

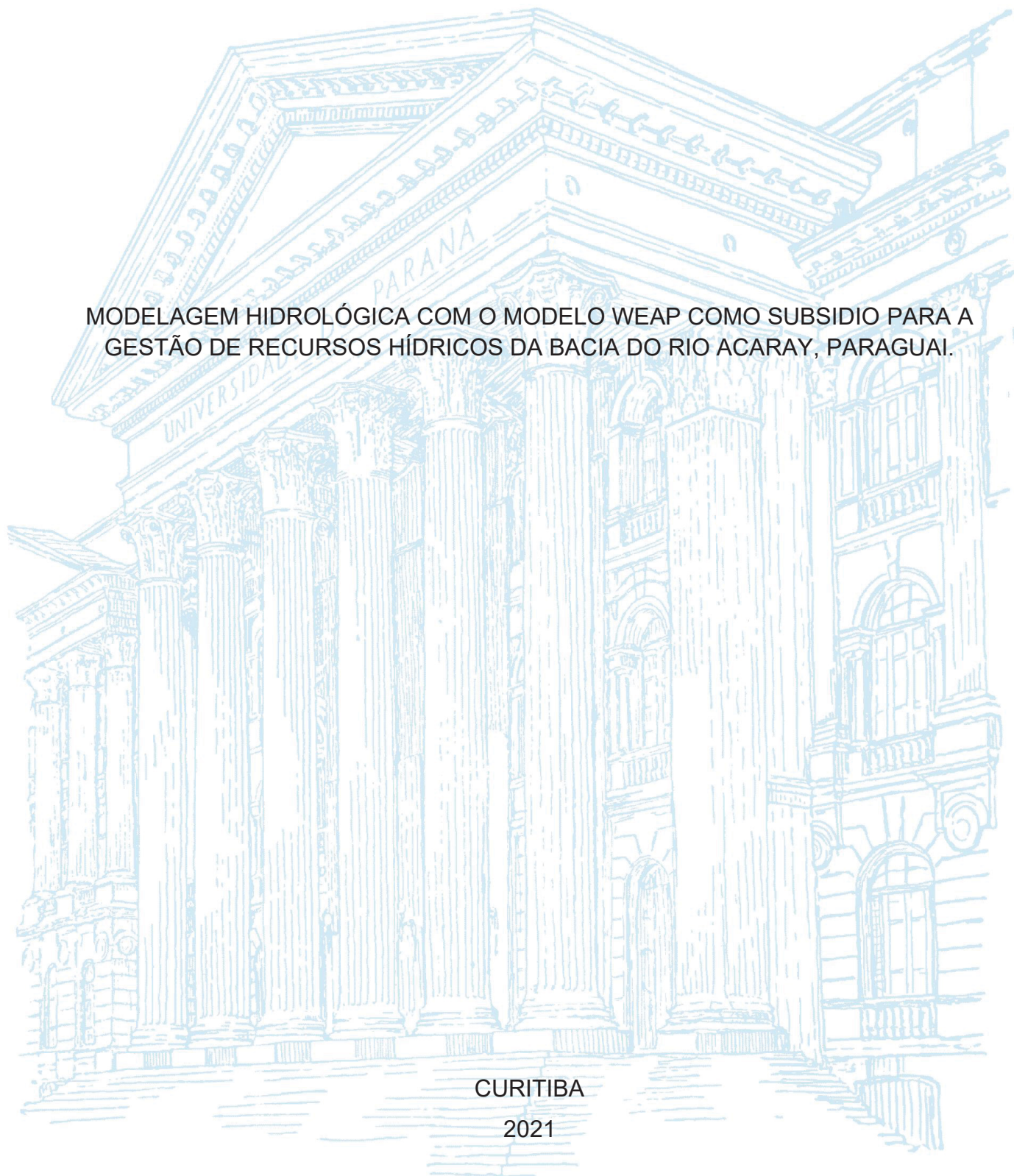
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FATIMA GRACIELA SALINAS ENCISO

MODELAGEM HIDROLÓGICA COM O MODELO WEAP COMO SUBSIDIO PARA A
GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO ACARAY, PARAGUAI.

CURITIBA

2021



FATIMA GRACIELA SALINAS ENCISO

MODELAGEM HIDROLÓGICA COM O MODELO WEAP COMO SUBSIDIO PARA A
GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO ACARAY, PARAGUAI.

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em parceria com a Universidade de Stuttgart e o Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná (SENAI), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gontarski.

Coorientadora: Profa. Dra. Daniela Neuffer.

CURITIBA

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S165m Salinas Enciso, Fatima Graciela
Modelagem hidrológica com o modelo WEAP como subsídio para a
gestão de recursos hídricos da bacia do rio Acaray, Paraguai [recurso
eletrônico] / Fatima Graciela Salinas Enciso – Curitiba, 2021.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gontarski.
Coorientadora: Profa. Dra. Daniela Neuffer

1. Hidrologia – Rio Acaray (Paraguai). 2. Recursos hídricos –
Gestão. I. Universidade Federal do Paraná. II. Gontarski, Carlos. III.
Neuffer, Daniela. IV. Título.

CDD: 551.483892

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE
URBANO E INDUSTRIAL - 40001016057P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **FÁTIMA GRACIELA SALINAS ENCISO** intitulada: **Modelagem Hidrológica com o Modelo WEAP como Subsídio para a Gestão de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Acaray, Paraguai**, sob orientação do Prof. Dr. **CARLOS ALBERTO UBIRAJARA GONTARSKI**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Dezembro de 2019.

CARLOS ALBERTO UBIRAJARA GONTARSKI

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

ARION ZANDONÁ FILHO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

ALEXANDRE KNESEBECK
Avaliador Externo (null)

RESUMO

A gestão integrada de recursos hídricos é um processo sistemático de desenvolvimento sustentável, distribuição equilibrada e controle do uso da água no contexto de objetivos sociais, econômicos e ambientais. O uso de modelos de gestão é muito útil para simular os efeitos de diferentes medidas de gestão. Este trabalho apresenta a aplicação do modelo hidrológico WEAP (Water Evaluation and Planning System) como subsídio para a gestão de recursos hídricos da bacia do rio Acaray do Paraguai, de maneira a facilitar o desenvolvimento de alternativas de gerenciamento de água na bacia com vistas a melhorar o conhecimento dos impactos da variabilidade do clima e mudanças no uso da terra sobre a disponibilidade de recursos hídricos. São descritos os fundamentos teóricos e conceituais da gestão de recursos hídricos e o procedimento metodológico para o desenvolvimento do sistema de modelagem. Como resultado, apresenta-se o inventário e a caracterização dos elementos essenciais que compõem a gestão da bacia do rio Acaray e sua implantação no modelo WEAP.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos. Bacia Acaray. Modelo hidrológico. WEAP (Water Evaluation and Planning System).

ABSTRACT

Integrated water resources management is a systematic process of sustainable development, balanced distribution and control of water use in the context of social, economic and environmental objectives. The use of management models is very useful to simulate the effects of different management measures. This paper presents the application of the hydrological model WEAP (Water Evaluation and Planning System) as a subsidy for the management of water resources in the Acaray Paraguay river basin, in order to facilitate the development of management alternatives for the water in the basin with a view to improving knowledge of the impacts of climate variability and changes in land use on the availability of water resources. The theoretical and conceptual foundations of the management of water resources and the methodological procedure for the development of the modeling system are described. As a result, the inventory and characterization of the essential elements that make up the management of the Acaray river basin and their implementation in the WEAP model are presented.

Keywords: Management of water resources. Acaray Basin. Hydrological model. WEAP (Water Evaluation and Planning System).

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – COMPONENTES PRINCIPAIS DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA.....	13
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DO PARAGUAI E SEUS DEPARTAMENTOS.....	27
FIGURA 3 – PROCEDIMENTOS DENTRO DA METODOLOGIA.....	28
FIGURA 4 – TEMPERATURA MÉDIA MENSAL E TEMPERATURA MÉDIA ANNUAL. PERÍODO 1990-2019.....	33
FIGURA 5 – TEMPERATURAS MENSAIS, MÉDIAS E EXTREMAS. 1990-2019....	34
FIGURA 6 – TEMPERATURA MÉDIA ANUAL E TENDÊNCIA DE TEMPO LINEAR. 1990-2019.....	35
FIGURA 7 – MAPA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL.....	36
FIGURA 8 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL. PERÍODO 1990-2019.....	37
FIGURA 9 – PRECIPITAÇÃO ANUAL E PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL. 1990-2019.....	37
FIGURA 10 – DELIMITAÇÃO DA BACIA ACARAY.....	45
FIGURA 11 – BACIA HIDROGRÁFICA ACARAY.....	46
FIGURA 12 – CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DO SOLO.....	47
FIGURA 13 – CAPACIDADE DE USO DA TERRA.....	49
FIGURA 14 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DE SOLO.....	50
FIGURA 15 – ESQUEMA DO MODELO.....	51
FIGURA 16 – DEMANDA POR ÁGUA MENSAL (MILHÕES DE M ³).....	52
FIGURA 17 – COBERTURA DE DEMANDA MENSAL (%).....	54
FIGURA 18 – EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO POPULACIONAL (PER CAPITA).55	
FIGURA 19 – DEMANDA PARA CONSUMO (MILHÕES M ³). 2021-2030.....	56
FIGURA 20 – DEMANDA PARA CONSUMO (MILHÕES M ³). 2031-2040.....	56
FIGURA 21 – DEMANDA PARA CONSUMO (MILHÕES M ³). 2031-2040.....	57
FIGURA 22 – REQUERIMENTO DA DEMANDA DE ÁGUA COM CRESCIMENTO POPULACIONAL (MILHÕES M ³).....	58
FIGURA 23 – TAXA DE USO DE ÁGUA COM MELHORA NA TECNOLOGIA DE IRRIGAÇÃO (MILHÕES M ³).....	60
FIGURA 24 – USO DE ÁGUA COM MELHORIA NA TECNOLOGIA DE IRRIGAÇÃO (MILHÕES M ³). 2021-2040	61
FIGURA 25 – TAXA ANUAL DE ÁGUA COM REFLORESTAMENTO (MILHÕES M ³).....	63

FIGURA 26 – USO DE ÁGUA COM ÁREAS REFLORESTADAS (MILHÕES M ³). 2021-2040.....	64
FIGURA 27 – COBERTURA PARA CENÁRIO A-B-C (%).2021-2040.....	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DADOS DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....	32
TABELA 2 – DADOS DA BACIA DO RIO ACARAY	38
TABELA 3 – INFORMAÇÃO DA DEMANDA URBANA NA BACIA	39
TABELA 4 – CONSUMO DE ÁGUA PARA A POPULAÇÃO (HM ³). 2012-2020	40
TABELA 5 – SUPERFÍCIE DE CULTURAS (HECTARES). 2012-2020	40
TABELA 6 – SUPERFÍCIE DE CULTURAS CONSIDERADAS (HECTARES). 2019- 2020	41
TABELA 7 – CONSUMO DE ÁGUA NA AGRICULTURA (HM ³). 2012-2020	41
TABELA 8 – PRODUÇÃO BOVINA. 2018-2019	42
TABELA 9 – CONSUMO DE ÁGUA NA PECUÁRIA (HM ³). 2012-2020	42

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS TAMANHOS DAS BACIAS.....	13
QUADRO 2 – PRINCIPAIS LEIS E DECRETOS PARA A GESTÃO E REDUÇÃO DE RISCO	19
QUADRO 3 – INTEGRAÇÃO DA MODELAGEM NO WEAP COM OUTROS MODELOS	24
QUADRO 4 – PARÂMETROS DE ENTRADA DO WEAP	30
QUADRO 5 – CAPACIDADE DE USO: GRUPOS, CLASSES E SUBCLASSES.....	31

LISTA DE SIGLAS

DEM	- Modelo Digital de Elevação
DINAC	- Direção Nacional de Aeronáutica Civil
DIGESA	- Direção Geral de Saúde Ambiental
DGEEE	- Direção Geral de Estatísticas, Pesquisas e Censos
EBY	- Entidade Binacional Yacyretá
ESSAP	- Empresa de Serviços de Saúde do Paraguai
ERSSAN	- Entidade Reguladora de Serviços Sanitários
INFONA	- Instituto Nacional de Florestas
MADES	- Ministério do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
MAG	- Ministério da Agricultura
MOPC	- Ministério das Obras Públicas e Comunicações
OMM	- Organização Meteorológica Mundial
SENACSA	- Serviço Nacional de Qualidade e Saúde Animal
SENASA	- Serviço Nacional de Saneamento Ambiental
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
WEAP	- Water Evaluation and Planning System

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	13
2.2	RECURSOS HÍDRICOS.....	14
2.3	IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS.....	15
2.4	GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS	17
2.5	GOVERNANÇA DA ÁGUA E SEUS DESAFIOS	19
2.6	BALANÇO HÍDRICO	20
2.7	MODELAGEM HIDROLÓGICA	21
2.8	MODELO WATER EVALUATION AND PLANNING (WEAP).....	22
2.9	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	26
3	METODOLOGIA	27
3.1	ÁREA DE ESTUDO	27
3.2	METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	28
3.3	DEFINIÇÃO DO ESTUDO.....	29
3.4	COLETA DE INFORMAÇÕES.....	29
3.5	CONSTRUÇÃO NO MODELO WEAP	29
3.6	PARÂMETROS DOS ASPECTOS FÍSICOS DA BACIA	30
3.7	CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS.....	42
3.8	SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS	44
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	45
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICOS DA BACIA	45
4.2	CENÁRIO ATUAL/REFERÊNCIA.....	51
4.3	CENÁRIOS FUTUROS 2021 – 2040.....	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a conservação da vida, do desenvolvimento dos ciclos biológicos, geológicos e químicos e do meio ambiente. O uso da água para diversas atividades como agricultura, para a sobrevivência dos ecossistemas e do ser humano, tem grande valor social e econômico e coloca em evidência os interesses e os conflitos gerados pela sua abundância ou escassez.

A disponibilidade hídrica está sendo afetada pela crescente demanda de água, principalmente no setor agrícola com as mudanças no uso dos solos e pelo conjunto de fatores meteorológicos devido às mudanças climáticas, que estão contribuindo para uma maior irregularidade na distribuição espacial e temporal deste recurso (LOPES et al., 2017).

Esta situação exige, cada vez mais, em todos os usos da água um planejamento e otimização na gestão dos recursos hídricos, buscando elevar a eficiência do uso da água. No Paraguai, o planejamento da gestão de recursos hídricos é uma necessidade imediata, especialmente para bacias hidrográficas que fazem fronteira com países vizinhos como a bacia do rio Acaray, localizada no leste do país e na fronteira com o Brasil, onde a alocação de recursos hídricos entre as atividades agrícolas, municipais e ambientais requer a integração de todos os aspectos qualitativos, ecológicos, de demanda e oferta da água.

O Sistema de Avaliação e Planejamento Hídrico, conhecido como WEAP (que em inglês significa Water Evaluation And Planning System), tem como finalidade a incorporação de tais questões, por ser uma ferramenta que, apesar de prática, é de fácil compreensão e utilização, permitindo a criação de vários cenários para os tipos de demanda, considerar o crescimento populacional e desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica, fornecendo informações que poderão ajudar os tomadores de decisão no planejamento dos recursos hídricos.

A metodologia para aplicar a modelagem hidrológica do WEAP centrou-se na interface gráfica, com base em ferramentas utilizando SIG (Sistema de Informação Geográfica) com resultados disponibilizados no formato de mapas, figuras e tabelas, que teve como ponto de partida desenhar os rios na área de interesse, inserir as variáveis ao uso da água, tais como oferta, demanda, fluxo, infiltração com diferentes cenários hidrológicos, conferir os dados para que o modelo possa ser processado e, finalmente avaliar os resultados obtidos de maneira a

facilitar ferramenta de apoio para o desenvolvimento de alternativas de manejos dos recursos hídricos da bacia e levar em consideração os múltiplos e competitivos usos da água que se ajustem as condições de exploração, preservação e/ou recuperação dos recursos naturais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Aplicar o modelo hidrológico WEAP como subsidio para o gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do rio Acaray do Paraguai.

1.1.2 Objetivos específicos

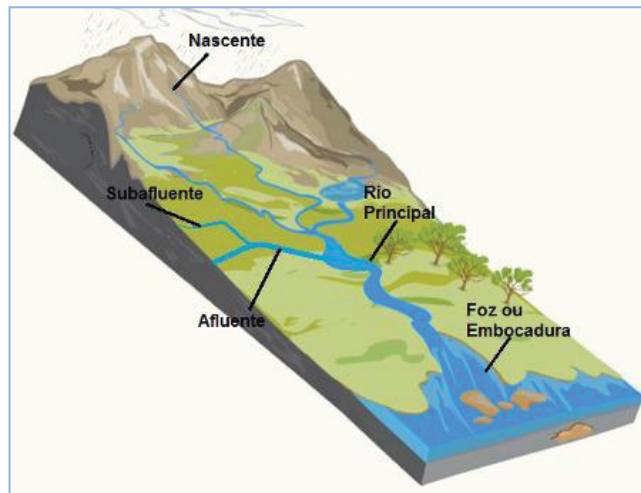
- Avaliar o comportamento do sistema hidrológico através da delimitação de unidades hidrológicas na região.
- Identificar demanda de consumo, déficit de abastecimento de água e nível de cobertura da demanda.
- Analisar cenários que envolvam o aumento ou diminuição das demandas com o crescimento populacional, mudanças tecnológicas e no uso do solo.
- Verificar o desempenho do modelo em termos de processamento de dados e facilidade de uso como um sistema de suporte a decisão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

A bacia hidrográfica pode ser definida como um conjunto de drenagem que converge toda a água precipitada até o seu ponto mais baixo, conhecido como exutório ou foz. Por convenção, o rio principal de uma bacia é a maior linha de fluxo de água que liga uma nascente ao exutório (FIGURA 1). Os drenos secundários que conduzem a água diretamente ao rio principal são denominados seus afluentes e, da mesma forma, os rios que confluem para os afluentes são subafluentes do rio principal. Essa interação é denominada rede de drenagem, composta do rio principal e seus afluentes e que distribuem a água por toda a bacia (SCHIAVO et al. 2012).

FIGURA 1 - COMPONENTES PRINCIPAIS DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA



FONTE: SCHIAVO et al. 2012.

As bacias hidrográficas são unidades hidrológicas de dimensões variadas, a delimitação dessas unidades espaciais é uma ferramenta importante para avaliar o funcionamento do sistema hidrológico de uma região. O tamanho da área é um parâmetro que tem uma relação direta com a taxa de descarga. Utiliza-se a classificação de Camino et al. (2018), com base no tamanho da bacia (QUADRO 1).

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS TAMANHOS DAS BACIAS

Unidade hidrográfica	km ²	há
Micro-bacia	Menor a 50	≤ 50.000
Sub-bacia	50 – 500	50.000 – 50.000
Bacia	Maior a 500	≥ 50.000

FONTE: CAMINO et al. (2018).

As unidades hidrológicas se organizam em função das relações entre a estrutura geológica-geomorfológica e as condições climáticas, pois há uma interdependência desses fatores dentro do sistema (GUIMARÃES, 2014).

As condições climáticas exercem uma função primordial na bacia, através das chuvas, há o abastecimento dos mananciais e a alteração do nível da água na superfície e subterrânea. Os aspectos geológicos vão atuar nas estruturas impermeáveis do embasamento cristalino, a erosão linear é um dos principais condicionantes de dissecação do relevo, devido à impermeabilidade das rochas, impedindo a infiltração, formando uma feição de serra, caracterizando um relevo acidentado e proporcionando o escoamento superficial da água, tendendo ao aumento das ramificações na rede de drenagem (SOUZA et al. 2012).

A vegetação também tem um papel fundamental no balanço de água, a parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação; quanto maior for a superfície de folhagem, maior a área de retenção da água durante a precipitação. Quando esse volume é totalmente evaporado, as plantas através das suas raízes passam a perder umidade para o ambiente através da transpiração (BRUIJNZEEL, 2010).

2.2 RECURSOS HÍDRICOS

Os recursos hídricos são as águas superficiais ou subterrâneas disponíveis para qualquer tipo de uso em uma determinada região ou bacia. A superfície da terra é coberta com 70% de água, de 100% da água disponível no planeta Terra, apenas 2,5% está disponível para consumo humano, mas somente 31% de 2,5% podem ser encontrados em corpos águas superficiais e subterrâneas, os restantes 69% estão nas geleiras (SOUZA et. al. 2012).

Os recursos hídricos incluem água em todas as etapas do ciclo hidrológico e toda a biodiversidade que ela suporta. Do ponto de vista do ecossistema, é possível definir as relações entre os componentes que compõem um ecossistema e os serviços ambientais por eles fornecidos. A qualidade da água pode ser entendida, como resultado das condições naturais da bacia e das atividades antrópicas que se desenvolvem em seu ambiente (GARCÉS, 2011).

Devido a isto, a água é um fator determinante no desenvolvimento da vida em todas as suas formas, cumpre a função básica de manter a integridade do ambiente natural, assim como o desenvolvimento econômico e social. Exerceram

uma pressão recorrente sobre a correta distribuição, através do crescimento populacional, atividades econômicas e intensa competição entre os usuários, causando vários problemas de acessibilidade à água (WWAP, 2019).

Por outro lado, também devemos considerar a falta de acessibilidade à água potável por certos setores marginalizados da população mundial, seja por causa de sua localização geográfica ou seu declínio econômico e social, levando as pessoas a explorar excessivamente o solo e recursos florestais e ter consequentes impactos nocivos. Essas ações significou que avaliação, planejamento e distribuição de água torna-se um desafio para certas nações que lutam diariamente para resolver este problema (ONU-DAES, 2014).

2.3 IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

2.3.1 Urbanização

O crescimento populacional e as atividades econômicas impõem um aumento do desmatamento, o que implica na perda das florestas consideradas coletoras de água atmosférica, seja de chuva, neve, granizo, etc. Como resultado, menos água vai para o solo e os rios superficiais e subterrâneos diminuem suas reservas de água. Neste caso, a necessidade de água provoca conflitos pelo uso e modificação das bacias (RODRÍGUEZ, 2019).

A poluição é outro fator que contribui diretamente para o aumento da escassez hídrica, já que reduz a qualidade e, conseqüentemente, a quantidade de água disponível para outros usos preponderantes. Nesse sentido, os sinais de degradação estão cada vez mais claros e ameaçam a segurança hídrica das bacias hidrográficas, ficando evidente a necessidade de mudar essas tendências socioeconômicas que beiram a exaustão (MEDEIROS e SILVA, 2016).

Para Azevedo et al. (2017), o crescimento da população e a expansão urbana, são processos naturais sobre os quais não se têm completo controle. Os impactos sobre as águas, em geral, ficam atrelados ao forte adensamento urbano, além das questões climáticas e às práticas inconseqüentes da população, como o despejo de esgoto, sem tratamento nos rios; os depósitos de resíduos sólidos, que contaminam as águas superficiais e subterrâneas; a ocupação do solo urbano sem controle do impacto sobre o sistema hídrico.

Entretanto, o planejamento é imprescindível para a garantia da qualidade de vida da população. A ocupação do solo urbano sem planejamento tem como consequência, dentre outros impactos ambientais negativos: a sobrecarga no sistema de drenagem urbana por meio do aumento da impermeabilização do solo e da diminuição da infiltração; a perda da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, diminuindo a infiltração da água no solo e aumentando a sua quantidade e a sua velocidade de escoamento; a escassez e a diminuição da qualidade dos recursos hídricos; o acúmulo de resíduos sólidos nos elementos do sistema de drenagem, obstruindo-os e, com isso, ocasionando seus transbordamentos em períodos de chuva; e o aumento da densidade urbana em determinadas zonas (AZEVEDO et al. 2017).

2.3.2 Alteração do uso do solo

Para Alves et al., (2016) o impacto na degradação dos solos causa prejuízos financeiros e ambientais no sentido de tornar as áreas incapazes de sustentar a vida vegetal, colocando em risco a segurança alimentar e a capacidade de sustentar o bioma natural, pois reduz drasticamente as áreas agricultáveis e a sua capacidade de regeneração natural. Em consequência, aumentam os custos com a produção agrícola, potencializando o uso de insumos agrícolas que colocam em risco a saúde humana e o equilíbrio de ecossistemas, além do aumento dos preços dos alimentos.

O mesmo autor também menciona que as mudanças no uso da terra podem resultar em inúmeras consequências como: erosões, alteração da forma das vertentes e taludes, assoreamento dos cursos d'água, mudança do nível de base dos cursos d'água, diminuição da qualidade da água, alteração do ritmo e da vazão do curso d'água, dentre outras. Os problemas advindos desta intervenção podem ser maiores se houver demanda de água para atividades econômicas ou abastecimento de assentamentos humanos.

Um exemplo de como os ecossistemas vem sendo degradados pode ser observado nas atividades de agricultura e pecuária, onde a produção tem causado a redução das áreas de vegetação nativa, sobretudo nas margens dos rios, desenvolvendo processos erosivos. Para solos com superfície desprotegida que sofre a ação de compactação, a capacidade de infiltração pode diminuir, resultando maior escoamento superficial, menor umidade das camadas profundas do solo e

menor volume evaporado, já que a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo. Com a redução da infiltração, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação, reduzindo o escoamento subterrâneo (ALVES et al. 2016).

O desmatamento é uma das intervenções humanas mais prejudiciais à sustentabilidade ambiental, podendo culminar em desequilíbrio físico, químico e ecológico. A vegetação possui papel fundamental na manutenção do microclima, principalmente no processo hidrológico da bacia hidrográfica. As principais consequências do desmatamento são a perda de biodiversidade, a degradação do solo, mudanças climáticas e na hidrografia (MAGALHÃES et al. 2015).

2.3.3 Impacto da modificação climática

Nascimento e Collischonn (2013) destacam que na bacia hidrográfica a abordagem para estimar impactos de mudanças climáticas é avaliar como as anomalias de precipitação e de temperatura, ou seja, o aumento/diminuição destas variáveis, devido a variações de clima, pode afetar o regime de vazão dos rios, uma vez que a precipitação está diretamente relacionada ao escoamento de uma bacia hidrográfica e a temperatura relaciona-se à evapotranspiração e ao balanço hídrico.

As mudanças climáticas podem gerar significativos impactos sobre o regime hidrológico e diversos prejuízos como aumento de cheias, secas, erosão, deterioração dos ecossistemas, degradação da qualidade e disponibilidade hídrica (rios, lagos, reservatórios), dificuldade de acesso à população, limitação do progresso econômico, falhas no abastecimento urbano e na geração de energia, aumentando os problemas de estresse e escassez, que comprometem a segurança alimentar. Essas mudanças são principalmente decorrentes das atividades humanas como desflorestamento, urbanização intensiva e aumento da exploração dos recursos hídricos (CANAVEIRA e PAPUDO, 2013).

2.4 GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS

Gestão de recursos hídricos pode ser definida como a utilização e administração racional, democrática e participativa das águas. A gestão integrada da água, segundo a Associação Mundial para a Água (Global Water Partnership), é um

processo que promove a gestão e o aproveitamento coordenado da água, da terra e dos recursos relacionados, com a finalidade de maximizar o bem-estar social e econômico equitativamente, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas (GELER et al. 2016).

O planejamento ambiental integrado de bacias hidrográficas deve estar associado ao ordenamento territorial que, segundo Rodriguez e Silva (2013) são mais do que o planejamento econômico regional, mais que o planejamento do desenvolvimento urbano e do planejamento ambiental, é a única política pública com enfoque integral.

As razões para a escolha da bacia como espaço de gerenciamento e planejamento são diversas. A principal é que as características físicas da água geram um grau extremamente alto de inter-relação e interdependência entre os usos e usuários da água em uma bacia. As águas superficiais e subterrâneas, especialmente rios, lagos, fontes subterrâneas, bacias hidrográficas, áreas de recarga, locais de extração de água, obras hidráulicas e pontos de evacuação de águas residuais, formam um sistema interconectado (GARCÉS, 2011).

Nesse contexto, o gerenciamento da demanda é um exemplo de metodologia de adaptação, que poderia permitir o uso múltiplo em reservatórios que sofrem com constantes épocas de escassez, por meio de medidas que almejem à eficiência, aproveitando todos os recursos disponíveis e, assim, podendo garantir o uso às gerações futuras (CANAVEIRA e PAPUDO, 2013).

A participação dos atores sociais no gerenciamento dos recursos hídricos é a etapa inicial para que a sociedade passe a integrar o processo decisório, o qual visa à adequada utilização desses recursos. É fundamental que os usuários tenham conhecimento, suas potencialidades e fragilidades, compreendendo, assim, os mecanismos de regulação dos recursos naturais (SOUZA et. al., 2012).

A gestão integrada de bacias tem como fim, então, favorecer o desenvolvimento sustentável desde o momento em que concilia o aproveitamento dos recursos naturais da bacia e permite manejar os recursos com o objetivo de evitar conflitos e problemas ambientais. Assim, a equidade pode ser atingida mediante o processo de decisão com participação dos diferentes agentes de decisão, ou seja, pela representação da sociedade nos Comitês de Bacias Hidrográficas (RAUBER e CABRAL, 2013).

2.5 GOVERNANÇA DA ÁGUA E SEUS DESAFIOS

A água é um ativo ambiental que é utilizado para todas as atividades humanas, por isso, quando se trata de políticas públicas relacionadas à água, existem várias instituições que têm autoridade sobre ela, seja para o mesmo cuidado da água, para água potável e saneamento, para a produção agrícola ou industrial, para a produção de energia, recreação, outros.

No Paraguai, algumas das instituições que influenciam os recursos hídricos são o Ministério do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (MADES), Ministério das Obras Públicas e Comunicações (MOPC), Ministério da Agricultura (MAG), Serviço Nacional de Saneamento Ambiental (SENASA), Entidade Reguladora de Serviços Sanitários (ERSSAN), Direção Geral de Saúde Ambiental (DIGESA), Empresa de Serviços de Saúde do Paraguai (ESSAP), Conselhos Municipais, Operadores privados, Itaipu Binacional e Entidade Binacional Yacyretá (EBY). O QUADRO 2, apresenta as principais leis e decretos para a gestão e redução de risco no Paraguai.

QUADRO 2 - PRINCIPAIS LEIS E DECRETOS PARA A GESTÃO E REDUÇÃO DE RISCO

Decreto ou Lei	Nome	Características
Lei Nº 3239/07	Dos recursos hídricos do Paraguai	Unidade básica para a gestão de recursos hídricos (bacias).
Decreto Nº 169/2008	Sistema Integrado de Gestão para o Desenvolvimento Agrário e Rural	Criado para propiciar e apoiar a formulação e implementação efetiva e orgânica de políticas setoriais para o desenvolvimento agrário e rural.
Lei Nº 426/94	Carta Orgânica do Governo Departamental	Regula a prevenção e atenção de desastres como uma questão de competência territorial local.
Lei Nº 3966/10	Lei Orgânica Municipal	Regula a prevenção e atenção de desastres como uma questão de competência territorial local. Estabelece que o planejamento urbano e ordenamento territorial correspondam ao município, através do Plano de Desenvolvimento Sustentável do Município e do Planejamento Urbano e Territorial.
Lei Nº 970/96	Aprovação da Lei de Combate à Desertificação	O Paraguai ratificou a Convenção que aprova a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, em países afetados por secas severas ou desertificação.
Lei Nº 422/73	Forestal do Paraguai	Todas as propriedades rurais de mais de vinte hectares em áreas florestais devem manter 25% da área natural da floresta. No caso de não ter esse percentual mínimo, o proprietário deve reflorestar uma área equivalente a 5% da área terrestre.

FONTE: FAO/IICA (2017).

2.6 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é uma ferramenta importante, estabelecendo a capacidade de armazenamento de água de um determinado solo, através da contabilidade de seus ganhos e perdas hídricas (SILVA et al., 2017).

O balanço no termo anual é definido como a quantidade de precipitação que entra no sistema que se transforma nas variáveis de saída e as alterações nas variáveis de armazenamento, realizada pela Equação 1.

$$P = ETR + RO \pm dS \pm dI \pm dG \pm n \quad (1)$$

Onde:

P = precipitação média anual para o ano de estudo

ETR = evapotranspiração real média anual

RO = escoamento médio anual (Run Off)

dS = variação de armazenamento do escoamento superficial

dI = variação de armazenamento de infiltração ou escoamento subterrâneo

dG = variação do armazenamento de escoamento subterrâneo

n = termo residual de discrepância, erro de medição ou estimativa.

À medida que as variações de armazenamento positivas ou negativas são analisadas, elas se cancelam na média. Além disso, por longos períodos, observa-se que o armazenamento por interceptação não interfere por ser transitório. Portanto, a Equação 2 é resumida como segue.

$$P = ETR + RO \pm n \quad (2)$$

Como não há registros de evaporação ou evapotranspiração, uma fórmula empírica é aplicada para determiná-la. Também não são utilizadas as fórmulas que consideram mais variáveis, portanto, utiliza-se a fórmula simplificada de Turc, que depende apenas da temperatura e da precipitação. Equação 3.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (3)$$

$$L = 300 + 25\theta + 0,05\theta^3$$

θ = Temperatura média anual °C

Deve-se considerar que é uma aproximação muito imprecisa porque as variações de armazenamento não são levadas em consideração, por isso é definido como um balanço hídrico superficial simplificado. Foi utilizado no Balanço Hídrico do

Paraguai pela Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL) em 2014 no Estudo da Economia do Paraguai Mudanças Climáticas.

Rhoden et al., (2016) destacam que o estudo do balanço hídrico em bacias hidrográficas é fundamental para que se possa conhecer a disponibilidade de água e os momentos de estresse ou déficit hídrico, o que possibilita a elaboração de ações que visem um melhor planejamento na gestão destes recursos. Para estudar o balanço hídrico são usados modelos hidrológicos que agilizaram os trabalhos, por serem capazes de combinar variáveis e utilizar recursos de geoprocessamento durante o processo de simulação.

2.7 MODELAGEM HIDROLÓGICA

Os modelos são uma representação da realidade e, especificamente na hidrologia, os modelos simulam o ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, tornando-se uma ferramenta importante para a avaliação dos processos hídricos, sendo aplicado nos estudos de avaliação ambiental, desenvolvimento de cenários futuros, estimativa da magnitude das alterações a serem causadas pelas atividades estabelecidas ou outras a serem desenvolvidas (FERREIRA e UAGODA, 2017).

Para Santos (2013) os modelos de planejamento e gestão da água facilitam o gerenciamento adaptativo da bacia que buscam integrar os diferentes processos do ciclo hidrológico, descrevendo a distribuição temporal e espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evapotranspiração, depressão do solo, o fluxo através do solo pela infiltração, percolação, escoamento superficial e subsuperficial.

A modelagem hidrológica podem ser modelos físicos ou abstratos. Os modelos físicos são representações em pequena escala de um sistema e os modelos abstratos representam sistemas em forma matemática através de equações que relacionam variáveis de entrada e saída que é uma função de espaço e tempo. O objetivo desses modelos é construir uma bacia hidrográfica e trazer à tona todos os recursos da bacia (rios, reservatórios, aquíferos, infraestrutura de proveito) e cada um dos usuários de água dentro dela (HERVIS et al. 2017).

Na maioria das vezes, essas ferramentas trabalham através de cenários, permitindo analisar uma ampla gama de questões e incertezas que os planejadores de recursos hídricos enfrentam, como análise das políticas de gestão da água na

bacia, projeções de demanda, regulamentação ambiental, mudança no uso da terra e cenários climáticos (HERVIS et al. 2018).

2.8 MODELO WATER EVALUATION AND PLANNING (WEAP)

O WEAP foi criado em 1988 por Jack Sieber e desenvolvido pelo Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI) ¹. É um software que fornece uma estrutura integrada, flexível e prática de planejamento para avaliar a sustentabilidade de padrões presentes de oferta e demanda de recursos hídricos e explorar cenários alternativos de longo-termo. O software é gratuito para organizações sem fins lucrativos, governamentais ou acadêmicas e está disponível em diversos idiomas (SEI, 2015).

WEAP opera no princípio básico de um balanço hídrico e pode ser utilizado para sistemas municipais e agrícolas, uma única bacia hidrológica ou sistemas complexos de bacias de rios transfronteiriças. O modelo se distingue pela integração de componentes naturais (escoamento de água, fluxo superficial, recarga subterrânea a partir da precipitação e características dos ecossistemas) e componentes humanos (demanda setorial; conservação de água; alocação, operações de reservatórios; geração de energia hidroelétrica, avaliação da poluição e qualidade da água) na simulação (HERVIS et al. 2018).

Isto permite ao planejador ter acesso a uma visão mais abrangente da ampla gama de fatores a serem considerados na gestão de recursos hídricos para uso presente e futuro. O resultado é uma ferramenta efetiva para avaliar opções alternativas de gerenciamento e desenvolvimento hídrico (SEI, 2015).

Algumas vantagens do modelo são as funcionalidades e o fácil uso, devido a que cria cenários ajustando os parâmetros de entrada por meio da interface do modelo e compare os resultados sem ter que processar individualmente fora do modelo, os objetos da interface gráfica são alusivos à gestão de recursos hídricos e o usuário pode selecionar o intervalo de tempo a ser usado (dias a mensal) dependendo do processo simulado. O modelo tem uma integração onde os resultados gerados são fixos e exibidos no formato de texto ASCII, também pode ler informações espaciais de SIG em formatos de arquivo ArcGIS (HERNÁNDEZ, 2014).

¹ Disponível em <http://www.weap21.org/>

2.8.1 Estrutura

WEAP consiste de cinco vistas principais (SEI, 2015).

a) mapa esquemático: todos os elementos do modelo são criados, como os pontos de demanda, correntes de água, elementos construídos e outros componentes de interesse ao longo do rio. O WEAP permite adicionar arquivos GIS, facilitando a localização dos itens mencionados acima;

b) dados: ferramentas de construção que ajudam a criar variáveis e relações, introduzir pontos de partida e projeções utilizando expressões matemáticas, e ligar com Excel para importação e exportação de dados;

c) resultados: todos os resultados do modelo podem ser vistos de forma detalhada e flexível em gráficos, tabelas e no mapa. Os formatos dos gráficos e mapas permitem uma visão animada dos resultados através do tempo;

d) explorador de cenários: desenha um grupo de gráficos de síntese para destacar indicadores-chaves para revisão rápida. Observe como as mudanças nos dados podem afetar os resultados;

e) notas: facilita o rastreamento das fontes das informações fornecidas ao modelo.

2.8.2 Etapas de uso

O uso do WEAP geralmente inclui vários passos (SEI, 2015).

a) definição do estudo: são estabelecidos o espaço de tempo, os limites espaciais, os componentes do sistema e a configuração do problema;

b) contas atuais: é desenvolvida uma visão da demanda de água, cargas de poluição, recursos e fontes para o sistema. Isto pode parecer como uma calibração no desenvolvimento de uma aplicação;

c) cenários: pode ser explorado um conjunto de hipóteses alternativas sobre impactos futuros de regulamentações, custos, e clima, por exemplo, na demanda de água, fornecimento, hidrologia e poluição;

d) avaliação: os cenários são avaliados com relação à suficiência hídrica, custos e benefícios, compatibilidade com os padrões ambientais, e a sensibilidade a incertezas de variáveis predominantes.

2.8.3 Integração com outros modelos.

A integração do WEAP com outras ferramentas de modelagem permite complementar a análise do gerenciamento da água. No QUADRO 3, estão algumas das integrações possíveis e seu potencial (HERVIS et al. 2018).

QUADRO 3 - INTEGRAÇÃO DA MODELAGEM NO WEAP COM OUTROS MODELOS.

Modelo	Integração
CROPWAT (Smith et al. 2002)	Permite avaliar o balanço disponibilidade-demanda para a variação dos padrões totais de culturas esperadas pelos efeitos das mudanças climáticas, principalmente o aumento da temperatura.
DSSAT (Decision Support System for Agrotecnology Transfer, Jones et al. 2003)	Simula as necessidades de irrigação de uma cultura agrícola e, ao mesmo tempo conhecer se do ponto de vista da disponibilidade de recursos é possível atender a essa demanda.
BioMa (Biophysical Modelling Framework, BioMa, 2012)	Permite avaliar o rendimento potencial de culturas agrícolas irrigadas em diferentes cenários climáticos e estimar o volume de água disponível para atender às necessidades dessas culturas.
Modflow (Guigue y Franz, 1996)	Permite a análise da interação das águas superficiais e subterrâneas, além de melhorar os resultados do balanço das águas subterrâneas no gerenciamento da água.
QUAL2K (Chapra et al., 2003)	Permite analisar a qualidade da água na gestão de recursos hídricos, seu envolvimento com outros usuários e identificação de poluentes na área.
SWAT (Arnold et al., 1994)	Mesmo que ambos sejam usados para o planejamento de recursos hídricos, o SWAT tem maior resistência como modelo espacial e permite uma melhor simulação da relação chuva-escoamento no nível da sub-bacia do que o modelo WEAP. No entanto, o SWAT não leva em consideração o gerenciamento da água, pois não é um modelo de otimização, portanto, podem ser integrados indiretamente no WEAP.
HEC-PRM (Wurbs, 1993)	Possui alto desempenho para a otimização da operação de reservatórios simples. Embora o WEAP também possa analisar a operação de reservatórios simples, o modelo HEC-PRM é mais completo nesse tipo de análise, pois é um modelo especializado nessas áreas. Os resultados do modelo HEC-PRM podem ser integrados indiretamente no WEAP.

FONTE: HERVIS et al. 2018.

2.8.4 Aplicação

O WEAP corresponde a um modelo hidrológico que foi aplicado em vários projetos globais como; Estados Unidos, México, Brasil, Alemanha, Gana, Burkina Faso, Quênia, África do Sul, Moçambique, Egito, Israel, Oman, Ásia Central, Índia, Sri Lanka, Nepal, China, Coreia do Sul, e Tailândia para simular o comportamento do sistema fluvial de várias bacias, com resultados satisfatórios (SEI, 2015).

Diversos estudos como LI et al. (2015), através do modelo avaliam a sustentabilidade de estratégias de gestão dos recursos hídricos, simulando três cenários no WEAP, gerando uma série de sugestões que podem auxiliar os tomadores de decisão no planejamento e gestão hídrica para atender as demandas futuras da região.

Escobar et al (2013), realizaram modelagem hidrológica com cenários de mudanças climáticas nas bacias de abastecimento de água das cidades La Paz e El Alto, Bolívia. O objetivo foi avaliar as implicações da mudança do clima futuro no abastecimento de água em um horizonte temporal 2011-2050, em um ambiente de incertezas. Os resultados mostram que as geleiras podem desaparecer nos próximos trinta anos e isso pode ter implicações hidrológicas das bacias com a redução do suprimento de água.

Castro (2014) aplicou o sistema de modelagem WEAP para o gerenciamento dos recursos hídricos em Vereda La Bella. O objetivo foi modelar o comportamento hidrológico dos córregos fornecidos para o serviço de irrigação, aplicando o método FAO Rain Runoff oferecido pelo WEAP. Dentre os resultados obtidos, destacou-se, a viabilidade da aplicação de ferramentas de modelagem em escalas pequenas.

No Brasil, o modelo já tem sido usado exibindo resultados consistentes, com a vantagem de ser uma ferramenta de fácil uso e acesso. Herrera (2013) avaliou a disponibilidade e a qualidade da água da Sub-bacia Riacho Fundo, integrando os modelos SWAT e WEAP, criando cenários que ajudassem na gestão dos recursos hídricos do Distrito Federal. Mehta et al. (2013) avaliaram os potenciais efeitos das mudanças climáticas e a gestão adaptativa no abastecimento de água para irrigação na Bacia do Cache Creek, Califórnia, para examinar três cenários de adaptação para 2099. Fonseca (2008) estudou os efeitos do crescente fluxo turístico na demanda de água dos reservatórios que fazem parte do sistema de abastecimento da Grande João Pessoa, analisando três cenários em uma única série de vinte anos, onde a previsão hidrológica variava de muito seco a muito chuvoso. A abordagem e o modelo desenvolvido podem ser úteis no processo de tomada de decisão no planejamento de recursos hídricos e adaptação às mudanças climáticas.

2.9 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Os Sistemas de Informações Geográficas são frequentemente aplicados em modelos de simulação computacional. São ferramentas capazes de capturar, armazenar, analisar e projetar geograficamente dados de acordo com o formato que atenda às necessidades de hidrólogos ou gestores de bacias hidrográficas. Os dados SIG representam objetos, incluindo cursos de água, uso do solo, árvores, estradas e elevações com dados digitais tradicionalmente armazenados em formato raster ou vetoriais (RODRÍGUEZ, 2019).

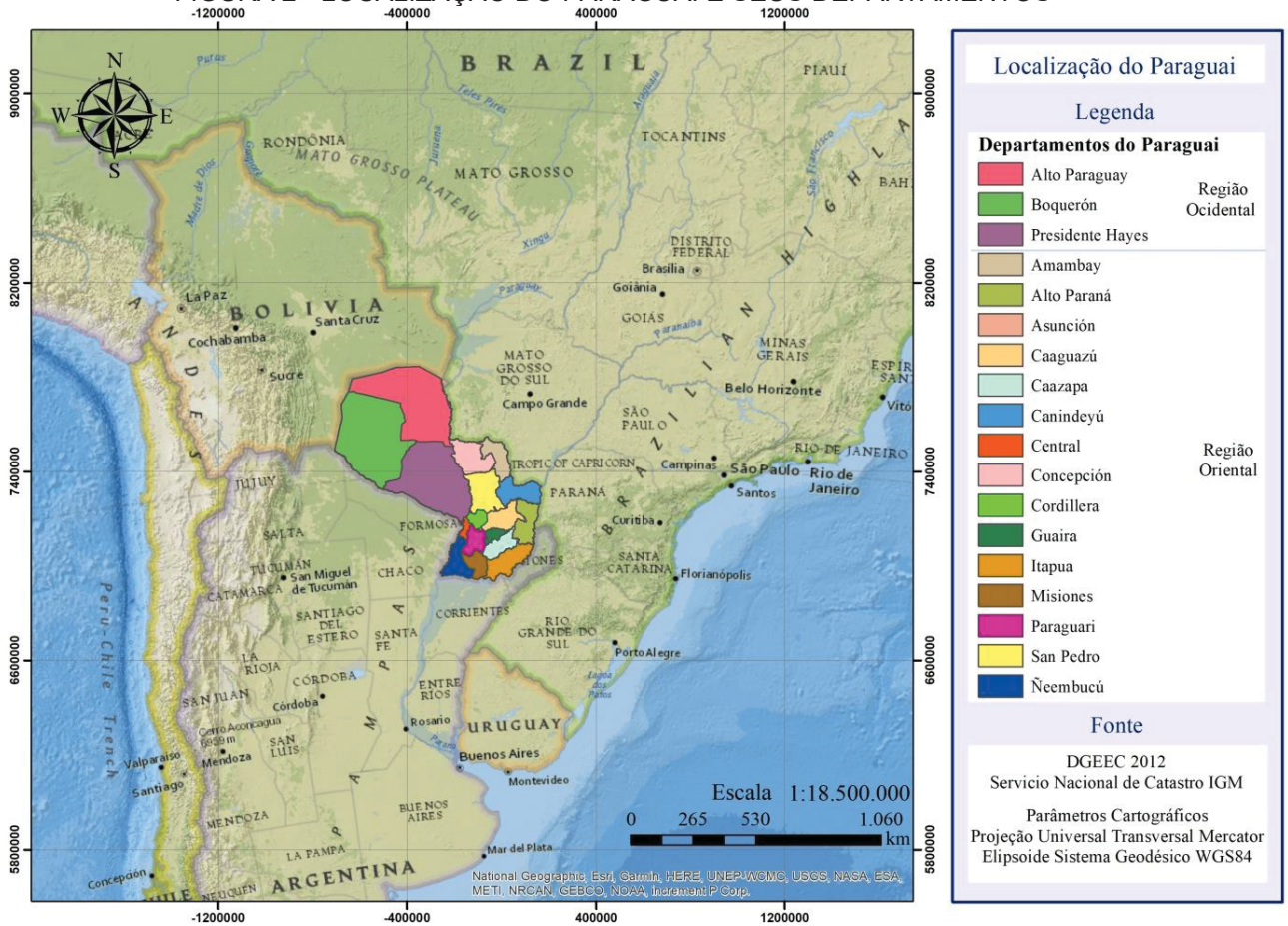
Como principal ferramenta de modelagem de dados, o modelo WEAP propõe em suas diferentes fases do processo o uso de uma interface gráfica baseada em mapas SIG, o que gera resultados flexíveis incorporados em mapas, gráficos e tabelas que permitem conhecer de forma ilustrativa a mecânica hídrica da área de estudo. As ferramentas de SIG permitem o usuário desenhar um diagrama esquemático fácil e de rápida configuração do sistema, inclusive a capacidade arraste e solte para criar e posicionar elementos do sistema e acessar os dados e resultados. Estes elementos podem ser sobrepostos em um mapa construído a partir de ArcGis 10.2.2 e outros arquivos padrão tipo SIG e gráficos (SEI, 2015).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no Paraguai (FIGURA 2), no hemisfério sul do continente americano, entre os paralelos 19° 18 'e 27° 3' de latitude sul e entre os meridianos 54° 15 'e 62° 38' oeste de Greenwich. Seus limites são Argentina, Bolívia e Brasil. Sua área é de 406.000 km² aproximadamente com uma população de 6.461.041 habitantes. O rio Paraguai divide o território em duas regiões, Ocidental e Oriental. As regiões são compostas por 17 departamentos, 14 na Oriental; Concepción, San Pedro, Cordillera, Guairá, Caaguazú, Caazapá, Itapúa, Misiones, Paraguairí, Alto Paraná, Central, Ñeembucú, Amambay, Canindeyú e 3 no Ocidental; Presidente Hayes, Alto Paraguay y Boquerón (PARAGUAI. Dirección Geral de Estadísticas, Pesquisas e Censos, 2012).

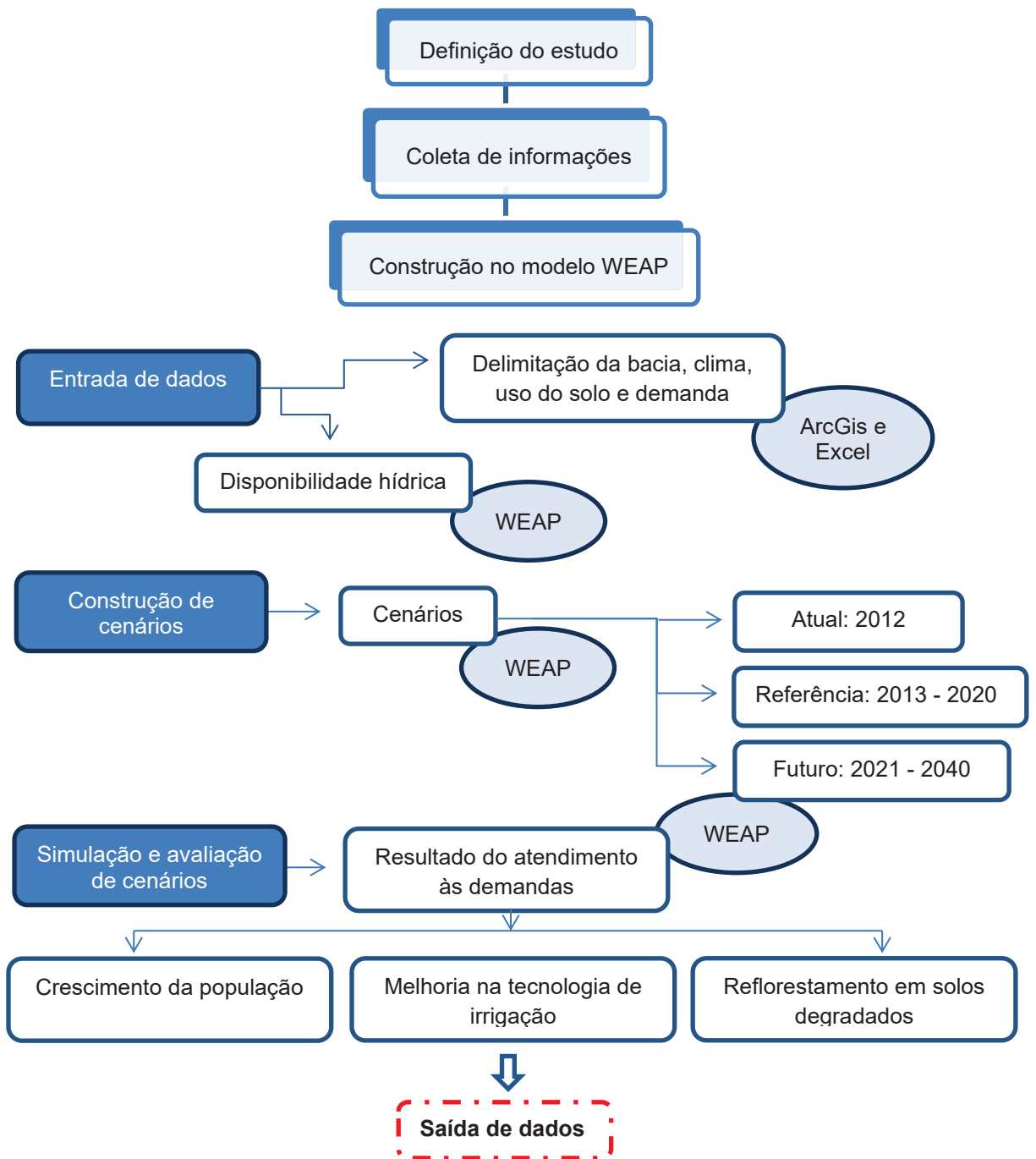
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DO PARAGUAI E SEUS DEPARTAMENTOS



3.2 METOLOGIA E PROCEDIMENTOS

A FIGURA 3 mostra o procedimento metodológico do presente trabalho.

FIGURA 3 – PROCEDIMENTOS DENTRO DA METODOLOGIA



FONTE: O autor (2020).

3.3 DEFINIÇÃO DO ESTUDO

Primeiro, foi realizado um reconhecimento da área de estudo para estabelecer os limites espaciais, os componentes do sistema e a configuração do problema, que inclui observar e verificar a localização dos principais pontos de demanda de água, sua distribuição e os diferentes usos do solo na área.

3.4 COLETA DE INFORMAÇÃO

Nesta etapa, foi realizada a coleta de dados de acordo com o tipo de estudo definido. A busca de informações foi realizada em duas partes; coleta de dados geral da área de estudo e coleta de dados específica após a montagem do modelo e identificação de necessidades de informações adicionais.

As informações foram obtidas de bancos de dados internacionais, trabalhos acadêmicos e nas agências governamentais, como: Ministério do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (MADES), Instituto Nacional de Florestas (INFONA), Ministério da Agricultura (MAG), Direção Nacional de Meteorologia e Hidrologia (DMH) da Direção Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC), Direção Geral de Estatísticas, Pesquisas e Censos (DGEEC), Serviço Nacional de Cadastro (SNC) e Serviço Nacional de Qualidade e Saúde Animal (SENACSA).

Os dados adicionais necessários para delineamento mais detalhado da bacia hidrográfica foi através de um SIG usando o software ArcGis 10.2.2, que permite a criação de mapas temáticos, como de cobertura vegetal, tipo e uso de solos, permitindo uma melhor visualização e análise dos aspectos ambientais.

3.5 CONSTRUÇÃO NO MODELO WEAP

Nesta fase, o esquema foi construído, a entrada de dados foi feita e as execuções iniciais do modelo foram realizadas para observar seu comportamento preliminar e eliminar possíveis inconsistências e erros.

Os parâmetros físicos de entrada requeridos pelo modelo são apresentados no QUADRO 4. A lista inclui uma classificação de prioridade de dados de acordo com sua importância para o modelo (1=muito importante, 2=relevante). A ideia é que o foco inicial seja obter os dados marcados com 1. Uma vez que um modelo inicial

tenha sido desenvolvido, pode-se refinar o modelo com os dados adicionais (marcados com 2). As prioridades 1 são dados necessários para caracterizar a bacia e as prioridades 2 são dados para complementar esses dados. O formato preferido é fornecido como referência, seja qual for o formato dos dados, geralmente é necessário fazer um processamento para poder inseri-los no modelo (SEI, 2015).

QUADRO 4 - PARÂMETROS DE ENTRADA DO WEAP

Parâmetro	Prioridade	Formato preferido	Fonte
Solo			
Delimitação da bacia	1	SIG	Cartas digitais de uso da terra do INFONA. Arquivos shapefile do SNC. Imagens de satélite LANDSAT 4-5 TM. Sistemas de referência geográfica: Datum Horizontal: Elipsoide Sistema Geodésico (WGS) 1984 e Datum Vertical: UTM, Zona 21S.
Cobertura vegetal	1	SIG	
Tipo de solo	2	SIG	
Geologia	2	SIG	
Áreas de irrigação	1	SIG, Excel ou texto	
Tecnologias de irrigação	2	SIG, Excel ou texto	
Clima			
Precipitação	1	Excel ou texto	Estações meteorológicas da DINAC. Dados hidrológicos do MADES
Temperatura	1	Excel ou texto	
Umidade Relativa	1	Excel ou texto	
Latitude	1	Excel ou texto	
Demanda (cidades, áreas agrícolas, pecuária)			
Locais de demanda	1	Excel ou texto	Anuário de estatísticas populacional da DGEEC. Anuário Estatístico de Culturas do MAG.
Consumo per capita	1	Excel ou texto	
Variação Mensal	1	Excel ou texto	
Porcentagem de retorno	1	Excel ou texto	

FONTE: Adaptado do SEI (2015).

3.6 PARÂMETROS DOS ASPECTOS FÍSICOS DA BACIA

3.6.1 Delimitação da bacia

Para a elaboração do modelo de simulação da bacia do Rio Acaray, foi necessário ter a área de estudo bem definida, para isso foi feita a delimitação da bacia e sua discretização em sub-bacias. Para realizar esta tarefa, foi processado o Modelo Digital de Elevação (MDE)², com base nas curvas de nível foram obtidas as principais correntes de água. Por meio das diferenças de altura, pode-se estabelecer a direção da água em direção à parte inferior da bacia. O que mais tarde servirá para determinar a direção do rio principal.

² Pelo "Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)" através da Missão Topográfica do Shuttle Radar (SRTM) da Agência Nacional de Inteligência Geoespacial (NASA), disponível em <http://srtm.csi.cgiar.org/>

3.6.2 Caracterização dos solos

Além disso, os valores dos parâmetros do solo são definidos de acordo com o tipo e uso dado, o que permite a definição do comportamento hidrológico.

Para a criação de mapas de uso da terra da área de interesse foi utilizada imagem de satélite LANDSAT 4-5 TM (tipo raster³). Com o auxílio do programa ArcGis 10.2.2, a informação geográfica obtida da imagem de satélite foi visualizada e complementada com arquivos do território do Paraguai em formato shapefile, disponível no SNC⁴. Através disso, foram criados mapas para um estudo de reconhecimento e caracterização geomorfológico como topografia, declividade, textura e capacidade de uso e ocupação de solos na área de interesse, que foi inserido no modelo WEAP.

A classificação taxonômica dos solos é agrupada em oito categorias, nas quais as limitações de uso do solo aumentam progressivamente (LEPSCH et al. 2015). Os grupos, as classes e subclasses são descritas no QUADRO 5.

QUADRO 5 - CAPACIDADE DE USO: GRUPOS, AS CLASSES E SUBCLASSES

Grupo	Classe	Subclasses
A: terras próprias para culturas anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre.	I: terras cultiváveis, aparentemente sem problemas especiais de conservação. II: terras cultiváveis com problemas simples de conservação e/ou de manutenção de melhoramentos. III: terras cultiváveis com problemas complexos de conservação e/ou de manutenção de melhoramentos. IV: terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, com sérios problemas de conservação.	<i>Declividade (E)</i> <i>Solo (S):</i> - Profundidade efetiva (p) - Textura da seção de controle (t)
B: terras impróprias para cultivos intensivos, mas adaptáveis para pastagens, e/ou reflorestamento e/ou vida silvestre.	V: terras adaptadas, em geral para pastagens, e, em alguns casos, para reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação – cultiváveis apenas em casos muito especiais. VI: terras adaptadas, em geral para pastagens e/ou reflorestamento, com problemas simples de conservação, cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo. VII: terras adaptadas, em geral somente para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação.	- Pedregosidade / rochiosidade (r) - Fertilidade aparente (f) <i>Drenagem (W):</i> - Drenagem e permeabilidade (d) - Riscos de inundação (i)
C: terras impróprias para exploração econômica, servindo para recreação.	VIII: Terras impróprias para culturas, pastagens e reflorestamento servindo apenas para proteção.	

FONTE: LEPSCH et al. 2015.

³ Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>

⁴ Disponível em <https://www.catastro.gov.py/>

3.6.3 Dados meteorológicos

Os dados climáticos foram fornecidos pela Direção de Meteorologia e Hidrologia da DINAC, instituição que administra uma rede de 25 estações meteorológicas é a autoridade responsável pela prestação dos serviços meteorológicos oficiais, incluindo a operação da rede meteorológica nacional.

Para o estudo foram selecionadas aquelas estações meteorológicas que atendiam a determinados requisitos, como; estações meteorológicas próximas, de modo que os dados sejam usados como suporte para o controle de qualidade dos dados e análises estatísticas, estações com séries de dados ininterruptas no período 1990-2019 (30 anos)⁵ e no caso de interrupções na série de dados, que seja inferior a 10% do total de dados do período mencionado. A TABELA 1 mostra às estações meteorológicas, sua localização e o período de dados existentes.

TABELA 1 – DADOS DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Estações	Lat. (S)	Long. (O)	Elev. (M)	Período	Proprietario
Aeropuerto Guaraní	-25,40	-58°82	196	1997 – 2019	DINAC
Coronel Oviedo	-25,25	-56,4	170	1972 – 2019	DINAC
San Estanislao	24,67	56,43	190	1990– 2019	DINAC
Usina	-25,40	-54,62	234	1976 – 2019	IB
Acuicultura	-25,43	-54,62	215	1979– 2019	IB
San Alberto	-24,95	-54,93	331	1982– 2019	IB
Rva. Itabó	-25,07	-54,70	270	1985– 2019	IB
Rva. Limoy	-24,75	-54,45	253	1985– 2019	IB

FONTE: DINAC (2020).

Os dados foram temperatura média mensal (°C), temperatura mínima e máxima média mensal (°C), temperatura mínima e máxima extrema mensal (°C), precipitação média mensal e máxima diária mensal (mm). Os parâmetros de temperatura e precipitação anual foram calculados a partir dos dados mensais fornecidos. Esses dados têm um controle de qualidade primário, visto que, em sua origem, é usado diariamente nas mensagens meteorológicas SINOP⁶ que são de intercâmbio internacional para o Sistema de Vigilância mundial da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Também são utilizados nas mensagens

⁵ Período de clima normal: Médias periódicas calculadas para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo pelo menos 3 períodos consecutivos de 10 anos.

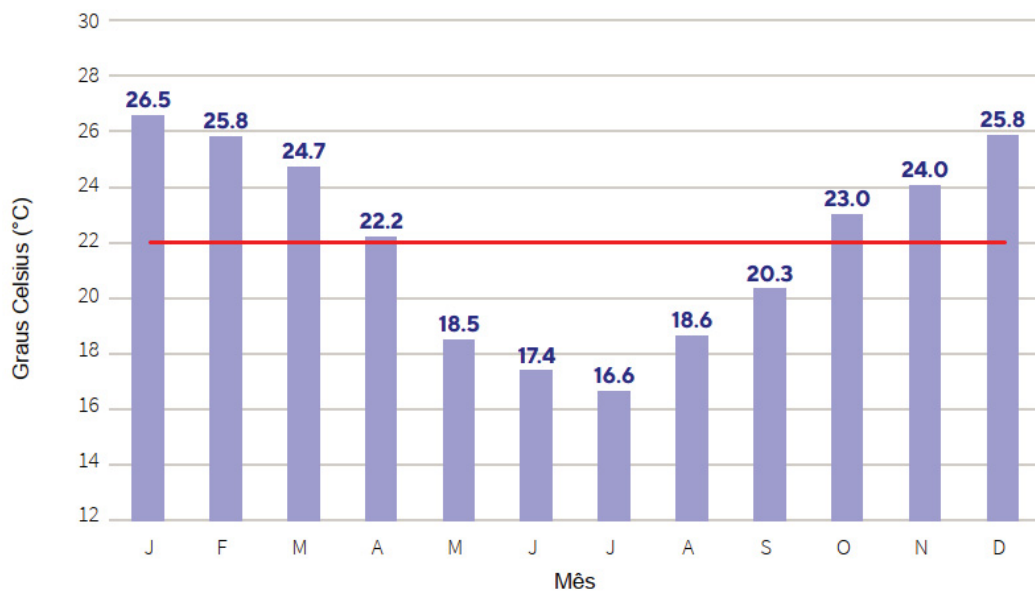
⁶ Mensagem meteorológica de uma estação sinótica.

climatológicas CLIMAT⁷ que são de intercâmbio internacional mensal para o Programa de Vigilância do tempo.

a) Temperatura

O regime de temperatura apresenta uma variação mensal, com mínimas marcadas no inverno e máximas marcadas no verão. De acordo com os dados disponíveis, janeiro é o mês mais quente com temperatura média de 26,5°C, seguido pelos demais meses de verão, dezembro e fevereiro, ambos com 25,8°C, enquanto julho é o mês mais frio com temperatura média de 16,6°C, seguido de junho com 17,4°C (FIGURA 4). A faixa de temperatura média anual⁸ é de 9,9°C.

FIGURA 4 - TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (LINHA VERTICAL) E TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (LINHA HORIZONTAL). PERÍODO 1990-2019



FONTE: DINAC (2020).

Este comportamento da temperatura também é observado em outros parâmetros, como temperaturas médias máximas e mínimas e temperaturas máximas e mínimas extremas. A temperatura máxima extrema observada foi de 40°C em janeiro de 2006, e a temperatura mínima extrema observada foi de -2,4°C em julho de 1993; assim, a faixa absoluta ou amplitude térmica absoluta é 42,4°C⁹.

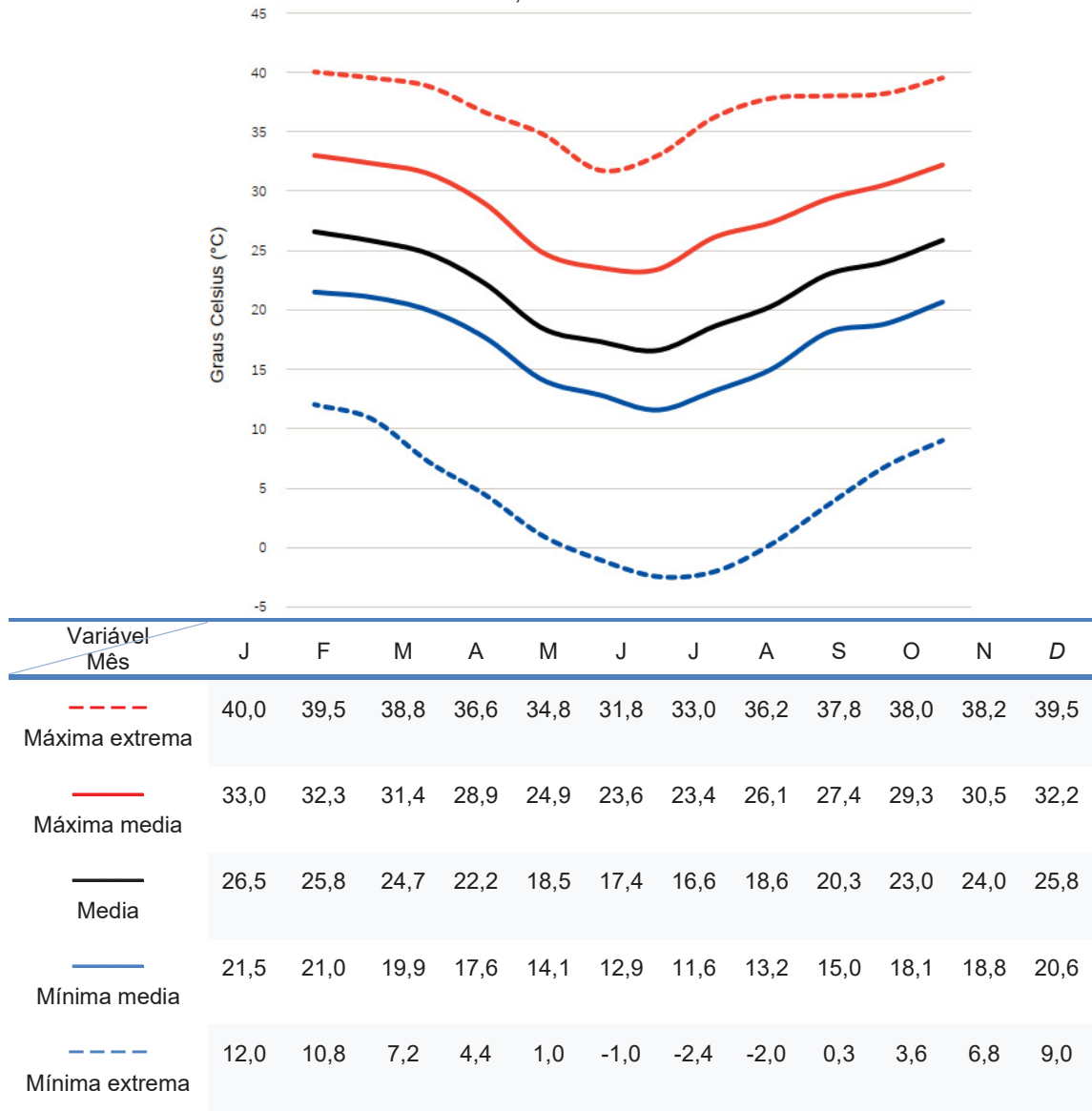
⁷ Mensagem resumida dos dados climatológicos do mês.

⁸ Diferença de temperatura entre o mês mais quente (janeiro) e o mês mais frio (julho).

⁹ Diferença entre a maior temperatura máxima observada e a menor temperatura mínima observada no período 1990-2019 (30 anos).

Mais detalhes das temperaturas mensais, médias e extremas podem ser vistos na FIGURA 5.

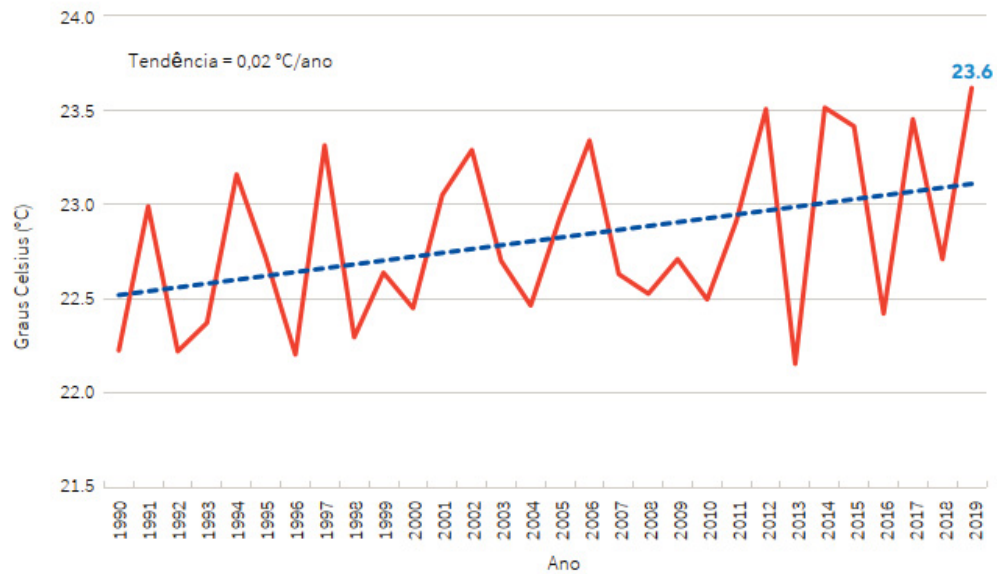
FIGURA 5 - TEMPERATURAS MENSAIS, MÉDIAS E EXTREMAS. PERÍODO 1990-2019



FONTE: DINAC (2020).

De acordo com a evolução temporal da temperatura média anual (FIGURA 6), é possível observar a existência de uma tendência de aumento da temperatura do ar em $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ ao ano. Observa-se também que o ano de 2019 foi o mais quente no registro de 30 anos de dados disponíveis (1990-2019), com um valor de $23,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, valor não registrado anteriormente naquele período.

FIGURA 6 - TEMPERATURA MÉDIA ANUAL E TENDÊNCIA DE TEMPO LINEAR. PERÍODO 1990-2019



FONTE: DINAC (2020).

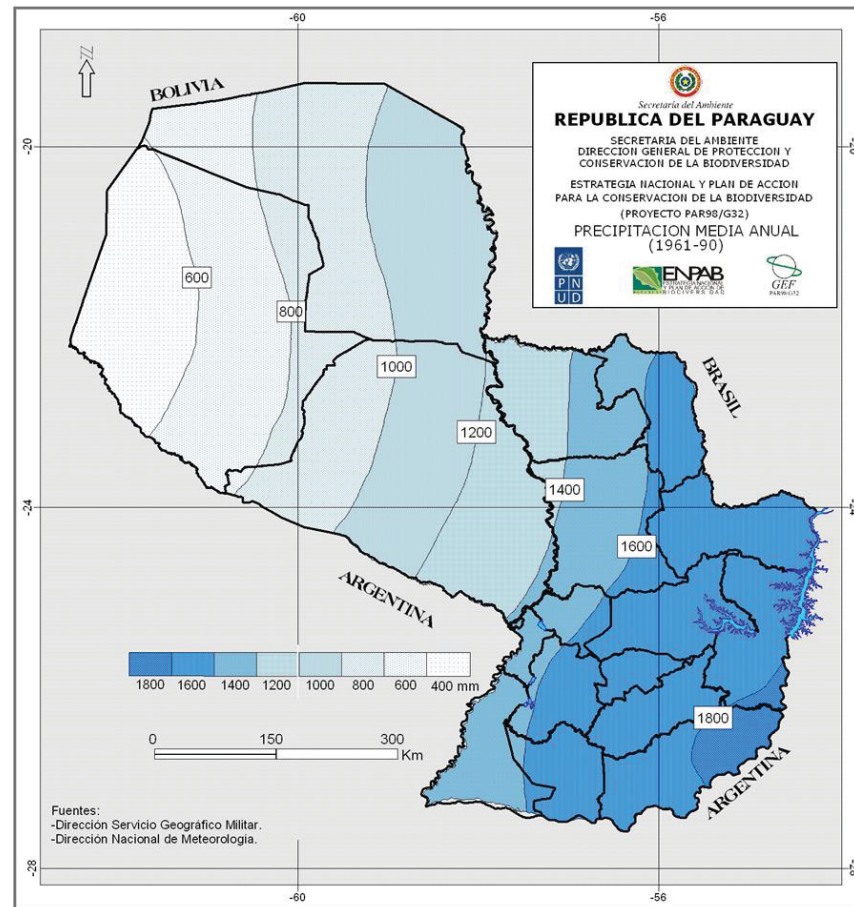
b) Precipitação

Segundo o método de Köeppen¹⁰, no Leste do Paraguai possui clima subtropical úmido com chuvas o ano todo e verão quente. Durante o inverno, é frequente a invasão de ar frio subpolar com ventos de sul, o que faz que a temperatura do ar caia consideravelmente, até produzir geadas em certas ocasiões. O verão é considerado os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, outono em março, abril e maio, inverno em junho, julho e agosto e primavera em setembro, outubro e novembro (GRASSI, 2020).

A Região Leste é a área mais úmida do Paraguai (FIGURA 7). Em termos de média anual, a precipitação aumenta ligeiramente a partir do oeste no departamento de Alto Paraná, sendo mais chuvosos os municípios localizados a leste na margem direita do rio Paraná, e menos chuvosos aqueles localizados na divisa com os departamentos de Canindeyú ao norte e Caaguazú ao oeste. Essa diferença é importante no eixo noroeste-sudeste, pois enquanto no primeiro a precipitação média anual é de 1.700 mm, no sudeste é ligeiramente superior a 1.800 mm. Essa diferença é ligeiramente superior a 100 mm por ano (PARAGUAI. Dirección Nacional de Aeronáutica Civil, 2020).

¹⁰ Disponible en http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf

FIGURA 7 - MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL



FONTE: DINAC (2020).

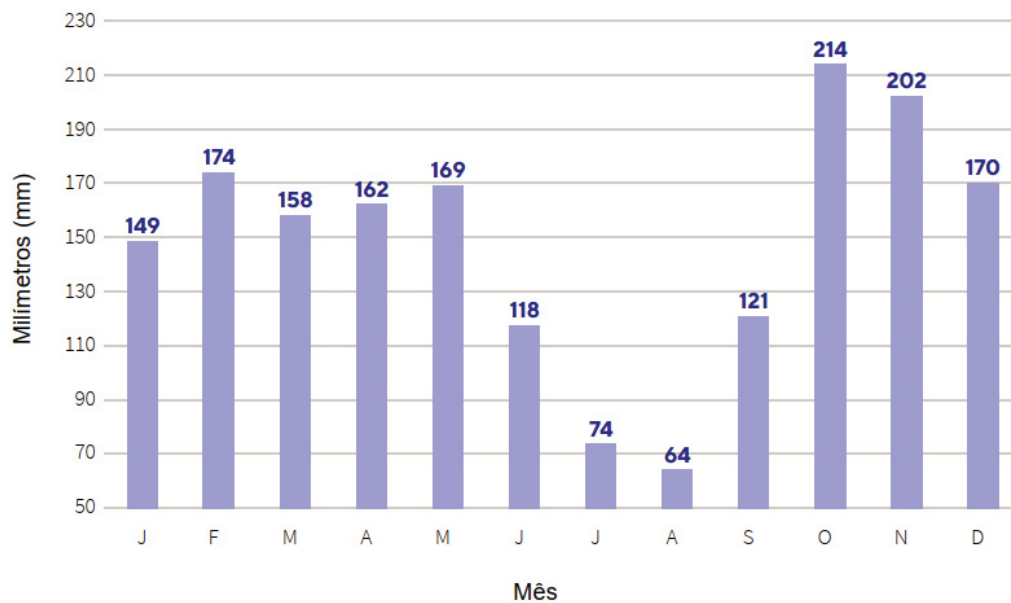
O comportamento observado da precipitação média mensal da DINAC (2020) para o período 1990-2019 (FIGURA 8), o mês de outubro é o mais chuvoso (214 mm) do ano, seguido de novembro (202 mm). Durante o verão, entre dezembro e fevereiro, chove cerca de 150 a 170 mm por mês. Durante o outono, chove uniformemente. Nos meses de março a maio, a precipitação média mensal é de aproximadamente 160 e 170 mm. O inverno é a estação mais seca. Embora o mês de junho ainda seja um pouco chuvoso (118 mm), durante os meses de julho e agosto a precipitação média mensal cai com 74 e 64 mm, respectivamente. Com esses resultados, a precipitação média anual total é de 1.774 mm.

A variabilidade interanual da precipitação na região, registrado na Secretaria de Emergência Nacional (2018), considera fenômenos de grande escala, como o ENSO¹¹. Ela se manifesta como um aquecimento ou resfriamento anormal das águas superficiais, que normalmente dura de vários meses a um ano. Portanto, a variação da precipitação de um ano para outro pode ser muito importante. Na década de

¹¹ El Niño Oscilación Sul (sigla em inglês).

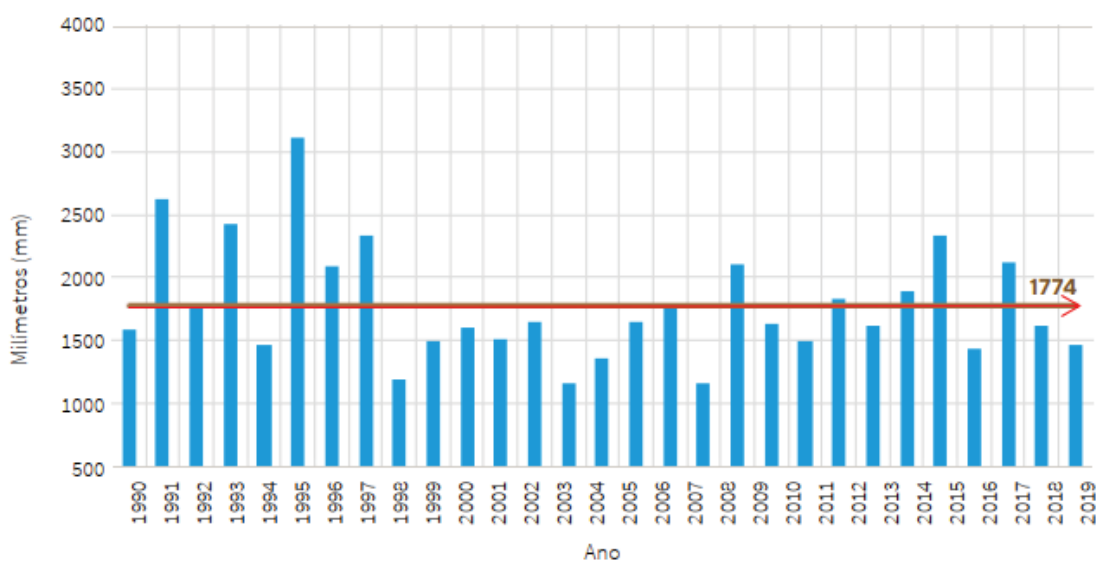
1990, houve um evento muito forte como o El Niño 1997-98, com a precipitação anual acima do normal naquele período (FIGURA 9). Observa-se também que nos anos La Niña a precipitação cai significativamente abaixo da média, mas também existe algum outro fator que motiva a variabilidade interanual da precipitação que não é motivada pelo ENSO, e que pode produzir chuvas anuais anormais.

FIGURA 8 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL. PERÍODO 1990-2019



FONTE: DINAC (2020).

FIGURA 9 - PRECIPITAÇÃO ANUAL (BARRA AZUL) E PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (LINHA VERMELHA). PERÍODO 1990-2019.



FONTE: DINAC (2020).

3.6.4 Disponibilidade de água

Com o balanço hídrico simplificado, calcula-se o volume de água sobre um território, neste caso, ao contrário dos estudos hidrológicos próprios que utilizam a bacia hidrográfica, o departamento é utilizado como unidade de análise, porque a análise é um referido nível departamental.

Com a identificação dos dados climáticos do MADES (2020), temos as variáveis de precipitação e temperatura, os dados de evapotranspiração e escoamento, esse escoamento permite ter o volume de contribuição que é a disponibilidade por superfície e dessa forma obter a disponibilidade hídrica per capita para a área da bacia. Com estas informações, o software realiza um balanço hídrico com dados que considera o fluxo de água disponível para pontos de demanda (TABELA 2).

TABELA 2 - DADOS DA BACIA DO RIO ACARAY

Variável	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Anual
Precipitação (mm)	81,5	144,5	175,8	190	170,2	160,6	136,2	114	125	56,2	40,8	38,5	1.434,6
Fluxo (m³/s)	136,6	187,6	240,5	189,6	155,8	135,2	112,7	178	254,6	158,3	138,6	131,2	168,2
q (Fluxo específico) (l/s/Km²)	14,6	20,1	25,7	20,3	16,71	14,5	12,0	19	27,3	16,9	14,8	14,0	18,0
ETP (mm)	91,0	121,5	138,0	151,3	139,4	113,2	113,0	88,1	63,2	46,5	62,8	83,5	1.211,6
ETR (mm)	84,1	109,2	125,9	130,1	108,8	91,8	90,2	71,3	59,8	45,8	62,0	79,1	1.058,3
Escoamento (mm)	37,9	53,9	66,8	54,4	44,77	35,0	32,37	49,5	73,1	44,0	39,8	37,7	569,5
Contribuição Total (Hm³)	354,0	502,6	623,5	507,8	417,5	327,1	301,8	461	682,1	410,3	371,3	351,6	5311,8

FONTE: MADES (2020).

3.6.5 Características socioeconômicas

Também são apresentadas as características socioeconômicas dos departamentos, como a estrutura da população e outras variáveis sociodemográficas. Para determinar a relação entre produtividade e demanda, optou-se pela observação das séries anuais disponíveis da CONACYT, baseados no consumo de cada unidade de análise, levando em consideração não só o clima, mas também o solo e a tecnologia aplicada em cada local.

a) Demografia

A população, seu tamanho e características demográficas são indicadores que revelam a constituição social, bem como sua capacidade produtiva e de consumo. O abastecimento urbano da bacia hidrográfica do rio Acaray atende a 4 Departamentos e 22 municípios (TABELA 3), Alto Paraná com 187.742 hab, Caaguazú 184.477 hab, Canindeyú com 525 hab e San Pedro com 116 hab, com um total de 372.862 hab (PARAGUAI. Dirección Geral de Estadísticas, Pesquisas e Censos, 2020).

TABELA 3 - INFORMAÇÃO DA DEMANDA URBANA NA BACIA

Departamentos	Município	Área total km ²	Área na bacia km ²	População (habitantes)	Cobertura (%)
Alto Paraná		14.162,17	3.377,36		
	Ciudad del Este	142,83	48,94		
	J. Mallorquín	265,14	31,85		
	Hernandarias	1.451,73	659,02		
	Itakyry	1.963,02	1.691,60		
34%	Juan O'Leary	214,09	75,06	187.742	82,88
	Yguazú	985,18	389,87		
	Minga Guazú	483,47	214,41		
	Minga Porá	880,69	0,12		
	Mbaracayú	1.136,40	131,61		
	San Alberto	963,61	134,88		
Caaguazú		13.057,65	6.238,04		
	Caaguazú	924,38	38,95		
	Juan M. Frutos	553,1	211,41		
	San Joaquin	483,46	321,06		
	Yhú	1.585,41	1.321,69	184.477	54,24
63%	J. Estigarribia	644,87	337,24		
	Raúl A. Oviedo	1.371,72	1.371,72		
	José Ocampos	143,78	62,13		
	Vaquería	1.155,28	1.149,79		
	Mcal. López	1209,5	1209,5		
	3 de Febrero	214,55	214,55		
Canindeyú		15.038,37	112,76		
1,1%	Curuguaty	4.128,19	112,76	525	4,41
San Pedro		20.636,94	2,88		
0,03%	Capiibary	826,90	2,88	116	11,33
TOTAL		62.895,13	9.731,04	372.862	

FONTE: DGEEC (2020).

Para o consumo doméstico de água foi considerado 200 litros/dia na região Oriental do país com uma projeção em termos de evolução futura da população

(taxa de crescimento), a demanda foi estimado para cada ano ao final de cada década e para cada departamento (TABELA 4).

TABELA 4. CONSUMO DE ÁGUA PARA A POPULAÇÃO (HM³). 2012-2020

	Consumo total	Consumo na bacia
Alto Paraná	61	20,74
Caaguazú	37	23,31
Canindeyú	15	0,17
San Pedro	27	0,01
TOTAL	140	44,23

FONTE: CONACYT (2020).

b) Agricultura

Na área de estudo, a atividade agrícola apresenta dois sistemas produtivos principais, a agricultura tecnificada e agricultura familiar camponesa.

A agricultura tecnificada gera a maior renda agrícola aos departamentos, sendo a principal delas a soja, que é complementada por milho, trigo e arroz em regime de rotação de culturas (TABELA 5). Devido ao tamanho dos investimentos (sementes, insumos, silos, indústrias, caminhões, máquinas agrícolas) e ao valor da produção, esse tipo de agricultura é muito vulnerável às mudanças climáticas.

A agricultura familiar são aqueles cultivados, preferencialmente, em propriedades com menos de 50 hectares e levando em consideração os critérios que garantem a segurança alimentar. Esse grupo é formado por algodão, cana de açúcar, mandioca, feijão e sésamo (PARAGUAI. Direção de Censos e Estatísticas Agrícolas do Ministério da Agricultura, 2020).

TABELA 5 - SUPERFÍCIE DE CULTURAS (HECTARES). 2019-2020

	Alto Paraná	Caaguazú	Canindeyú	San Pedro
Soja	950.000	430.000	660.000	360.000
Arroz irrigado	-	-	-	12.000
Arroz seco	166	42	181	11
Cana de açúcar	300	16.000	5.420	2.000
Algodão	150	400	100	500
Mandioca	13.428	30.400	13.700	31.500
Milho	300.000	160.000	240.000	120.550
Trigo	172.000	72.000	50.000	6.000
Feijão	4.982	12.465	3.465	9.870
Sésamo	150	800	1.000	27.000
TOTAL	1.441.176	722.107	973.866	569.431

FONTE: MAG (2020).

Para a análise da demanda de água agrícola, foram selecionadas as culturas representativas na região dos sistemas produtivos de cada departamento (TABELA 6). Com a água das diferentes culturas e suas projeções, estimou-se o volume de água necessário para a produção (TABELA 7).

TABELA 6 - SUPERFÍCIE DE CULTURAS CONSIDERADAS (HECTARES). 2019-2020

	Área total (ha)	Área na bacia
Alto Paraná	1.441.176	489.999
Caaguazú	722.107	454.927
Canindeyú	973.866	10.712
San Pedro	569.431	170
TOTAL	3.706.580	955.808

FONTE: MAG (2020).

TABELA 7 - CONSUMO DE ÁGUA NA AGRICULTURA (HM³). 2012-2020

	Consumo total	Consumo na bacia
Alto Paraná	4.329	1.471,86
Caaguazú	4.196	2.643,48
Canindeyú	3.485	38,34
San Pedro	2.277	0,68
TOTAL	14.287	4.154,36

FONTE: CONACYT (2020).

c) Produção pecuária

A produção bovina, embora em pequena escala e com poucos animais, tem aparecido até nas fazendas da agricultura familiar, pois reduz significativamente o risco associado à incerteza das culturas de produtos agrícolas. Esse segmento produtivo é afetado principalmente pela seca, pois reduz a quantidade de água nas pastagens e, com isso, diminui a massa de ração das vacas. Em algumas áreas do departamento, a pecuária é realizada para aproveitar as áreas baixas e marginais que não têm uso agrícola.

De acordo com os dados da SENACSA (2019), a produção pecuária total nos departamentos é de cerca de 2.6694.048 cabeças de gado, com 434.200 cabeças de gado na área da bacia de Acaray (TABELA 8).

TABELA 8 - PRODUÇÃO BOVINA. 2018-2019

	Produção total	Produção na bacia
Alto Paraná	193.597	65.822
Caaguazú	555.000	349.650
Canindeyú	667.754	18.345
San Pedro	1.277.697	383
TOTAL	2.6694.048	434.200

FONTE: SENACSA (2019).

Para esta análise, foi considerada apenas a produção bovina, com as projeções estimou-se o consumo. Seguem os resultados do consumo de gado expressos em hm³/ano, para o ano de final de cada década e para cada departamento (TABELA 9).

TABELA 9 -. CONSUMO DE ÁGUA NA PECUÁRIA (HM³). 2012-2020

Produção bovina	Consumo na área total	Consumo na área bacia
Alto Paraná	531	180,54
Caaguazú	1.097	691,11
Canindeyú	1.459	16,05
San Pedro	2.723	0,82
TOTAL	5.810	888,52

FONTE: CONACYT (2020).

3.7 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

Nesta fase do estudo, foi necessário introduzir dados obtidos e formular cenários para análise de resultados. Os cenários na simulação no WEAP são:

3.7.1 Cenário Atual

Representa as condições atuais do sistema hídrico. Para o ano base foi escolhido o ano 2012 por ser o ano em que foi realizado o último censo nacional do Paraguai. A taxa de crescimento populacional adotada de acordo com a Direção Geral de Estatísticas e Censos no ano 2012 foi de 1,55 %. A taxa geométrica de crescimento populacional para os anos subsequentes foi realizada pela Equação 4.

$$\text{EstPop} = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P(t+n)}{P(t)}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (4)$$

Onde:

EstPop: estimativa populacional

N: é o número de anos no período,

P(t): população inicial, no começo do período,

P(t+n): população final, no fim do período.

3.7.2 Cenário de Referência

Herda as características do cenário atual e há evoluções similares do sistema atual, sem intervenção. O cenário de Referência foi simulado no período 2013 - 2020.

3.7.3 Cenários Futuros

Nesse ponto, o cenário de referência foi alterado segundo os eventos extremos que ocorrerão na região nos próximos anos de acordo com o estudo simulado para o período de 2021 a 2040. O estudo considerou três cenários prováveis e os anos definidos como cortes correspondentes aos anos 2021, 2026, 2031, 2036 e 2040, com a população prevista para esses anos.

Cenário A. Assume um cenário diferenciado em que as identidades culturais regionais são bem diferenciadas com alto índice de crescimento populacional e desenvolvimento econômico. No modelo, foi usada a função GrowthFrom (Crescimento de) para estimar a quantidade da população para cada ano de 2021 a 2040. Utilizou-se uma taxa de crescimento anual de 1,9 % estimado segundo a Direção Geral de Estatísticas, Pesquisas e Censos no ano 2012. O crescimento calcula o valor da população em um determinado ano usando o método de progressão geométrica, cuja equação é a seguinte:

$$Pf = Pa \times \left(1 + \left(\frac{r}{100}\right)\right)^n \quad (5)$$

Onde:

Pf = é a população futura

Pa = é a população atual

r = é a taxa de crescimento anual

n = é o período de projeção

Cenário B. Supõe um cenário com ênfase nas soluções locais para os problemas de sustentabilidade econômica, social e ambiental. Considerando os anos de cortes foi feita uma redução na taxa anual de uso de água, com mudanças tecnológicas não muito rápidas e diversificadas, mas com forte ênfase em iniciativas comunitárias e inovações sociais para obter soluções preferencialmente locais do que globais. O volume da taxa de uso de água foi usado do Anuário Estatístico de Culturas, válido para áreas rurais da região Oriental do país (PARAGUAI. Ministério da Agricultura, 2020).

Cenário C: Considerada um cenário com uma redução na taxa anual de uso de água através da cobertura e reflorestamento de áreas descobertas e degradadas por causa da produção pecuária, com formas de uso e de conservação, com forte ênfase da Lei 422/73 Forestal do Paraguai, onde estabelece, que todas as propriedades agropecuárias de mais de vinte hectares em áreas florestais devem manter 25% da área natural da floresta. No caso de não ter esse percentual mínimo, o proprietário deve reflorestar uma área equivalente a 5% da área terrestre.

3.8 SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS

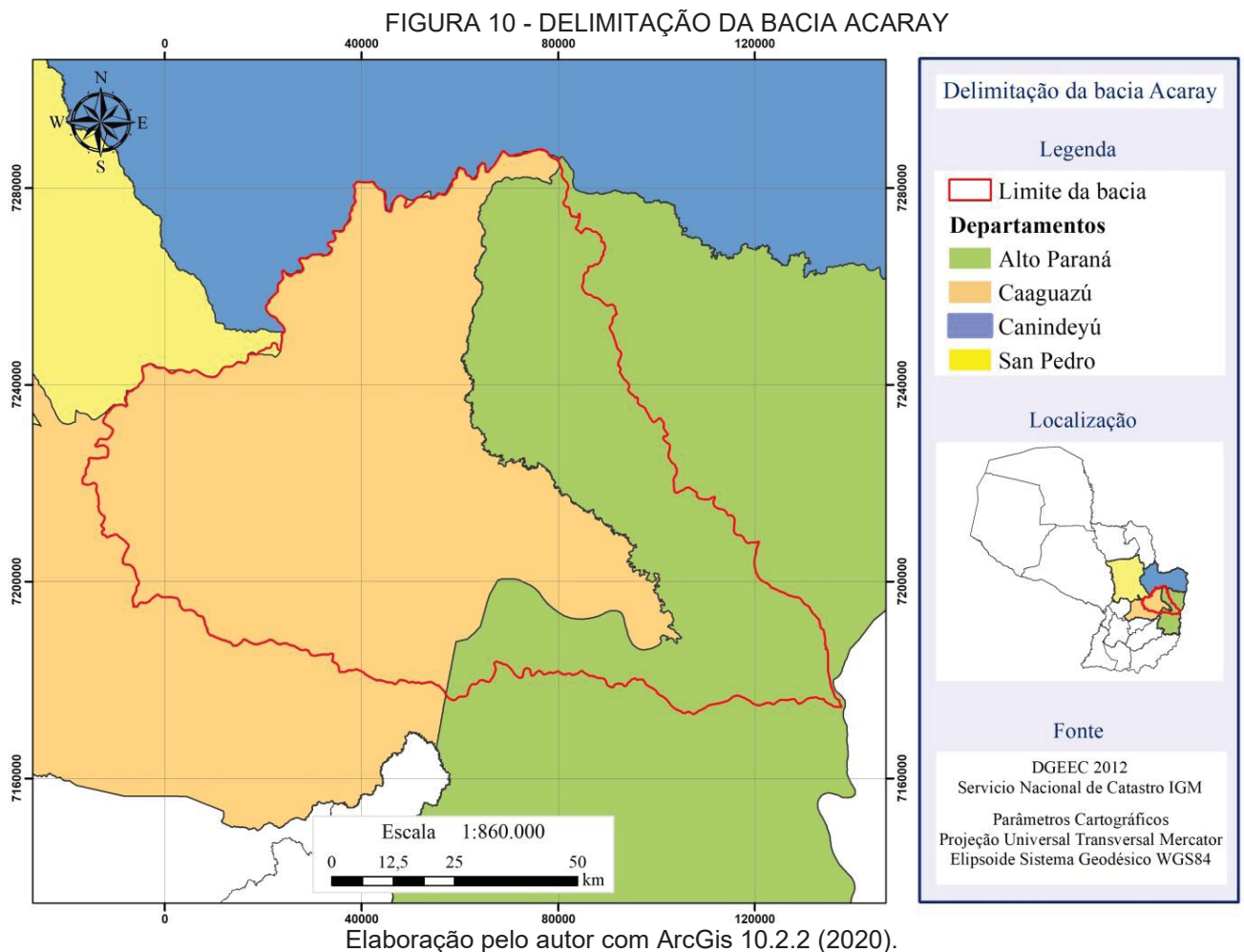
Tendo estabelecidas as condições iniciais da bacia e os cenários de adaptação, foi aplicado o modelo de simulação WEAP. Os resultados que surgem da simulação são interpretados e, a fim de facilitar a abordagem sobre o recurso hídrico para condução de propostas de planejamento e de gestão, com vista para o uso e manejo sustentável desse recurso natural. Se for necessário, dados adicionais devem ser coletados para refinar a estimativa de parâmetros críticos do sistema.

4 ANÁLISES DE RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICOS DA BACIA

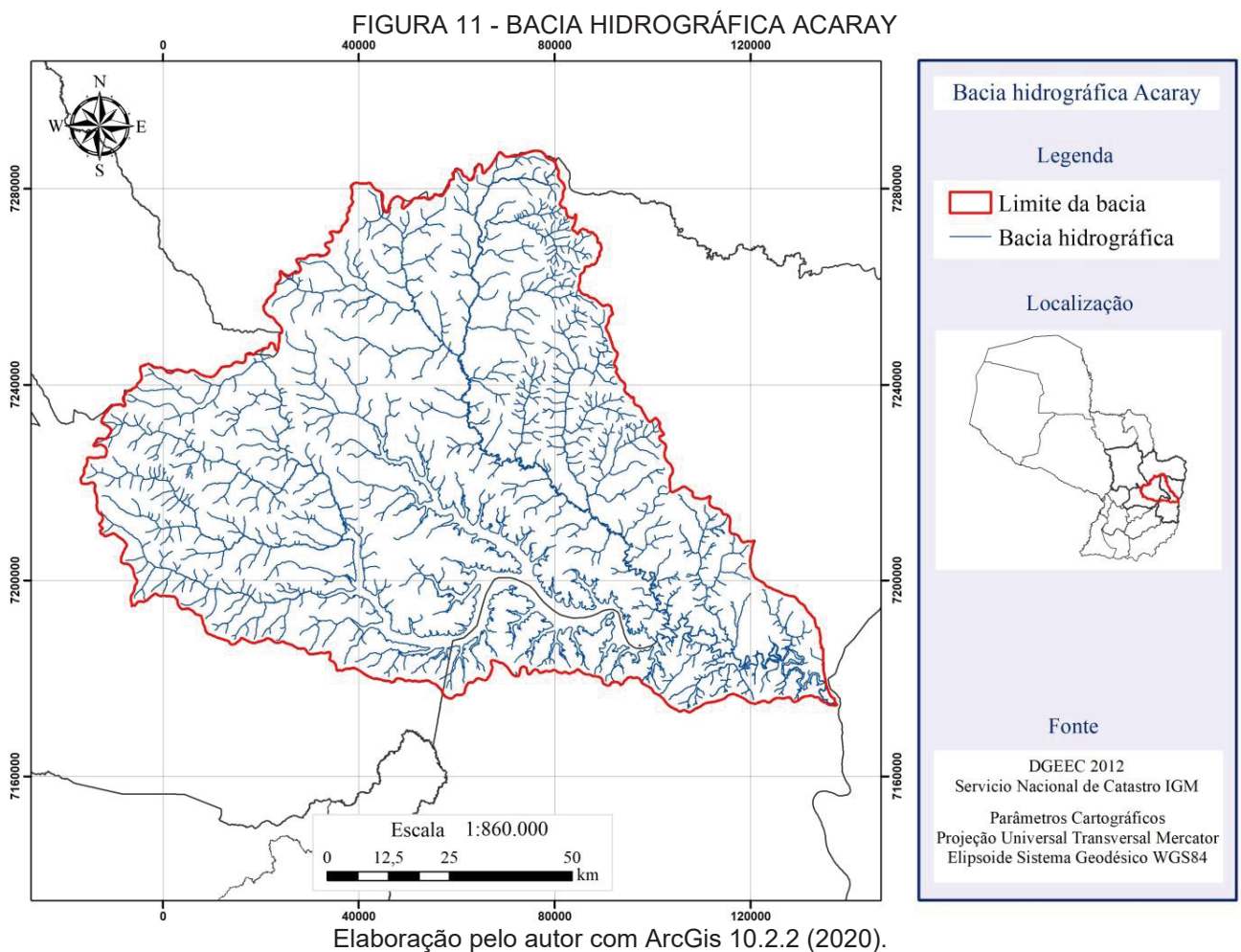
4.1.1 Delimitação da bacia Acaray

A bacia do rio Acaray está localizada na região Oriental do Paraguai (FIGURA 10), compreendendo os departamentos de Alto Paraná (34%), Caaguazú (63%), Canindeyú (1,1%) e San Pedro (0,03%). A bacia tem uma área de 9.860 km² (2,4% do país) e o canal principal tem 160 km de extensão.



4.1.2 Hidrologia

A bacia do rio Acaray pertence à bacia do rio Paraná e seus principais afluentes são os rios Yguazú e Monday-mi que se destacam pela presença de grandes rochas que dão origem a grandes cachoeiras. A bacia Acaray tem uma média de fluxo de 168,2 m³/s e uma velocidade de fluxo específico de 18 l/s/km². Seu potencial hidrelétrico instalado é de 190 MW (2,3% do país) (FIGURA 11).

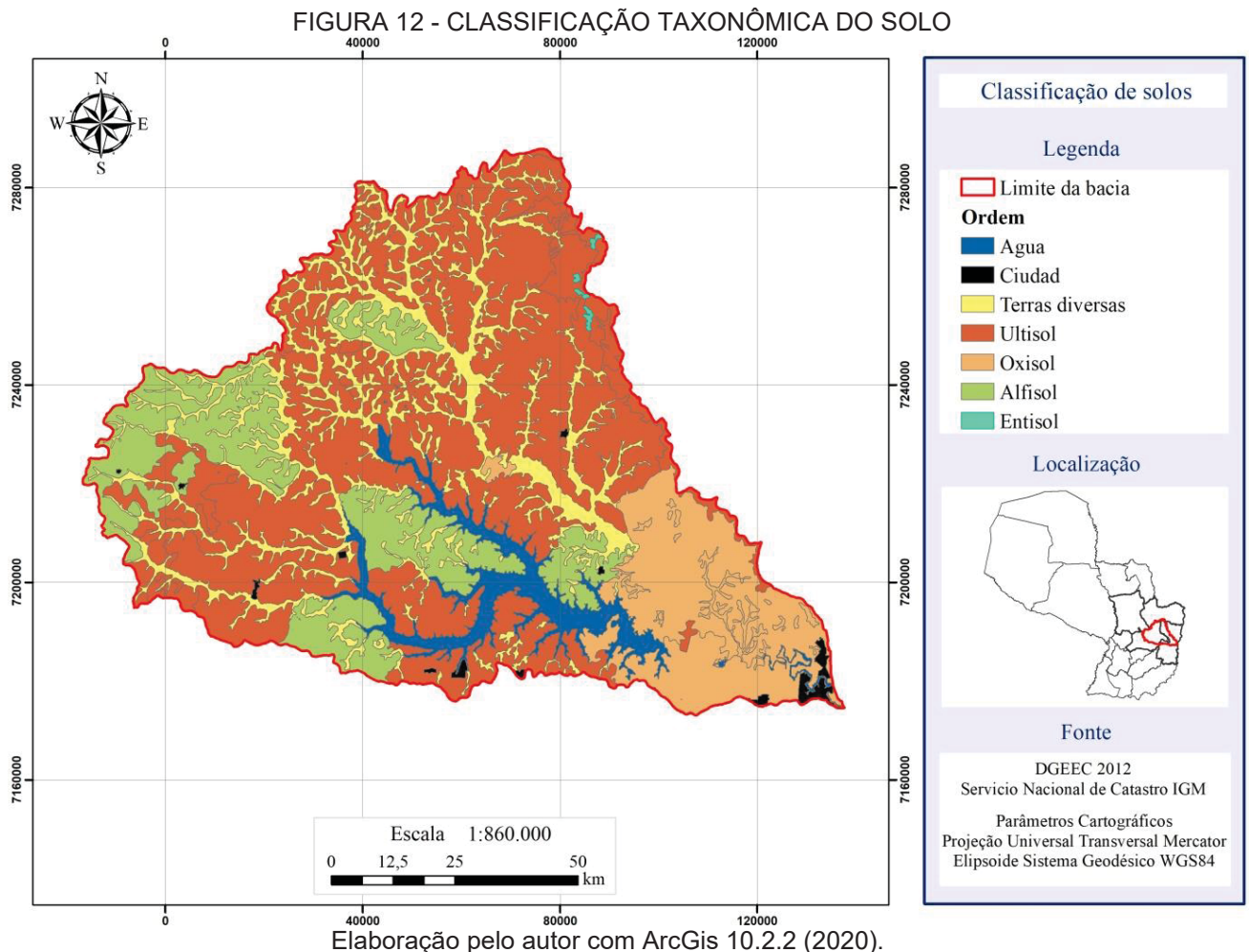


4.1.3 Geologia

De acordo com o mapa geológico do Paraguai¹², a bacia de Acaray pertence ao período Cretáceo da era Mesozóica e correspondem à classificação dos grupos

¹² PROYECTO PAR 83/005, 1986. Mapa Geológico del Paraguay. Realización por Palmieri & Fúlfaro. Gobierno de la República del Paraguay/ONU. Asunción, PY. Disponible en <http://www.geologiadelparaguay.com/mapasdesuelos.htm>

taxonômicos (FIGURA 12) Ultisol (23,6%), Oxisol (16,1%) e Alfisol (5,9%). Também são encontrados em menor proporção solos Entisol (3,7%).



Os Ultisoles são solos tropicais com horizonte enriquecido com argila de textura fina, cujo material original é o basalto. São caracterizados por sua cor vermelha intensa, possui uma paisagem ondulada e com boa drenagem, sem rochas, moderadamente fértil. O relevo apresenta declividades cujos valores oscilam entre 2 - 15% (FAO, 2015; PEOF, 2016).

Os Oxisoles são solos tropicais, abastadas em sesquióxidos de ferro e alumínio, que consistem em argilas muito finas, boa drenagem e sem rochas. São solos derivados do derrame basáltico, com alta fertilidade inicial, depois decaem perceptivelmente. Contém uma alta evolução relacionada aos climas úmidos, devido ao elevado volume de precipitação, são solos lavados que têm condições ácidas. A vegetação predominante nesses solos é de floresta sub-tropical de alta umidade (semicaducifolia), denominada Floresta do Alto Paraná (LÓPEZ et al. 2012).

Os Anfisoles ocorrem em lomadas de arenitos e várzeas de rios e riachos, com uma variada granulometria que vai do arenito ao barro fino. São solos de origem aluvial, sendo mais jovens em idade geológica (quaternária) localizados em um ambiente bem drenado, com um regime de umidade da água, têm uma cobertura vegetal arborizada e são cobertos com gramíneas, florestas em ilhas ou com árvores xerófilas isoladas. Eles são encontrados em relevos planos a moderados, sem a presença de rochas (FAO, 2015).

Os solos Entisol são formados principalmente de rochas graníticas ou arenitos, com vegetação predominante de gramíneas nativas e ilhas florestais. Também estão presentes os solos da pradaria que são agrupados sob a categoria de terras diversas ou solos mistos. São solos classificados como improdutivos e apropriados apenas para culturas agrícolas perenes, de preferência para pastagens. Os solos influenciados pelas águas subterrâneas e pelas águas estagnadas também são atribuídos a terras diversas (PEOF, 2016).

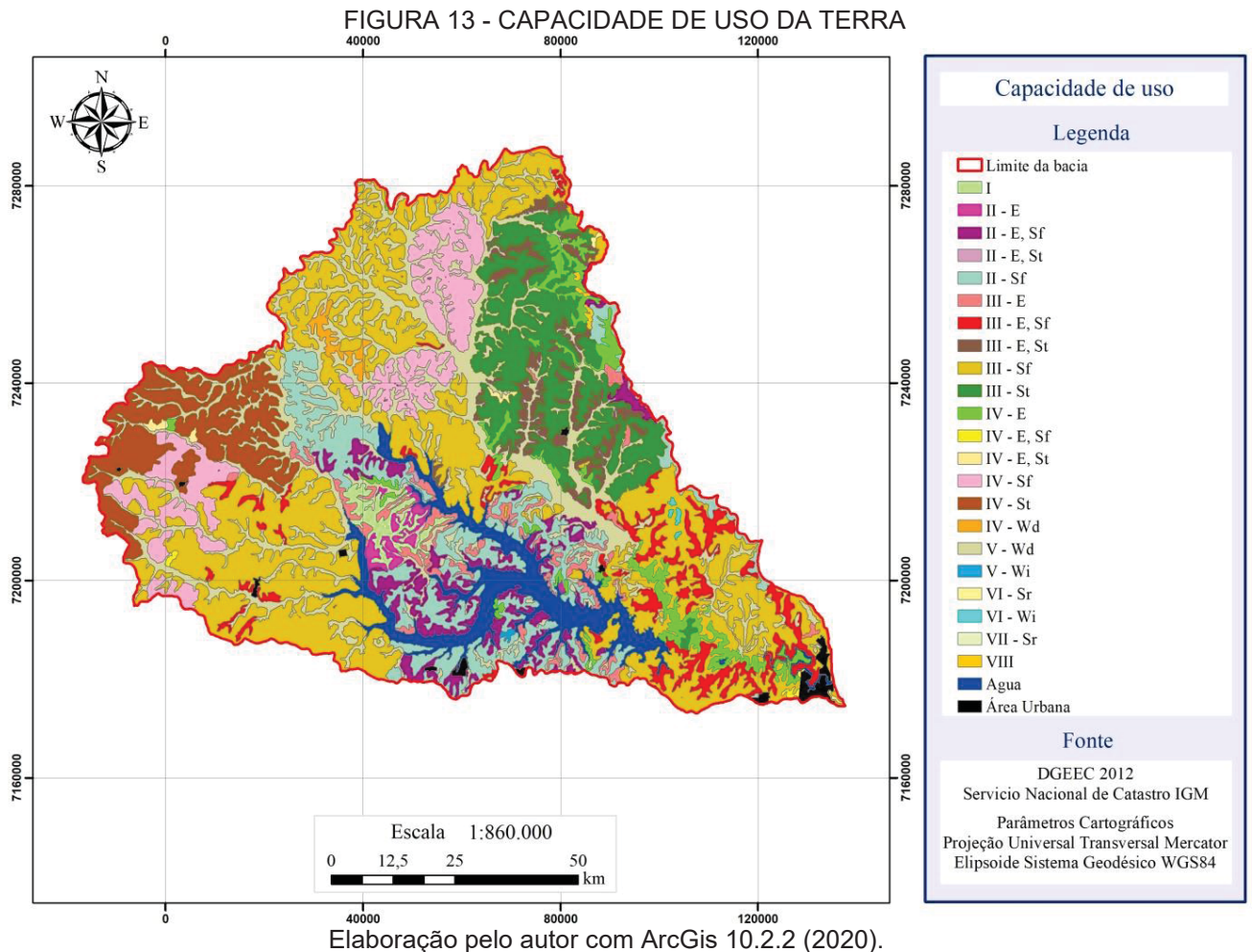
4.1.4 Capacidade de uso

De acordo com a classificação por capacidade de uso de solos (FIGURA 13), a bacia tem em sua maioria o Grupo A que são terras aptas para uso agrícola, devido principalmente à favorabilidade de solo, relevo e clima. A Classe III (39,6%) tem maior predominância com solos de fertilidade aparente (Sf), além de ter solos com textura da seção de controle (St) e com pequeno declínio (E) no Alto Paraná.

Seguida pela classe II (18,3%) com terras cultiváveis com problemas simples de conservação, o que significa dizer que são terras de alta capacidade produtiva, com declividade (E) e solos de fertilidade aparente (Sf) especialmente no Departamento de Caaguazú. Também no grupo A, é encontrada a classe IV (10,9%) apresenta declividade (E) no Departamento de Alto Paraná e Caaguazú solos com fertilidade aparente (Sf) e a classe I (0,2%), representando pequenas áreas.

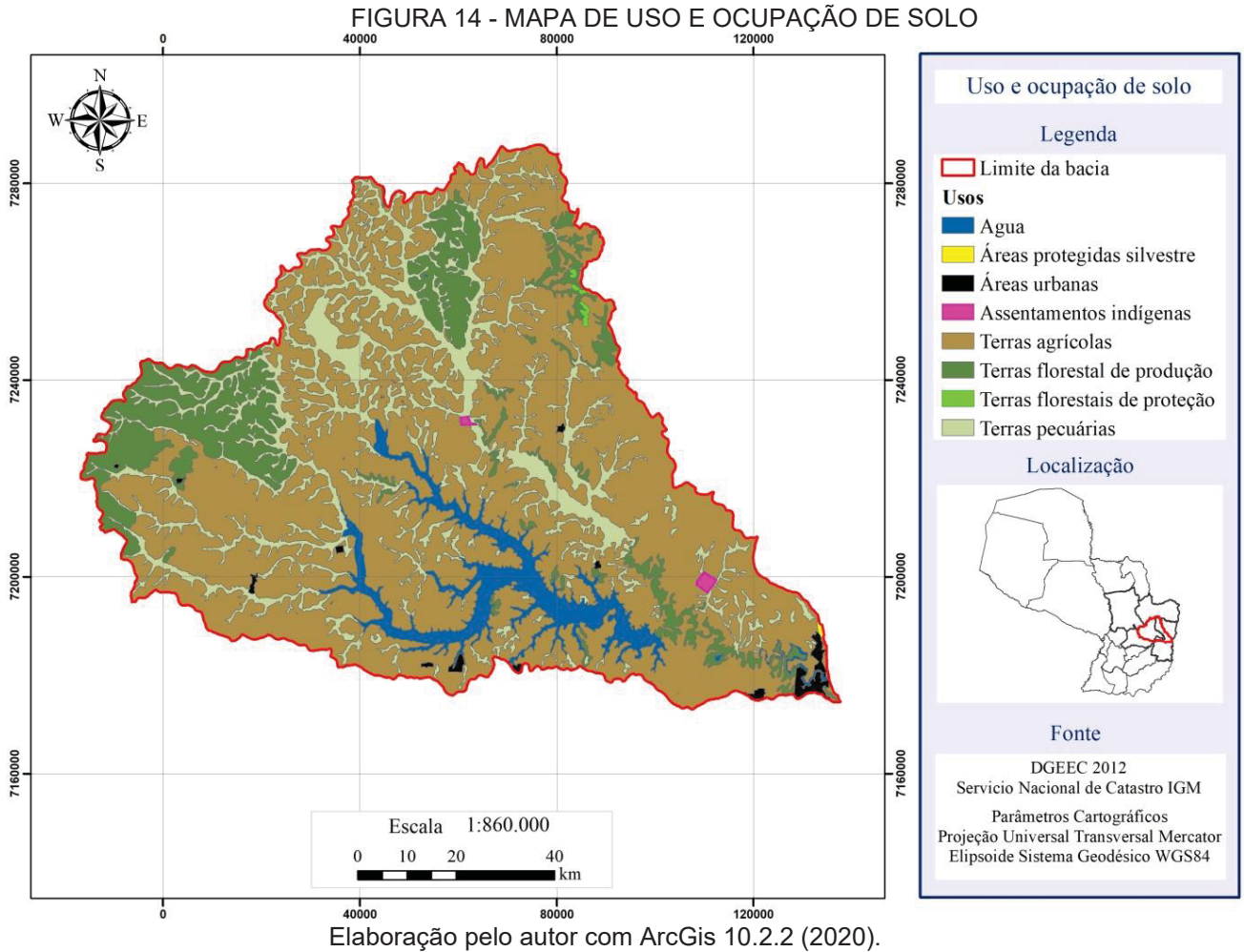
Os outros solos em menor quantidade presente pertencem a o Grupo B, que são adaptadas para pastagens e/ou reflorestamento, a classe V (13,4%) com drenagem e permeabilidade (Wd) e riscos de inundação (Wi), a classe VI (1,9%) e VII (0,2%) com pedregosidade (Sr). É encontrada também a classe VIII (0,6%) do Grupo C, que correspondem às terras impróprias para culturas, pastagens e

reflorestamento, podem servir apenas como abrigo e proteção da fauna e flora silvestre, como ambiente de recreação ou para armazenamento de água.



4.1.5 Uso e ocupação de solo

Na bacia do Rio Acaray insere-se a maioria da população no município de Cidade do Este no Alto Paraná. As outras áreas encontradas são principalmente sistemas produtivos de terras agrícolas tecnificada com sistema de conservação do solo e agricultura familiar camponesa. Em algumas áreas, a atividade pecuária é realizada para aproveitar as áreas baixas e marginais que não têm uso agrícola. Também existem áreas recobertas por fragmentos florestais com áreas de proteção e produção e em menor percentagem assentamentos indígenas (FIGURA 14).



A agricultura tecnificada apresenta principalmente culturas agrícolas de verão e, portanto, apresentam alta sensibilidade a eventos climáticos extremos, principalmente secas, no caso de soja, milho, sésamo e mandioca. Enquanto o trigo é afetado pelas geadas, mas em menor proporção.

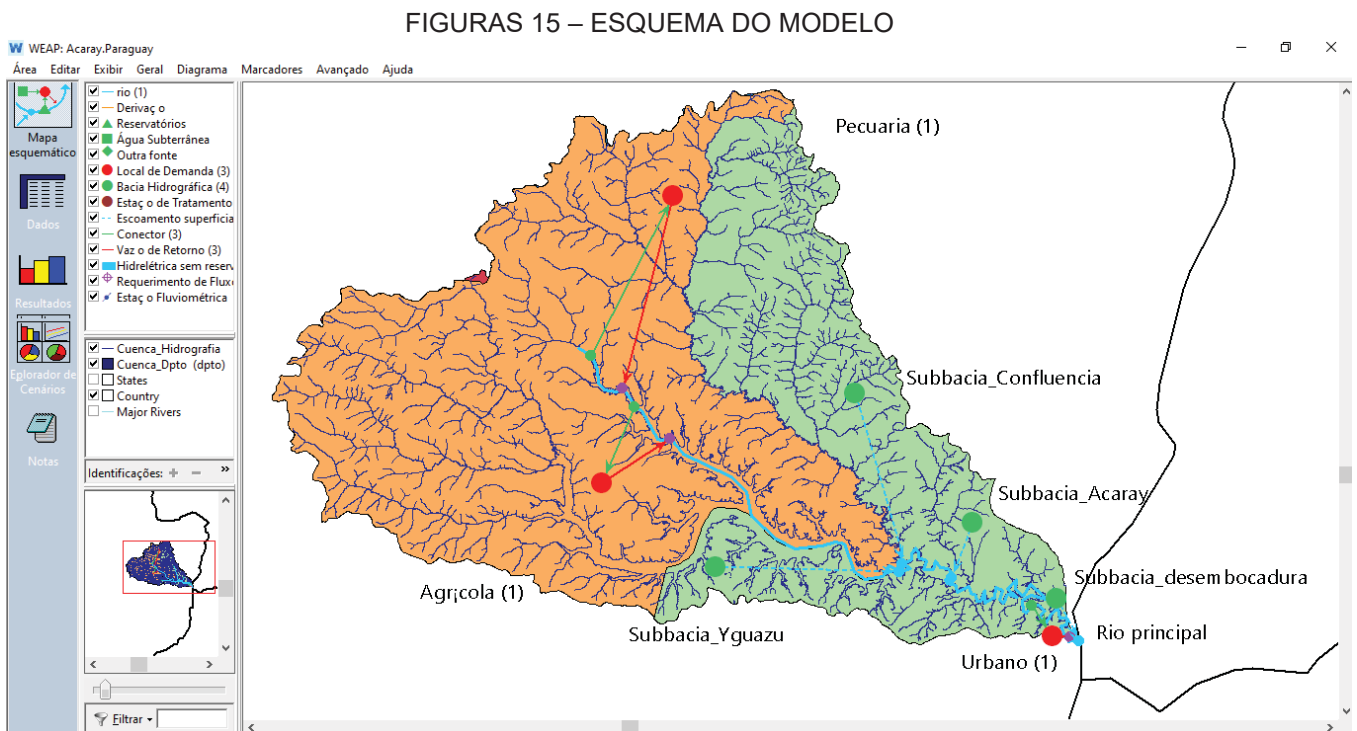
A produção bovina, ainda que em pequena escala é afetado principalmente pela seca, pois reduz a quantidade de água nas pastagens e, com isso, diminui a massa de ração de gado que afetam o sistema de produção, apresentando uma vulnerabilidade média às mudanças climáticas.

Assim também, uma perda importante para a agricultura familiar se traduz em menor disponibilidade de alimentos e, portanto, no aumento da pobreza e até mesmo da pobreza extrema, nestes casos a existência de programas sociais reduz o impacto.

4.2 CENÁRIO ATUAL/REFERÊNCIA

A FIGURA 15 mostra o esquema elaborado no modelo de simulação WEAP, possibilitando a visualização do sistema de recursos hídricos através da localização geográfica, com o uso de SIG. O esquema mostra os locais de demanda (●), cada um dos pontos vermelhos representa os usos de água que foram adicionados; as atividades agrícola, pecuária e consumo da população. Aparecem no esquema as sub-bacias ou captações (●), o que permite gerar os fluxos hidrológicos que passam para o rio e estão disponíveis para atribuição aos usuários.

Os principais rios e seus afluentes também estão representados no esquema (→), fluxos de retorno dos locais de demanda (→) e as conduções do usuário para as fontes de abastecimento de água (→).

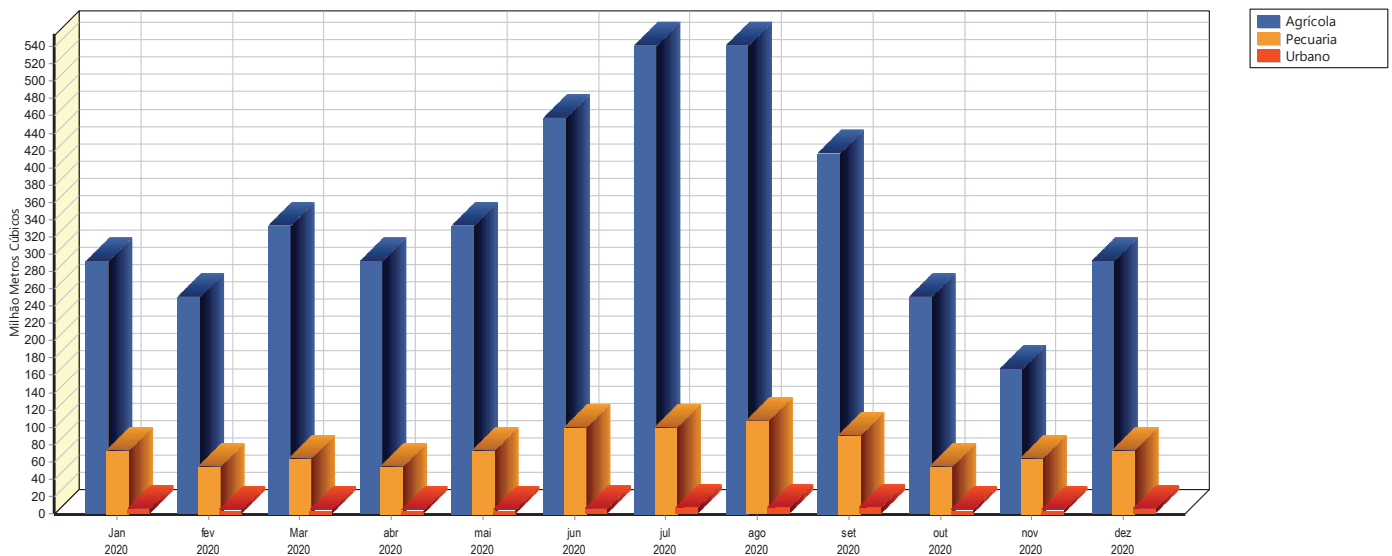


Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

Os resultados obtidos pelo WEAP para a demanda mensal de água foram obtidos a partir do consumo total dos usos por departamento conforme ano atual e ano de referência. Apesar de que a região tenha uma precipitação média anual de 1.434 mm, e um clima tropical úmido, a frequência de secas é alta, apresentando grande variabilidade entre os períodos seco e úmido.

Na FIGURA 16 mostra que chuvas fortes ocorrem de outubro a maio, passando por um verão bastante úmido, indicando assim uma maior variação da demanda de água das atividades agrícolas e pecuárias, nos meses de junho a agosto, correspondentes à estação seca do ano. Em relação da área urbana no aproveitamento para uso doméstico os valores apresentados são inferiores, mas regularmente constantes no ano.

FIGURA 16 - DEMANDA POR ÁGUA MENSAL (MILHÕES DE M³)



Demanda (Milhão Metros Cúbicos)

Cenário: Referência Todos Mês (12) Selecionado Derivação (4/31) Derivação: Locais de demanda e bacias hidrográficas

	Jan	fev	Mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Sum
Agrícola	290,81	249,26	332,35	290,81	332,35	456,98	540,07	540,07	415,44	249,26	166,17	290,81	4.154,36
Pecuária	71,08	53,31	62,20	53,31	71,08	97,74	97,74	106,62	88,85	53,31	62,20	71,08	888,52
Urbano	3,54	3,10	2,65	2,65	3,10	3,98	5,31	5,75	4,87	2,65	3,10	3,54	44,23
Sum	365,43	305,67	397,20	346,77	406,53	558,70	643,11	652,44	509,15	305,23	231,47	365,43	5.087,11

Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

Observa-se que as atividades econômicas dos departamentos estão principalmente no setor primário (agricultura e pecuária), a indústria e o comércio da área urbana estão vinculadas ao setor primário e, portanto, também são afetadas pelas mudanças climáticas em relação à disponibilidade de água.

A população urbana concentra-se em Ciudad del Este do Alto Paraná e seu entorno, fruto de um processo de urbanização baseado principalmente no comércio fronteiriço, apresentando um consumo anual de água de 44,23 milhões de m³ e sem ter variação significativa no abastecimento. Herrera (2013) menciona que os usos domésticos da água são considerados bastante constantes ao longo do ano, devido

a que são usos dos recursos hídricos utilizados para atender às necessidades dos centros populacionais. Além disso, o consumo de pequenas indústrias que fazem parte dos assentamentos e cujo suprimento é diretamente da rede municipal é considerado para uso doméstico.

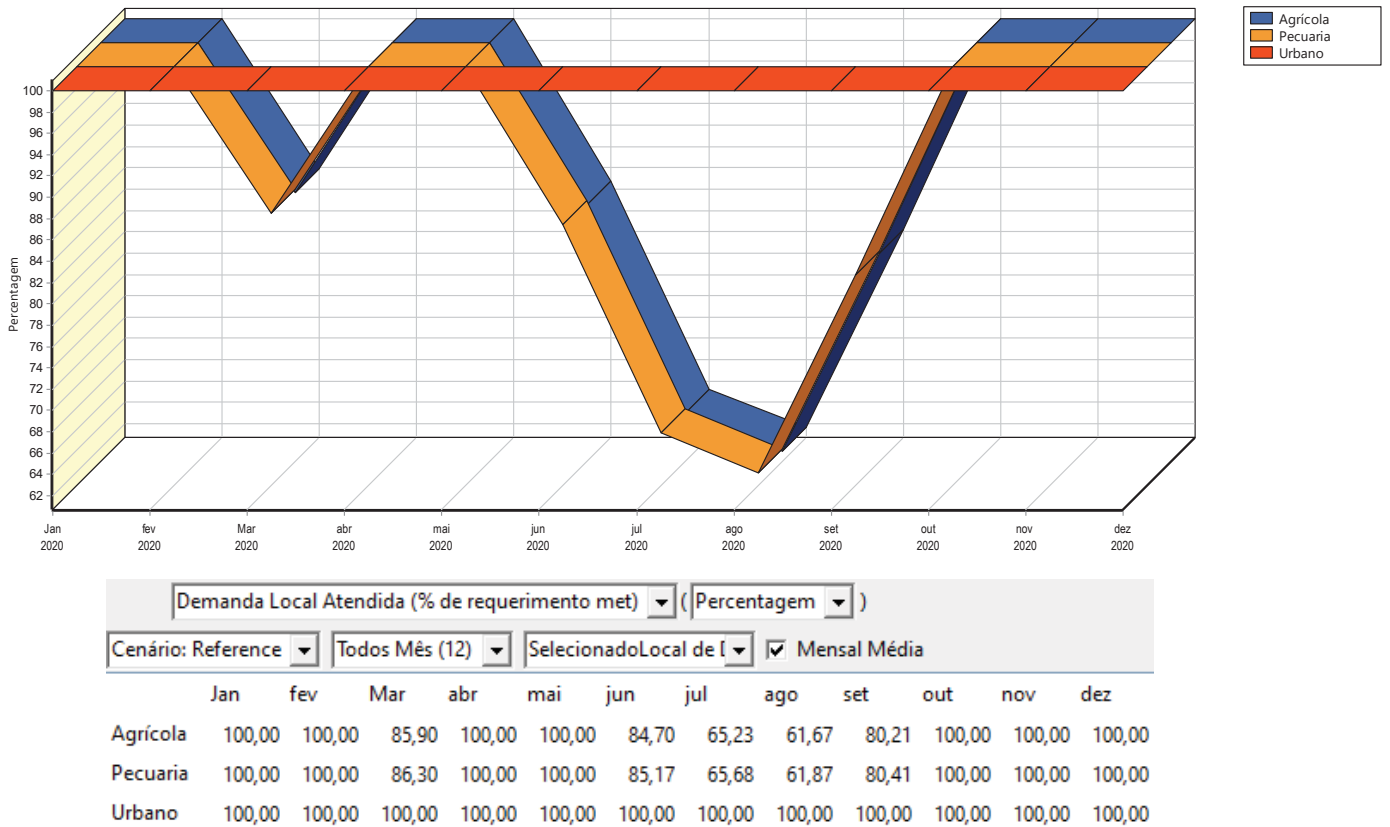
Enquanto, a população rural tem um percentual maior no departamento de Caaguazú, esse aumento populacional e a alta fertilidade de seus solos contribuem na a expansão agrícola, apresentando assim uma demanda anual de água de 4.154 milhões de m³, com um aumento considerável nos meses de junho com 456 milhões de m³ e 540 milhões de m³ para julho e agosto que são os meses mais secos do ano na região, necessitando assim de um maior consumo de irrigação.

Por outro lado, a produção de gado foi o segundo maior consumo de demanda dentro da bacia com um uso anual de 888 milhões de m³, sendo também maior nos meses de junho e julho com 97 milhões de m³ e 106 milhões de m³ em agosto. Esse segmento produtivo pecuário é afetado principalmente pela seca, pois reduz a quantidade de água nas pastagens e, portanto, diminui a massa de ração das vacas. Pelo lado das altas temperaturas, é muito sensível, principalmente em raças especializadas como Holanda, que são sensíveis a este fenômeno.

Um dos resultados de Grassi (2020) indica que o ano de 2019 foi o mais quente do Paraguai com uma temperatura de 1,5 ° C acima da média do período 1961-1990, apontando também que dos 10 anos mais quentes, 8 deles ocorrido neste século indicando um claro aquecimento, também indica que a partir da década de 90, o aquecimento foi a um ritmo cada vez mais rápido, com estações secas e caudais diminuídos.

Enquanto isso, como apresentado nos resultados, para atividades agrícolas e pecuárias a cobertura da demanda nos períodos de pouca precipitação na região (junho-julho-agosto), apresentaram maior captação e conseqüentemente um déficit hídrico nos meses de julho 65% e agosto 61%, pelo que o consumo na demanda de água foi maior, no entanto, nos meses mais úmidos (novembro-dezembro-janeiro-fevereiro) essa demanda foi atendida. Porém, na área urbana para cada mês do ano a cobertura foi total e constante (FIGURA 17).

FIGURA 17 - COBERTURA DE DEMANDA MENSAL (%)



Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

Assim, que sendo a agricultura e a pecuária as principais atividades econômicas do país, as mudanças climáticas podem ter repercussões na produção nacional. Para Herrera (2013), devido às quantidades de água utilizadas, as perdas por infiltração e à ineficiência das técnicas de irrigação, o valor do retorno da água é menor do que em qualquer outro uso. Portanto, as necessidades hídricas das culturas expressam a quantidade de água necessária para aplicar a uma cultura, para compensar os déficits de umidade do solo durante o período vegetativo, são altas. Essas necessidades de água é o que é conhecido como provisão de irrigação.

Neste sentido, as explorações agrícola, pecuária ou florestal, ou qualquer combinação destes, devem estabelecer e aplicar práticas preventivas para combater a erosão, a poluição e todos os tipos de degradação. Adotando medidas de apoio às ações de recuperação de terras degradadas e de restauração ambiental, considerando as diversas formas de uso dos solos, práticas para manter a fertilidade do solo acompanhado por boas tecnologias que não degradam os solos e impedem a deterioração de sua capacidade, assim como também práticas para proteger todos os canais nascentes e naturais permanentes ou intermitentemente.

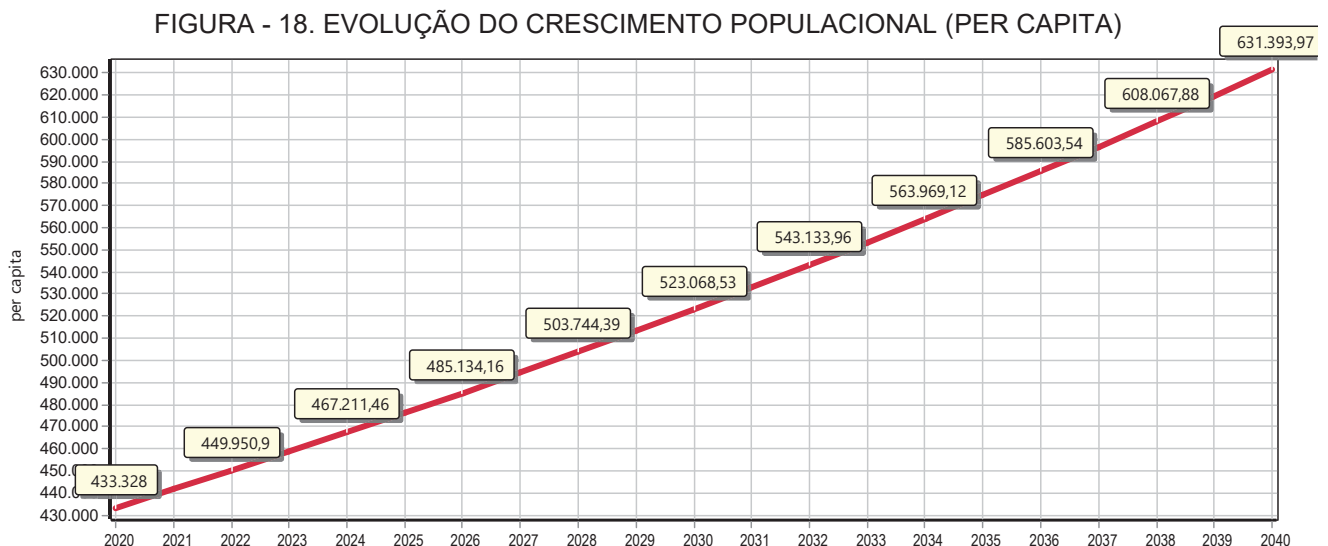
4.2 CENÁRIOS FUTUROS 2021 - 2040.

4.2.1 Cenário A - Crescimento populacional

O cenário desenvolvido demonstra as previsões de consumo de água expressos em milhões m^3 para cada uso na região hidrográfica com alto índice de crescimento populacional.

De acordo com o relatório do país através do MADES (2020) os dados da bacia do rio Acaray mostram que a precipitação média é maior com 1.621,6 mm/ano, o que representa um volume de 168,28 m^3/s e o escoamento superficial de 569,58 mm, o que equivale a dizendo que as perdas por evaporação de 1.058 mm e evapotranspiração de 1.211,6 mm são menores. A projeção no aumento da população apresenta um escoamento superficial menor a partir da década de 2020; com o que se deve esperar uma diminuição da disponibilidade, em comparação com o período de referência.

Conforme explicado, a diminuição da disponibilidade per capita, mostra uma evolução do crescimento populacional de 441.561, 523.069 e 631.394 habitantes para o ano de 2021, 2031 e 2040 respectivamente (FIGURA 18).



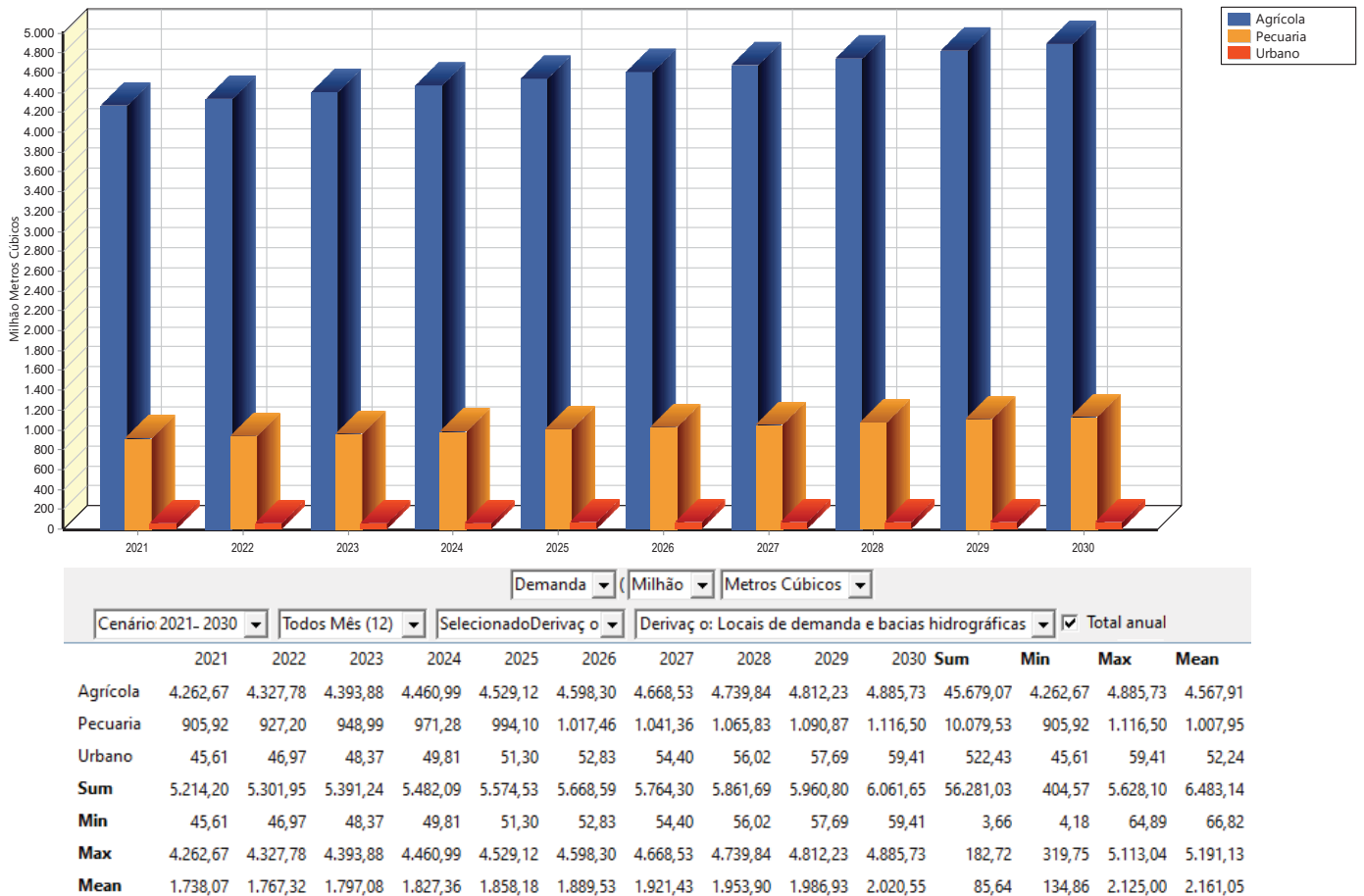
Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

Para Azevedo et al. (2017), o crescimento da população e, em consequência, a expansão urbana, são processos naturais sobre os quais não se têm completo controle. Causando principalmente um aumento da densidade urbana

em determinadas zonas, principalmente as consideradas de baixo valor especulativo imobiliário da cidade. Esse último é, entretanto, segundo Acioly e Davidson (2011), um assunto controverso que pode gerar impactos positivos ou negativos no desenvolvimento urbano, maximizando a infraestrutura de uma cidade ou, por outro lado, causando uma sobrecarga da mesma.

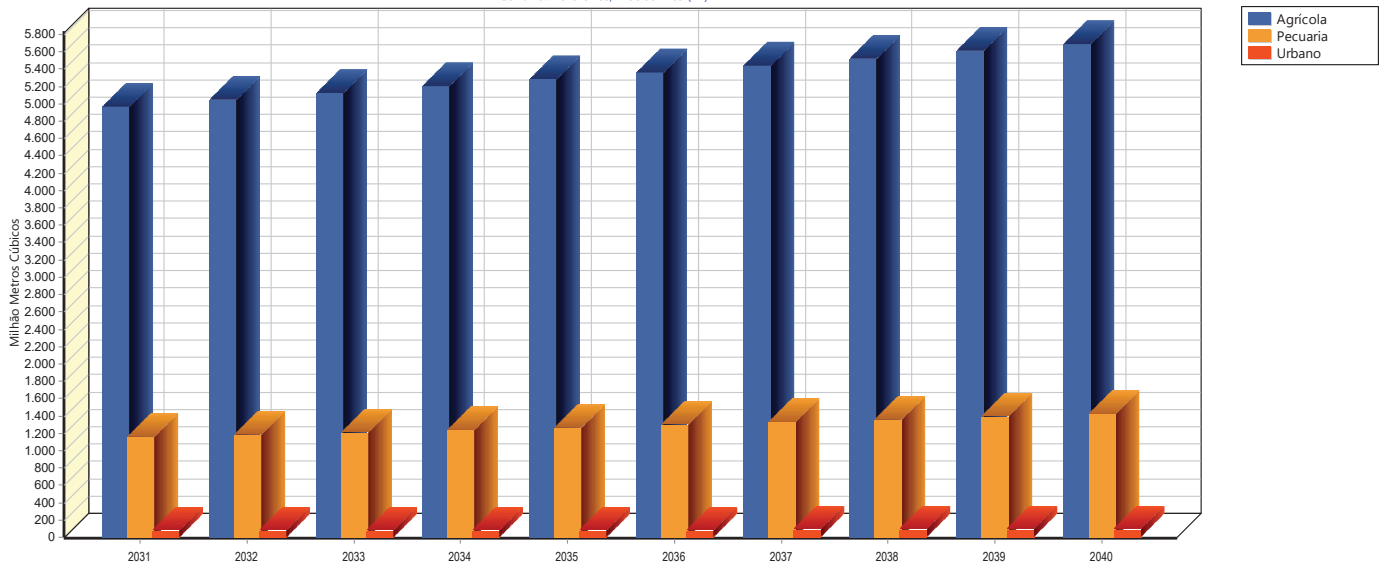
A FIGURA 20 apresenta um crescimento prolongado no consumo durante o período de 2021 a 2030 com o aumento da população esperada para esses anos. O maior consumo ocorre na área agrícola com valor médio de 4.567 milhões m³, seguido pela pecuária de 1.007 milhões m³ e da atividade urbana de 52 milhões m³.

FIGURA 20 - DEMANDA PARA CONSUMO (MILHÕES M³). 2021 - 2030



Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

Assim também na FIGURA 21, o aumento continua pelos outros anos consecutivos durante o período de 2031 a 2040 com 22.267 milhões, 1.271 milhões m³ e 70 milhões m³ para uso agrícola, pecuária e urbana respectivamente.

FIGURA 21 - DEMANDA PARA CONSUMO (MILHÕES M³). 2031 - 2040

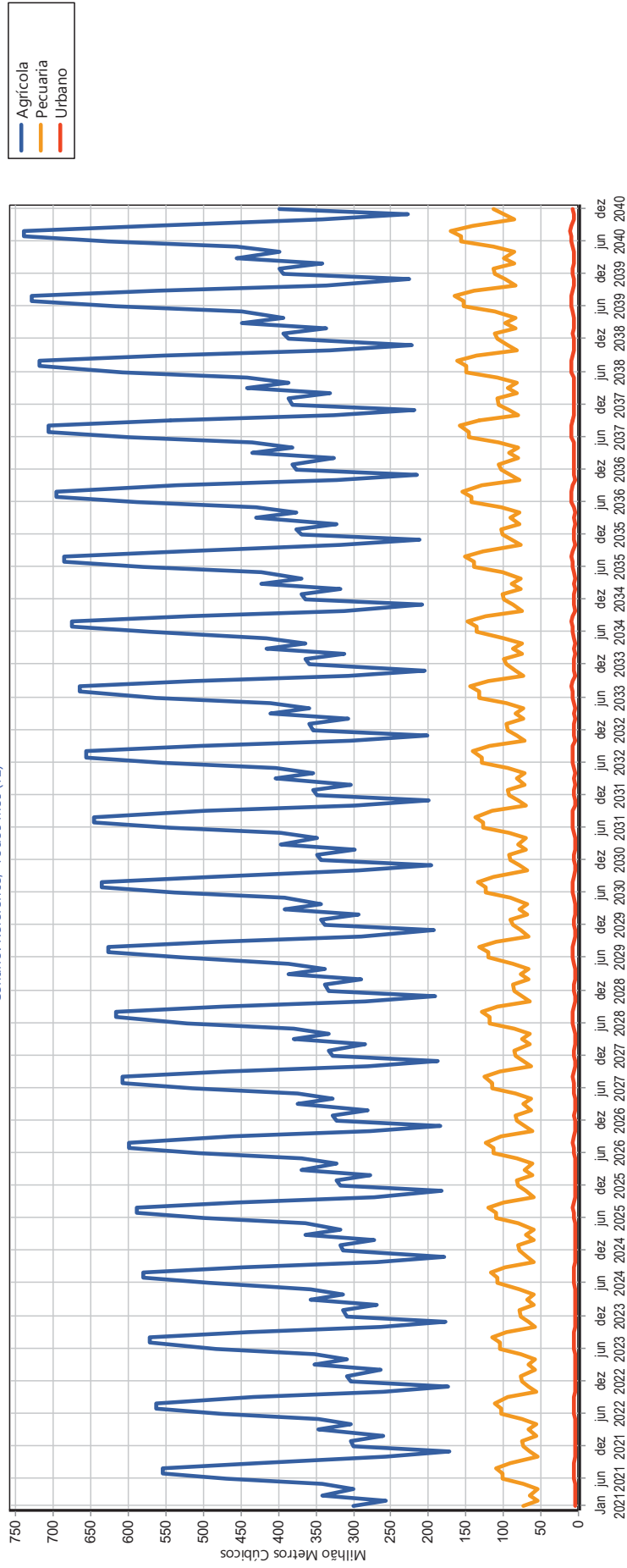
Demanda (Milhão) Metros Cúbicos														
Cenário 2031. 2040		Todos Mês (12)		Selecionado		Derivaç o		Derivaç o: Locais de demanda e bacias hidrográficas		Total anual				
	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	Sum	Min	Max	Mean
Agrícola	4.960,36	5.036,12	5.113,04	5.191,13	5.270,42	5.350,92	5.432,65	5.515,62	5.599,87	5.685,40	53.155,53	4.960,36	5.685,40	5.315,55
Pecuária	1.142,73	1.169,58	1.197,06	1.225,19	1.253,97	1.283,43	1.313,59	1.344,45	1.376,04	1.408,36	12.714,40	1.142,73	1.408,36	1.271,44
Urbano	61,18	63,01	64,89	66,82	68,81	70,86	72,97	75,15	77,39	79,70	700,78	61,18	79,70	70,08
Sum	6.164,27	6.268,71	6.374,99	6.483,14	6.593,20	6.705,21	6.819,21	6.935,22	7.053,29	7.173,46	66.570,71	404,57	5.628,10	6.483,14
Min	61,18	63,01	64,89	66,82	68,81	70,86	72,97	75,15	77,39	79,70	3,66	4,18	64,89	66,82
Max	4.960,36	5.036,12	5.113,04	5.191,13	5.270,42	5.350,92	5.432,65	5.515,62	5.599,87	5.685,40	182,72	319,75	5.113,04	5.191,13
Mean	2.054,76	2.089,57	2.125,00	2.161,05	2.197,73	2.235,07	2.273,07	2.311,74	2.351,10	2.391,15	85,64	134,86	2.125,00	2.161,05

Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

No entanto, observa-se na FIGURA 22 que a partir do crescimento populacional, o volume total de água demandada, cresce fortemente influenciado pela agricultura e a pecuária que são as atividades mais expostas às alterações climáticas, devido a que são realizadas seguindo o ciclo natural, sem possuir infraestrutura e capacidade para responder com rapidez, eficiência e resiliência aos eventos climáticos extremos.

A dependência das chuvas e a alta vulnerabilidade à seca durante junho, julho e agosto ao longo dos anos simulados pode ter um impacto negativo na economia e nas condições sociais da região, que influenciam a disponibilidade de alimentos é a alta sensibilidade da produção agrícola tradicional. Essa sensibilidade pode afetar principalmente os pequenos produtores do departamento devido ao menor desenvolvimento tecnológico e de infraestrutura.

FIGURA 22 - REQUERIMENTO DA DEMANDA DE ÁGUA COM CRESCIMENTO POPULACIONAL (MILHÕES M³)



Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

Segundo a Secretaría de Emergencia Nacional (2018), devido à sua localização geográfica, a bacia Acaray está sujeito à ocorrência de fortes tempestades e tornados. As tempestades ocorrem em qualquer época do ano, mas têm recorrência alta a muito alta de outubro a abril, ou seja, do início da primavera, passando pelo verão, até meados do outono; durante o inverno, são menos frequentes. Ventos fortes, chuvas intensas com ocasionais quedas de granizo e descargas elétricas são as características das tempestades que afetam a região.

Segundo dados MADES (2020), 90% de sua produção agrícola depende do tempo e do clima, quando se observa declínio econômico, coincide com culturas agrícolas impactadas negativamente por condições climáticas adversas à produção, como inundações e secas.

As chuvas e inundações trazem consigo uma série de problemas ambientais, sociais e econômicos que afetam diretamente o setor agrícola; como perdas de safra, doenças animais, destruição de estradas e infraestrutura produtiva, redução da produção, pobreza, migração, entre outros. Assim também, as altas temperaturas em períodos secos, e, conseqüentemente, falta de umidade no solo e água para irrigação afetaram na agricultura tecnificada, primeiro a soja e depois o milho. Sésamo, cana-de-açúcar, algodão e hortaliças, principais culturas da agricultura familiar, também são afetados por secas periódicas. A mandioca só é afetada se a seca for muito forte.

A infraestrutura agrícola é limitada para lidar com tempestades, chuvas torrenciais ou secas, já que a maioria dos produtores locais não possui tecnologias agrícolas para captação de água, nem cultivam com sulcos de contorno ou canais de infiltração em terraços que permitiriam melhor gestão do recurso hídrico.

Por outro lado, a mudança no uso do solo, especialmente das florestas para fins de expansão agrícola, pecuária e de assentamentos humanos, potencializa as condições de risco de desastre no ecossistema. O progressivo desmatamento sofrido nas regiões por aproximadamente três décadas tem desencadeado uma deterioração ambiental que favorece a salinização do solo, erosão hídrica e eólica, aumento da evaporação, aquecimento dos solos e diminuição da infiltração das águas pluviais e o conseqüente armazenamento de água no solo.

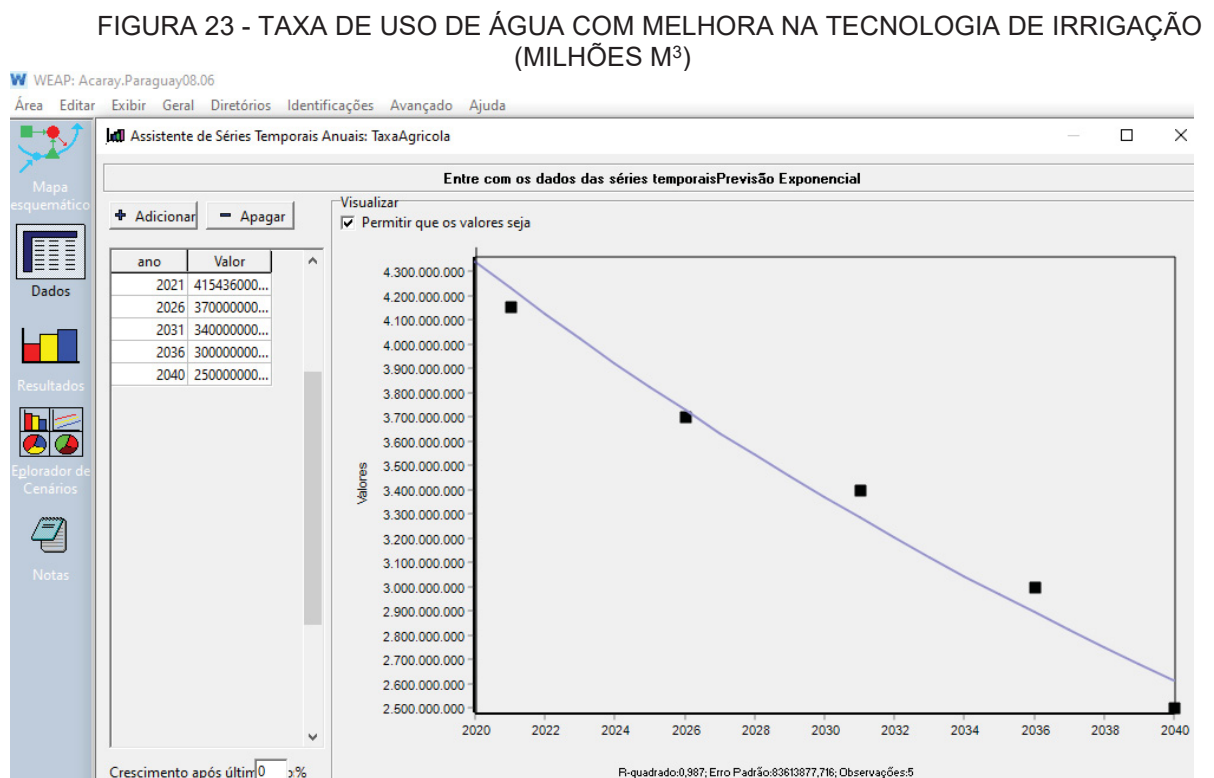
Rodriges (2013), Bruijnzeel et al. (2010) e O'Geen et al. (2010) fazem referência e confirma com os resultados que, a alta fertilidade do solo tropicais, que raramente têm déficit de umidade, pode cair se houver alteração da infiltração das

águas pluviais que associada à mudança do uso do solo potencializa uma modificação no regime de um curso de água, produzindo elevados picos de vazão durante o período chuvoso e baixos valores no período seco, causando assim uma maior influência da demanda durante as estações secas, isto é, que a quantidade de água armazenada no solo é considerada um dos fatores mais importantes no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.

4.3.2 Cenário B - Melhora na tecnologia de irrigação

Supõe um cenário com ênfase nas soluções locais para os problemas de sustentabilidade econômica, social e ambiental. Considerada uma redução na taxa anual de uso de água, através de uma previsão exponencial elaborado no WEAP com mudanças tecnológicas não muito rápidas e diversificadas, mas com forte ênfase em iniciativas comunitárias e inovações sociais para obter soluções preferencialmente locais.

A similaridade nos demais anos sugere que os fluxos simulados são válidos da mesma forma, conforme mostra na FIGURA 23, a dispersão dos dados é consistente, com tendência correta e alta correlação anual de R^2 , de 0,98.

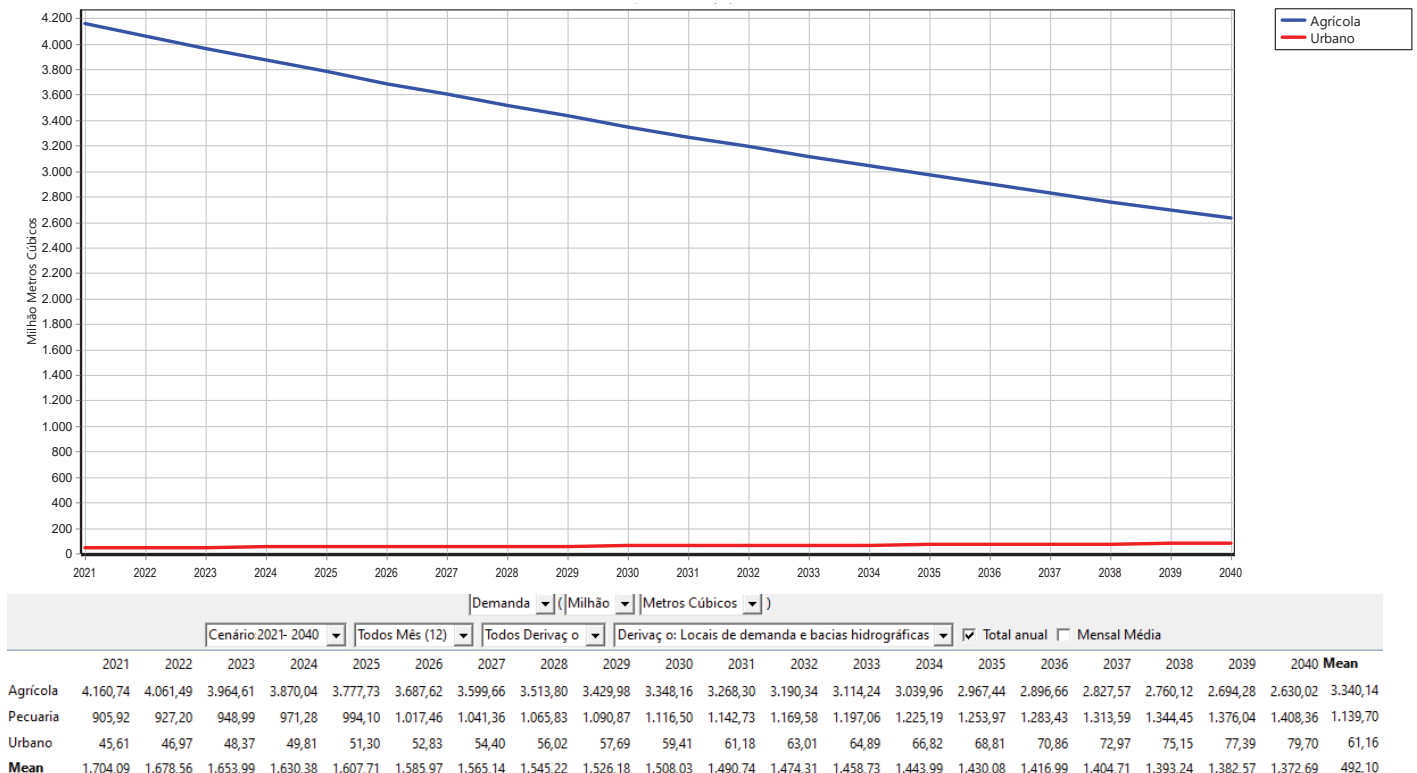


Mecanismos de controle de uso da terra deficientes, critérios de sustentabilidade insuficientes na produção em grande escala, o uso de tecnologia limitada para a produção em pequena escala, têm um impacto negativo sobre a produtividade e a demanda de grandes volumes de água, sendo a agricultura a principal fonte de captação da água disponível. No entanto, essas demandas podem ser reguladas com ações de monitoramento da água, além de um sistema de irrigação adequado para a conservação do solo e para mitigar os efeitos negativos da erosão e favorecendo a infiltração de água no solo.

A irrigação de culturas agrícolas é uma prática utilizada para complementar à disponibilidade da água provida naturalmente pela precipitação, proporcionando ao solo teor de umidade suficiente para suprir as necessidades hídricas das plantas. Agricultura irrigada permite a obtenção de aumentos significativos de produtividade de diversas culturas agrícolas, contribuindo para aumentar a duração do período anual de plantios e a produção agrícola (LANDAU et. al., 2014).

Os resultados para as áreas agrícolas com a aplicação de uma melhoria na tecnologia de irrigação (FIGURA 24) mostram uma redução na projeção de consumo anual de água para o período 2021-2040 com um valor médio de 3.340 milhões m³.

FIGURA 24 - USO DE ÁGUA COM MELHORA NA TECNOLOGIA DE IRRIGAÇÃO (MILHÕES M³). 2021 - 2040



Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

Além disso, os usos de tecnologias para reaproveitamento de águas de chuva proporcionam uma economia de 9,9%, segundo Rufino et al. (2017), e pode garantir o atendimento dessas demandas, desde que essas medidas sejam efetivadas de acordo com os limites da disponibilidade.

Um dos desafios ainda enfrentados pela agricultura em Paraguai é a insuficiente disponibilidade de tecnologias para apoiar processos concretos de transição agroecologia. Segundo ALADI (2017), a região Oriental tem um importante potencial em recursos hídricos, de boa qualidade para consumo humano e irrigação. No entanto, a necessidade de irrigação agrícola no Paraguai está aumentando, devido que a distribuição das chuvas é irregular e a agricultura paraguaia é predominantemente dependente do clima, condições que viabilizam a tecnologia de irrigação como suporte ou complementar. Nesse contexto, muitos produtores de horticultura acreditam que não é mais possível produzir nenhum cultivo como em épocas passadas, ele precisa da implementação em curto prazo de um sistema de irrigação adequado para garantir a produção.

O uso e manejo inadequados das terras e a falta de ações conservacionistas implicam em perdas significativas, de solo, matéria orgânica, nutrientes, biodiversidade, perdas com enchentes e, em especial, de água, prejudicando o equilíbrio dos sistemas hídricos em bacias hidrográficas (VAEZA et al., 2010).

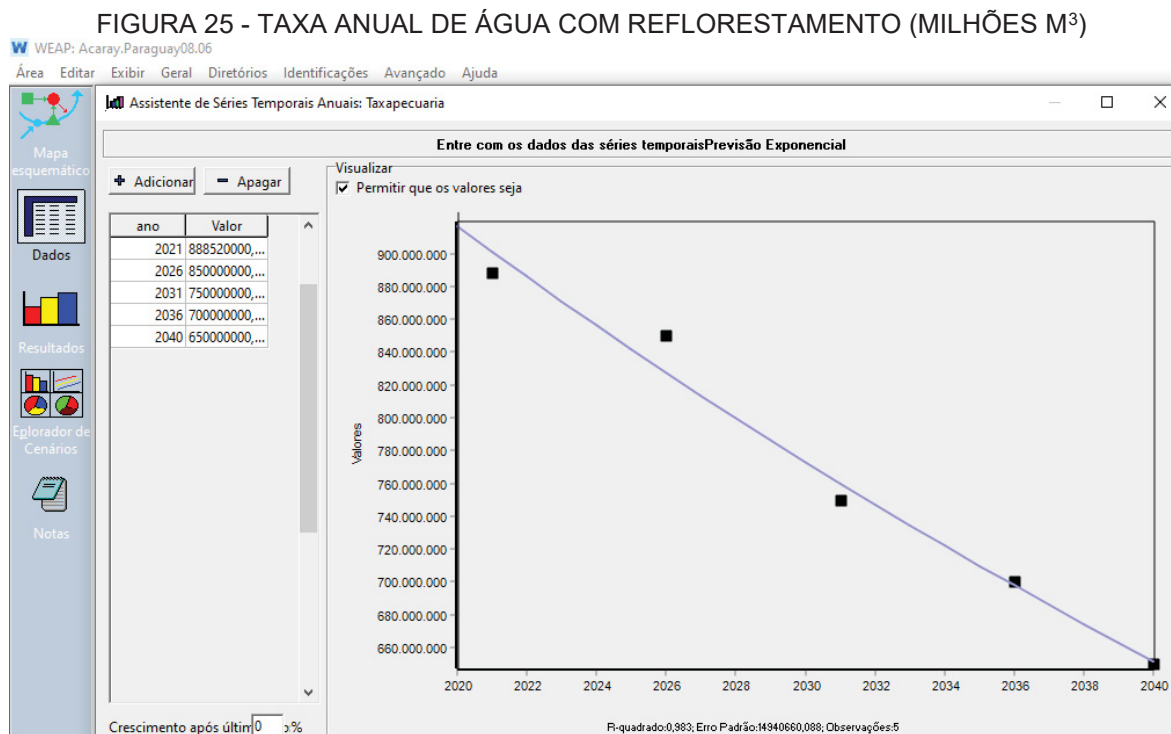
O ordenamento do território como parte de um diagnóstico ambiental é a primeira etapa para o planejamento conservacionista, considerando o ordenamento espacial do território sustentável enquadrado na Lei 3.966/10 (Orgânica Municipal), tendo assim as bases para a produção de práticas agrícolas ecológicas que tenham os recursos hídricos e de solo para sua prática adequada. Esta opção é proposta considerando a nova abertura dos mercados internacionais para a comercialização da produção orgânica de vegetais e produtos de origem animal. Essa linha de produção pode ser uma opção a ser explorada no campo da agricultura família

Lepsch et al. (2015), comenta que o uso adequado das terras, de acordo com a sua capacidade de uso, é o primeiro passo em direção à agricultura correta e de produtividade econômica. Para isso, deve-se empregar cada parcela de terra de acordo com a sua capacidade de sustentação, de forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para seu melhor uso e benefício, procurando, ao mesmo tempo, preservar esses recursos para gerações futuras.

Em geral, os principais problemas climáticos, são apenas parcialmente mitigados com práticas de manejo adequadas, como o uso de variedades de ciclo curto. Nesse contexto, a maioria dos produtores que não fazem essas práticas, em longo prazo, tende a absorver perdas, reduzindo assim sua renda e impactando sua capacidade de realizar investimentos. O desenvolvimento da irrigação agrícola, com tecnologias adequadas ao tipo de solo e ao produto agrícola, pode ser considerado uma boa alternativa para mitigar o risco de seca.

4.3.2 Cenário C - Reflorestamento

Os processos de desmatamento na região têm avançado de forma alarmante pelas mudanças no uso do solo, colocando em risco a sustentabilidade do sistema e a disponibilidade dos recursos hídricos. Através da cobertura vegetal com reflorestamento foi realizada uma previsão exponencial considerada um cenário com uma redução na taxa anual de uso de água (FIGURA 25), onde a dispersão dos dados é consistente, com tendência correta e alta correlação anual de R^2 , de 0,98.



Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

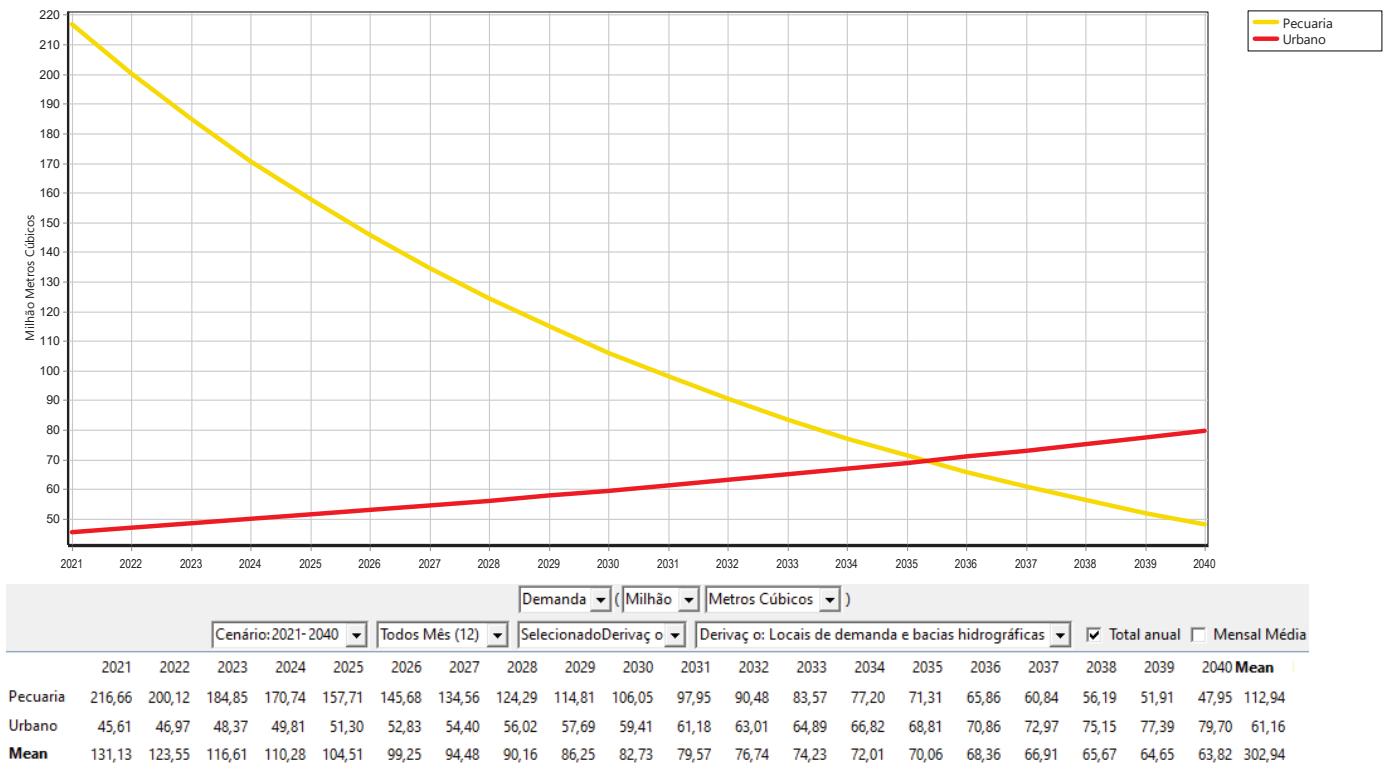
Segundo Bruijnzeel et al. (2010), a relação de equilíbrio entre a vegetação primária e o solo garante o ideal funcionamento do ciclo hidrológico. Com a retirada

da floresta, os fluxos envolvidos no ciclo hidrológico se alteram, com uma menor variabilidade da umidade das camadas profundas do solo, já que a floresta pode retirar umidade de profundidades superiores a 3,6 m, enquanto que a vegetação rasteira como pasto atua sobre profundidade desde cerca de 20 cm.

Para Vaeza (2010), a cobertura florestal confere proteção ao solo contra o impacto direto das gotas de chuva, diminuindo a velocidade de escoamento superficial e favorecendo a infiltração de água no solo, que com o tempo contribui para o aumento da porosidade e favorece a liberação contínua de água em níveis mais controlados, mesmo em épocas de menos chuvas.

Na FIGURA 26 mostra uma redução do consumo anual de água com um valor médio de 3.340 milhões m³ no período 2021-2040. Pode-se perceber que a projeção com o reflorestamento tem um papel fundamental no balanço de água apresentando maior relevância a partir do ano 2036 com grande diferença nos fluxos e, conseqüentemente, diminuição na demanda de água de 65,86 milhões m³, mostrando que as cheias duram menor tempo em áreas descobertas que em áreas florestadas, favorecendo a infiltração de água no solo e permitindo assim uma maior cobertura na área urbana de 70,86 milhões m³.

FIGURA 26 - USO DE ÁGUA COM ÁREAS REFLORESTADAS (MILHÕES M³). 2021 - 2040



Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

Em referência ao resultado, Bruijnzeel et al. (2010) menciona que quando a vegetação se recupera, após vários anos o escoamento tende a retornar as condições anteriores, no entanto se as mudanças são permanentes, por exemplo, culturas anuais, o efeito do desmatamento se mantém. Isto devido a que a parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação; quanto maior for a superfície de folhagem, maior a área de retenção da água durante a precipitação. Então, quando esse volume, retido pelas plantas através das suas raízes, é totalmente evaporado, as plantas passam a perder umidade para o ambiente por meio da transpiração.

A partir disso, foi possível verificar que a vazão na bacia diminui quando ela é desmatada. Quando as condições de infiltração após o desmatamento ficam deterioradas, o solo fica compactado pela energia da chuva, a capacidade de infiltração pode ficar reduzida e aumentar o escoamento superficial, com a redução da alimentação do aquífero. De outro lado, se a água que não é perdida pela floresta, atinge o solo e infiltra, o aquífero tem uma maior recarga, aumentando as vazões mínimas (TUCCI, 2002).

Estudos sobre a cobertura florestal do Paraguai mostram que o país está sofrendo uma diminuição constante de sua área florestal e a falta de proteção de canais de água devido à expansão agropecuária. Assim, temos que em 2.000 a cobertura florestal da Região Oriental havia diminuído 1/3 em relação ao nível de cobertura em 1.977 e 1/4 em relação ao seu nível de cobertura histórico, atualmente sendo estimado em apenas 10% de sua capa original (FAO / IICA, 2017).

Para o planejamento de reflorestamentos também devem ser considerados alguns fatores visando à restauração da paisagem, além dos aspectos legais; como fornecer informações e dar assistência técnica aos produtores ou às comunidades sobre as espécies empregadas e valores de mercado; para isso a realização de levantamentos florísticos ou fitossociológicos na região é imprescindível para subsidiar a degradação do solo. Para Ferreira (2011), o levantamento florísticos fornece estudos mais detalhados e dados básicos da composição das formações vegetacionais e a fitossociologia consiste no reconhecimento da origem, estrutura, classificação de comunidades vegetacionais e relações com o meio.

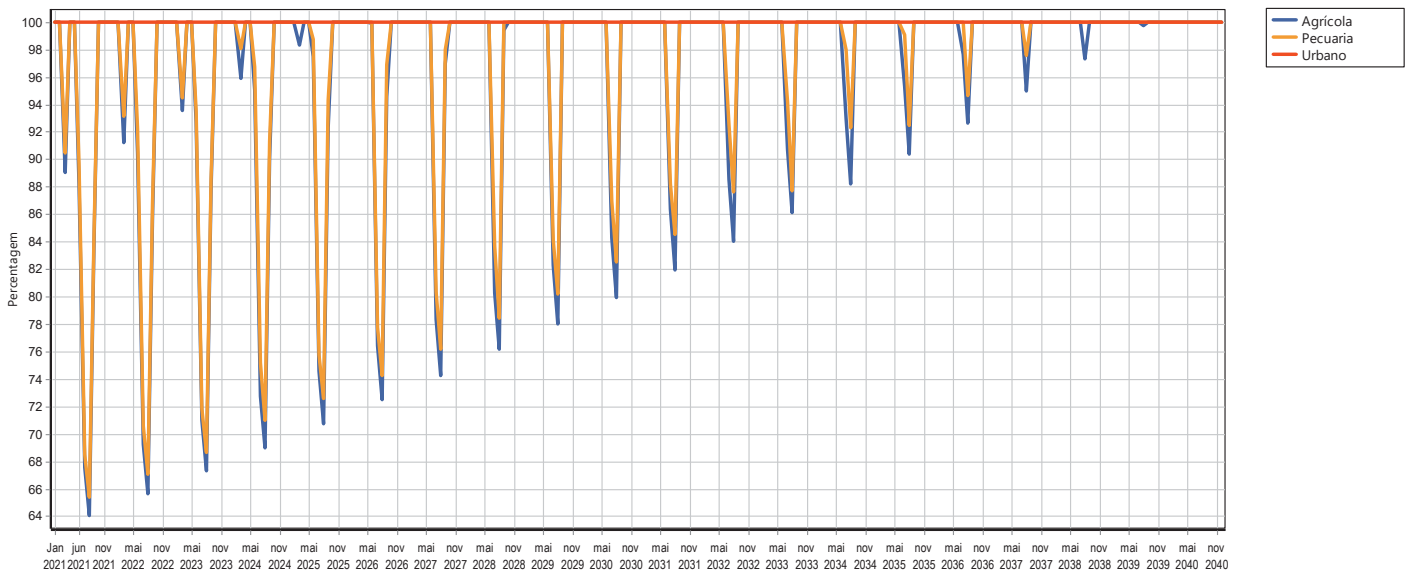
As florestas e demais formas fisionômicas da vegetação são definidas na Lei 422/73 Forestal do Paraguai, concebendo-se a possibilidade de intervenções em áreas destinadas para finalidades de uso, assim como estabelecendo as áreas que devem ser preservadas. Deve-se enfatizar que, apesar dessa prescrição, em

decorrência de pressão antrópica indiscriminada, essas áreas vêm sendo exploradas sem o cumprimento da legislação vigente.

4.2.4 Cobertura para o cenário A-B-C no período 2021-2040

Por outro lado, verifica-se a partir desses resultados que, a confiabilidade do sistema no atendimento às demandas apresentou uma variabilidade de acordo com cada cenário simulado, ou seja, tem-se o percentual no qual a água da bacia conseguiu atender as demandas para abastecimento agrícola, pecuário e urbano (FIGURA 27). Deve-se levar em consideração que se trata de valores anuais e que há meses que a região terá que enfrentar eventos adversos, como chuvas e secas extremas e, independentemente dos cenários, além de outros problemas de qualidade como águas poluídas, problemas de cobertura do serviço que fazem com que mesmo sendo um país com grande quantidade de água, ele não está bem distribuída nem espacialmente nem temporalmente.

FIGURA 27 - COBERTURA PARA CENÁRIO A-B-C (%). 2021-2040



Demanda Local Atendida (% de requerimento met)		(Percentagem)											
Cenário: Reference		Todos Mês (12)											
SelecionadoLocal de l		<input checked="" type="checkbox"/> Mensal Média											
	Jan	fev	Mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Agrícola	100,00	100,00	98,40	100,00	100,00	98,19	85,40	81,63	96,50	100,00	100,00	100,00	
Pecuaria	100,00	100,00	98,80	100,00	100,00	98,54	87,33	83,64	97,00	100,00	100,00	100,00	
Urbano	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Elaboração pelo autor no WEAP (2020).

Os resultados obtidos na pesquisa permitem identificar quais são os componentes e suas variáveis, que podem estar contribuindo para um déficit hídrico com potencial de adaptação ou resiliência a mudanças futuras, principalmente para a área agrícola e pecuária, que constantemente encontra mudanças no uso do solo e com alta vulnerabilidade às condições meteorológicas, pois constituem um instrumento de diálogo entre as autoridades departamentais e municipais, como tomadores de decisão a nível nacional.

As medidas propostas a partir dos resultados só serão possíveis se o Paraguai fortalecer as políticas públicas de prevenção de danos ambientais como o desmatamento e a mudança no uso do solo.

Nesse sentido, deve-se levar em consideração que a região Oriental está no limite da expansão da área produtiva e que ainda rege a Lei nº 2.524/04, conhecida como Lei do Desmatamento Zero, que proíbe a mudança de uso de da terra na região, é importante gerar mecanismos ou incentivos para a adoção de sistemas de produção agropecuária sustentáveis, como o fortalecimento das capacidades dos produtores locais para a produção verde no uso de adubos verdes, policultivos, sistemas de irrigação de tecnologias sustentáveis que não degradam ecossistemas, além de estabelecer corredores biológicos que possibilitem a conservação das matas massas e com ela a vida selvagem para manter ou melhorar as funções hidrológicas e as condições socioeconômicas da população.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do rio Acaray tem uma economia bastante dependente da agricultura e da pecuária, condição que o torna altamente vulnerável às condições meteorológicas, os períodos de pouca precipitação na região (junho-julho-agosto), apresentaram maior captação de água e conseqüentemente um déficit hídrico nos meses de julho com 65% e agosto 61%. Para o uso urbano a demanda foi menor e a cobertura foi total e constante durante o ano. Por outro lado, os cenários desenvolvidos com projeções de 2021-2040, demonstram um aumento das demandas por meio da evolução do crescimento populacional e o consumo anual, o que resulta em uma expansão da produção agropecuária para atender às necessidades urbanas. Um modelo de desenvolvimento que visa aumentar a produção sem considerar as pressões ambientais ou sociais que isso pode gerar não está integrando de forma real a abordagem de sustentabilidade ou resiliência. As atividades agropecuárias geram uma pressão significativa sobre o meio ambiente, através do abastecimento de água para as plantações agrícolas, o acesso a terras férteis para a produção de hortaliças ou pastagens para o gado. Se essas ações não forem realizadas de forma sustentável, os processos de degradação dos solos podem ser agravados, devido à atividade intensiva ou mudança de uso ou conflitos pelo acesso aos recursos hídricos. O recurso hídrico distribuído adequadamente é sinônimo de desenvolvimento, por isso, o WEAP propõe uma série de opções para o gerenciamento e desenvolvimento da água, levando em consideração os diferentes tipos de usos que podem ser dados aos recursos hídricos. As simulações realizadas mostram, uma visão de produção agropecuária sustentável teria como foco uma visão de desenvolvimento compatível com o clima e geraria as bases para uma gestão ambiental adequada, alcançando os objetivos econômicos necessários com harmonização social.

REFERÊNCIAS

ACIOLY, C.; DAVIDSON, F. **Densidade urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana**. 2. ed. Rio de Janeiro: Mauad, 2011.

ALADI - Asociación Latinoamericana de Integración. **Estudio de los diferentes sistemas de riego agrícola utilizados en el Paraguay**. Paraguay, 2017. Disponível em: [http://www2.aladi.org/nsfaladi/estudios.nsf/4040FC1C4A77A47E0325819B0065757B/\\$FILE/DAPMDER_04_17_PY.pdf](http://www2.aladi.org/nsfaladi/estudios.nsf/4040FC1C4A77A47E0325819B0065757B/$FILE/DAPMDER_04_17_PY.pdf) Acesso em: 01 set 2019.

ALMEIDA, J. R.; SILVA, C. E.; RODRIGUES, M. G. Avaliação dos impactos ambientais do desflorestamento sobre o regime hídrico da região metropolitana de Petrópolis (RJ). **Engineering Sciences**, Aracaju, v. 1, n. 1, p. 6-13, 2013.

ALVES, R. SOUZA DE, L. SOUZA DE, V. QUEIROZ, T. LIMA, J. A degradação e fragilidade dos solos no sudoeste de Goiás: o caso da bacia hidrográfica do ribeirão da picada. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, v. 1, n. 56, p. 235-258, jan./jun. 2016.

AZEVEDO, K.; ALVES, I.; MACEDO, M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Eng. Sanit. Ambient.** ISSN 1809-4457, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, sept./oct. 2017. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000500943 Acesso em: 14 set 2019.

BRUIJNZEEL, L.A.; SCATENA, F.N.; HAMILTON, L.S. Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management. **Cambridge University Press**, Cambridge, p. 740, 2010. Disponível em https://www.hydrology.nl/images/docs/ihp/nl/Tropical_Montane_Cloud_Forests.pdf Acesso em: 14 set 2020

CAMINO, M. BÓ, M. CIONCH, J. LÓPEZ, A. Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). **Rev. Univ. Geogr.** ISSN 1852-4265. v. 27, n. 1, 2018.

CANAVEIRA, P.; PAPUDO, R. **Progresso da Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas**. Departamento de Alterações Climáticas/Divisão de Adaptação e Monitorização. Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora, 2013. Relatório técnico.

CASTRO, G. N. **Implementación del Sistema de Modelación WEAP como Herramienta Para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la Vereda La Bella**. Dissertação (Graduação em Administrador Ambiental). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, Administración del Medio Ambiente. Risaralda, Pereira, Colombia, p. 75, 2014.

CEPAL Comisión para América Latina y el Caribe. **Análisis sectorial de biodiversidad - La economía del cambio climático en el Paraguay**. Santiago de Chile, 2014. Disponible em: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/37101-la-economia-cambio-climatico-paraguay> Acesso em: 12 ago 2020.

CONACYT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Programa Paraguayo para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología – PROCIENCIA. Evaluación de la vulnerabilidad y la capacidad para enfrentar a los desafíos y oportunidades del cambio climático en Paraguay Proyecto Asociativo 14-INV-048

ESCOBAR, M.; LIMA, N.; PURKEY, D.; YATES, D.; FORNI, L. Modelación Hidrológica y Escenarios de Cambio Climático en Cuencas de Suministro de Agua de las Ciudades la Paz y El Alto, Bolivia. (Aqua – LAC), **Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe**, Bolivia, v. 5, n. 2, p. 23-34, set. 2013.

FAO Food and Agriculture Organization for the United Nations. **Base referencial mundial del recurso suelo, 2014. Actualización 2015**. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos, Roma.

FAO/IICA Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/ Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. **Gestión integral del riesgo de desastres en el sector agrícola y la seguridad alimentaria en los países del CAS**. Análisis de capacidades técnicas e institucionales, Paraguay. ISBN 978-92-5-130048-0, Asunción, p. 2017. Disponible em: <http://www.fao.org/3/i8208ES/i8208es.pdf>. Acesso em: 12 ago 2019.

FERREIRA, R.; AGUIAR, A.; SILVA, T.; LIMA, B.; LIMA, E. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, estado de Sergipe: da degradação à restauração. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, ISSN 0100-6762, v. 35, n. 2, p. 265-277, 2011.

FERREIRA, R. S.; UAGODA, R. E. S. Análise da predição do balanço hídrico da bacia do ribeirão do Gama-DF através do modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10 p. 880-893, 2017.

FONSECA, F. **Efeitos do Turismo na Demanda d'água da Bacia do Rio Gramame – Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008.

GARCÉS, A. Paradigmas del conocimiento y sistemas de gestión de los recursos hídricos: La gestión integrada de cuencas hidrográficas. **Revista Virtual REDESMA**. ISSN 1995-1078, La Paz, v. 5, n. 1, 2011. Disponible em: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1995-10782011000100005&script=sci_arttext&tIng=es. Acesso em: 12 ago 2019.

GELER, T.; MARMOL, E.; BATISTA, J.; RIBOT, M. Servicios ambientales y gestión de los recursos hídricos utilizando el modelo WEAP: casos de estudio en Iberoamérica. **Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático**, Leon, v. 1, p. 1-15, Jul. 2015.

GUIMARÃES, R. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**. ISSN: 2176-5774. Presidente Prudente, v. 1, n. 36, p. 26-43, 2014.

GRASSI, B.,2020: **Estudio del Clima Paraguay 2019**. MADES-STP. Asunción, Paraguay.

HERNÁNDEZ, J. **Modelación de gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Tijuana mediante el WEAP (Water Evaluation and Planning System)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidad Nacional Autónoma de México, México. 2014. Disponível em: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7205/Tesis.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 ago 2020.

HERRERA, D. J. M. **Integração de Modelos de Quantidade e Qualidade da Água para Avaliação de Cargas Contaminantes em Afluentes de Mananciais de Abastecimento**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

HERVIS, G. G.; T. GELER; R. DÍAZ; I. AMESTO; E. CRETAZ. WEAP model: hydrological planning tool for climate change adaptation. **Revista Ingeniería Agrícola**, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, v. 8, n. 3, p. 40-47, 2018.

HERVIS, G. G.; T. LÓPEZ; R. VARGAS; J.C. ROLÓN; B.P. RUBIO; G. SÁNCHEZ: Aplicación del modelo WEAP para la planificación hidrológica de la cuenca San Diego, Municipio Los Palacios, Provincia Pinar del Río, Cuba. **Investigaciones Actuales en Medio Ambiente**, México, v. 3, n. 3, Editorial Pearson, 2017.

KERNAN, M., BATTARBEE, R., MOSS, B. **Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems**, Encyclopedia of Chemical Technology, London, p. 37, agu. 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/308120396>. Acesso em: 10 ago 2020.

LANDAU, E. PEREIRA, D. SOUSA de, D. **Caracterização ambiental das áreas de concentração da agricultura irrigada por pivôs centrais na região do Matopiba**. Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – GEONORDESTE. Aracaju, Brasil, p. 18-21, 2014.

LEPSCH, I. F.; ESPÍNDOLA, C. R.; VISCHI FILHO, O. J.; HERNANI, L. C. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Viçosa-MG: SBCS. p.170, 2015.

LI, X.; ZHAO, Y.; SHI, C.; SHA, J.; WANG, Z-L.; WANG, Y. Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. **Ocean & Coastal Management**, v. 106, p. 97-109, 2015.

LOPES, I. et al. Balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-PE. **Irriga** v. 22, p. 443-457, 2017.

LÓPEZ, O. E.; GONZÁLEZ, E.; LLAMAS, G.; MOLINAS, M. **Reconocimiento de suelos y capacidad de uso de las tierras. Ministerio de Agricultura y Ganadería.** Asunción, Paraguay, 2012.

MAGALHÃES, T. FERREIRA, T. RIBERIRO, J. Impactos ambientais hidrológicos ocasionados pelo desflorestamento metropolitano: Petrópolis, RJ. **Revista Sustinere**, ISSN 2359-0424, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 53-64, 2015.

MEDEIROS, M. C.; SILVA, J. B. Estudo de caso da expansão do shopping Manaíra e comunidade São José sobre o Rio Jaguaribe em João Pessoa - PB. *Revista Polêmica*, ISSN 1676-0727, v. 16, n. 2, p. 71-89, 2016. Disponível em: < <http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/polemica/rt/printerFriendly/22903/16386> >. Acesso: 26 de agosto 2019.

MEHTAA, V. K.; HADEN, V. R.; JOYCE, B. A.; PURKEY, D. R.; JACKSON, L. E. Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change, in Yolo County, California. **Agricultural Water Management**, v. 117, p. 70-82, 2013.

NASCIMENTO, K.; COLLISCHONN, W. Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. **RBRH–Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Brasil, v. 18, n. 3, p. 69-79, jul./set. 2013.

ONU-DAES Departamento de asuntos económicos y sociales de Naciones Unidas. Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida" 2005-2015. España, 2014. Disponível em: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>. Acesso em: 20 oct 2019.

PARAGUAI. **Congreso de la Nación Paraguaya.** Ley Forestal del Paraguay n° 422. Asunción, 1973.

_____. DGEEC - Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos. **Censo Nacional de Población y Viviendas 2012.** Asunción, Paraguay, 2012

_____. DGEEC - Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos. **Compendio Estadístico Ambiental del Paraguay 2020.** Asunción, Paraguay, 2020

_____. DGEEC - Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos. **Proyección de la Población Nacional por Sexo y Edad, 2020.** Asunción, Paraguay. 2020. Disponível em: <https://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Proyecciones%20por%20Departamento%202020/index.php>. Acesso em: 10 ago 2020.

_____. DINAC - Dirección Nacional de Aeronautica Civil. Dirección de Meteorología e Hidrología. **Balance hídrico superficial del Paraguay**. Disponível em: <https://www.meteorologia.gov.py/>. Acesso em: 22 jun 2020.

_____. MADES - Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. **Centro de dados balance hidrico superficial del Paraguay. Cuencas vertientes rio Paraná**. Asunción, Paraguay, 2019. Disponível em: <http://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2018/07/ANEXO-BALANCE-HIDRICO-SUPERFICIAL-DEL-PARAGUAY-2018.pdf>. Acesso em: 22 jun 2020.

_____. MAG - Ministerio de Agricultura y Ganadería. **Síntesis Estadísticas Año Agrícola 2019/2020**. Dirección General de Censo Estadísticas Agrícolas. Asunción, Paraguay, 2020. Disponível em: <http://www.mag.gov.py/Censo/SINTESIS%20ESTADISTICAS%202019-2020.pdf>. Acesso em: 12 dez 2020.

PEOF Plan estratégico y operativo FORCERPA. **Manejo de bosque nativo en Paraguay**. Asunción, Paraguay, 2016.

RAUBER, D. CABRAL, J. Gestão de Recursos Hídricos: uma abordagem sobre os Comitês de Bacia Hidrográfica. **Revista Paranaense de desenvolvimento**, Curitiba, v. 34, n. 125, p.123-140, 2013.

RODRIGUES, E. **Avaliação da produção de água (vazão), em função de alterações de uso do solo e da implantação de florestas de eucalipto em larga escala na bacia do Rio Pará - Alto São Francisco/MG**. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

RODRIGUEZ, K. **Modelación del balance hidrológico (oferta-demanda) en la cuenca del río Guayllabamba, tomando en cuenta parámetros hidrológicos y meteorológicos, utilizando la herramienta WEAP**. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental na Prevenção e Remediação), Universidade das Américas, Quito, 2019.

RUFINO, I.A.A.; SANTOS, K.A.; BARROS FILHO, M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Eng Sanit Ambient**, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017.

Secretaría de Emergencia Nacional. **Plan Nacional de Implementación del Marco de Sendai 2018-2022, cronología de eventos significativos en el Paraguay**. 2018. Disponível em: https://www.sen.gov.py/application/files/8415/9188/1538/PNIMS_2018-2022.pdf. Acesso em: 22 jun 2020.

SANTOS, K. A. D. **Modelagem do acompanhamento e controle de cheias em bacias hidrográficas de grande variação de altitude. Estudo de caso: Bacia do rio Mundaú.** 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2013.

SENACSA Servicio Nacional de Calidad y Salud Animal, 2019. **Estadística Pecuaria 2019.** Paraguay. Disponível: <http://documentos.senacsa.gov.py/share/s/zkIP7AT6QxWAZymaXqlxQw>. Acesso em: 22 jun 2020.

SOUZA, A.; FARIAS, M.; DA SILVA, N. Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica APODI/MOSSORÓ (RN). **Irriga, Botucatu.** ISSN 1808-3765. Edição Especial, p. 280-296, 2012.

SCHIAVO, E. GONÇALVES, A. ADELI, G. SWAROWSKY, A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia.** ISSN 2176-462X. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.

SEI Stockholm Environment Institute. **WEAP: Water evaluation and planning system: user guide.** USA: Boston, 2015. Disponível em: https://www.weap21.org/downloads/WEAP_User_Guide.pdf. Acesso em: 20 jun 2018.

O'GEEN, A.; Dahlgren, R.; SWAROWSKY, A.; TATE, K.; LEWIS, D. J.; SINGER, M. Research connects soil hydrology and stream water chemistry in California oak woodlands. **California Agriculture**, v. 64, n. 2, p. 78-84, abr./jun. 2010.

TUCCI, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos.** Estudo preparado como contribuição da ANA – Agência Nacional de Águas para a Câmara Temática sobre Recursos Hídricos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. p. 150, 2002.

VAEZA, R.; OLIVEIRA, P.; MAIA, A. DISPERATI, A. Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução. **Floresta e Ambiente**, ISSN 2179-8087, Brasil, v. 1, n. 17, p. 23-29, 2010.

WWAP Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. UNESCO, París, 2019. Disponível em: <https://es.unesco.org/water-security/wwap/wwdr/2019>. Acesso em: 20 jun 2020.