, deságua no Oceano Atlântico, também na região portuária (MARCONDES, 2009).

Figura 19 – Foz dos rios Capibaribe, Beberibe, Jordão, Pina e Tejipió.



Fonte: Minube (2023).

4.5 DEMANDA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA.

A Demanda está intrinsecamente ligada à disponibilidade hídrica já que a demanda é formada pela necessidade de água atual e futura para abastecimento humano, indústria, agricultura, pecuária, e para dessedentação de um modo geral. Assim sendo, o aumento da demanda depende de uma série de fatores como o crescimento da população, o grau de urbanização e da produção de alimentos e mercadorias. Desta forma, o estudo da demanda procura conhecer as potencialidades e disponibilidades hídricas através do balanço hídrico da bacia que possa satisfazer a demanda atual e potencial.

A disponibilidade hídrica vai depender das águas superficiais e subterrâneas. As águas superficiais vão determinar a potencialidade do recurso hídrico de uma bacia hidrográfica, dependendo assim do aproveitamento integral da captação de água da chuva, correspondendo à vazão média de um longo período de tempo, ou seja, é a utilização possível da água com uma dada garantia de fornecimento. Existe a disponibilidade virtual e efetiva por unidades de análise. Desta forma, a disponibilidade virtual é uma avaliação dos recursos hídricos utilizáveis, parcela máxima dos recursos potenciais que pode utilizar devido às restrições físicas e econômicas. A disponibilidade efetiva diz respeito à disponibilidade existente no momento. A

disponibilidade superficial é obtida pela avaliação de armazenamento dos reservatórios e barragens. (PERNAMBUCO, 2010)

Para obtenção da disponibilidade potencial dos recursos hídricos da bacia são necessários os dados pluviométricos atualizados e obtidos nas estações meteorológicas e em bancos de informações do Atlas Nordeste (2023), utilizando um modelo hidrológico que no caso do nosso estudo foi o SWAT / SUPER.

Águas subterrâneas são avaliadas pela disponibilidade hídrica capturadas dos poços artesianais, como por exemplo, as reservas, potencialidades, disponibilidades e recursos exploráveis. Enfim os parâmetros quantitativos dos diversos aquíferos. No Quadro 10 é apresentada a estimativa de demanda para abastecimento humano para 2025, levando em consideração os dados pluviométricos para cálculo das disponibilidades de água superficial.

Quadro 10 – Previsão das demandas de água para o abastecimento humano na bacia hidrográfica do rio Capibaribe para 2025.

Unidade de Análise	Demanda (m³/ano)	Consumo (m³/ano)
UA1	11 511	9 393 888
UA2	19 477 463	16 004 363
UA3	15 747 841	13 032 897
UA4	125 339 610	100 579 221
TOTAL	172 076 501	139 010 368

Fonte: adaptado de PERNAMBUCO (2010).

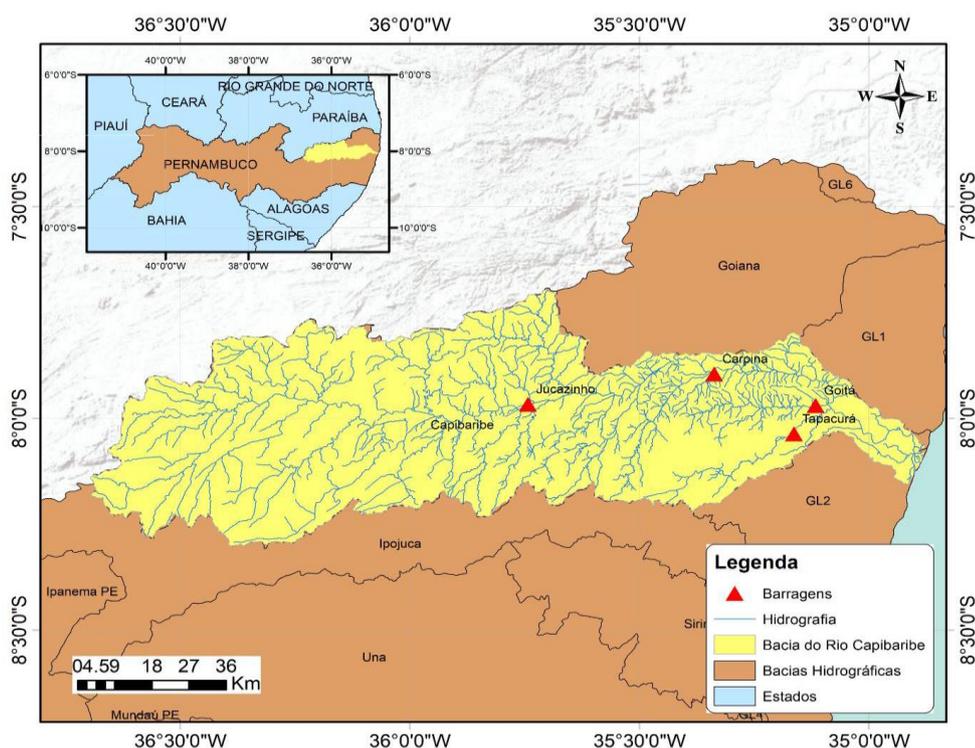
O sistema de reservatórios da bacia hidrográfica do rio Capibaribe possui um volume de armazenamento da ordem de 800 milhões de metros cúbicos, são formados através de barragens das quais algumas tem função de contenção de cheias, como é o caso da barragem de Carpina operada pela SRHPE, onde se dá a abertura de suas comportas para manter o nível seguro das águas na barragem. Os principais reservatórios da bacia estudada são: Jucazinho, Carpina, Tapacurá, Goitá e Poço Fundo, representando 94,7 % de toda a água acumulada na Bacia. Todos são utilizados para o abastecimento de água dos centros urbanos, mas apenas o reservatório de Poço Fundo não tem a função de controle de enchentes (ANA, 2023).

O monitoramento dos níveis dos reservatórios com volumes superiores a um milhão de m³ é realizado diariamente pela APAC. Do ponto de vista hidrológico, o solo pode ser entendido como um reservatório, cujo volume de água armazenado pode ser bastante variável no

tempo, dependendo de muitos fatores como pode ser visto no ciclo da água da bacia hidrográfica (SALGUEIRO et al, 2014).

A bacia do rio Capibaribe possui oito reservatórios com capacidade de armazenamento superior a 10,0 hm³ como: Carpina, Eng. Gercino Pontes, Goitá, Jucazinho, Machado, Poço-Fundo, Tapacurá e Várzea do Una. Mas apenas quatro são importantes pela sua capacidade de armazenamento de água de chuva, abastecimento e controle de enchentes, são os reservatórios de Jucazinho, Carpina, Goitá e Tapacurá (Ver Figura 24). A disposição espacial dos reservatórios e o nível de exploração dos recursos hídricos na região indicam que essa bacia está com a sua capacidade esgotada de implementação de grandes reservatórios. A seguir apresentaremos as características de cada reservatório de acordo com Pernambuco (2004) e Gomes (2019).

Figura 20 – Localização dos principais reservatórios da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.



Fonte: Gomes (2019).

4,5.1 Reservatório Carpina

Localiza-se a 10 km a leste do município de Limoeiro. Recebe afluxos do riacho das Éguas, riacho Batata e do rio Cotunguba pela margem direita e afluxos do rio Caiari pela margem esquerda. Fica próxima ao reservatório de Jucazinho. Tem a capacidade máxima de ar-

mazenamento de 270 hm³, mas, desse total, 220 hm³ devem ser utilizados como volume de espera para atenuação de enchentes no rio Capibaribe, as quais atingem principalmente a Região Metropolitana de Recife. Desta forma apenas 50 hm³ da capacidade de armazenamento do reservatório são utilizados para a regularização de vazões.

4.5.2 Reservatório Eng. Gercino Pontes

Localiza-se no riacho Tabocas – afluente pela margem direita do rio Capibaribe a 9 km a Oeste da cidade de Toritama. Possui área em torno de 393,42 km², onde predominam registros pluviométricos em torno de 550 mm anuais. O coeficiente de escoamento é de 1,6% e o deflúvio médio anual de 9 mm. O reservatório possui capacidade máxima de armazenamento de 13,6 hm³, sendo utilizado basicamente para atender demandas de irrigação e demandas de abastecimento nas cidades de Toritama e Caruaru.

4.5.3 Reservatório Goitá

O reservatório está localizado no rio Goitá, um dos principais afluentes do baixo Capibaribe, entre as cidades de Chã de Alegria e São Lourenço da Mata. Possui área em torno de 415,78 km², sem presença de outros reservatórios de grande porte. A capacidade máxima de armazenamento deste reservatório é de 52 hm³, mas 36,9 hm³ são utilizados como volume de espera para cumprir a função de controle de enchentes no baixo Capibaribe, então apenas 15,1 hm³ são utilizados para a regularização de vazões. A pluviometria média anual na bacia hidrográfica é cerca de 1.100 mm, sendo os meses de abril a julho responsável por aproximadamente 58% do total precipitado. O coeficiente de escoamento é de 16,7% e o deflúvio médio anual de 183 mm.

4.5.4 Reservatório Jucazinho

Este reservatório localiza-se no rio Capibaribe a 12 km ao Sul da sede do município de Surubim. Nesse local, recebe os afluxos do riacho do Manso e do riacho da Onça, respectivamente afluentes pela margem esquerda e direita do rio Capibaribe. O reservatório de Jucazinho é o manancial do Sistema Adutor Jucazinho, em implantação, para o abastecimento urbano de várias cidades do Agreste.

Possui uma área de 3.981,70 km² sendo que, desse total, apenas 2.430,02 km² se configuram como área não controlada, pois a montante do reservatório existe três outros reservatórios com capacidade máxima de armazenamento superior a 10 hm³: Eng. Gercino Pontes, Machado e Poço Fundo.

A capacidade máxima de armazenamento do reservatório é de 327 hm³. A pluviometria média nesta bacia é de cerca de 550 mm, porém devido às dimensões da bacia, os valores variam de 450 mm a 650 mm. As precipitações são mais frequentes nos meses de Março a Julho, sendo Março e Abril os meses de pluviometria máxima, responsáveis por 35% do total médio anual. O coeficiente de escoamento é de 9,2% e o deflúvio médio anual de 51 mm.

4.5.5 Reservatório Machado

Localiza-se no riacho Brejo da Madre de Deus, afluente do rio Capibaribe pela margem direita, a 5,0 km a Sudoeste da cidade de Santa Cruz do Capibaribe. O reservatório tem área de 283,97 km², situada em uma região com índices pluviométricos em torno de 500 mm anuais, com máximos em Março e Abril. A capacidade máxima de armazenamento do reservatório Machado, é de 14,64 hm³, o que corresponde à cota 472 da soleira do vertedouro. Esse reservatório atende principalmente demandas da cidade de Santa Cruz do Capibaribe. O coeficiente de escoamento é de 1,9% e o deflúvio médio anual de 10 mm.

4.5.6 Reservatório Poço Fundo

O Reservatório Poço Fundo localiza-se no rio Capibaribe, entre as cidades de Jataúba e Santa Cruz do Capibaribe a 15 km a Leste de Jataúba. Esse reservatório atende principalmente demandas para irrigação e também abastecimento da cidade de Santa Cruz do Capibaribe. Sua área é de 874,29 km², situada em uma região com índices pluviométricos em torno de 590 mm anuais. O coeficiente de escoamento é de 2,0% e o deflúvio médio anual de 12 mm. A montante do reservatório Poço Fundo, localiza-se o reservatório Jataúba que abastece a cidade de mesmo nome, porém sua capacidade máxima de armazenamento é inferior a 1,0 hm³, não sendo considerado neste estudo. A capacidade máxima de armazenamento do reservatório é 27,75 hm³, sendo formada, nessas condições, uma bacia hidrográfica de aproximadamente 760 ha.

4.5.7 Reservatório Tapacurá

Este reservatório localiza-se no rio de mesmo nome, cerca de 12 km a Nordeste da sede do município de Vitória de Santo Antão, possui área de 375,92 km², sem presença de reservatórios com capacidade superior a 10 hm³. Os índices pluviométricos registrados na região são de cerca de 1200 mm anuais. O coeficiente de escoamento é de 18,7% e o deflúvio médio anual de 230 mm. A capacidade máxima de armazenamento do reservatório Tapacurá é de 94 hm³. Esse reservatório foi projetado para usos múltiplos como o controle de enchentes

do rio Tapacurá, que contribui com vazões significativas ao rio Capibaribe, e o abastecimento da cidade de Recife.

4.5.8 Reservatório Várzea do Uma

Localiza-se no rio Várzea do Una – afluente do rio Tapacurá, cerca de 8 km a montante da confluência desses dois rios. Possui uma área de 26,58 km², situada em uma região com índices pluviométricos em torno de 1300 mm anuais. O coeficiente de escoamento é de 22,9% e o deflúvio médio anual de 298 mm. A capacidade máxima de armazenamento do reservatório Várzea do Uma é 11,57 hm³, sendo formada, nessas condições, uma bacia hidráulica de aproximadamente 139 ha.

As principais funções desses reservatórios são, enfim, o controle das enchentes em municípios próximos dos principais rios da bacia e principalmente da região metropolitana do Recife, como os reservatórios de Carpina, Tapacurá e Goitá; bem como o abastecimento dos municípios próximos e da região metropolitana; seguido pela piscicultura e a irrigação.

4.6 O PROCESSO DECISÓRIO PARA A CONSERVAÇÃO DA BACIA

O processo decisório segundo Chiavenato (2010), "é identificar e selecionar um curso de ação para lidar com um problema específico ou extrair vantagens em uma oportunidade". Dessa forma, o processo decisório não está associado apenas à resolução de problemas, mas também ao aproveitamento de oportunidades. Essa teoria foi criada por Herbert Alexander Simon em 1970 e incorpora a Teoria Comportamental das Organizações e a Teoria Sistêmica quando diz que a teoria comportamental concebe a organização como um sistema de decisões.

De um modo geral, tudo envolve a tomada de decisão, seja de uma forma mais estruturada ou de uma maneira mais prática, fazendo parte do planejamento é um processo sistêmico e contextual, não podendo ser analisado separadamente das circunstâncias que o envolvem. Ainda de acordo com Chiavenato (2010). Para o autor da teoria, Herbert Alexander Simon (1970), "a decisão pode ser entendida como um processo de análise e escolha entre várias alternativas disponíveis do curso de ação que a pessoa deverá seguir".

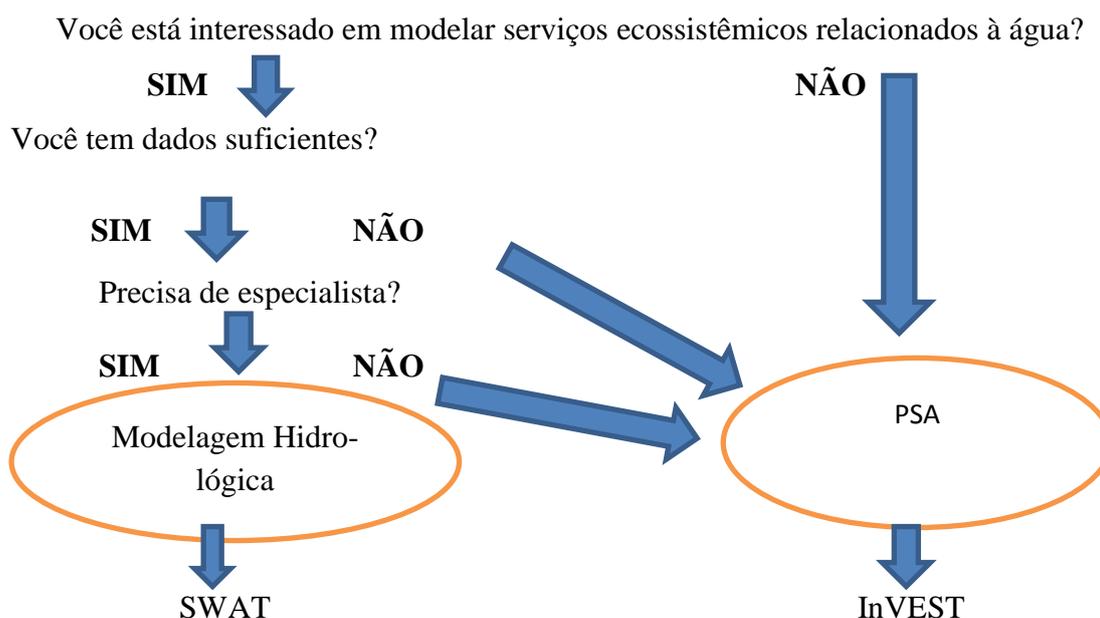
A tomada de decisão como parte do processo decisório é complexa, envolve várias variáveis que definem as melhores alternativas com maior redução dos riscos e incertezas. Na gestão dos recursos hídricos não poderia ser diferente, se fazendo necessário o planejamento para que possam ser analisados os diversos condicionantes envolvidos e assim, guiar a elabo-

ração de projetos e programas que envolvam a resolução de conflitos e o aumento da diversidade de objetivos.

Desta forma, voltados para o processo decisório da bacia estuda, apresentamos dois instrumentos que podem servir de apoio para o planejamento de recuperação e conservação da bacia do Rio Capibaribe, para fazer frente aos diversos problemas que esta bacia traz ao longo de seu curso: A modelagem hidrológica e o programa de pagamento por serviços ambientais.

Estas ferramentas têm em comum, tratar dos serviços ecossistêmicos, porém de forma diferenciada e aplicações em focos diferentes, tendo ainda que ambos os instrumentos precisam ser monitorados. A modelagem hidrologia é o instrumento mais utilizado e mais conhecido desde décadas passadas, é tecnológico e com isso apresenta com precisão o balanço hídrico da bacia, fazendo-se necessário em qualquer planejamento de bacias hidrográficas. O pagamento por serviços ambientais é mais social, envolve mais pessoas para a resolução do conflito. Seu estudo e aplicação no Brasil são recentes, como foi dito anteriormente e no Nordeste ainda é um campo a ser conquistado. Com base na literatura mundial, é um instrumento eficiente não só para a recuperação, mas também para a conservação da bacia. Desta forma, para entender melhor sobre a diferença das mesmas, apresentamos na figura 24 com as duas abordagens.

Figura 21 – Comparação entre ferramentas de modelagem de serviços ecossistêmicos



Fonte: adaptado de Vigerstol e Aukema (2011).

Para a identificação dos serviços ecossistêmicos, constatou-se que, embora tenha a classificação CICES - *Common International Classification of Ecosystem Services* – desenvolvido no contexto do trabalho no Sistema de Contabilidade Econômica e Ambiental como metodologia adotada internacionalmente (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018, p.1), que utiliza as condições ambientais das terras secas e úmidas, não existe uma padronização para mapeamento de serviços ecossistêmicos no Brasil. Pesquisas estão sendo desenvolvidas em diferentes abordagens como geográficas (MEIRA et al., 2020; OLIVEIRA, 2019; SANTOS et al., 2019), biológica e ecológica (CARVALHO et al., 2020; FERREIRA, 2018; GOMES, 2019), econômica (CUNHA et al., 2014). Desta forma, as metodologias adotadas são distintas (apud CHAVES et al, 2021).

Identificamos, então, como sendo os serviços **ecossistêmicos de provisão** da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe e que podem servir de entrada para processamento da modelagem hidrológica e para valoração no PSA, todas as divisões da categoria de provisão como sendo nutrição, materiais e energia. Destacando como nutrição têm os serviços de qualidade e quantidade da água. Utilizando a classificação CICES, onde os níveis hierárquicos iniciam-se em uma descrição geral até uma mais específica, sendo aplicável a diferentes escalas geográficas, temos o grupo água que tem como classe a água de superfície potável e a água subterrânea potável como uso têm a captação de água da chuva para consumo e uso doméstico e poços artesianos, como exemplos têm: corpos hídricos, captação direto da água da chuva e cacimbões. Dentro do serviço materiais temos fibras e outros materiais de plantas silvestres e animais para uso direto ou transformação e do serviço de energia: fontes de energia a base de biomassa (SANTOS et al, 2019). Na Zona da Mata encontramos também esses mesmos serviços ecossistêmicos de provisão, de acordo com o Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (PERNAMBUCO, 2010).

Como serviços ecossistêmicos de regulação encontramos também, baseado na literatura (CHAVES et al, 2021), os serviços como animais criados na aquicultura para nutrição, a exemplo dos peixes cará, piaba e carito (peixes das famílias Cichlidae e Characidae); produção de adubo com as vísceras dos peixes, regulação da condição química de águas doces por processos vivos como a filtração feita pela espécie pasta d'água animais que atuam como predador, a exemplo da espécie traíra (*Erythrinidae* sp.), carnívora que se alimenta de peixes menores e outros animais aquáticos, o que prejudica algumas espécies de peixe menores no local, como as piabas. Devido às características intermitentes dos cursos hídricos semiáridos, esses animais só são encontrados nos reservatórios, mas em épocas de precipitação acima da média,

quando ocorre o transbordamento dos reservatórios, alguns peixes são encontrados nos cursos d'água, mas caso não capturado antes das águas baixarem ao nível do leito dos rios, acabam morrendo. (CHAVES et al, 2021).

Para Oliveira et al (2016) temos como serviço de regulação, tanto para a Caatinga como para a Zona da Mata, o que corrobora Pernambuco (2010) que apresenta os serviços ecossistêmicos sendo comuns para os biomas o que varia são as condições naturais e antrópicas, temos, então, os serviços de Mitigação dos efeitos das inundações e estiagens; Regularização da vazão de rios para o aproveitamento hídrico; Autodepuração das águas e dos mananciais e Manutenção da biota de diversos ecossistemas.

Ao longo do curso da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, esta apresenta muito afetada pela poluição, desde a sua nascente até a sua foz. O tipo de poluição qualitativa e difusa é proveniente de fontes orgânicas rurais e urbanas periféricas, características do baixo índice de saneamento ambiental do Estado e pela produção de dejetos químicos dos polos de produção econômicos de Pernambuco, despejados no curso d'água.

Como saída do processo de modelagem temos, portanto, as variáveis que também são serviços ecossistêmicos como a produção de sedimentos, escoamento superficial, evapotranspiração, armazenamento do aquífero superficial e o aquífero profundo, carga de fósforo e nitrato, manejo do solo, fluxo lateral, fluxo da água subterrânea, fluxo da água, rendimento da água, água do solo e percolação. Os resultados também são utilizados para elaboração de programas de PSA.

Isto também implica que, mesmo a bacia estando localizada em biomas contrastantes, o semiárido, e a Zona da Mata, os serviços ecossistêmicos relacionados à água são os mesmos em ambos os biomas.

O planejamento é a elaboração com base técnica de planos para atingir metas em longo prazo, como o planejamento estratégico, em médio prazo como o planejamento tático e em curto prazo, que é o planejamento operacional. É um instrumento de gestão também utilizada para promover a resolução de problemas e oportunidades hídricas, seguindo as particularidades da ciência ambiental. A gestão dos recursos hídricos tem relação com os aspectos hidroambientais, socioeconômicos e político-institucionais de cada bacia hidrográfica estudada em cada região e localidade do país, para o enfrentamento das graves questões sobre o uso das águas.

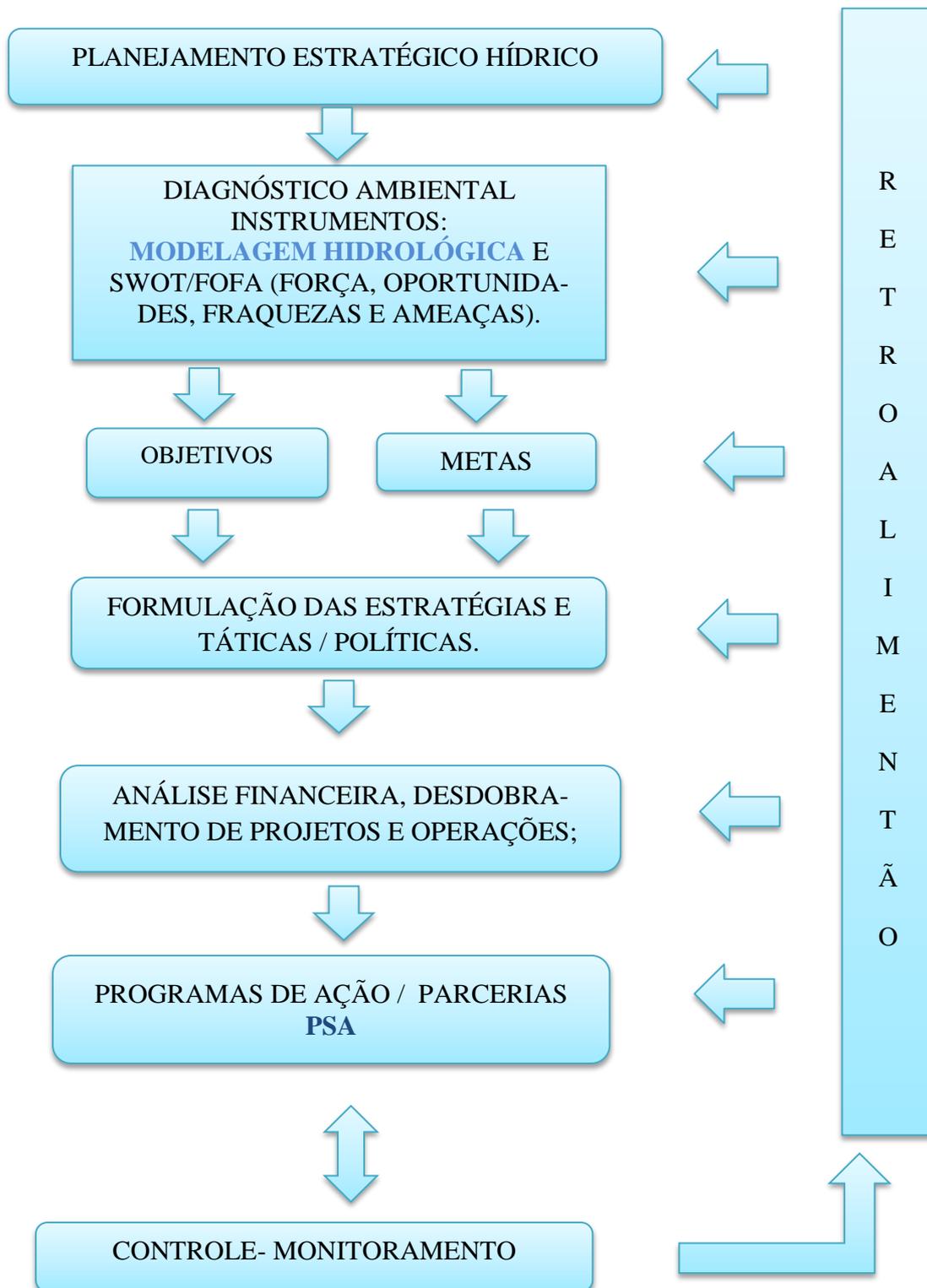
Segundo a ANA (2023), a gestão das águas impõe a necessidade de construção de estratégias transversais junto a diversas políticas públicas, sendo o planejamento integrado e

participativo. Integrado, considerando os planos locais ou regionais reguladores do uso e ocupação do solo, tendo também forte interação com o uso da água. Participativo permitindo que cada uma das entidades responsáveis pela execução dos planos setoriais possa interferir no processo de elaboração, visando defender suas demandas pelo uso da água, assim como se comprometendo a articular e integrar seus próprios planos.

Assim, a modelagem hidrológica e o pagamento por serviços ambientais entram no planejamento estratégico da bacia do Rio Capibaribe, nas seguintes etapas, conforme Figura 25. Na primeira etapa ocorre o diagnóstico situacional da bacia, onde são feitas uma análise do ambiente interno, ou seja, os dados contidos em bancos de dados das instituições responsáveis pela gestão hídrica do Estado e dos municípios por onde o Rio Capibaribe percorre, bem como o levantamento do ambiente externo fornecidos pelas estações pluviométricas e a modelagem hidrológica de cada área estudada nas quatro unidades de análises definidas pelos órgãos gestores da bacia, ou seja os Comitê de Bacia do Rio Capibaribe. Com os dados levantados, a análise ambiental centra-se na análise SWOT (Forças (*Strengths*), Fraquezas (*Weaknesses*), Oportunidades (*Opportunities*) e Ameaças (*Threats*)), onde são dimensionadas suas forças e fraquezas, no ambiente interno e ameaças e oportunidades no ambiente externo.

A segunda etapa é a definição do objetivo do planejamento e a determinação de metas, que são formuladas de acordo com os resultados do diagnóstico e que vai nortear todo o planejamento. A terceira etapa são as formulações de estratégias e políticas, que tem como consequência o desdobramento de projetos e operações, em seguida, na quarta etapa, ocorre à formulação de programas de ação, onde será definida a forma de execução do planejamento. A sua formulação é baseado no método 5W2H, que determina quem vai executar as atividade, o porquê da sua execução, quando, como e onde será executado e o custo de cada fase do programa. É nessa etapa que entra o pagamento por serviços ambientais, por este ser um instrumento de ação imediata que envolve vários *Stakeholder*, ou seja, as partes interessadas na restauração/conservação da bacia hidrográfica. Por fim temos a etapa de controle, ou monitoramento do plano e de acordo com o *feedback* recebido, recomeça o ciclo do planejamento como pode ser visualizado no fluxograma na Figura 22.

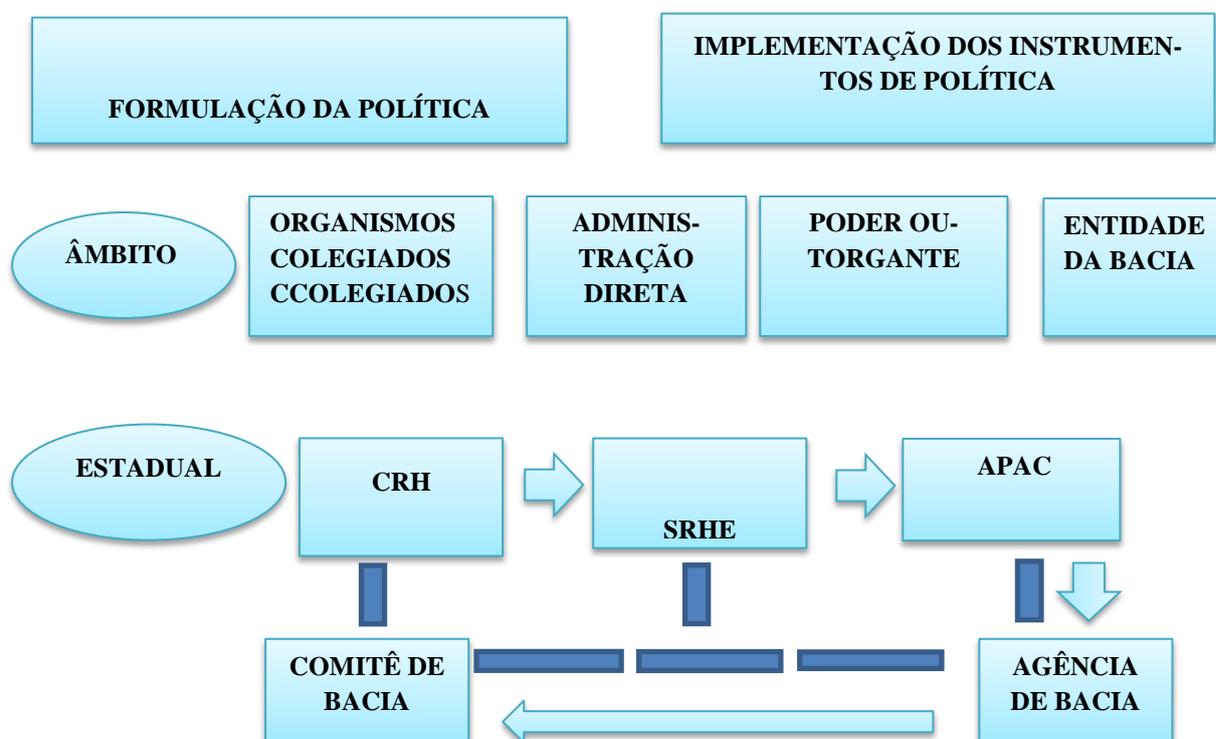
Figura 22 – Fluxograma das Etapas do Planejamento estratégico hídrico



Fonte: a autora (2023).

O Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SIGRH/PE, responsável por executar a política das águas pernambucanas, está ancorado em três instâncias: **deliberativa**, por meio do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH e dos Comitês das Bacias Hidrográficas - CBHs **Técnica**, por meio de Câmaras Técnicas e Grupos de Trabalho, visando a discutir e a encaminhar ações sobre temas de interesse do CRH, e **financeiros**, por meio do Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FEHIDRO. A Figura 26 demonstra o SIGRH/PE que de acordo com Lei Estadual nº 12.984/05 tem a seguinte composição e suas respectivas atribuições (art. 40) (SILVA e SILVA (2014)).

Figura 23 – Fluxograma do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos de Pernambuco



Fonte: Adaptado de MMA (2013).

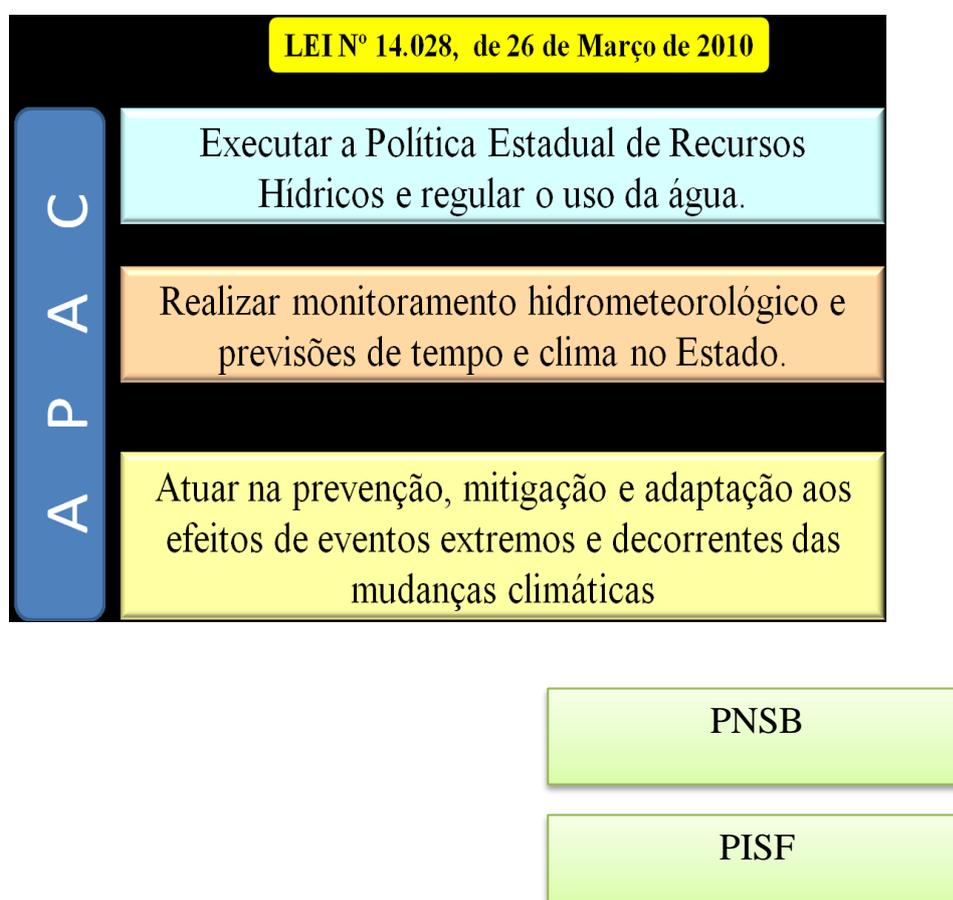
Continuando com os autores acima citados, as iniciativas deste órgão para a revitalização da bacia do Capibaribe em execução consistem nos Planos Hidroambiental da Bacia do Capibaribe, Projeto de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco e os Projetos financiados pelo FEHIDRO.

A APAC é órgão executor da política de recursos hídricos do Estado e tem as seguintes atribuições de acordo com a Figura 27. É também responsável pelo **Programa de pagamento por serviços ambientais**, onde está em estudo o Plano de Implantação de Projeto Pilo-

to na área de contribuição do Reservatório Bitury, na área de brejo de altitude, localizada no município de Belo Jardim, na bacia do Rio Ipojuca. A Lei Estadual nº. 15.809 de 17 de maio de 2016 institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e o Fundo Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (APAC, 2023). Os desafios deste órgão consistem na avaliação e monitoramento dos projetos; articulação institucional com a ANA, Universidades, Prefeituras, Comitês e outros *stakeholder*; integração de políticas públicas; revitalização em áreas urbanas – a infraestrutura verde; incorporação no planejamento – PNRH e PERH-PE (APAC, 2016).

Figura 24- Apresentação ABRHidro, 2019.

Figura 24- Apresentação ABRHidro, 2019..... 112



Fonte: APAC (2023).

O Planejamento ambiental para a Gestão das Águas, de acordo com Silva e Silva (2014), depara-se com uma série de desafios e dificuldades que contribui para dificultar o cumprimento dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos e Estaduais, em Per-

nambuco. O principal fator é a descontinuidade administrativa pública no âmbito estadual em virtude da constante mudança quanto ao órgão gestor de recursos hídricos o que compromete o fortalecimento institucional e acaba provocando interrupções nos planos e as ações do gerenciamento das águas, o que é reflexo da descontinuidade da própria gestão administrativa do Estado e isso se estende também aos municípios.

O resultado obtido no balanço hídrico da bacia foi o **déficit** de água, isto ocorreu devido à escassez hídrica severa na região do agreste central e setentrional, onde o clima favorece a baixa precipitação da água de chuva e elevada média de evapotranspiração, o que tornou o rio intermitente, que de acordo com o saber popular “o rio passa por debaixo da terra”, portanto o seu curso d’água é característico da caatinga e mesmo quando se torna perene, no município de Limoeiro na Zona da Mata Atlântica, a oferta d’água não supre a demanda por esta ser bem maior, só não há escassez de água na região metropolitana do Recife, o que não quer dizer que a grande Recife não sofra de desabastecimento d’água, afinal a capacidade de abastecimento desta bacia para esta região é de apenas 40% de acordo com a APC (2022). É no bioma Zona da Mata onde se encontra os principais reservatórios da bacia hidrográfica.

Então, para o planejamento hídrico da bacia buscando amenizar esse déficit é preciso que na etapa de definir estratégias e políticas, o governo do Estado de Pernambuco com seus órgãos encarregados da gestão hídrica, em parceria com as prefeituras dos 42 municípios por onde corre a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, bem como o seu Comitê de Bacia, elaborem políticas públicas que de acordo com o PNPSA dê suporte a implantação de projetos de PSA, necessário na etapa de programa de ação onde é preparado os projetos de PSA para tentar corrigir o desequilíbrio entre oferta e demanda de água.

Baseado no princípio pagador/provedor, o pagador fica a cargo da COMPESA que é o órgão responsável pela cobrança do uso da água, modo de financiamento este mais recomendável e os provedores são os assentados, população rural ou ribeirinha, população urbana, indústrias dos polos de cerâmicas vermelhas, madeireira e têxteis, bem como outras indústrias, enfim, os demais agentes que direta ou indiretamente fornecem serviços ambientais e/ou poluem o curso d’água. A valoração destes serviços pode utilizar a metodologia do custo de oportunidade muito comum para este fim. Este é um cálculo econômico baseado na produtividade do uso da terra ao longo do rio é um método de precificação inerente à ciência econômica e é baseado também no mercado.

De acordo com a literatura internacional e brasileira, bem como, experiências no sul, sudeste, centro-oeste e norte do país, este instrumento econômico permite a recuperação e con-

servação de bacias hidrográficas. Assim sendo, os projetos de PSA, devido à extensão e condições da bacia estudada, precisa ser particularizada para cada situação de degradação que afeta a relação reposição/retirada de água.

Em Janaúba e Porção, onde ficam as nascentes do rio, por ser uma região mais rural, precisamos fazer o projeto para a restauração de nascentes em parcerias com os interessados na despoluição das referidas nascentes. Para isto é indicado à recuperação da mata ciliar e a capacitação da população para participar de ações de despoluição das nascentes, isto levará em longo prazo a conservação das mesmas e um aumento no fluxo natural de água. Em toda região do agreste também é indicado à plantação de vegetação nativa deste bioma ao longo do curso intermitente do rio a fim de estimular a criação da cobertura vegetal dando possibilidade de maior retenção da água de chuva no solo, procurando aumentar a reposição da água no solo, um grande problema nessa região por ser o solo arenoso não ajudando a reposição de água na bacia. No bioma Zona da Mata Atlântica e manguezais, também o projeto de PSA deve voltar-se para a recuperação e conservação da mata ciliar, capacitação da população nas margens do rio com a participação dos agentes poluidores.

Portanto, as ações para reduzir o déficit d'água, detectadas no balanço hídrico da bacia hidrográfica e que devem constar em projetos de PSA para cada um dos 42 municípios, voltados para a recuperação e conservação da mata ciliar, a capacitação para um melhor uso e ocupação do solo, ações para despoluir o rio, e ainda para o curso onde o rio se torna perene também pode ser proposto o projeto de PSA para controle de enchentes elaborado por especialistas nesta área. Assim poderemos ter no futuro uma melhor qualidade e quantidade de água e consequentemente, aumentar a capacidade dos reservatórios de cumprirem com seus principais objetivos que são satisfazer a demanda por abastecimento nos municípios, o controle de enchentes, a piscicultura, podendo ainda promover melhor a irrigação na agricultura familiar por onde corre a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe. Enfim, em longo prazo promover o desenvolvimento sustentável nas quatro unidades de análise da gestão da bacia e uma melhor qualidade de vida da população local.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A pesquisa bibliografia e documental chegou a resultados que comprovam a relevância dos temas estudados, bem como pesquisas em outros meios como artigos, livros e sites oficiais direcionados à abordagem dos temas propostos, voltados para diminuir incertezas no processo decisório em recursos hídricos.

Sendo assim, a revisão da literatura e os resultados analisados, apontam que temos os serviços de provisão e regulação como sendo os serviços ecossistêmicos utilizados nos instrumentos estudados que podem ser aplicados no estudo da bacia do Capibaribe. Os serviços de provisão como quantidade e qualidade da água e os serviços de regulação, como a cobertura vegetal, o uso do solo, relevo, e todos os serviços ecossistêmicos que compõem o balanço hídrico servirão para valoração no PSA em estudos futuros não tendo sido aplicado neste caso, pois o mesmo está voltado para a modelagem hidrológica. Em termos de software pode ser utilizado o modelo SWAT/SUPER para a modelagem e seus resultados serão a entrada e processamento para o InVEST, este último apropriado para valoração de serviços ambientais. Mas não foi utilizado neste estudo por não ser o foco do mesmo.

A literatura mundial expõem suas experiências com o PSA, este mecanismo econômico, utilizado pelas Ciências Ambientais, na gestão ambiental hídrica. No Brasil temos experiências promissoras que também validam e comprovam que o PSA pode ser utilizado para conservação dos recursos hídricos, além de não só ser usado para a recuperação de nascente, na sedimentação de curso d'água e poluição hídrica. Desta forma o PSA também pode ser utilizado para a conservação da Bacia do Rio Capibaribe integrando o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PEPSA) de Pernambuco. Porém se e somente se tiver a participação de todos os atores envolvidos neste processo.

Assim podemos concluir que é viável a elaboração de projetos de PSA visando à conservação da bacia hidrográfica estudada, com base nos estudos de casos apresentados pela literatura nos cinco continentes inclusive a participação do Brasil em pesquisas envolvendo esse tema, tendo o referido país incluso no ranking de publicações de casos sobre este mecanismo e assim, há casos que comprovam a viabilidade da implantação de projetos de PSA no país como é o caso da Região da Amazônia (Ocidental, Central e Oriental) com os projetos reconhecidos no mundo como REDD+ e o OASIS.

Com relação ao balanço hídrico a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe está dentro do previsto, seguindo o comportamento esperado e repetido ao longo de vários anos, mas não dentro do padrão de análise onde apresenta média de precipitação baixa e evapotranspiração

alta. É uma bacia complexa pela sua diversidade e contrastes durante todo o seu percurso, passando por regiões com características ambientais diferentes e, portanto, determinando as condições socioeconômicas também diversas, inclusive turísticas das regiões onde é cortada pelo fluxo ou está sofrendo influência da mesma.

Nas três regiões em que a bacia é dividida, o alto, médio e baixo Capibaribe, elas têm características diferentes por estarem situadas em dois biomas, a região do agreste e a zona da Mata Atlântica e ecossistemas de manguezais na região metropolitana do Recife. Sendo intermitente no seu curso até o município de Limoeiro, passando a ser perene a partir daí, chegando a seu estuário com boa drenagem como podemos ver pelas medias anuais e mensais no balanço hídrico. Apesar de todos esses contrastes, estando a bacia hidrográfica tanto dentro do polígono de secas quanto em regiões de cheias, o que faz com que seja um problema para os tomadores de decisão, porque os mesmos precisam procurar a melhor alocação de água dentro da disponibilidade hídrica da bacia.

A Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe tem médias de sedimentação alta principalmente na área de manguezais, sendo em parte uma bacia sedimentar, é bastante poluída ao longo de seu curso por receber efluentes rurais, quando passa por essa zona e na área urbana também e ainda recebe resíduos dos polos madeireiros, têxteis e do polo de cerâmicas vermelhas, esta situada a nordeste da referida bacia. Tem como resultado do balanço hídrico o **déficit** de água, devido a grande parte da Bacia se localizar na região do agreste com clima semiárido e solo arenoso. A maioria de seus reservatórios tem a função de controlar as enchentes principalmente na grande Recife e assim o reservatório de maior expressão é o Jucazinho, localizado em Surubim tendo a maior capacidade de armazenamento.

Percebemos, então, que até o momento existe uma carência de mecanismos que permitam o adequado compartilhamento de responsabilidades e de benefícios pelas ações e abstenções dos agentes públicos e privados no que concerne à conservação da natureza, da qualidade ambiental e dos ecossistemas. Desta forma, direcionando o uso dos mecanismos de modelagem hidrológica, complementando com o mecanismo de PSA como instrumentos a serem utilizados no processo decisório na gestão de bacias hidrográficas, com o apoio de um modelo integrativo e participativo de gestão, tendo a participação dos gestores públicos e outros atores interessados na recuperação/conservação da bacia estudada, pode-se chegar a uma ação mais eficaz no processo decisório, de acordo com um planejamento integrando o Estado e municípios por onde passa o curso da bacia.

Portanto, a modelagem hidrológica e o pagamento por serviços ambientais podem ser utilizados no planejamento e gestão da água, como apoio ao processo decisório para a conservação não só da bacia do Rio Capibaribe, mas pode ser estendido para aplicação em qualquer bacia hidrográfica.

Como recomendação de continuidade deste estudo, sugerimos primeiro o estudo de programas de PSA em curso pela APAC, para entender como se dá a execução do planejamento hídrico do Estado. Segundo, analisar os estudos dos programas de PSA que não deram certo em Pernambuco, e isso incluem, não só a APAC, mas também as universidades e instituições ambientais. Fazer um estudo de viabilidade mais voltado para específicos conflitos prioritários e particulares a cada município, localizados no curso da bacia, desde a sua nascente até a foz, e por fim, testar o modelo proposto neste estudo, onde com o apoio da modelagem hidrológica e o desenvolvimento de programas de PSA, neste conjunto integrado, promover a conservação da referida bacia.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-6023** informação e documentação – Referências – apresentação. Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-6027** informação e documentação – Sumário - apresentação. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-14724**: informação e documentação - Trabalhos acadêmicos– apresentação. Rio de Janeiro, 2011.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6028**: informação e documentação – Resumo - apresentação Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10520**: informação e documentação – Citações em documentos – apresentação Rio de Janeiro, 2002.
- ADEPOJU, K; ADELABU, S.; MOKUBUNG, C. Mapping *Seriphium plumosum* encroachment and interaction with wildfire and environmental factors in a protected mountainous grassland. **Environ Monit Assess** **192**, 328. 2020, <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-020-08253-x>.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (CPRH). Monitoramento de Bacias Hidrográficas de Pernambuco. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/monitoramento/bacias_hidrograficas/39709%3B52052%3B1702%3B0.asp>. Acesso em: 05/07/2022.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (CPRH). Unidades de Conservação de Pernambuco. Disponível em:<http://www.cprh.pe.gov.br/unidades_conservacao/Protecao_Integral/40032%3B35850%3B2237%3B0%3B0.asp>. Acesso em: 05/07/2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA – ATLAS NORDESTE, Abastecimento Urbano de Água. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/> Acessado em: junho de 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/>>. Acesso em 18 de janeiro de 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos de domínio da União na Bacia do São Francisco. s/d. Disponível em: http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/BaciaSF_Inicial.asp X, Acesso em março de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Programa Produtor de Água**, Disponível em:
<https://www.ana.gov.br/@busca?SearchableText=Programa+Produtor+de+%C3%A1guas>.
 Acesso em 20/09/2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANAb. **Política Nacional de Recursos Hídricos**, Disponível em:
<https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>.
 Acessado em 05.11.2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente-PNUMA. Brasília, ANA, p, 154, 2011.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS – APAC. Revitalização de bacias hidrográficas: experiências e aprendizados, **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Foz do Iguaçu – PR, 24 a 28 de novembro de 2019. Disponível em: apac.com.br, acessado em janeiro de 2023.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS – APAC. **Bacias Hidrográficas**. Recife – PE. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br>. Acesso em 29. 06. 2022.

AKDERE, M.; AZEVEDO, R. E. Agency theory implications for efficient contracts, **Organization Development Journal**, Chesterland, v. 24, n. 2, p. 43-54, Summer 2006.

ALTMANN, A.; SOUZA, L.F.; STANTON, M.S. **Manual de apoio à atuação do ministério público pagamento por serviços ambientais** 1. ed. – Porto Alegre : Andrefc.com Assessoria e Consultoria em Projetos, 2015.

ALTMANN, A. **Instrumentos jurídicos para a tutela dos serviços ecossistêmicos**. [Projeto de tese] Centro de Estudos Sociais, Universidade de Coimbra, 2014.

ALTMANN, A. Pagamento por serviços ambientais urbanos como instrumento de incentivo para os catadores de materiais recicláveis no Brasil. **Revista de Direito Ambiental**, vol. 68, p 307-322, 2012.

ALTMANN, A. Desenvolvimento sustentável e pagamento por serviços ambientais. IN: RECH, Adir; ALTMANN, Alexandre. **Pagamento por serviços ambientais**. Imperativos jurídicos e ecológicos para a preservação e a restauração das matas ciliares. Caxias do Sul: Educs, 2009.

ALIX-GARCIA, J. M.; SIMS, K. R. E.; OROZCO-OLVERA, Victor H.,; COSTICA, L. E.; MEDINA, J. D. F.; MONROY, S. R. Payments for environmental services supported social capital while increasing land management, Mexico: **PNAS**, v. 115, n. 27, 7016–7021, 2018, disponível em: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1720873115, acessado em: 09.05.2019.

ALMEIDA, L.D.O.; FAVARO, A.; RAIMUNDO - COSTA, W. et al. Influence of urban forest on traffic air pollution and children respiratory health. **Environ Monit Assess** 192, 175, 2020, <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-020-8142-4>.

ARAÚJO, Tânia Bacelar. Ensaio sobre o Desenvolvimento Brasileiro: heranças e urgências. Rio de Janeiro: Revan; FASE, 2000.

ARNOLD, J. G. et al. Swat: Model Use, Calibration, and Validation. **Asabe**, v. 55, n. 4, p. 1491–1508, 2012.

ASSIS, J. M. O.; LACERDA, F. F.; SOBRAL, M. C. M. Análise de Detecção de Tendências no Padrão Pluviométrico na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 02, p. 320–331, 2012

BADAMFIROOZ, J.; MOUSAZADEH, R. Quantitative assessment of land use/land cover changes on the value of ecosystem services in the coastal landscape of Anzali International Wetland. **Environ Monit Assess** **191**, 694, 2019.

BAGSTAD, K.J.; VILLA, F.; BATKER, D.; HARRISON-COX, J.; VOIGT, B.; JOHNSON, G.W. From theoretical to actual ecosystem services: mapping beneficiaries and spatial flows in ecosystem service assessments. *Ecol. Soc.*, 19 (2), 64. 2014.

BALASUBRAMANIAN, M. Economic value of regulating ecosystem services: a comprehensive at the global level review. **Environmental Monitoring Assessment**, v.191, p. 616, 2019.

BASKAN, O.; DENGIZ, O.; DEMIRAG, İ.T. The land productivity dynamics trend as a tool for land degradation assessment in a dryland ecosystem. **Environmental Monitoring Assessment**, 189, 212 2017.

BEATA, L.; CEZARY, K.; J AROSLAW, W. Ambient geochemical baselines for trace elements in Chernozems approximation of geochemical soil transformation in an agricultural area. **Environ Monit Assess** **191** (1),. p. 19, 2019.

BRANCO, P. M. O. Intemperismo e a Erosão, 2014. Disponível em <https://www.cprm.gov.br>, acesso em 05.03.2023.

BRASIL. Lei Federal nº. 14.119 de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; - PNPSA e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm. Acesso: 04.03.2022.

BRASIL Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Planalto. Brasília. BR.2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989; Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm>.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, BR, 2022, disponível em <https://www.gov.br/mma/pt-br>, acessado em 20.01.2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em: [http://www.mma.gov.br/pagamentos por serviços ambientais](http://www.mma.gov.br/pagamentos_por_servicos_ambientais) perspectivas para a Amazônia legal, Serie Estudos 10, Brasília, BR, 2009. Acessado em 02.05.2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos, **Plano Nacional de Recursos Hídricos**, Programas nacionais e metas: Volume 4 /. – Brasília: MMA, 2006.

BRASIL, Constituição Federal, 1988,

BRENDA, F; TURNER, R. K; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making, **Ecological Economics**, 68, vol.3, pp 643-653, 2009.

BRESSLER, A.; VIDON, P.; HIRSCH, P. *et al.* .Valuation of ecosystem services of commercial shrub willow (*Salix spp.*) woody biomass crops, **Environ Monit Assess** **189**, 137, 2017, <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-017-5841-6>.

BROOKS, D.B. **Água. Manejo a nível Local**, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Alfaomega Colombiana, S.A. Bogotá- Colombia, pp. 94, 2004.

BOBORI, D.C.; NTISLIDOU, C.; PETRIKI, O. Macroinvertebrate and fish communities in the watershed of a re-constructed Mediterranean water body: link to the ecological potential, **Environ Monit Assess** **190**, 106, 2018. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-018-6484-v>.

BONILLA-BEDOYA, S.; ESTRELA-BASTIDAS, A.; MOLINA, J. R.; HERRERA, M.A. Socioecological system and potential deforestation in Western Amazon forest landscapes, **Science of the Total Environment**, 644, pp.1044-1055, 2018.

BOOTH, P.N; JAW, S. A.; MA, J.; BOYD, J.; TURNLEY, J. Modeling aesthetics to support an ecosystem services approach for natural resource management decision making integrated, **Environmental Assessment and Management**, 13 (5), pp. 926-938. 2017,

CANEPA, E. M. Economia da poluição, In: MAY, Peter H. (Org.) **Economia do Meio Ambiente: teoria e prática**, 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CASTELLANOS, D. H.; FERNÁNDEZ, L. M. *Reflexiones sobre Gobernabilidad: el SITM como política pública (Santander -Colombia)* In: **Reflexión Política**, Vol. 10, Núm. 19, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia. pp. 176-187. 2008.

CHAVES, S, A, M.; VIEIRA. A. G. T.; DE FRANÇA, E.M.S.; DOS SANTOS,E.J.; TEIXEIRA, G. S. S.; SILVA, J.I.S.; SOUZA, R.M. Análise dos serviços ecossistêmicos na paisagem semiárida da bacia do riacho São José, Pernambuco, **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v.12, núm. 1, Universidade Federal do Ceará, 2021.

CHÁVEZ MICHAELSEN, A.; PERZ, S.G.;HUAMANI BRICEÑO, L.; DÍAZ SALINAS, J; BROWN, I. F. Effects of drought on deforestation estimates from different classification methodologies: Implications for REDD+ and other payments for environmental services programs, **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, 5 pp. 36-44, 2017, <https://doi-org.ez10.1016j.scitotenv2018.07.028>.

CHIAVENATO, I. *Administração nos novos tempos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CHIAVENATO, I. *Administração Geral e Pública*. 2ª ed. revista e atualizada. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

CHIROL, C.; HAIGH, I. D.; THOMPSON, C.E.; GALLOP, S.L. Parametrizing tidal creek morphology in nature saltmarshes using semi-automated extraction from LIDAR, **Remote Sensing of Environment**, 209, pp. 291-311, 2018.

CIFTCIOGLU, G.C.; AYDIN, A. Urban ecosystem services delivered by green open spaces: an example from Nicosia City in North Cyprus. **Environ Monit Assess** **190**, 613, 2018.

COASE, R. H. The Problem of Social Cost, **Journal of Law and Economics**, 1960.

CORDEIRO, T. A. *O que você precisa saber sobre a água de João Pessoa*. João Pessoa: Idea, 2014.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.S.; FARBER, S.; GRASSO, M., HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M., The value of the world's ecosystem services and natural capital, **Nature**, 387 (15 de maio), 253-260. 1997.

COUMAR, M.V.; PARIHAR, R.S.; DWIVEDI, A.K. *et al.* 2016. Impact of pigeon pea biochar on cadmium mobility in soil and transfer rate to leafy vegetable spinach, **Environ Monit Assess** **188**, 31, 2016.

DAILY, G.C. Introduction: what are ecosystem services. In: Daily, G.C. (Ed.), **Nature's Services**. Island Press, Washington , DC, pp. 1–10, 1997.

DANIEL, T. C. et al. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda, **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 23, pp. 8812–8819, 2012

DE LA BARRERA, F.; BARRAZA, F.; FAVIER, P.; RUIZ, V.; QUENSE, J. Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystem, **Science of Total Environment**, 637-638, pp. 1526-1536, 2018.

DEMISSIE, F.; YESHITELA, K.; ROULEAU, M. *et al.*. Socio-economic importance of forest resources and their conservation measures in Ethiopia: the case of area closure in South Gonder of Ethiopia. **Environ Monit Assess** **191**, 437, 2019.

DE PABLO, C.L.; PEÑALVER-ALCÁZAR, M.; DE AGAR, P.M. Change in landscape and ecosystems services as the basis of monitoring natural protected areas: a case study in the Picos de Europa National Park (Spain), **Environ Monit Assess** **192**, 220, 2020.

DERANI, C. **Direito Ambiental Econômico**. 3ª ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

DIAS, A D.A S. Novo Código Florestal. Disponível em: <https://www.infoescola.com/direito/novo-codigo-florestal/>. Acessado em: 07.11.2019.

DIAS, B. F. S. (Coord.). **A Convenção sobre Diversidade Biológica - CDB**. Série Biodiversidade nº 1 – Brasília BR.: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2000.

DOS SANTOS, G.L.; PEREIRA, M.G.; DELGADO, R.C. *et al.* . Anthropogenic and climatic influences in the swamp environment of the Pandeiros River basin, Minas Gerais-Brazil, **Environ Monit Assess** **192**, 219, 2020.

ELWELL, T.L.; GELCICH, S.; GAINES, S.D.; LÓPEZ-CARR, D. Using people's perceptions of ecosystem services to guide modeling and management efforts **Science of the Total Environment**, 637-638, pp. 1014-1025, 2018.

EVERARD, M.; AHMED, S.; GAGNON, A.S.; DIXON, H.; SARKAR, S. Can nature-based solutions contribute to water security in Bhopal? , **Science of the Total Environment**, 723,138061, 2020.

FILGUEIRAS, H.J.A.; SILVA, T.C.; LIMEIRA, M.C.M.; SILVA, M.R.M.; SILVA, A.L. **Usos e usuários de água de nascentes do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Gramame-Paraíba**. Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza. 2012. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download>. Acesso: 12 dez. 2012.

FRANCESCONI, W.; SRINIVASAN, R.; PEREZ-MINÁNA, E.; WILLCOCK, S.P.; QUINTERO, M. Using the soil and water assessment tool (swat) to model ecosystem services: a systematic review. **Journal of Hydrology**, Vol. 535, p. 625-636, 2016.

FRANCHINI, M.; VIOLA, E.; BARROS-PLATIAU, A. F. The challenges of the anthropocene: from international environmental politics to global governance, **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XX, n. 3, p. 177-202 ,jul.-set. 2017.

FUKUNAGA, D.C.; CECÍLIO, R.A.; ZANETTI, S.S.; OLIVEIRA, L.T.; CAIADO, M.A.C. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. **CATENA** **125**, 206–213, 2015.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA SUSTENTATÁVEL - FAS. Amazon Fund. Disponível em: http://www.amazonfund.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_en/Galerias/Arquivos/Publicacoes/20130303_Amazon_Fund_Project_Document_MMA.pdf, 2013, Acesso em março de 2022.

FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, Disponível em projetoasis@fundacaogrupoboticario.org.br <http://www.fundacaogrupoboticario.org.br>. Acesso: março de 2022.

GEZIE, A.; ANTENEH, W.; DEJEN, E. *et al.* Effects of human-induced environmental changes on benthic macroinvertebrate assemblages of wetlands in Lake Tana Watershed, Northwest Ethiopia, **Environ Monit Assess** 189, 152, 2017.

GHOBADI, Y.; PRADHAN, B.; SHAFRI, H.Z.M. *et al.* Spatio-temporal remotely sensed data for analysis of the shrinkage and shifting in the Al Hawizeh wetland. **Environmental Monitoring Assessment** 187, 4156, 2015.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de pesquisa Social**. 6^a. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GLEICK, P.H. Water and conflict: fresh water resources and international security. **Int. Secur.** 18, 79–112, 1993.

GOMES, M. M. A. **Abordagem integrada de modelagem hidrológica e operação de barragens para avaliação da eficiência do controle de cheias na bacia do rio Capibaribe**, Dissertação de mestrado defendida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

GOU, S.; LIU, Z.; HE, C. *et al.* . The extent of temporary water bodies increased in the drylands of northern China: a multiscale analysis based on MODIS data, **Environ Monit Assess** 190, 296, 2018.

GOUVEIA, R.L; SELVA, V.S.; PAZ, Y.M. Governança ambiental: contribuição para a revitalização de rios urbanos, **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.5, n.1. 055-070, 2019.

GUNAWARDENA, A.; WIJERATNE, E.M.S. White, B. *et al.* Industrial pollution and the management of river water quality: a model of Kelani River, Sri Lanka, **Environ Monit Assess** 189, 457, 2017.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M.B. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), v5.1 and **Guidance on the Application of the Revised Structure**, 2018, Disponível em: <<https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>> Acesso em: 08.de Maio de.2022.

HAN, J. C.; HUANG, Y.; LI, Z.; CHENG, G.; HUANG, P. Groundwater level prediction using a SOM aided stepwise cluster inference model, **Journal of Environmental Management**, vol. 182, pp. 308-321, 2016.

HETHCOAT, M. G.; EDWARDS, D. P.; CARREIRAS, J. M. B.; FRANÇA, F. M.; QUEGAN, S. A machine learning approach to map tropical selective logging, **Remote Sensing of Environment**, 221, pp. 569-582, 2019.

HOOPER, M. J.; GLOMB, S. J.; HARPER, D. D.; MCINTOSH, L. M.; MULLIGAN, D. R. Integrated risk and recovery monitoring of ecosystem restorations on contaminated sites, **Integrated Environmental Assessment and Management**, 12, v.2, pp. 284-295, 2016.

HOU, Y.; LI, B.; MÜLLER, F. *et al.* Ecosystem services of human-dominated watersheds and land use influences: a case study from the Dianchi Lake watershed in China, **Environ Monit Assess** **188**, 652, 2016.

HUOT, Y.; BROWN, C. A.; POTVIN, G.; VINEBROOKE, R. D.; WALSH, D. A. The NSERC Canadian Lake Pulse Network: A national assessment of lake health providing science for water management in a changing climate, **Science of the Total Environment**, 695, 133668, 2019.

HUANG, C.; ZHOU, Z.; WANG, D. *et al.* Monitoring forest dynamics with multi-scale and time series imagery, **Environ Monit Assess** **188**, 273, 2016.

HUANG, J.; WANG, W.; CUI, X., (...); LIU, X.; WANG, S. Environmental risk-based hydroeconomic evaluation for alluvial aquifer management in arid river basin, **Science of the Total Environment**, 711, 134655, 2020.

HUNTINGTON, J.; MCGWIRE, K; MORTON, C.; SMITH, G.; ALLEN, R. Assessing the role of climate and resource management on groundwater dependent ecosystem changes in arid environments with the Landsat archive, **Remote Sensing of Environment**, 185, pp. 186-197, 2016.

IBGE. **Explica a Agenda 2030**. Disponível em: <https://indicadoresods.ibge.gov.br/objetivo/objetivo?n=6>, Acessado em: 02.05.2022.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>, <http://sisdagro.inmet.gov.br/>, Acesso em 28.02.2023.

ISUNJU, J. B.; KEMP, J. Spatiotemporal analysis of encroachment on wetlands: a case of Nakivubo wetland in Kampala, Uganda, **Environ Monit Assess** **188**, 203, 2016.

JACOBI, P. R; SINISGALLI, P. A. A. Governança ambiental e economia verde, **Ciência e Saúde Coletiva**, 17 (6), Jun 2012, <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600011>.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN. M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG), **Eng Sanit Ambient**, v.20, n.3 , jul/set, p.353-360, 2015.

JANA, P.; DASGUPTA, S.; TODARIA, N. P. I. Impact and ecosystem service of forest and sacred grove as saviour of water quantity and quality in Garhwal Himalaya, India, **Environ Monit Assess** **189**, 477, 2017.

JIANG, C.; ZHANG, L. Effect of ecological restoration and climate change on ecosystems: a case study in the Three-Rivers Headwater Region, China, **Environ Monit Assess** **188**, 382, 2016.

JIANG, Z.; SUN, X.; LIU, F. *et al.* Spatio-temporal variation of land use and ecosystem service values and their impact factors in an urbanized agricultural basin since the reform and opening of China, **Environ Monit Assess** **191**, 739, 2019.

KASANIN-GRUBIN, M.; STRBAC, S.; ANTONIJEVIC, S.; ORLIC, J.; SAJNOVIC, A. Future environmental challenges of the urban protected area Great War Island (Belgrade, Serbia) based on valuation of the pollution status and ecosystem services, **Journal of Environment Management**, 251, 109574, 2020.

KAUFMANN, D.; KRAAY, A. Governance Indicators: Where Are We, Where Should We Be Going?, **Policy Research Working Paper**, 4370, The World Bank., pp. 45 p, 2008.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**, São Paulo, Nobel, 2ª Edição, p. 408, 1988.

KRYSANOVA, V.; WHITE, M. Advances in water resources assessment with SWAT—an overview. **Hydrol. Sci. J.** **60**, 771–783, 2015.

LAKATOS, E.V; MARCONI, M.A. **Metodologia Científica**, São Paulo: Editora Atlas, 2010.

LAINE, A. M.; MEHTATALO, L.; TOLVANEN, A.; FROLKING, S.; TUITTILA, E.S. Impacts of drainage, restoration and warming on boreal wetland greenhouse gas fluxes, **Science of the Total Environment**, 647, pp. 169-181, 2019.

LAMIM-GUEDES. V.; FERREIRA, I.; CARVALHO. P.P. P de; CAMARGO. P.L.T. Pagamento por serviços ambientais como instrumento para políticas públicas de conservação ambiental, **InterfaceEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Vol. 12 no 1 – Junho de 2017, São Paulo: Centro Universitário Senac ISSN 1980-0894, p 1-17. Disponível em : <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/>. Acessado em 04.04.2019.

LANNA, A. E. GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. In: TUCCI, Carlos, E. M.(org.). **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. 4ª ed. 1ª Reimpressão. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, pp. 727-768, 2007.

LI, B.; SHI, X.; CHEN, Y. *et al.* Quantitative assessment of the ecological effects of land use/cover change in the arid region of Northwest China, **Environ Monit Assess** **191**, 704, 2019.

LIANG, J.; ZHONG, M.; ZENG, G.; WU, H.; GAO, X. Risk management for optimal land use planning integrating ecosystem services values: a case study in Changsha, Middle China, **Science of the Total Environment**, 579, pp. 1675-1682, 2017.

LIMA, M.C.G.; SÁ, S.M.F.; SOUZA, W.M; SANTOS, E.M. Generated impacts and the management of the Capibaribe river basin-P, **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 03, nº. 01, pp. 75-85, 2018.

LIMEIRA, M. C.M.; PINHEIRO, N.V FILGUEIRA, H.J.A.; SILVA, T.C
 Governo local da água e capacitação social para o uso do pagamento por serviços ecossistêmicos, In XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 23 a 27 de novembro de 2012, João Pessoa, **Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, vol.1, 2012

LIMEIRA, M.C.M.; PINHEIRO, N.V.; FILGUEIRA, H. J.A; SILVA, T.C. **Local Water Governance and social capacity to the use of payment for ecosystem services in Paraíba state, Brazil** In: *10th ISE 2014*, Trondheim, Norway. Disponível em: <https://www.cedren.no/Arrangementer/Event/ArticleId/2047/10th-International-symposium-on-ecohydraulics>, 2014.

LIMEIRA, M.C.M.; PINHEIRO, N.V.; FILGUEIRA, H. J.A; SILVA, T.C; BARBOSA, J.M. Métodos de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos: aplicações em área de nascentes na bacia do Rio Gramame, PB, **Revista Gaia Scientia**, Vol.9 (1), pp. 56-163, 2015,

LIMEIRA, M. C. M. **Capacitação Social como estratégia para restauração de rios: gestão adaptativa e sustentável**. Tese de Doutorado em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Abril, 290 p, 2008.

LINHARES, F.M; ALMEIDA, C. N.; SILANS, A.M.B.P; COELHO, V.H.R. *Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Gramame (PB)*, **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, vol. 26, n°.1.: 139-157, jan/abr/2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320140110>.

LIU, H.; GAO, J.; LIU, X.; ZHANG. H.; XU, X. Monitoring and assessment of the ecosystem services value in the national key ecological function zones. **Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica**, 40, v. 6, pp. 1865-1876, 2020.

LOGSDON, R. A.; CHAUBEY, I. A quantitative approach to evaluating ecosystem services. **Ecol. Model.** 257, 57–65. 2013.

LOWELL, K. A socio-environmental monitoring system for a UNESCO biosphere reserve. **Environ Monit Assess** 189, 601, 2017.

LYMBURNER, L.; BUNTING, P.; LUCAS, R.; TICEHURST, C.; HELD, A. Mapping the multi-decadal mangrove dynamics of the Australian coastline, **Remote Sensing of Environment**, 238, 111185, 2020.

MA, H.; PU, S.; LIU, S.; MANDAL. S.; XING, B. C. Microplastic in aquatic environment: toxicity to trigger ecological consequences, **Environment Pollution**, 261, 114089, 2020.

MAGRIS, R. A.; MARTA-ALMEIDA, M.; MONTEIRO, J. A. F.; BAN, N. C. A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brasil). **Science of the Total Environment**, 659, pp. 828-840, 2019.

- MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. Impact of anthropogenic climate change and human activities on environment and ecosystem services in arid regions, **Science of the Total Environment**, 633, pp. 1329-1344, 2018.
- MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing**, Porto Alegre: Bookman, 2012.
- MARCONDES, A. C. J. **Sedimentologia e Morfologia da Bacia do Pina – PE**, Dissertação de mestrado em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 105p. 2009.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 7ª ed. – 3ª reimpressão, São Paulo: Atlas, 2008.
- MARKKULA, I.; TURUNEN, M.; RASMUS, S. A review of climate changes impacts on the ecosystem services in the Saami Homeland in Finland, **Science of the Total Environment**, 692, pp. 1070-1085, 2019.
- MARTINI, Daniel. **Il Posto Del Diritto Nella Tutela Dell’ambiente**. [Tese] Roma: Università’ Degli Studi Di Roma Tre, 2013.
- MATOS, F.; DIAS, R. Governança da Água e a Gestão dos Recursos Hídricos: a formação dos Comitês de Bacia no Brasil. **Revista Desarrollo Local Sostenible**, vol. 6, nº 17, 2013.
- MATTOS, L.; SILVA, A. L. G.; HERCOWITZ, M.. Microeconomia. In: NOVIDON, Henry de; VALLE, Raul (Orgs.). **É pagando que se preserva? Subsídios para políticas de compensação por serviços ambientais**, São Paulo: Instituto Socioambiental – ISA, 2009.
- MAY, P H. **Economia do Meio Ambiente, Teoria e Prática**, Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MAZUMDAR, S.; GHOSE, D.; SAHA, G.K. Offal dumping sites influence the relative abundance and roosting site selection of Black Kites (*Milvus migrans govinda*) in urban landscape: a study from Kolkata metropolis, India. **Environmental Monitoring Assessment** **190**, 20, 2018.
- MAXIMIANO, A. C. A. **Teoria geral da Administração: da revolução urbana a revolução digital**. 6. ed. Sao Paulo: Atlas, 2010.
- McELWEE, P.; HUBER, B.; NGUYEN, T. H. V. Hybrid outcomes of payments for ecosystem services policies in Vietnam between theory and practice, **Development and Change**, 51, v.1, pp. 253-280, 2020.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment, 2005. **Ecosystems and Human Well-being**. vol. 5, United States of America., Island press, pp. 563, 2005.
- MENDES, F. E.; MOTTA, R.S da. **Instrumentos econômicos para o controle ambiental do ar e da água: uma resenha da experiência internacional**. Texto para Discussão n. 479, Rio de Janeiro: IPEA, 1997.

MENG, S.; HUANG, Q.; ZHANG, L., (...); BAI, Y.; YIN, D. Matches and mismatches between the supply of and demand for cultural ecosystem services in rapidly urbanizing watersheds: a case in the Guanting Reservoir Basin, China, **Ecosystem Services**, vol. 45, 2020.

MINAYO, M. C. (Org.) **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1994.

MINUBE. Imagem da foz dos rios Capibaribe, Beberibe, Jordão, Pina e Tejipló – Recife, 2023. Disponível em www.minute.com.br, acessado em março de 2023.

MIRANDA, R.Q. **Avaliação integrada da variação espacial e temporal do balanço hídrico na caatinga**, Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 123 p. 2017.

MIRSANJARI, M.M.; ZARANDIAN, A.; MOHAMMADYARI, F. *et al.* Investigation of the impacts of urban vegetation loss on the ecosystem service of air pollution mitigation in Karaj metropolis, Iran, **Environ Monit Assess**, 192, 501, 2020.

MONTERO, C. E. P. O Fundamento e a Finalidade Extrafiscal dos Tributos Ambientais. **Revista de Direito da Cidade**, Rio de Janeiro, UERJ, vol. 5, nº 2, 2013.

MORAES, J. L. A. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como Instrumento de Política de Desenvolvimento Sustentável dos Territórios Rurais: O Projeto *Protetor Das Águas* de Vera Cruz-RS. **Sustentabilidade em Debate** - Brasília, v. 3, n. 1, pp. 43-56, jan/jun 2012.

MOTA, J. A. et al. A valoração da biodiversidade: conceitos, concepções e metodologias. In: MAY, Peter (Org.). **Economia do Meio Ambiente: teoria e prática**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MOTTA, R. S. **Economia ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2006.

MROZIK, W.; VINITNANTHARAT, S.; THONGSAMER, T.; DAVENPORT, R. J.; WERNER, D. The food-water quality nexus in periurban aquacultures downstream of Bangkok, Thailand, **Science of the Total Environment**, 695, 133923, 2019.

MULETA, T.T.; BIRU, M.K. Human modified landscape structure and its implication on ecosystem services at Guder watershed in Ethiopia, **Environ Monit Assess** **191**, 295, 2019.

MURADIAN, R; PASCUAL. U; RODRÍGUEZ, L.C; DURAIAPPAH, A. Exploring the links between equity and efficiency in payments for environmental services: A conceptual approach, **Ecological Economics** 69, 1237–1244, 2010.

NAVARRO, C; RAMÍREZ, A. Una propuesta para el análisis de la acción de los gobiernos locales, **Revista de Estudios Políticos**, Centro de Estudios Constitucionales. nº. 128, Madrid, España., 175 -187, 2005.

NEMATOLLAHI, S.; FAKHERAN, S.; KIENAST, F. *et al.* Application of InVEST habitat quality module in spatially vulnerability assessment of natural habitats (case study: Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran), **Environ Monit Assess** **192**, 487, 2020.

- NEVES, R. A. F.; NEVEIRA, C.; MIYAHARA, I. C.; KREPSKY, N.; SANTOS, L. N. Are invasive species Always negative to aquatic ecosystem services? The role of false mussel for water quality improvement in a multi-impacted urban coastal lagoon, **Water Research**, 184,116108, 2020.
- NOGUEIRA, J. M. **Mercado ou Governo? O dilema dos esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil.**, Confederação Nacional da Agricultura (CNA), Instituto de estudos e pesquisa social e o agronegócio, Brasília: Knowtec, 2013.
- NOVOA, J.; CHOKMANI, K.; LHISSOU, R. A novel index for assessment of riparian strip efficiency in agricultural landscapes using spatial resolution satellite imagery, **Science of the Total Environment**, vol. 644, pp. 1439-1451, 2018.
- NUNES, E.M; CASTILHO, C.J.M. Perspectivas de governança ambiental em áreas de nascentes no Estado da Paraíba-Brasil: rumo à sustentabilidade?, **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 10, nº 02, pp. 428-440, 2017.
- NUSDEO, A. M. **Pagamento por serviços ambientais**, São Paulo: Atlas, 2012.
- NUSDEO, A. M. Pagamento por Serviços Ambientais: do debate de política ambiental à implementação jurídica. In: LAVRATTI, Paula; TEJEIRO, Guillermo (Orgs.). **Direito e Mudanças Climáticas: Pagamento por Serviços Ambientais**, fundamentos e principais aspectos jurídicos. São Paulo: Instituto o Direito por um Planeta Verde, 2013.
- OBERMEIER, W. A.; LEHNERT, L.W.; POHL, M. J.; LUTERBACHER, J.; BENDIX, J. Grassland ecosystem services in a changing environment: the potential of hyperspectral monitoring, **Remote Sensing of Environment**, 232, 111273, 2019.
- OGILVIE, A.; BELAUD, G.; DELENNE, C.; FERRY, L.; MARTIN, D. Decadal monitoring of the Niger Inner Delta flood dynamics using MODIS optical data, **Journal of Hydrology**, vol. 523, pp. 368-383, 2015.
- OLANIRAN, E.I.; SOGBANMU, T.O.; SALIU, J.K. Biomonitoring, physico-chemical, and biomarker evaluations of abattoir effluent discharges into the Ogun River from Kara Market, Ogun State, Nigeria, using *Clarias gariepinus*, **Environ Monit Assess** 191, 44, 2019.
- OLIVEIRA, A. M; COSTA, D. F. S.; SILVA, E. E. S.; ARAÚJO, W. S. Análise dos serviços ecossistêmicos em reservatórios da Região Nordeste Semiárida do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2., pp. 1447-1458, 2016.
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE. Governança dos Recursos Hídricos no Brasil, **Publishing Paris**, 2015. Disponível em: <https://www.oecd.org/fr/gov/governanca-dos-recursos-hidricos-no-brasil-9789264238169-pt.htm>.
- PADHY, S. R.; BRATTACHARYYA, P.; DASH. P. K.; CHAKKBORTY, A.; PATHAR, H.

Seasonal fluctuation in three mode of greenhouse gases emission in relation to soil labite carbon pools in degraded mangrove, Sundarban, India, **Science of the Total Environment**, 705, 135909, 2020.

PÁDUA, V. L de (coord). **Proteção sanitária das cisternas utilizadas na preservação de águas pluviais para uso**, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: UNASA, Domiciliar: Aspectos Técnicos e Educacionais. 5º Caderno de Pesquisa em Engenharia de Saúde Pública, 2013.

PAGIOLA, S.; LANDELL-MILLS, N.; BISHOP, J. Mecanismos baseados no mercado para a conservação florestal e o desenvolvimento. In: PAGIOLA, Stefano; LANDELL-MILLS, Natasha; BISHOP, Joshua (Orgs.). **Mercados para Serviços Ecossistêmicos: instrumentos econômicos para a conservação e o desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Instituto Rede Brasileira Agroflorestal – REBRAAF, 2005.

PAHL-WOSTL., C, The role of governance modes and meta-governance in the transformation towards sustainable water governance, **Environmental Science and Policy**, v.91, January 2019, Pages 6-16. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901118301527>. Acesso em: 02.05.2022.

PARK, H., HIGGS, E. A criteria and indicators monitoring framework for food forestry embedded in the principles of ecological restoration, **Environ Monit Assess** 190, 113, 2018.

PAZ, Y. M.; GALVINCIO, J. D.; SHIRINIVASAN, R.; MONTENEGRO, S. G.; JONES. C. A. **SUPER – guia do usuário**, disponível em <https://super.swat.tamu.edu>. Acessado em 2023.

PLATAFORMA AGENDA 2030. 2019. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/sobre/>. Acessado em: 29.09.2019.

PERH-PE. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco**. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco Recife – PE. 1998.

PEREIRA, P. Ecosystem services in a changing environment, **Science of the Total Environment**, 702, 135008, 2020.

PERNAMBUCO, Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Capibaribe: Tomo III**. . Projetec – BRLi, Recife, 2010. Disponível em: <<http://www.sirh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/files/capibaribe/TOMO%20V-%20Mapas.pdf>>. Capturado em: 01/06/2022.

PERNAMBUCO. **Lei Estadual nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências, Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/legislacao/lei_das_aguas_n_12984_de_30_de_dezembro_de_2005.pdf>. Acesso em: 01/06/2022.

PERNAMBUCO, Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos, SERH, Projeto de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco – PSHPE, Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade.

Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH, **Produto 1 – Diagnóstico da Bacia do Rio Capibaribe – PE**, 2019.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. **Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do rio Capibaribe (PHA - Capibaribe)**, Recife, 2010.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos e Saneamento**. Coordenação técnica Amaury Xavier de Carvalho. Recife: A Secretaria, 2008.

PERNAMBUCO. **Lei Estadual nº 14.028, de 26 de março de 2010**. Cria a Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, e dá outras providências. Disponível: <http://www.apac.pe.gov.br/legislacao/lei_14028_2010.pdf>.

PERNAMBUCO. Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC. **Decreto nº 38.752, de 22 de outubro de 2012**. Estabelece procedimentos administrativos de fiscalização do uso de recursos hídricos no Estado de Pernambuco, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/legislacao/decreto_n_38752_de_22_de_outubro_de_2012.pdf>. Acesso em: 01/06/2022.

PERNAMBUCO, Secretaria do Meio Ambiente, SEMAS, 2022. Disponível em <https://www.lai.pe.gov.br/semas/>

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, **Plano de aproveitamento dos recursos hídricos da região metropolitana do recife, zona da mata e agreste pernambucano**, 2004.

PEROVIĆ, V.; JAKŠIĆ, D.; JARAMAZ, D. *et al.* Spatio-temporal analysis of land use/land cover change and its effects on soil erosion (Case study in the Oplenac wine-producing area, Serbia), **Environmental Monitoring Assessment**, 190, 675, 2018..

PINHEIRO, N.V; BARBOSA, J.M.; LIMEIRA, M.C.M.; FILGUEIRA, H.J.A.; PEDROSA FILHO L. A. Estudo comparativo de métodos de pagamento de serviços ecossistêmicos e proposta para a restauração de nascentes do rio Gramame no Estado da Paraíba. *In: Anais do X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Fortaleza, Ceará, CD-ROM, 20 p., 2010.

PRINCE, S. D. Challenges for remote sensing of the Sustainable Development Goal SDG 15.3.1 productivity indicator, **Remote Sensing of Environment**, 234,111428, 2019.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE, **PNUMA**. Disponível em <https://www.unep.org/pt-br/sobre-onu-meio-ambiente>. Acesso em: 28. Junho. 2022.

PORRAS, I. et al. All that glitters: a review of payments for watershed services in developing countries, **Natural Resource Issues**, London, International Institute for Environment and Development (IIED), v. 11, 2008.

PORTO, M.; TUCCI, C. E.M. Planos de recursos hídricos e as avaliações ambientais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. REGA, vol. 6, nº. 2, pp. 19-32, jul./dez. 2009.

RADCLIFFE, D.E.; REID, D.K.; BLOMBÄCK, K.; BOLSTER, C.H.; COLLICK, A.S.; EASTON, Z.M.; FRANCESCONI, W.; FUKA, D.R.; JOHNSON, H.; KING, K.; LARSSON, M.; YOUSSEF, M.A.; MULKEY, A.S.; NELSON, N.O.; PERSSON, K.; RAMIREZ-AVILA, J.J.; SCHMIEDER, F.; SMITH, D.R. Applicability of models to predict phosphorus losses in drained fields: a review, **J. Env. Qual**, 44 (2), 614- 628, 2015.

RAITIF, J.; PLANTEGENEST, M.; AGATOR, O.; PISCART, C.; ROUSSEL, J.-M. Seasonal and spatial variations of stream insect emergence in an intensive agricultural landscape, **Science of the Total Environment**, 644, pp. 594-601, 2018.

RAMACHANDRAN, R.M.; ROY, P.S.; CHAKRAVARTHI, V. *et al.* Land use and climate change impacts on distribution of plant species of conservation value in Eastern Ghats, India: a simulation study, **Environ Monit Assess** **192**, 86, 2020.

RAMASAMY, E.V.; JAYASOORYAN, K.K.; CHANDRAN, M.S.S. *et al.* Total and methyl mercury in the water, sediment, and fishes of Vembanad, a tropical backwater system in India, **Environ Monit Assess** **189**, 130, 2017.

RAMOS, N.P.; LUCHIARI JUNIOR, A. Monitoramento ambiental, Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 28.jul.2020.

RAPINEL, S.; HUBERT-MOY, L.; CLEMENT, B.; MALTBY, E. Mapping wetland functions using Earth observation data and multi-criteria analysis. **Environmental Monitoring Assessment** **188**, 641, 2016.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica, Disponível em: www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais. Acesso em: 20. maio. 202.

REY, F.; BIFULCO, C.; BISCHETTI, G.B.; (...); TARDIO, G.; STOKES, A. Soil and water bioengineering: Practice and research needs for reconciling natural hazard control and ecological restoration, **Science of the Total Environment**, 648, pp. 1210-1218, 2019.

RIEMANN, R.; LIKNES, G.; O'NEIL-DUNNE, J. *et al.* Comparative assessment of methods for estimating tree canopy cover across a rural-to-urban gradient in the mid-Atlantic region of the USA. **Environ Monit Assess** **188**, 297, 2016.

RILEY, W.D.; POTTER, E.C.E.; BIGGS, J.; (...); NEWMAN, J.R.; SIRIWARDENA, G.M. Small Water Bodies in Great Britain and Ireland: Ecosystem function, human-generated degradation, and options for restorative action, **Science of the Total Environment**, 645, pp. 1598-1616, 2018.

ROCES-DÍAZ, J.V.; VAYREDA, J.; BANQUÉ-CASANOVAS, M.; (...); HERRANDO, S.; MARTÍNEZ-VILALTA, J. The spatial level of analysis affects the patterns of forest ecosystem services supply and their relationships, **Science of the Total Environment**, 626, pp. 1270-1283, 2018.

ROSENAU, J.; CZEMPIEL, E. (Org.). **Governança sem governo. Ordem e transformação na política mundial**, Brasília: Editora UnB, 2000.

ROSENBERG, R.. **Mecanismos Voluntários de Pagamento por Diversos Ambientais: porque não ocorrem no Brasil? Um estudo focado em empresas de geração hidrelétrica e de abastecimento público de água**.. Brasília, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, Departamento de Economia, 2012.

ROTZER, T.; RAHMAN, M. A.; MOSER-REISCHL, A.; PAULEIT, S.; PRETZSCH, H. Process based simulation of three growth and ecosystem services of urban trees under present and future climate conditions, **Science of the Total Environment**, 676, pp. 651-664, 2019.

SAAH, D.; JOHNSON, G.; ASHMALL, B.; CLINTON, N.; CHISHTIE, F. Collect Earth: an online tool for systematic reference data collection in land cover and use applications, **Environmental Modeling and Software**, 118, pp. 166-171, 2019.

SALGUEIRO, J.H.P.B.; PINTO, E.J.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, B.B.S. Tendência de índices pluviométricos na bacia do rio Capibaribe - PE e sua influência na gestão dos recursos Hídricos, **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol.07, nº 05, Número Especial-VIWMCRHPE, pp. 1002-1014, 2014.

SALGUEIRO, J, H, P, B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, F. B.; FRANÇA, M. S. **Estudo da Distribuição Espacial da Precipitação e seus Tipos de Ocorrências na Bacia do Rio Capibaribe em Pernambuco**. In IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRH, Salvador – BA, 2008.

SALZMAN, J. Creating Markets for Ecosystem Services: Notes from the Field. N.Y.U. **Law Review**, vol. 80, pp. 870-961, jun. 2005.

SANTOS, M.; FILHO, D.; GOMES, C.; OLIVEIRA BARACHO, R.. Levantamento de Serviços Ambientais do Parque Ambiental Macambira em Goiânia - GO, Brasil.. In: Anais do XVII Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e V Fórum Latino-Americano de Engenharia e Sustentabilidade, João Pessoa: Editora da UFPB, 2019.

SANTOS. N.M.; SILVA FILHO, C. R.; GUEDES, J. C. F.; COSTA, D .F. S. Identificação dos serviços ecossistêmicos de provisão prestados pela caatinga na microrregião do Seridó ocidental, Rio Grande do Norte, Brasil, **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, v. 21, n. 2, Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, p. 477-490, Universidade Estadual Vale do Acaraú,, Set. 2019.

SAHANI, S.; RAGHAVASWAMY, V. Analyzing urban landscape with City Biodiversity Index for sustainable urban growth, **Environ Monit Assess** 190, 471, 2018.

SANDRONI, P. (Org.). **Novíssimo Dicionário de Economia**, São Paulo: Best Seller, 1999, p. 153.

SCOPUS. **Base de dados**. Disponível em: <https://www.scopus.com/>. Acesso em: 04. Jun. 2020.

SEDDON, A.; MACIAS - FAURIA, M.; LONG, P. *et al.* Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability, **Nature**, 531, 229–232, 2016..

SERRAN, J. N.; CREED, I. F. New mapping techniques to estimate the preferential loss of small wetland on prairie landscape, *Hydrological Process*, 30, vol. 3, pp. 396-409, 2016.

SILVA, A. P.; SILVA, C.M. **Planejamento ambiental para bacias hidrográficas: convergências e desafios na bacia do Rio Capibaribe, em Pernambuco-Brasil**, HOLOS, 2014.

SILVA, C.E.M.; NETOZ, C. C.C; NOGUEIRA, J.M; BRAGA, R.A.P. Pagamento por Serviços Ambientais em Assentamentos Rurais: lições da Zona da Mata de Pernambuco, Brasil, **Revista de Economia**, Anápolis-GO, vol. 13, nº 02, pp. 293-316, Jul/Dez. 2016, [<http://www.revista.ueg.br/index.php/economia/about/index>].

SILVA, T.C.; SILANS, A.M.B.P.; PEDROSA FILHO, L.A.; PAIVA, A.E.B., BILLIB, M.; BOOCHS, P. Planejamentos dos recursos hídricos na bacia do rio Gramame, uma bacia litorrânea do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** vol 7 , pp. 121-134, 2002.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 579–589, 2017.

SILVA, R. N.; GOMES, D. D. M.; LIMA, C. E. S.; GOLDFARB, M. C. Uso do Índice RDE para Deteminação de Anomalias de Drenagem no Rio Capibaribe (PE). **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, p. 552-565, 2016, <https://doi.org/10.5902/2236117019951>

SIMON, H. A. **Comportamento administrativo**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1970.

SOLOMON, N.; SEGNON, A. C.; BIRHANE, E. Ecosystem service values changes in response to land-use/land-cover dynamics in dry afro-montane forest in northern ethiopia, **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 16,4653, 2019.

STANTON, M. O papel do Direito na Proteção dos Serviços Ecossistêmicos. p. 14. In: LAVRATTI, Paula et al (Org). **Direito e Mudanças Climáticas: Pagamento por Serviços Ambientais, fundamentos e principais aspectos jurídicos**. São Paulo: Instituto o Direito por um Planeta Verde, 2013.

STILING, P. D. **Ecology: theories and applications**, 3ª Ed. EUA: Prentice-Hall, 1999.

SUN TZU, **A arte da guerra**, São Paulo: Jardim dos Livros, 2007.

SUN, X.; ZHANG, Y.; SHEN, Y. *et al.* Exploring ecosystem services and scenario simulation in the headwaters of Qiantang River watershed of China, **Environ Sci Pollut Res** 26, 34905–34923, 2019.

SYRBE, R. U.; SCHORCHT, M.; GRUNEWALD, K.; MEINEL, G. Indications for a nationwide monitoring of ecosystem services in Germany exemplified by the mitigation of soil erosion by water, **Ecological Indicators**, 94, pp. 46-54, 2018.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance, *Climatology – Drexel Institute of Technology*, vol.8, n°.1, pp.1-86, 1955.

TOLEDO, M. C. M. et al. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, Wilson et al. org. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 568, pp. 140-166, 2000.

TRIPATHI, R.; MOHARANA, K.C.; NAYAK, A.D. *et al.* Ecosystem services in different agro-climatic zones in eastern India: impact of land use and land cover change, **Environmental Monitoring Assessment** 191, 98, 2019.

VIEIRA, T.A.; PANAGOPOULOS, T. Urban forestry in Brazilian Amazonia, **Sustainability (Switzerland)**, 2020.

VEIGA, F. Implantação de Programas PSA, Estudo de caso PSA-água no Brasil. **The Nature Conservancy**. Slides apresentados na Rede de Gestores da Mata Atlântica da Paraíba. Disponível em: <<http://www.amane.org.br>> Acesso em: 19 set. 2010.

VIGERSTOL, K.L.; AUKEMA, J.E. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services, **J. Environ. Manage**, 92,2403–2409, 2011.

WANG, M.; SUN, X. Potential impact of land use change on ecosystem services in China, **Environ Monit Assess** 188, 248, 2016.

WEBB, N. P.; KACHERGIS, E.; MILLER, S. W.; VANZEE, J. W.; ZWICKE, G. Indicators and benchmarks for wind erosion monitoring, assessment and management, **Ecological Indicators**, 110, 105881, 2020.

WUNDER S. Payments for environmental services: Some nuts and bolts. **CIFOR**, Occasional Paper. n° 42, 24 p. 2005.

WUNDER, S. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation, **Conservation Biology**, vol. 21, pp. 48-58, 2007.

WUNDER. S.; ENGEL, S.; PAGIOLA, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues, **Ecological Economics**, v .65, p. 667, 2008.

XIAO, Y.; XIAO, Q. Identifying key areas of ecosystem services potential to improve ecological management in Chongqing City, southwest China, **Environ Monit Assess** 190, 258, 2018.

XIAO, Y.; XIAO, Q.; OUYANG, Z. *et al.* Assessing changes in water flow regulation in Chongqing region, China, **Environ Monit Assess** 187, 362, 2015.

YOU, S.; KIM, M. LEE, J.; CHON, J. Coastal landscape planning for improving the value of ecosystem services in coastal areas: using system dynamics model, **Environmetal Pollution**, 242, pp. 2040-2050, 2018.

YOUNG, C. E. F. **Estudos e produção de subsídios técnicos para a construção de uma Política Nacional de Pagamento por Serviços**. Relatório Final. Instituto de Economia, UFRJ, Rio de Janeiro, p. 93. 2016.

YOUNG, C. E. F.; BAKKER, L. B. . Payments for ecosystem services from watershed protection: A methodological assessment of the Oasis Project in Brazil, **Journal of Nature Conservation**, Elsevier, vol. 12, nº 1, p. 71-78, 2014.

ZARANDIAN, A.; BADAMFIROUZ, J.; MUSAZADEH, R. *et al.* Scenario modeling for spatial-tempora change detection of carbon storage and sequestration in a forested landscape in Northern Iran, **Environ Monit Assess** 190, 474, 2018.

ZAGONARI, F. Using ecosystem services in decision-making to support sustainable development: critiques model development, a case study and perspectives, **Science of the Total Environment**, 548, pp. 25-38, 2016.

ZEITOUN, M.; WARNER, J. Hydro-hegemony-a framework for analysis of transboundary water conflicts, **Water Policy** 8 (5), pp. 435–460, 2006.

ZERFASS H.; ANJOS-ZERFASS G.S. A sedimentação em uma abordagem sistêmica. **Terra Didática**, vol. 2, n. 12, pp. 126-149, 2016.

ZHANG, L.; DU, C.; DU, Y. *et al.* Kinetic and isotherms studies of phosphorus adsorption onto natural riparian wetland sediments: linear and non-linear methods, **Environ Monit Assess** 187, 381, 2015.

ZHENG, H.; WANG, L.; WU, T. Coordinating ecosystem service trade-offs to achieve win-win outcomes: a review of the approaches, **Journal of Environmental Science (China)**, 82, pp. 103-112. 2019.

SUN TZU, **A arte da guerra**, tradução: Cultura Brasil, 1ª Edição. p. 58, 2010.

ANEXO A - DISTRIBUIÇÃO DOS MUNICÍPIOS POR REGIÃO DE DESENVOLVIMENTO

Região de Desenvolvimento	Município	Bacia Hidrográfica	Área (km²)	% da área na bacia
Agreste Central RD 08	Belo Jardim	Ipojuca/ Capibaribe	645	63,5%
	Bezerros	Ipojuca/ Capibaribe	487	45,3%
	Brejo da Madre de Deus	Capibaribe	759	100%
	Caruaru	Ipojuca/ Capibaribe	933	57%
	Gravatá	Ipojuca/ Capibaribe	510	47%
	Jataúba	Capibaribe	715	100%
	Pesqueira	Ipojuca/ Capibaribe	4	0,4%
	Poção	Ipojuca/ Capibaribe	201	8,5%
	Riacho das Almas	Ipojuca/ Capibaribe	315	97,4%
	Sanharó	Ipojuca/ Capibaribe	253	2,35%
	São Caetano	Ipojuca/ Capibaribe	378	3,44%
	Tacaimbó	Ipojuca/ Capibaribe	230	11,3%
	Bom Jardim	Capibaribe	220	24,5%
	Casinhas	Capibaribe	118	89,00%
	Cumaru	Capibaribe	298	100%
	Feira Nova	Capibaribe	106	100%

Agreste Setentrional RD 09	Frei Miguelinho	Capibaribe	219	100%
	João Alfredo Capibaribe	Capibaribe	137	39,4%
	Limoeiro	Capibaribe	268	51,5%
	Passira	Capibaribe	341	100%
	Salgadinho	Capibaribe	85	100%
	Santa Cruz do Capibaribe	Capibaribe	340	100%
	Santa Maria do Cambucá	Capibaribe	88	100%
	Surubim	Capibaribe	257	100%
	Taquaritinga do Norte	Capibaribe	470	94,5%
	Toritama	Capibaribe	30	100%
Vertente do Lério	Capibaribe	72	97,2%	
Mata Norte RD 11	Carpina	Capibaribe	144	23,6%
	Chã de Alegria	Capibaribe	49	100%
	Glória do Goitá	Capibaribe	232	100%
	Lagoa do Carro	Capibaribe	71	55%
	Lagoa do Itaenga	Capibaribe	57	100%
	Paudalho	Capibaribe	275	96,7%
	Tracunhaém	Capibaribe	118	9,3%
Mata Sul RD 10	Chã Grande	Ipojuca/ Capibaribe	75	17,3%
	Pombos	Ipojuca/ Capibaribe	75	17,3%

	Vitória de Santo Antão	Ipojuca/ Capibaribe	339	59,36%
Metropolitana RD 12	Camaragibe	Capibaribe	52	67,3%
	Moreno	Capibaribe	192	7,8%
	Recife	Capibaribe	217	31,8%
	São Lourenço da Mata	Capibaribe	265	79,2%

Fonte; adaptado de Pernambuco (2010)

ANEXO B – ÁREA DE OCUPAÇÃO DOS MUNICÍPIOS NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE

Município	Área de Ocupação %	Município	Área de Ocupação %	Município	Área de Ocupação %
Belo Jardim	5,5	Gravata	3,22	Salgadinho	1,12
Bezerros	2,97	Jataúba	9,57	Sanharó	0,08
Bom Jardim	0,73	João Alfredo	0,72	Santa Cruz do Capibaribe	4,55
Brejo da Madre de Deus	10,19	Lagoa do Carro	0,52	Santa Maria do Cambucá	1,18
Camaragibe	0,46	Lagoa do Itaenga	0,76	São Caitano	0,17
Carpina	4,02	Limoeiro	1,85	São Lourenço da Mata	2,82
Caruaru	7,13	Moreno	0,21	Surubim	3,44
Casinhas	1,41	Passira	4,57	Tacaimbó	0,35
Chá de Alegria	0,66	Paudalho	3,57	Taquaritinga do Norte	5,96
Chã Grande	0,18	Pesqueira	0,05	Toritama	0,41
Cumarú	3,99	Poção	0,23	Tracunhaém	0,14
Feira Nova	1,42	Pombos	2,04	Vertene do Lério	0,94
Frei Miguelinho	2,93	Recife	0,92	Vertentes	2,62
Gloria do Goitá	3,11	Riacho das Almas	4,11	Vitoria de Santo Antão	2,71

Fonte: PERNAMBUCO, 2010

**ANEXO C – MUNICÍPIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE E
RESPECTIVA UNIDADE DE ANÁLISE (UA).**

Unidade de Análise Município	Município	Área na UA (km²)
UA1	Belo Jardim	309,79
	Brejo da Madre de Deus - SEDE	672,37
	Caruaru	88,72
	Jataúba - SEDE	713,75
	Pesqueira	4,03
	Poção	17,26
	Sanharó	5,93
	Santa Cruz do Capibaribe - SEDE	339,12
	Taquaritinga do Norte	313,15
Toritama	9,16	
UA2	Belo Jardim	100,44
	Bezerros	62,14
	Brejo da Madre de Deus	87,06
	Caruaru	443,12
	Cumaru	36,85
	Frei Miguelinho – SEDE	218,67
	Riacho das Almas – SEDE	306,67
	Santa Maria do Cambucá	34,01
	São Caetano	12,99
	Surubim	39,70
	Tacaimbó	25,87
	Taquaritinga do Norte – SEDE	130,88
Toritama – SEDE	21,34	
Vertentes – SEDE	195,48	
UA3	Bezerros	158,91
	Bom Jardim	54,17
	Casinhas - SEDE	105,22
	Cumaru - SEDE	260,85
	Feira Nova - SEDE	81,81
	Glória do Goitá	16,43
	Gravatá	218,18
	João Alfredo	53,78
	Lagoa do Carro	4,00
	Lagoa do Itaenga	4,87
	Limoeiro - SEDE	137,82
	Passira - SEDE	335,46
	Pombos	2,48
	Salgadinho - SEDE	83,62
Santa Maria do Cambucá - SEDE	53,77	
Surubim - SEDE	217,07	

	Vertente do Lério - SEDE	70,31
UA4	Camaragibe - SEDE Carpina- SEDE Chã de Alegria - Chã Grande Feira Nova Glória do Goitá - SEDE Gravatá Lagoa do Carro Lagoa do Itaenga - SEDE Limoeiro Moreno Passira Paudalho - SEDE Pombos - SEDE Recife - SEDE São Lourenço da Mata - SEDE Tracunhaém Vitória de Santo Antão - SEDE	34,53 33,80 49,24 13,32 23,70 215,74 21,60 34,59 52,06 0,04 15,45 5,06 266,22 149,83 68,62 210,27 10,53 201,95

Fonte: Pernambuco (2010).