

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CLIMA E
AMBIENTE**

THIAGO VIDAL

BALANÇO HIDRICO CLIMATOLÓGICO PARA O CULTIVO DE SOJA (*Glicyne
max sp.*) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA, FRENTE AO
CENÁRIO DE CLIMAS FUTUROS.

FLORIANÓPOLIS

2022

THIAGO

BALANÇO HIDRICO CLIMATOLÓGICO PARA O CULTIVO DE SOJA (*Glicyne max sp.*) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA, FRENTE AO CENÁRIO DE CLIMAS FUTUROS.

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Clima e Ambiente do Campus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Michel Nobre Muza.

FLORIANÓPOLIS

2022

CDD 633.34
V648b

Vidal, Thiago

Balanço hídrico climatológico para o cultivo de soja (*Glycine max* sp.) na bacia hidrográfica do Rio Urussanga, frente ao cenário de climas futuros - [DIS] / Thiago Vidal; orientação de Michel Nobre Muza – Florianópolis, 2022.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Cultivo de soja. 2. Precipitação. 3. Temperaturas. 4. Decêndios. I. Muza, Michel Nobre. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117

Título:	BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA O CULTIVO DE SOJA (<i>Glycine max</i> sp.) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA, FRENTE AO CENÁRIO DE CLIMAS FUTUROS
----------------	--

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente



Documento assinado digitalmente
MICHEL NOBRE MUZA
Data: 20/10/2022 12:26:17-0300
CPF: 977.090.260-87
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Dr(a). MICHEL NOBRE MUZA

Orientador(a) / Presidente / IFSC / Florianópolis - SC
Participação: () Presencial (X) Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado



Documento assinado digitalmente
DANIEL SAMPAIO CALEARO
Data: 28/09/2022 14:42:49-0300
CPF: 002.011.800-73
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Dr(a). DANIEL SAMPAIO CALEARO

Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC
Participação: () Presencial (X) Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado



Documento assinado digitalmente
MATHIAS ALBERTO SCHRAMM
Data: 28/09/2022 08:06:15-0300
CPF: 590.611.629-04
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Dr(a). MATHIAS ALBERTO SCHRAMM

Avaliador(a) Interno / IFSC / Itajai - SC
Participação: () Presencial (X) Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado



Documento assinado digitalmente
BRUNO DALAZEN MACHADO
Data: 27/09/2022 10:07:52-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr(a). BRUNO DALAZEN MACHADO

Avaliador(a) Externo / IFSC / xxxxxxxxxxx - SC
Participação: () Presencial (X) Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

(x) unanimidade

Florianópolis, 26 de setembro de 2022.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder muita saúde e disposição para enfrentar mais este desafio em minha vida.

Aos meus pais, pelo apoio, incentivo e confiança.

A minha avó Zulma que muitos almoços e cafés fez pra mim durante o período de estudo.

A Letícia e a minha filha Catharina, que nasceu no transcorrer deste trabalho e me fez enxergar a vida com outros olhos.

Ao Dr. Celso Lopes de Albuquerque Junior, pela ajuda, contatos e conhecimentos compartilhados.

Aos colegas que me deram carona para assistirmos as aulas em Itajaí.

À colega Roseli de Oliveira por compartilhar seus conhecimentos em meteorologia e colaborar com os trabalhos feitos em equipe.

A todos os colegas deste programa de mestrado, pelos conhecimentos compartilhados, pelos trabalhos realizados juntos e pela disposição em sempre colaborar.

Aos professores Mário Francisco Leal de Quadro e Adriano Vitor por suas fundamentais contribuições durante a minha qualificação e por me proporcionarem a oportunidade de realizar uma dissertação de mestrado.

Aos professores Daniel Calearo, Mathias Schramm, Bruno Dalazen pelo aceite em participar da banca avaliadora, pela confiança, atenção, disposição, contribuição, incentivo e muita compreensão.

Em especial ao meu orientador prof Michel Nobre Muza pelos ensinamentos, paciência e contribuição para que o trabalho chegasse até o final.

Agradecimento a todos os professores e servidores do IFSC, em especial aos do programa de Mestrado Profissional em Clima e Ambiente.

E a todos aqueles colegas, amigos e companheiros que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta dissertação.

“Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é “ muito para ser insignificante”

Augusto Branco

RESUMO

Observa-se desde 2017, a expansão no cultivo da soja no estado brasileiro de Santa Catarina, em particular na região do extremo sul catarinense e mais especificamente dentro da bacia hidrográfica do rio Urussanga, região de tradicional cultivo do tabaco, milho, arroz, maracujá, banana, entre outros. Objetivou-se neste trabalho, calcular e analisar o balanço hídrico do clima presente e futuro considerando o cultivo da soja nessa região, para que as informações climáticas sejam utilizadas por quem planeja o desenvolvimento agropecuário na região, auxiliando na tomada de decisão, procurando minimizar os riscos de perdas envolvidos na atividade agropecuária. Foram obtidos os dados de estações meteorológicas convencional e automática em Urussanga no período 1987-2019. O balanço hídrico utilizou as informações extraídas de dois modelos climáticos com cenário mais realista e pessimista para o período 2021-2040 e 2041-2060 apresentados para cada decêndio de cultivo da soja. A correlação entre dados observacionais e do clima presente apresentou correlação próxima de 1 (um) para a variável evapotranspiração e outras técnicas estatísticas como correção de viés e erro quadrático médio determinaram a acuracidade de covariância de ambas séries de dados. O resultado do clima futuro em comparação com o clima presente, observa-se em vários decêndios que o balanço hídrico têm disponibilidade hídrica menor durante os meses de cultivo da soja (outubro-março), onde a evapotranspiração da cultura será maior e a precipitação será menor dentro de uma variabilidade climática intra-sazonal. Isso porque, no período vegetativo (outubro e novembro) as variáveis que mais impactam o período do cultivo são as que têm prognóstico de mudanças climáticas, sendo a precipitação, temperaturas máximas e mínimas, em conjunto as variáveis relativamente estáveis da radiação solar e fotoperíodo. Entre o final do período vegetativo e o início do reprodutivo (novembro e dezembro), além da radiação solar, a variável mais impactante é a precipitação.

Palavras-Chave: : Precipitação, temperatura máxima e mínima, decêndios .

ABSTRACT

The expansion of soybean cultivation has been observed in the Brazilian state of Santa Catarina, particularly in the southern part of this region and specifically within the Urussanga river basin since 2017. This region has traditional cultivation of tobacco, corn, rice, passion fruit, banana, among others. The objective here was to calculate and analyze the water balance of the present and future climate considering soybean cultivation, providing climate information to be used for stakeholders to plan agricultural development in the region, assisting in decision making, seeking to minimize the risks of losses involved in agricultural activity. Dataset was obtained from conventional and automatic weather stations in Urussanga in the period 1987-2019. The water balance used information extracted from two climate models with a more realistic and pessimistic scenario for the period 2021-2040 and 2041-2060 presented for each ten-day period of soybean cultivation. The correlation between observational data and the present climate presented a correlation close to 1 (one) for the variable evapotranspiration and other statistical techniques such as bias correction and mean square error determined the accuracy of covariance of both data series. The result of the future climate compared to the present climate, it is observed in several ten days that the water balance has lower water availability during the months of soybean cultivation (October-March). It is expected that the evapotranspiration of the crop to be greater and the precipitation to be smaller within an intra-seasonal climate variability. In the vegetative period (October and November), the variables that most impact the cultivation period are those that have a prognosis of climate change, being precipitation, maximum and minimum temperatures, as the relatively stable variables of radiation and photoperiod. In the end of the vegetative period and the beginning of the reproductive period (November and December), in addition to radiation, the most impacting variable becomes only precipitation. In the end of the vegetative period and the beginning of the reproductive period (November and December), in addition to solar radiation, the most impacting variable is precipitation.

Key words: precipitation, maximum and minimum temperature, ten days.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Emissões históricas e futuras das emissões de CO2 para os SSPs.....	20
Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga	28
Figura 3 – Representação dos fluxos do balanço hídrico	29
Figura 4 – Balanço Hídrico clima presente (1987-2019) outubro	35
Figura 5 – Balanço Hidrico clima presente (1987-2019) novembro	36
Figura 6- Balanço hídrico clima presente (1987-2019) dezembro	37
Figura 7 – Balanço Hídrico clima presente (1987-2019) janeiro.....	37
Figura 8 –Balanço Hídrico clima presente (1987-2019) fevereiro.....	38
Figura 9 – Balanço Hídrico clima presente (1987-2019) março.....	39
Figura 10 – Balanço hídrico clima futuro - outubro.....	40
Figura 11 – Balanço Hídrico clima futuro - novembro.....	41
Figura 12 – Balanço Hídrico clima futuro - dezembro	41
Figura 13 – Balanço hidrico clima futuro –janeiro.....	42
Figura 14 – B alança Hídrico clima futuro- fevereiro.....	43
Figura 15 – Balanço hídrico clima futuro	43
Figura 16 – Extrato do balanço hídrico clima presente	45
Figura 17 – Extrato balanço hidrico modelo MIROC6 2021-2040.....	47
Figura 18 – Extrato do balanço hídrico CanESM5 2021-2040 SSP 370.50	
Figura 19 – E x t r a t o b alança hidrico MIROC6 2041-2060. SSP585.....	49
Figura 20 – E x t r a t o b alança hidrico C a n E S M 5 2041 - 2060 S S P 585	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficiente de cultura (Kc) de algumas culturas.....	29
Tabela 2. Descrição dos estádios fenológicos da soja.....	30
Tabela 3. Estatística da precipitação estação convencional x automática	34
Tabela 4. Estatística da temperatura máxima estação convencional x automática.....	34
Tabela 5. Estatística da temperatura mínima estação convencional x automática	34
Tabela 6. Estatística dos dados de Evapotranspiração (observada x reanálise)	34
Tabela 7. descrição das estratégias mais utilizadas e seus respectivos efeitos para a elaboração do produto tecnológico e inovações.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARM – Armazenamento

Cfa – Climas Tropicais Úmidos

CIRAM – Centro de estudos meteorológicos e informações climáticas.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC.

ETo – Evapotranspiração de referência

ETr – Evapotranspiração real

FAO – Food And Agriculture Organization of the United Nations

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

Kc – Coeficiente de cultivo

MERRA-2 – Modern - Era Retrospective Analysis for Research and Applications

NASDA – National Association of State Departments of Agriculture

Neg – Negativo Acumulado

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PCAM – Programa de Mestrado Profissional em Clima e Ambiente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
<u>1.1</u>	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
<u>2.1</u>	Principais Sistemas Meteorológicos atuantes no Sul do Brasil.....	19
2.1.1	SISTEMAS FRONTAIS.....	21
2.1.2	CICLONES.....	21
2.1.3	EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS DA SOJA.....	22
2.1.4	INTERAÇÕES DE ELEVADAS CONCENTRAÇÕES DE CO₂ NA ATMOSFERA COM TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO.....	22
2.1.5	DEFICIÊNCIA HÍDRICA.....	24
2.1.6	TEMPERATURA DO AR.....	25
<u>3</u>	METODOLOGIA.....	26
<u>4</u>	RESULTADOS.....	32
<u>5</u>	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	52

1 INTRODUÇÃO

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, 1992), promulgada no Brasil pelo Decreto Nº 2.652, de 1998, define em seu artigo 1º que a mudança climática “*é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, que altera a composição da atmosfera mundial e que vai além da variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis*”.

A agricultura é um sistema tecnológico criado pelo homem há mais de dez mil anos. É preciso reconhecer que essa mesma tecnologia conseguiu reverter áreas naturalmente improdutivas em campos férteis. Mas o enfoque apenas na produção tem causado degradação ambiental, e isso tem chamado a atenção dos mercados consumidores que exigem do Brasil o uso de práticas mais sustentáveis na produção de alimentos.

A bacia hidrográfica do rio Urussanga foi a última bacia do estado catarinense a ter seu plano de recursos hídricos elaborado. Ao longo dos anos a região vem sofrendo com o problema da qualidade da água que se encontra totalmente comprometida e o assoreamento dos rios, ambos devido às atividades de mineração, extração de argila, areia, carvão e rochas, agricultura com o uso intensivo de agrotóxicos; pastagens com desmatamentos nas nascentes, encostas e mata ciliar, lançamento de efluentes industriais e domésticos não tratados ou tratados parcialmente nos principais rios inseridos na bacia. (Comitê Urussanga, 2018) .

A partir de 2017 começou-se a cultivar soja nessa região, porém os impactos da inserção desse cultivo na bacia ainda são desconhecidos, até mesmo se o clima futuro que se projeta irá suportar o cultivo da soja na região.

Dentre os objetivos do desenvolvimento sustentável das Nações Unidas, o objetivo 2 destaca alguns pontos que valem ser aqui destacados:

Até 2030, acabar com a fome e garantir o acesso de todas as pessoas, em particular os pobres e pessoas em situações vulneráveis, incluindo crianças, a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano

Até 2030, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares, pastores e pescadores, inclusive por meio de acesso seguro e igual à terra, outros recursos produtivos e insumos, conhecimento, serviços financeiros, mercados e oportunidades de agregação de valor e de emprego não agrícola

Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo

Para Thornthwaite & Mather (1955) a quantidade de água disponível para o cultivo agrícola pode ser analisada através do balanço hídrico climatológico, calculado a partir de dados da precipitação e da evapotranspiração, que é a soma da transpiração das plantas mais a evaporação da umidade do solo.

Aliar precocidade com produtividade foi o maior desafio para o melhoramento genético da soja, porém nesse quesito o clima é peça fundamental para que o potencial genético se expresse. Em nossa pesquisa e mestrado, calculou-se o balanço hídrico utilizando as equações propostas por Thornthwaite & Mather (1955), porém utilizando-se os dados de clima futuro extraídos dos modelos CanESM5 e MIROC6 para as narrativas socioeconômicas SSP370, que considera os cenários futuros mais pessimistas e a narrativa sócioeconômica SSP585, mais otimista.

Por isso, um dos grandes desafios dos produtores rurais atualmente é saber como lidar com a escassez hídrica que se projeta. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é calcular o balanço hídrico do cultivo da soja na bacia hidrográfica do rio Urussanga, considerando o clima atual (1987- 2019) e do

clima futuro, extraindo dados dos modelos CanESM5 e MIROC6 ambos para os cenários socioeconomicos compartilhados SSP370 e SSP585 para o período de (2021-2040) e (2041-2060). Com isso pretendemos auxiliar o agricultor na gestão de sua atividade, disponibilizando um documento de referência com os resultados obtidos nos cenários para consulta aos técnicos, agricultores e estudantes da região.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o balanço hídrico do clima presente e futuro considerando o cultivo da soja na bacia hidrográfica do rio Urussanga e em SantaCatarina.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são: 1- Elaborar diagnóstico da demanda hídrica para a soja; 2- Calcular o balanço hídrico do clima presente (1987-2019) na bacia hidrográfica do rio Urussanga; 3- Analisar o balanço hídrico do clima futuro em relação a demanda hídrica e descrever as perspectivas para o cultivo da soja na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 1987, a Comissão Mundial sobre o Ambiente e Desenvolvimento publicou um relatório intitulado *Nosso Futuro Comum*, que ficou conhecido como “Relatório Brundtland”. O relatório concluiu que as atuais tendências no desenvolvimento econômico e da degradação ambiental são insustentáveis e os danos aos ecossistemas estão desvalorizando o status econômico de boa parte da população mundial, necessitando de mudanças (ODUM, 2007).

Em 1992 ocorre a ECO-92 na cidade do Rio de Janeiro, onde 160 governantes assinam a Convenção Marco sobre Mudança Climática, cujo objetivo principal foi evitar interferências antropogênicas no sistema climático global, garantindo assim as fontes alimentares, os ecossistemas e o desenvolvimento social. Também foi incluída uma meta para que os países industrializados mantivessem suas emissões de gases estufa no ano 2000, nos níveis de 1990.

Já em 1997, na cidade de Kyoto, no Japão, é assinado um novo protocolo, componente da convenção, que contém, pela primeira vez, um acordo vinculante que compromete os países mais ricos a reduzirem suas emissões.

A lei nº 9.433 de 1997, que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos, em seu artigo 1º define que a “*unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos é a Bacia Hidrográfica*”.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), promulgada no Brasil pelo Decreto Nº 2.652, de 1998, define em seu artigo 1º que a mudança climática “é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, que altera a composição da atmosfera mundial e que vai além da variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis”.

Em dezembro de 2015, é assinado o Acordo de Paris, enfatizando grande preocupação e a necessidade urgente de se resolver os compromissos de mitigação das emissões anuais globais de gases de efeito estufa até 2020 e freiar o aumento da temperatura média global a menos de 2 ° acima dos níveis industriais e promover esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais.

Na agenda 21 da ONU, o capítulo 18 trata dos recursos hídricos no planeta, demonstrando a extrema urgência de medidas coletivas contra o desperdício e a poluição desse bem, destacando a dependência da vida na Terra em relação à água, seja por sua função biológica, ambiental ou utilitária, entre outros aspectos que propiciam a vida.

De acordo com o sexto relatório do IPCC (2021), as mudanças climáticas induzidas pelas ações humanas se intensificaram desde o Quinto Relatório de Avaliação (AR5), sendo evidenciada a partir das mudanças observadas em eventos extremos, ondas de calor, estiagens prolongadas, fortes precipitações, granizo, ciclones. Para o futuro, prevê-se que a variabilidade climática impacte ainda mais no ciclo da água, alternando sua variabilidade entre eventos úmidos e secos, portanto, poderemos ter perdas de produtividade agrícola em locais onde nunca antes tínhamos a ocorrência desses eventos.

O balanço hídrico adota o princípio da conservação de massa, ou seja, é a contabilização dos fluxos de entrada e saída da água no solo, onde são considerados como entradas a precipitação, orvalho, irrigação, o escoamento superficial, a drenagem lateral e a ascensão capilar. Como saídas consideramos a evapotranspiração, a drenagem profunda, escoamento superficial e a drenagem lateral. A precipitação e o orvalho dependem do clima da região, enquanto a irrigação será necessária ou não em função do próprio balanço hídrico, integrando os efeitos de clima, solo e tipo de planta, e as demais entradas dependem do tipo de solo e de relevo. A figura abaixo faz uma representação dos fluxos de água na atmosfera e no solo que compõem o balanço hídrico.

Ressalta-se que esse cálculo não retrata em valores absolutos a realidade física, trata-se apenas de uma estimativa em que se permite prever o que ocorre no sistema solo-planta-atmosfera. Como entradas de água no sistema considera-se apenas a precipitação e a irrigação caso exista, e como saídas a evapotranspiração do cultivo em questão, nesse caso a soja. Os escoamentos superficial e subterrâneo são difíceis de serem medidos ou estimados devido a: diferentes tipos de solos, diferentes topografias, diferentes regimes de chuva e diferentes formas de manejo feitos pelo agricultor. Assim, estima-se que a entrada e saída lateral se anulam e a infiltração profunda só é significativa considerando uma escala de tempo maior.

Detalhou-se com base na climatologia atual e na projeção de cenários futuros quais as perspectivas para a continuidade do cultivo da soja na região,

não sendo consideradas as perdas de produtividade em função do déficit hídrico relativa ao aumento da temperatura média anual. O período de cálculo do balanço se inicia em outubro pois são os meses onde se prepara o solo para a semeadura e encerra-se nos meses de fevereiro e março onde ocorre a colheita. Considerou-se o plantio efetuado dentro do ZARC (zoneamento agrícola de risco climático), porém como a janela de plantio é ampla, nem sempre inicia-se o plantio no primeiro dia de abertura do zoneamento, mas sim quando as condições de umidade do solo e temperatura estiverem favoráveis para a semeadura.

Em nossa pesquisa de mestrado, utilizamos os caminhos sócio-econômicos compartilhados, os SSPs elaborados pelo IPCC. Focamos nos caminhos SSP370 e SSP585 para o cálculo do balanço hídrico para o cultivo da soja na bacia hidrográfica do rio Urussanga. O primeiro é um cenário intermediário das projeções de emissões dos gases de efeito estufa. O segundo, é o caminho mais pessimista, onde considera-se que aumentará o uso de combustíveis fósseis e com isso o aumento de gases do efeito estufa tende a aumentar ao longo do século. Abaixo definimos os dois caminhos para o melhor entendimento.

SSP370 – Trata-se de um cenário intermediário entre a gama de resultados produzidos por modelos de sistemas de energia. Através dele, os cientistas podem examinar os resultados do pior caso SSP585 e mais otimistas SSP460 ao modelar como o planeta pode aquecer em cenários não se consegue implementar nenhuma política climática.

SSP585 – É o cenário mais pessimista e é caracterizada pelo aumento das emissões de gases estufa ao longo do tempo, representando cenários da literatura que levam a altos níveis de concentrações.

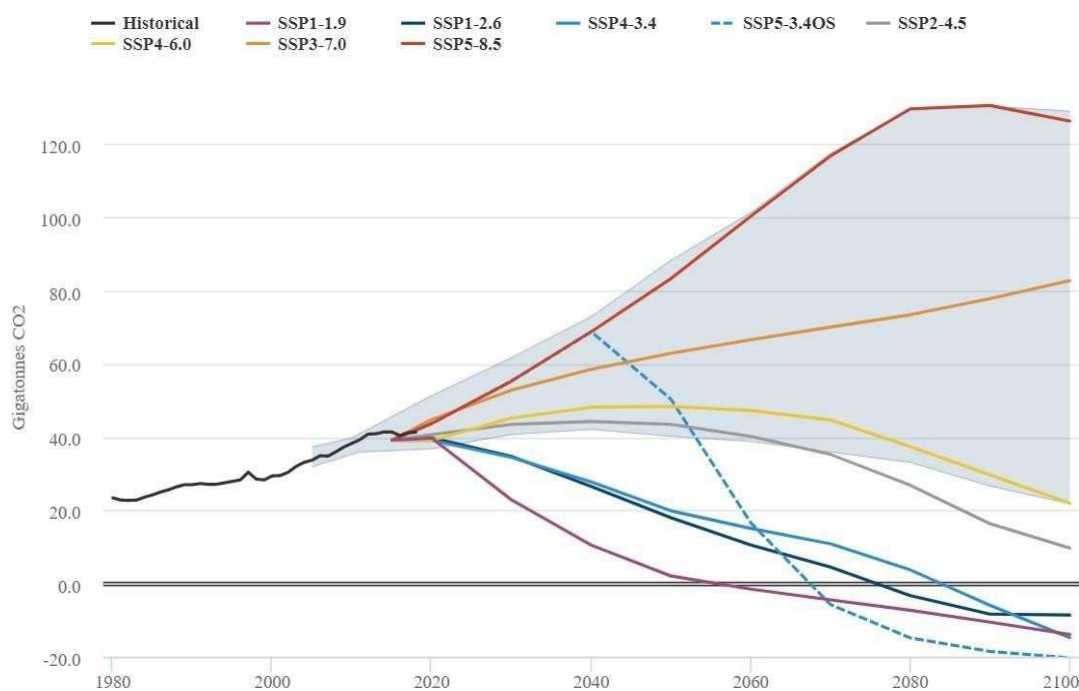
As simulações nos possibilitam fazer estudos regionalizados utilizando dados de modelos climáticos globais. As projeções do clima foram analisadas e traçadas utilizando o Excel e o software IDL. Já a elaboração dos mapas foi feita

no Grads para facilitar o entendimento do leitor.

Os cenários socioeconômicos compartilhados, SSPs, são uma nova estrutura de cenário de mudanças climáticas estabelecida por pesquisadores de todo o mundo que examinam como a sociedade global, a demografia e a economia podem mudar no próximo século. São baseados em cinco narrativas que descrevem desenvolvimentos socioeconômicos alternativos, incluindo desenvolvimento sustentável, rivalidade regional, desigualdade, desenvolvimento movido a combustível fóssil e desenvolvimento intermediário.

A figura 1 mostra as emissões históricas e as projeções futuras para as emissões de CO₂ para os diferentes caminhos de SSPs. O caminho SSP585 é o que mais aumentará as emissões de CO₂ ao longo do século e o SSP1 é o que terá maior diminuição nas emissões de CO₂ ao longo do século.

Figura 1 - Emissões históricas e projeções futuras de emissões de CO₂ para os SSPs



Fonte: Hausfather (2019).

2.1 Principais Sistemas Meteorológicos Atuantes no Sul do Brasil.

A Região Sul do Brasil se divide em três estados brasileiros, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A delimitação da região se dá, ao norte, pelos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, ao sul pelo Uruguai, a oeste pelo Paraguai e pela Argentina, e ainda a leste pelas águas do Oceano Atlântico.

A região apresenta diversidade no relevo e sofre a influência da Cordilheira dos Andes e de diversos sistemas meteorológicos. O regime de precipitação da região é bem distribuído ao longo do ano com variação entre 1200 mm a 2000 mm (NERY, 2005). Este regime pluviométrico ocorre sobre a influência de Sistemas Frontais (SFs), Ciclones Extratropicais (CEs) e Subtropicais (CSs), Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs), Linhas de Instabilidades Pré-frontal (LIs), sistemas de Baixa Pressão (BP) e as circulações de brisa (CB) (OLIVEIRA, R., 2022). Outros sistemas meteorológicos como o Jato de Baixos Níveis (JBN), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), influenciam indiretamente em sistemas meteorológicos de superfície favorecendo instabilidades atmosféricas.

Na região Sul predominam dois tipos climáticos, Cfa e Cfb, segundo a classificação de Koppen-Geiger (WREGGE, 2012), caracterizando um clima subtropical, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

Conforme REBOITA et al, (2010 e 2012), o comportamento da temperatura na região sul do Brasil e na bacia do rio Urussanga é determinado pela alternância da atuação de diferentes massas de ar sobre o sul do país. A autora salienta que no verão predomina a atuação das massas de ar tropicais, o que se reflete em temperaturas médias mais elevadas nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. No inverno ocorre a atuação mais intensa da massa de ar polar, que ocasiona o declínio das temperaturas médias mensais. No outono, as massas de ar, tropical e polar, atuam de forma intercalada, com predominância da massa polar. Na primavera, há a predominância da atuação das massas tropicais em relação à polar. Para a autora, esta dinâmica de outono e primavera ocasiona mudanças graduais de temperatura.

A precipitação é caracterizada como uma região de transição dos subtrópicos, que é afetada pela sazonalidade do regime de monções durante o verão mais evidente nas regiões ao norte, mas que mostra uma distribuição aproximadamente uniforme de chuvas ao longo do ano (Cavalcante et al, 2009). Os maiores volumes de precipitação estão nos meses de dezembro e janeiro e os menores estão nos meses de abril e maio. Além disso, o efeito topográfico do planalto meridional e serras próximas à zona costeira produzem contrastes marcantes e associam-se aos padrões de circulação dos ventos e de precipitação abundante.

A seguir são descritos resumidamente dois sistemas meteorológicos que influenciam diretamente a área de estudo desta pesquisa. Mais detalhes sobre os sistemas meteorológicos que influenciam a região sul, constam em OLIVEIRA, R.(2022).

2.1.1 Sistemas Frontais (SFs)

A região sul da América do Sul apresenta condições favoráveis à ocorrências de Sistemas Frontais, estes sistemas modulam o regime de precipitação e de temperatura na região (SATYAMURTY E MATTOS, 1989, QUADRO et al.,1996). Uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície (ciclone) compõe um sistema frontal, e segundo o modelo clássico da Escola Norueguesa, as frentes podem ser classificadas como frente fria, quente, estacionária e oclusas. A definição de uma frente ou zona frontal se apresenta na transição entre duas massas de ar com características físicas distintas e fortes gradientes de temperatura e umidade (BJERKNES, 1919).

Os SFs modificam o tempo e clima na região de atuação, pois são responsáveis pela ocorrência de temporais acompanhados de chuvas intensas, ventos fortes, podendo causar impactos em setores como da agricultura, dos recursos hídricos, e na sociedade em geral (ANDRADE, 2005). Estudos que abordam a climatologia das Frentes Frias na AS, mostraram que as frentes frias se deslocam no continente sulamericano chegando até a latitude em torno de 20° S, onde inicia seu processo de dissipação. No entanto, a máxima frequência destes sistemas ocorre no sul da Argentina na estação verão, em torno de 45°S, e a diminuição do número de frentes frias ocorre com o decréscimo da latitude, ou seja partindo do pólo em direção ao equador (ANDRADE, (2005), REBOITA et al. (2009); Oliveira, R. (2022).

2.1.2 Ciclones

Os ciclones são classificados em três categorias: os ciclones extratropicais (CE), tropicais (CT), híbridos ou subtropicais (CS). O CE se forma em uma zona de transição entre uma massa de ar fria de origem polar e outra massa de ar mais quente de latitudes tropicais. Este tipo de ciclone geralmente possui frentes associadas (DUTRA, 2012). Os CT são sistemas de baixa pressão sem sistemas frontais associados, se originam nas regiões equatoriais do globo e se intensificam por meio da convecção intensa e organizada, alimentada pela

transferência de calor latente do oceano para a atmosfera (GOZZO et al. (2014). Os CS são sistemas que passavam por processos de transição apresentando uma estrutura híbrida entre dois ciclones já existentes (DUTRA, 2012).

As regiões como a da Patagônia Argentina, da Bacia do Prata, e ainda a costa sul, sudeste e leste brasileira, são regiões caracterizadas como sendo as regiões preferidas para a formação e de alta densidade de ciclones, conhecidas como regiões ciclogênicas. (GANERAO, 1991; GUIA, 2011;REBOITA et al, 2009).

2.1.3 Exigências Edafoclimáticas da soja

A soja é uma planta originária do continente asiático, é uma planta de dias curtos e adapta-se melhor em locais onde a temperatura do ar varia entre 20°C e 30°C, com uma temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 25°C (Embrapa, 2008). Dentre os elementos climáticos ue mais afetam sua produtividade, estão o regime hídrico da região, temperatura e fotoperíodo. Regiões com temperaturas mínimas inferiores a 10°C e superiores a 40°C são impróprias para o seu cultivo, pois provocam vários distúrbios fisiológicos na planta, dentre eles, o adiantamento do ciclo, falhas no enchimento de grãos, planta de porte reduzido, retenção foliar e haste verde, acelerada maturação e baixa qualidade de sementes.

A temperatura do solo adequada para semeadura da soja, varia de 20°C a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme das plântulas. A disponibilidade de água nos diferentes estádios de desenvolvimento da soja é muito importante, a qual constitui aproximadamente 90% do peso da planta, sendo a quantidade de água requerida para obtenção do máximo rendimento, entre 450 e 800mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo da cultivar (Embrapa, 2008).

2.1.4. Interações de elevadas concentrações de CO₂ na atmosfera, com temperatura e precipitação.

A concentração do CO₂ atmosférico atualmente se encontra abaixo do nível de saturação para a maioria das plantas, portanto se a concentração do gás aumentar na atmosfera, consequentemente teremos aumento da taxa

fotossintética das plantas até o limite de 450ppm. Um dos grandes problemas a serem enfrentados pela agricultura será aliar o aumento da concentração de CO₂, com o aumento de temperatura média do planeta, pois por um lado as plantas fariam mais fotossíntese e teriam mais produtividade biológica, por outro lado, o aumento de temperatura poderia acarretar em grandes perdas de produtividade, principalmente em razão do encurtamento do ciclo de desenvolvimento da cultura e elevação da respiração do tecido vegetal (Taiz e Zeiger, 2004).

Alterações climáticas previstas para as próximas décadas irão modificar e, também poderão limitar os efeitos benéficos do aumento na concentração de CO₂ atmosférico nas culturas. Por exemplo, a temperatura elevada durante o período de floração de uma cultura pode diminuir os efeitos positivos do CO₂ sobre o rendimento, reduzindo o número de grãos, tamanho e qualidade dos mesmos (Baker, 2004).

A disponibilidade de água é outro fator que desempenha um papel crucial na produtividade das culturas e que no caso de Urussanga, depende quase exclusivamente do regime de chuva da região. Alterações nos volumes de precipitação e evapotranspiração, modificam a produtividade e as funções do ecossistema, onde em áreas de baixa disponibilidade hídrica e concentrações de CO₂ atmosférico elevado, a eficiência no uso da água pelas plantas é maior, devido ao fechamento estomático e as maiores densidades radiculares, podendo, em alguns casos, aliviar ou mesmo contrabalançar as pressões de seca (Morgan et al., 2004).

Estudos feitos por Benacchi et al. (2007) usando tecnologia FACE (Free Air Concentration Enrichment) em cultura de soja, com elevação de CO₂ do ambiente atual (~385 ppm) para 550 ppm, reportaram que o CO₂ elevado causou diminuição da evapotranspiração entre 9 e 16% dependendo do ano, resultando na diminuição do transporte do vapor de água das plantas para a atmosfera. Isso é preocupante pois a diminuição da transpiração implica em menor quantidade de vapor de água lançado na atmosfera, o que pode ocasionar grandes regiões agrícolas, um grande impacto no clima regional.

2.1.5. Deficiência Hídrica

Quando a planta de soja não consegue equilibrar transpiração com absorção de água, o potencial da água na planta começa a diminuir gradativamente, a partir daí inicia-se o déficit hídrico, que para a planta a fisiologia da planta é muito prejudicial, pode ocasionar fechamento dos estômatos, redução da taxa fotossintética, redução no transporte de nutrientes via xilema e por consequente redução no porte da planta e na produtividade. A quantidade de água requerida para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450mm/ciclo para cultivares mais precoces e até 800mm/ciclo para cultivares de ciclo mais tardio, dependendo também da evapotranspiração, do manejo utilizado no cultivo. (Embrapa, 2008).

Dependendo da intensidade do déficit hídrico, os danos para a planta podem ser irreversíveis, podendo até levar a planta a morte. Essa ocorrência é definida como “*ponto de murcha permanente*”, ou seja, mesmo que as condições climáticas se normalizem para o cultivo, perdas significativas serão sentidas. Durante todo o ciclo de cultivo, desde o plantio até a colheita isso ocorre, pois durante o dia a planta perde mais água do que consegue absorver pois as temperaturas são maiores e, durante a noite com a diminuição da demanda evaporativa atmosférica, a planta absorve mais água que a sua perda por transpiração, iniciando a recuperação do déficit, até que ocorra o equilíbrio dos potenciais. Porém, se não houver reposição hídrica no solo através da precipitação ou da irrigação, esse estresse gera perdas significativas de produtividade. Além da demanda evaporativa da atmosfera, também influenciam no déficit hídrico, a capacidade de armazenagem de água no solo, características da cultura como porte, densidade de plantas, tamanho das folhas, desenvolvimento radicular e o estágio de desenvolvimento da planta (Fagan, 2018).

A precipitação é responsável por levar água até as raízes, solos secos induzem as plantas ao fechamento de seus estômatos, fixando menos CO₂, prejudicando a fotossíntese e a produtividade, por outro lado, períodos com chuvas excessivas levam ao encharcamento dos solos e reduzem a disponibilidade de oxigênio, o que prejudica a atividade das raízes e a consequente absorção de água e nutrientes.

A fase reprodutiva da planta de soja é a mais afetada pela deficiência

hídrica, os principais componentes de produção afetados são o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem e a redução na massa de 1.000 grãos (OHASHI et al.,2009; KOBRAEI et al.,2011), os quais perfazem os mais relevantes drenos de fotoassimilados (NOBUYASU et al., 2003). Considerando os estádios fenológicos, no florescimento, a deficiência hídrica incrementa o abortamento de flores, reduzindo assim o número de vagens por planta (KOBRAEE; SHAMSI;RASEKHI,2011). Trabalhos iniciados na década de 80 (ECK et al.,1987) tem apontado os estádios de enchimento de grãos como os mais sensíveis a deficiência hídrica, cujas perdas de produtividade chegam até a 46%.

Posteriormente, Brevedan e Egli (2003) relataram que curtos períodos de deficiência hídrica (cerca de 13 dias) durante o enchimento de grãos causam redução substancial na produtividade (39%), devido a redução no número de vagens e grãos. Esses autores também relataram diminuição na clorofila, fotossíntese e fluxo de carboidratos para órgãos drenos.

A maioria das cultivares lançadas no mercado atualmente possuem hábito de crescimento indeterminado, ou seja, continuam crescendo após o início do florescimento mantendo o potencial de formação de novas flores e vagens durante o ciclo. Essas plantas possuem maior tolerância ao stress hídrico por possuírem um número maior de estômatos, portanto maior condutância estomática durante o stress hídrico, permitindo a planta ser mais tolerante.

2.1.6. Temperatura do Ar

O processo fotossintético é muito sensível às variações bruscas de temperatura, uma vez que afeta todas as reações bioquímicas, o transporte de elétrons e o desequilíbrio hormonal, gerando gasto de energia pela planta.. A soja adapta-se melhor a temperaturas do ar entre 20°C e 30°C, com uma temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 30 °C (Embrapa, 2008).

Para o processo fotossintético, baixas temperaturas reduzem a velocidade de transporte de eletrons e a fixação e redução do carbono. Esse processo aumenta rapidamente com o incremento da temperatura até atingir valores considerados ótimos. Para plantas C3 como a soja, esses valores situam

–se entre 15 e 30°C (LARCHER,2004) sendo de 27C para a cultura da soja. Outro efeito associado é o aumento na síntese de etileno e desintegração de estruturas celulares. Do mesmo modo, os danos morfológicos por elevadas temperaturas foram relatados por Djanaguiraman et al.(2011). Os pesquisadores notaram que plantas de soja submetidas a elevadas temperaturas durante o florescimento apresentaram danos nos cloroplastos, dilatação das membranas dos tilacóides e a consequente redução da atividade fotossintética.

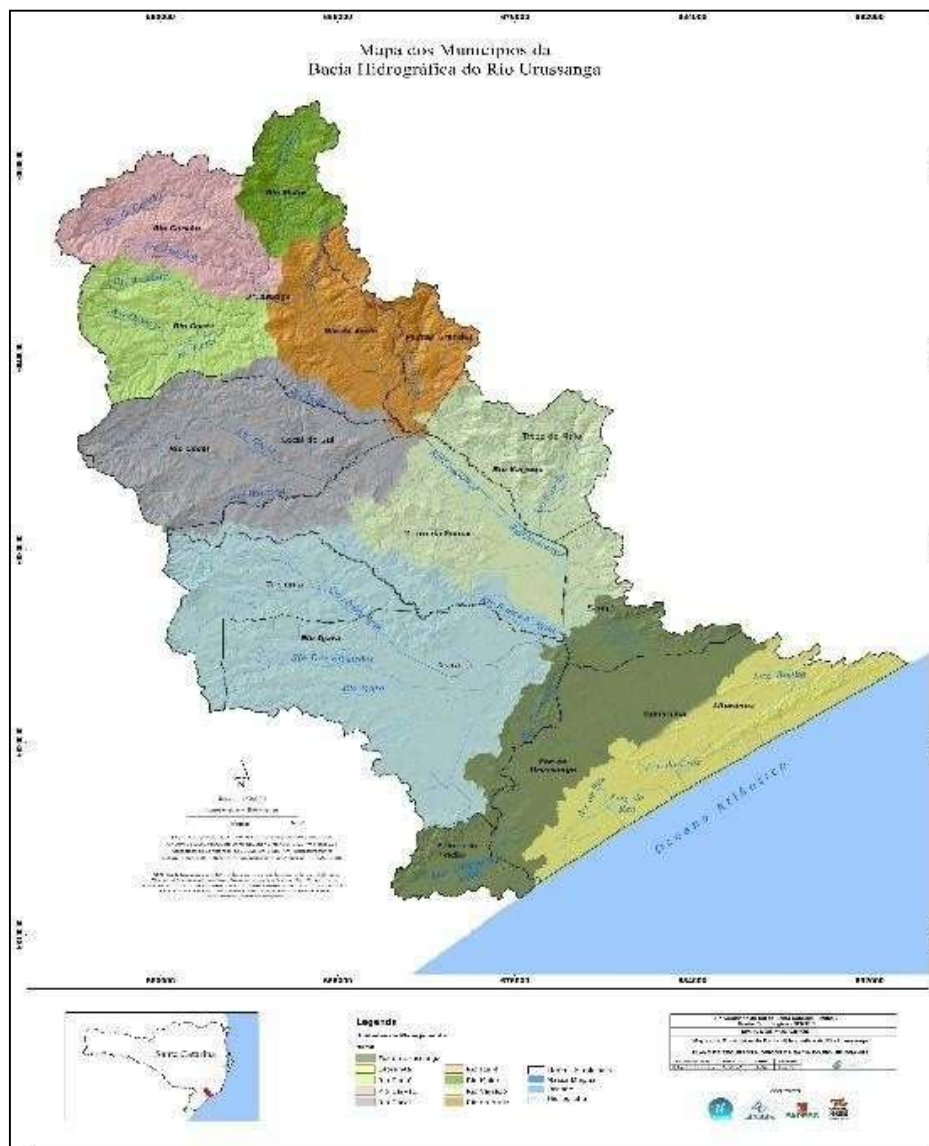
3 METODOLOGIA

Para a análise do clima presente, foram coletados os dados de precipitação acumulada, temperatura máxima e mínima do ar e duração do fotoperíodo da estação meteorológica da EPAGRI/CIRAM/INMET, localizada em Urussanga no período (1987-2019). Para o clima futuro, foi calculado o balanço hídrico utilizando as informações extraídas dos modelos CanESM5 e MIROC6 utilizando os cenários sócio-econômicos SSP370 e SSP585 para o período 2021-2040 e 2041-2060. Também foram produzidos mapas para melhor representar cada decêndio de cultivo da soja.

A bacia hidrográfica do rio Urussanga, tem como rio principal o rio Urussanga que surge da confluência dos rios Carvão e Maior, com nascentes nas encostas da serra geral e que drenam suas águas para o oceano atlântico. Está localizada na região hidrográfica do Extremo Sul Catarinense. Na área de abrangência da bacia encontra-se um sistema lagunar, composto pelas lagoas Bonita, do Réu, Urussanga Velha, outras menores e vários arroios, entre eles os da Cruz e do Réu.

Sua área é de 680 km² e ocupa 0,70% do território catarinense. Sua área compreende dez municípios, sendo eles, Urussanga, Pedras Grandes, Treze de Maio, Sangão, Cocal do Sul, Morro da Fumaça, Criciúma, Içara, Balneário Rincão e Jaguaruna.

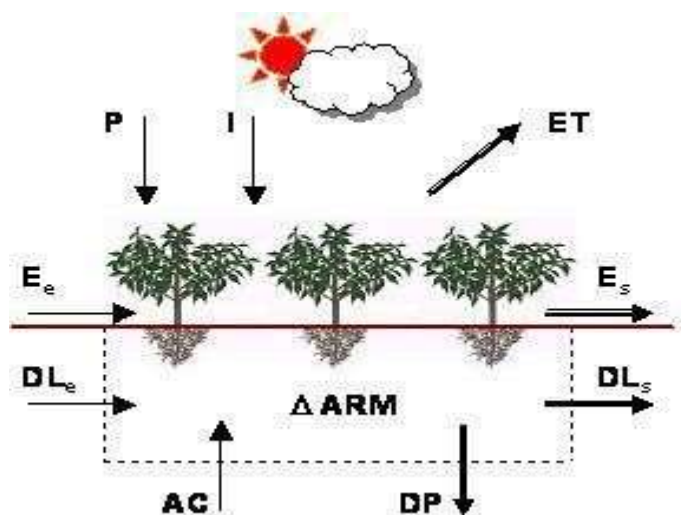
Figura 2- Localização da bacia hidrográfica do rio Urussanga.



Fonte: SDE (2019)

Neste trabalho utilizou-se a metodologia de cálculo do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite & Mather (1955). Através dessa metodologia, calculou-se o balanço hídrico do clima futuro com as informações extraídas dos modelos CAnESM5 e MIROC6 referente a precipitação, temperatura máximas e mínima e fotoperíodo. O balanço hídrico faz a contabilização de toda a água que entra e sai do solo desde a superfície até a profundidade explorada pelas raízes das plantas, portanto para diferentes regiões geográficas e diferentes cultivos, se faz necessário novos cálculos do balanço hídrico.

Figura 3- Representação dos fluxos do balanço hídrico



Fonte: Adaptado de Revista Brasileira de Geografia, 2008, n°4

Hargraves & Samani (1985) definem a evapotranspiração de referência (ET_o), aquela que ocorre em uma superfície coberta com grama numa altura de 8 a 15 cm, cobrindo totalmente o solo e sem restrição hídrica. A evapotranspiração de cultivo agrícola (ET_c) considera uma planta em condições ótimas de manejo, solo bem fertilizado, livre de pragas e doenças e sob condições ótimas de umidade, podendo assim alcançar produtividades máximas. A ET_c é determinada multiplicando-se o coeficiente K_c pela evapotranspiração de referência (ET_o).

$$ET_c = K_c ET_o \quad \text{eq. (1)}$$

Tabela 1. Coeficiente de cultura (K_c) de algumas culturas cultivadas

Cultura	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	Período total de crescimento
Arroz	1,1-1,15	1,1-1,5	1,1-1,3	0,95-1,05	0,95-1,05	1,05-1,2
Fumo	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,2	0,9-1,0	0,75-0,85	0,85-0,95
Milho grãos	0,3-0,5	0,8-0,85	1,05-1,2	0,8-0,95	0,55-0,6	0,75-0,9
Soja	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,15	0,7-0,8	0,4-0,5	0,75-0,9
Tomate	0,3-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,95	0,6-0,65	0,75-0,9

Primeiro número: sob alta umidade (U_{rmin} > 70%) e vento fraco (V < 5 m s⁻¹).
Segundo número: sob baixa umidade (U_{rmin} < 20%) e vento forte (V > 5 m s⁻¹).

Fonte: Adaptado de Doorenbos & Kassam (1994).

Doorembos & Kassan (1994) com o uso do lisímetro de pesagem calcularam os valores de Kc para várias espécies cultivadas e que podem ser usados quando não existem informações mais precisas. A espécie cultivada, o estágio de desenvolvimento, a altura da planta, o grau de cobertura do solo, densidade de plantio e a umidade do solo interferem nas taxas de evapotranspiração, que por sua vez definem o coeficiente Kc. A tabela abaixo apresenta variados valores de Kc conforme os cultivos e sua fase de desenvolvimento.

Conforme Tabela 1, a soja na fase inicial de desenvolvimento tem Kc entre 0,3 e 0,4 e nas fases seguintes vai aumentando o Kc, justamente porque a planta está em pleno desenvolvimento vegetativo e quanto maior o desenvolvimento, maior é a demanda por água. Na fase III onde ocorre o florescimento/frutificação, a demanda por água atinge seu ápice. Nas fases IV e V que correspondem a maturação e pré-colheita, o Kc volta a cair pois a demanda por água pela planta diminui.

Os estádios de desenvolvimento da planta de soja proposto por Fehr e Caviness (1977) é o mais utilizado no mundo, por apresentar uma terminologia objetiva e precisa. Esse sistema divide o desenvolvimento da soja em estádios vegetativos, designados pela letra V, e estádios reprodutivos, designados pela letra R. Com exceção dos estádios VE (emergência) e VC (cotilédone), as letras V e R são seguidas de índices numéricos que identificam os estádios específicos. (tabela 2)

Tabela 2. Descrição dos estádios fenológicos da soja.

Estádios Vegetativos	Estádios Reprodutivos
VE - Emergência	R ₁ - Início do florescimento
VC - Cotilédone	R ₂ - Pleno do florescimento
V ₁ - Primeiro nó	R ₃ - Início da formação das vagens
V ₂ - Segundo nó	R ₄ - Plena formação das vagens
V ₃ - Terceiro nó	R ₅ - Início do enchimento das vagens
*	R ₆ - Pleno enchimento das vagens
*	R ₇ - Início da maturação
V(n) - enésimo nó	R ₈ - Maturação plena

Fonte: Fehr e Caviness (1977).

Dois conceitos serão aqui relatados pois serão fundamentais para o entendimento do cálculo do balanço hídrico. Trata-se da capacidade de campo (CC) que é a quantidade máxima de água que um solo consegue armazenar antes da água começar a escoar superficialmente, e o ponto de murcha permanente (PMP) que é o processo de secamento do solo em estiagens prolongadas, onde as plantas começam a murchar pela falta de umidade e se a situação permanecer por muito tempo o processo se torna irreversível, ou seja, as plantas acabam morrendo.

Para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), considerou-se um mês padrão com 30 dias e cada dia com 12 horas de fotoperíodo e com isso criou a equação abaixo:

$$ET_o = 16 \left(\frac{10T}{5} \right)^a f \quad \text{eq.(2)}$$

Sendo,

ET_o = evapotranspiração de referência (mm/mês);

T = temperatura média mensal (°C)

I = índice de calor obtidos a partir de dados normais da região.

$$I = \sum_{i=1}^{12} \frac{T_i^{1,514}}{5} \quad \text{eq.}$$

(3)

T_i = temperatura média mensal mês i (°C).

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239$$

Por ter considerado o mês com 30 dias e o fotoperíodo com 12 horas, Thornthwaite precisou criar um fator de correção para o número de dias, pois existem meses com 31 dias, e dias com mais e outros com menos de 12 horas de fotoperíodo, conforme fórmula abaixo:

$$f_c = \frac{N}{12} \frac{ND}{30} \quad \text{eq. (4)}$$

Sendo,

N = duração do fotoperíodo diário (h); ND =
número de dias do mês (dias);

Após calculado a evapotranspiração de referência (ET_o), começamos o cálculo do balanço hídrico. $P - ET_o$ é a diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração de referência (ET_o). A coluna Neg (negativo acumulado) representa a demanda hídrica do solo. Havendo precipitação abundante, ($P - ET_o > 0$) assume-se que o solo está plenamente abastecido. A coluna ARM (armazenamento) representa a quantidade de água ainda existente no solo. A coluna ALT - representa a alteração da quantidade de água existente no solo. A coluna Def - é a estimativa da deficiência hídrica. Será nula sempre que na coluna $P - ET_o$ hajam valores positivos ou nulos. A coluna Exc - é o excedente hídrico. Será nulo nos meses em que ARM for inferior a CAD (capacidade de água disponível no solo); nos demais será dado por:

$$EXC = P - ET_o - ALT \quad \text{eq.(5)}$$

A obtenção dos dados para o cálculo do balanço hídrico foram realizadas através de informações climatológicas mensais no período de (1987-2019), das seguintes base de dados:

- 1) Temperaturas máxima e mínima diárias, precipitação e horas de insolação, provenientes da estação meteorológica do INMET sob administração da EPAGRI/CIRAM, localizada na cidade de Urussanga/SC, latitude 28.51°S, longitude 49.24°W e 34 m de altitude;
- 2) Dados mensais de precipitação acumulada, temperaturas máxima e mínima, fornecidos através de dados de reanálise do projeto (MERRA-2). Este conjunto de dados foi produzido pelo Escritório Global de Modelagem e Assimilação (GMAO) da NASA, que desenvolveu a assimilação do conjunto de observações em um Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) acoplado ao sistema de análise do Sistema Goddard Earth Observing (GEOS) (GELARO et al., 2017). Os produtos MERRA-2, com resolução de 0,5° latitude x 0,5° longitude está disponível no site <http://disc.gsfc.nasa.gov/> no Centro de Serviços de Informações de Dados da NASA Goddard Earth Sciences (GES DISC). A utilização de dados climáticos de reanálise têm se tornado cada vez mais usual em regiões onde há ausência dos registros de dados ou mesmo para efeito de comparação entre diferentes fonte de informação;

Para a projeção dos cenários futuros, os dados de precipitação, temperatura máxima e mínimas foram obtidos de produtos de composição de satélite e modelos de clima de

superfície do Projeto de Intercomparação de modelos acoplados atmosfera-oceano, de acordo com Senay et al. (2011) e Eyring et al (2016). Foram utilizados dados dos modelos CanESM5 e do modelo MIROC6 para o período (2021-2040) e (2041-2060) utilizando as narrativas SSP370 e SSP585.

4. RESULTADOS

Inicialmente, a correlação linear foi utilizada para verificar se existia relação entre as variáveis estudadas. A correlação é o termo usado para designar a força que mantém unidos dois conjuntos de valores. Os valores da correlação variam entre -1 até +1, quando próximos de zero significa que não existe correlação. Os dados de precipitação disponibilizados pela estação meteorológica convencional e pela estação automática mostram elevada correlação (Tabela 3). Isso foi fundamental para posteriormente calcular-se o balanço hídrico. Observa-se valores entre 0,90 (2011) e 0,99 em outros anos, denotando forte correlação entre o conjunto de dados. O “bias” ou correção de viés, pode-se perceber vários anos com a precipitação da estação automática levemente sendo subestimada em relação a convencional. O ano mais crítico foi 2011 com uma subestimativa de -41 mm, sendo os demais anos o valor não é maior do que 11,1 mm, exceto 2015 com -15 mm. A temperatura máxima e mínima, pode-se perceber vários anos com subestimativas da máxima e superestimativa das mínimas. Isto significa que na maioria dos anos a amplitude térmica da estação automática é menor em relação a estação convencional. Porém inferior ao valor de 1 C para a máxima e 1,3C para a mínima.

O erro quadrático médio (*root mean square - RMS*), que significa a raiz do valor quadrado médio ou valor eficaz, é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável. Pode calcular-se para uma série de valores discretos ou para uma função variável contínua. O nome deriva do fato de que é a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos valores. Trata-se da amplitude da diferença entre ambas. Os dados de temperatura máxima entre as estações e observa-se valores entre 0,89 (2008) e +1. Os dados de temperatura mínima entre as estações, observa-se valores entre 0,97 (2014) e +1. A evapotranspiração calculada a partir dos dados observados e dos dados do clima presente espacializados também foram comparados com as estatísticas mencionadas e mostraram forte relação entre ambas.

Tabela 3. Estatística dos dados de precipitação (estação convencional x automática)

PERÍODO jan/dez	Precipitação (convencional x automática)								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Correlação	0,9987	0,9987	0,9973	0,9080	0,9976	0,9998	0,9986	0,9585	0,9988
Bias	0,4	-11,0	-6,4	-41,2	-3,8	-11,1	-11,0	-15,7	-2,0
RMS	3,8	18,0	13,4	72,8	9,3	17,6	13,4	28,7	4,6

Na tabela 4, queríamos verificar se os dados de temperatura máxima entre as estações e observamos que tivemos valores entre 0,89 (2008) e +1.

Tabela 4. Estatística dos dados de Temp. Máxima (estação convencional x automática)

PERÍODO jan/dez	Temperatura máxima (convencional x automática)								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Correlação	0,89	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00	0,97	0,99	0,97
Bias	-0,9	-0,5	-0,9	-0,3	-0,3	-0,3	0,1	-0,7	-0,6
RMS	6,5	2,3	3,2	1,7	1,3	1,1	2,8	2,5	3,6

Na tabela 5, queríamos verificar se os dados de temperatura mínima entre as estações tinham relação. Observamos valores entre 0,97 (2014) e +1.

Tabela 5. Estatística dos dados de Temp. Mínima (estação convencional x automática)

PERÍODO jan/dez	Temperatura mínima (convencional x automática)								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Correl.	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,98	0,98
Bias	-0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,0	1,3	0,6	0,1
RMS	2,3	1,0	1,6	2,7	3,3	3,3	4,5	2,6	3,4

Na tabela 6 os valores também obtidos também apresentaram forte correlação.

Tabela 6. Estatística dos dados de Evapotranspiração (observada x reanálise)

PERÍODO jan/dez	EVAPOTRANSPIRAÇÃO (observada) X EVAPOTRANSPIRAÇÃO (Reanálise)										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Correlação	0,9965	0,9941	0,9957	0,9970	0,9977	0,9962	0,9959	0,9959	0,9899	0,9951	0,9899
Bias	1,5	1,0	0,8	1,6	0,2	1,4	1,4	-4,6	1,4	2,4	0,7
RMS	3,3	4,0	3,3	3,3	2,7	3,8	3,7	6,9	5,1	3,9	5,4

As figuras 4,5,6, 7, 8 e 9 mostram respectivamente o balanço hídrico para os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, período em que se cultiva a soja na bacia hidrográfica do rio Urussanga para o período compreendido entre 1987 a 2019, o qual nos referimos no presente texto como sendo o clima presente.

Na figura 4 podemos observar que para um período de 33 anos de análise, em apenas 6 anos tivemos déficit hídrico no mês de outubro, sendo que no ano de 2017 ocorreu o maior deles, talvez pela influência do Fenômeno La ninã que estava atuando naquele ano. Os déficits nos demais anos foram muito pequenos e portanto não impactaram na decisão de aguardar mais para fazer a semeadura da soja.

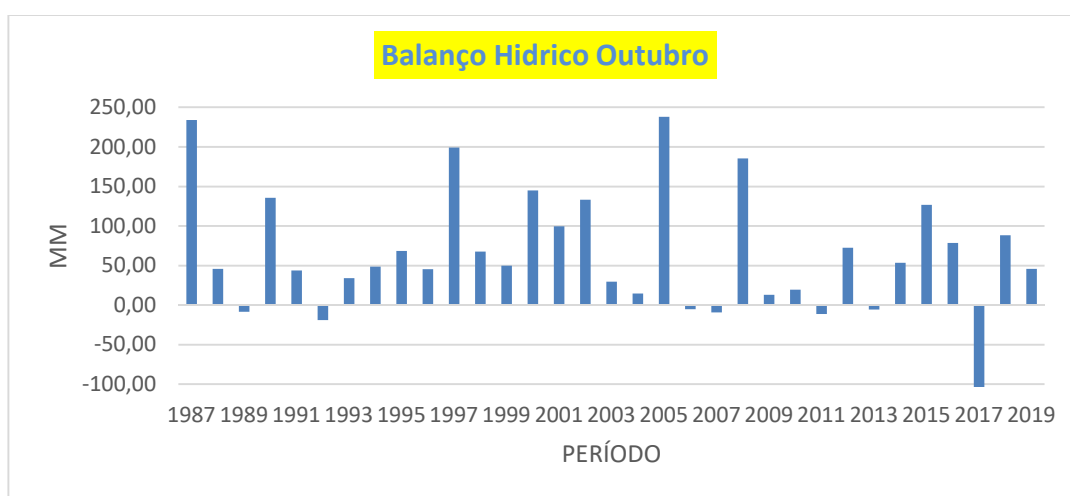


Figura 4 - Representação do balanço hídrico para o mês de outubro do clima presente 1987-2019 na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 5, seguindo o mesmo raciocínio, observamos que da serie histórica analisada 1987-2019, tivemos em 13 anos situações em que ocorreu déficit hídrico no mês de novembro, chamando a atenção o período 2011-2016 onde todos os anos ocorreu déficit hídrico, e em 2018 ocorreu novamente. Pelas análises feitas até o momento, o mês de

novembro é o mais crítico em termos de disponibilidade hídrica na bacia do rio urussanga.

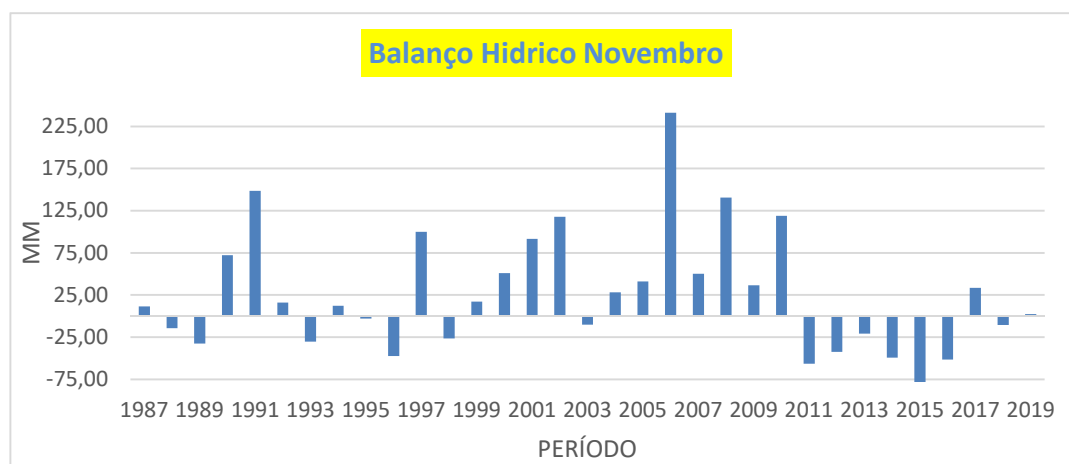


Figura 5 - Representação do balanço hídrico para o mês de novembro do clima presente 1987-2019 na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 6, observamos que da serie histórica analisada 1987-2019, tivemos em 13 anos situações em que ocorreu déficit hídrico no mês de dezembro, chamando a atenção os anos de 1992, 1999, 2006, 2012 e 2019, anos em que ocorreram os maiores déficits. No mês de dezembro, geralmente as plantas estão em fase de floração/frutificação, período em que a demanda por água é a maior em todo o ciclo de cultivo. Por este motivo, os meses de novembro e dezembro nos chamam mais a atenção.

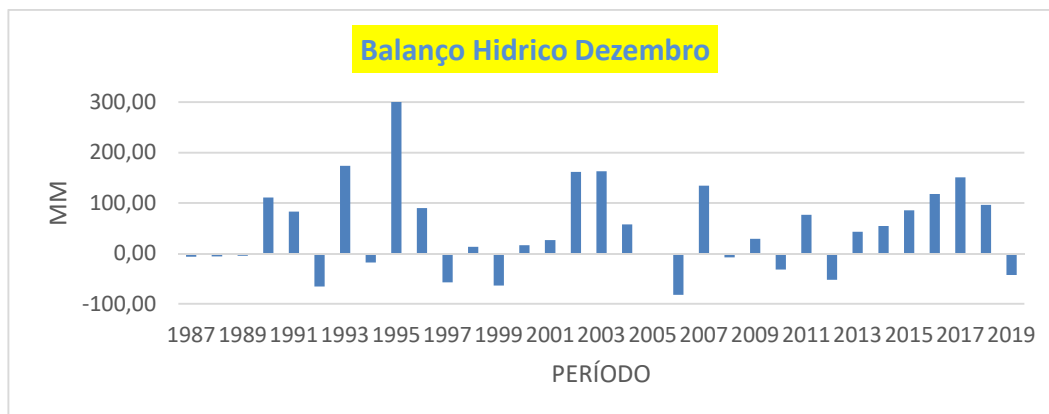


Figura 6 - Representação do balanço hídrico para o mês de dezembro do clima presente 1987-2019 na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 7, observamos que da serie histórica analisada 1987-2019, tivemos em 6 anos situações em que ocorreu défit hídrico no mês de janeiro, chamando a atenção os anos de 1999 e 2016, anos em que ocorreram os maiores déficits. No mês de janeiro as plantas já encontram-se em fase de granação, momento de alta demanda hídrica pela planta de soja.

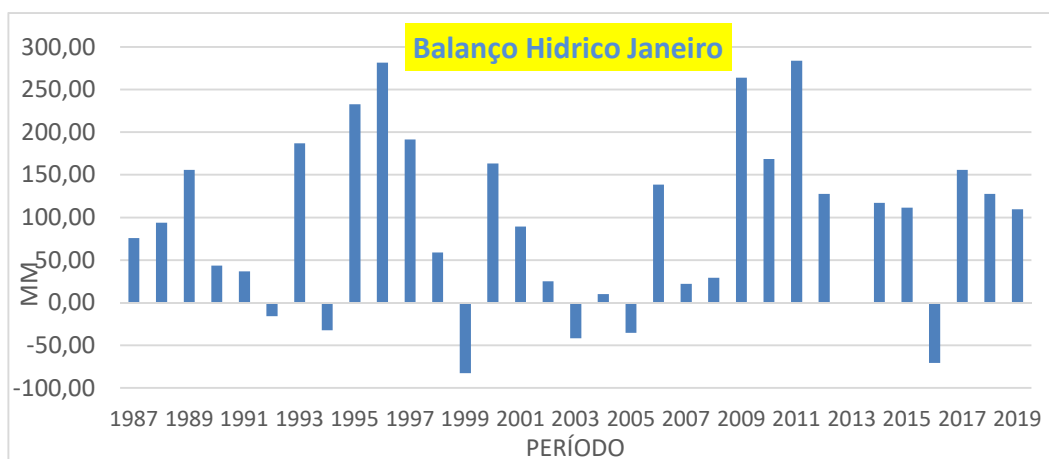


Figura 7 - Representação do balanço hídrico para o mês de janeiro do clima presente 1987-2019 na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 8, observamos que da serie histórica analisada 1987-2019, tivemos em 5 anos situações em que ocorreu défit hídrico no mês de fevereiro, chamando a atenção os anos de 2004, 2011 e 2018, anos em que ocorreram os maiores défits.

No mês de fevereiro alguns produtores já estão iniciando as colheitas, porém a grande maioria das áreas cultivadas com soja estão em fase de maturação fisiológica, fase em que a planta começa a perder água pois já está finalizando seu ciclo.

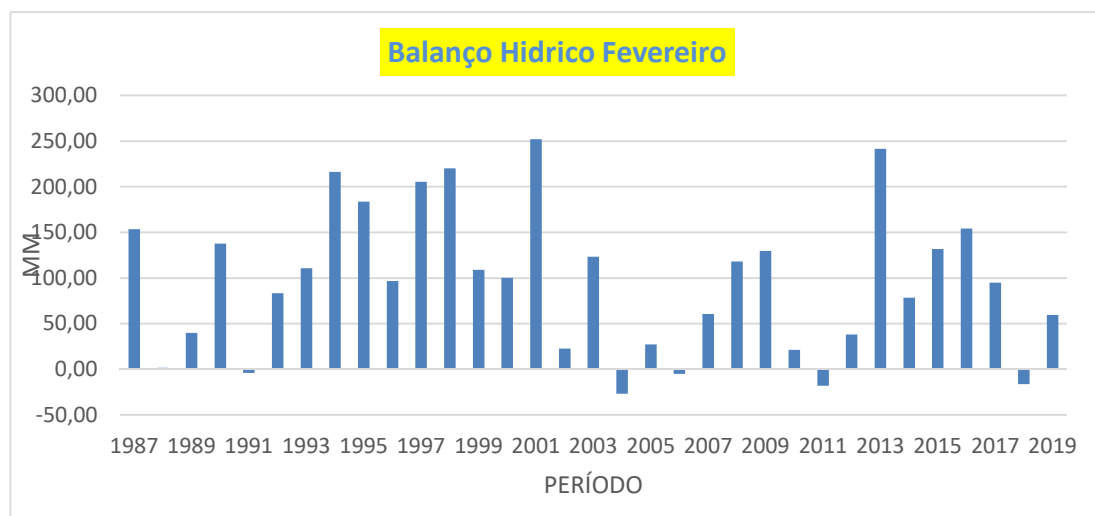


Figura 8 - Representação do balanço hídrico para o mês de fevereiro do clima presente 1987-2019 na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 9, observamos que da serie histórica analisada 1987-2019, tivemos em 9 anos situações em que ocorreu défit hídrico no mês de março, chamando a atenção os anos de 1997 e 2001, anos em que ocorreram os maiores défits. No mês de março ocorre as colheitas e portanto é um período em que pode ser relativamente mais seco, mesmo assim não traria problemas pra planta de soja em termos de

produtividade final, pois a planta está completando seu ciclo.

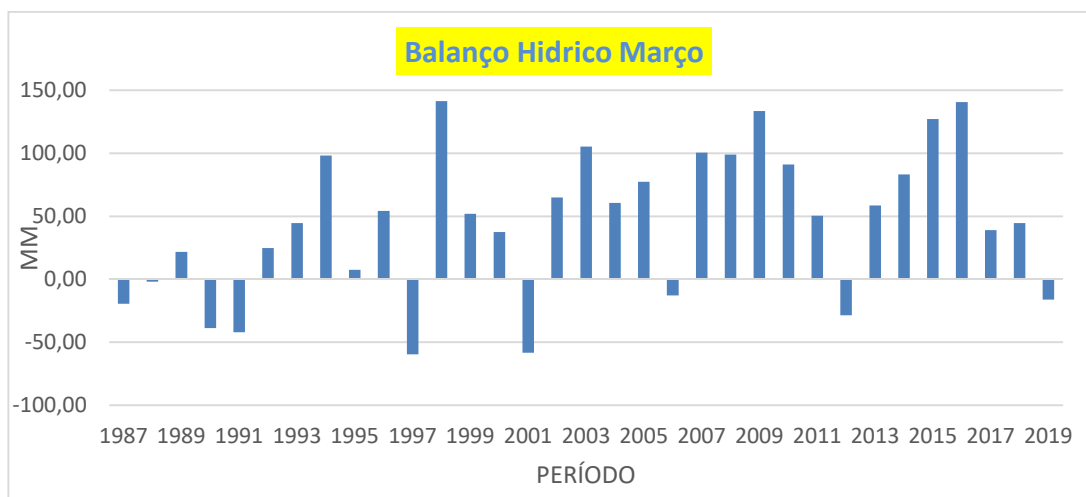


Figura 9 - Representação do balanço hídrico para o mês de março do clima presente 1987-2019 na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

As figuras 10,11,12,13,14 e 15 mostram respectivamente o balanço hídrico para os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, período em que se cultiva a soja na bacia hidrográfica do rio Urussanga para o clima futuro, usando informações dos modelos CanESM5 e MIROC6 para os períodos 2021-2040 e 2041-2060 nos cenários SSP370 e SSP585, respectivamente. A idéia de calcular o balanço hídrico usando dados de clima futuro foi com a intenção de projetar o cenário climático dentro da bacia hidrográfica para o cultivo da soja, verificar se haverá ou não disponibilidade hídrica a longo prazo para o seu cultivo ou talvez os agricultores teriam que focar em outra opção de cultivo agrícola. Portanto, as figuras que mostraremos a seguir representam uma série de cálculos de balanço hídrico com o objetivo de ajudar o público na tomada de decisão para o melhor uso da propriedade rural.

Na figura 10, podemos notar que para o mês de outubro, além de não haver déficit hídrico, o saldo é positivo e muito próximo nos dois modelos, dois cenários socioeconômicos e dois períodos, portanto para outubro não teríamos problemas com disponibilidade hídrica para o cultivo da soja na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

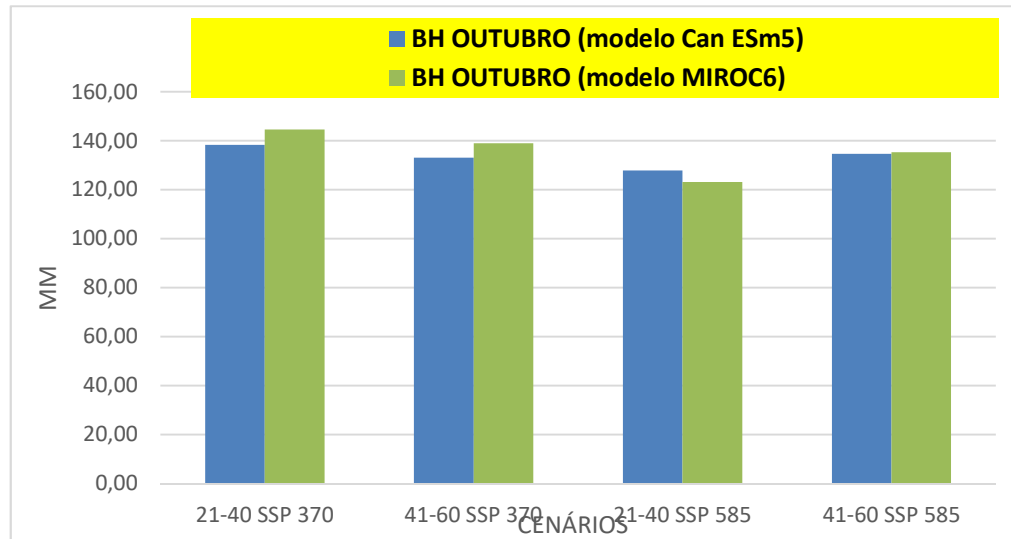


Figura 10 - Representação do balanço hídrico para o mês de outubro clima futuro na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 11, podemos notar que para o mês de novembro, também não existe déficit hídrico em todos os cenários, porém para o cenário SSP370 período 2021-2040 podemos notar que o modelo MIROC6 apresenta uma disponibilidade hídrica 20% menor comparado a disponibilidade hídrica do modelo CanESM5.

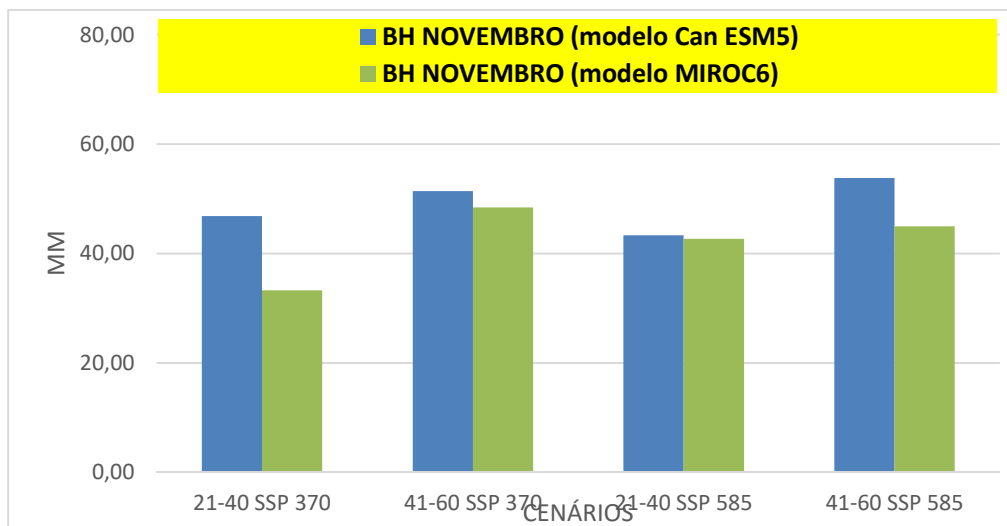


Figura 11 - Representação do balanço hídrico para o mês de novembro clima futuro na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 12, podemos notar que para o mês de dezembro, também não existe déficit hídrico em todos os cenários, porém para o cenário SSP585 período 2041-2060 podemos notar que o modelo MIROC6 apresenta uma disponibilidade hídrica 40% menor comparado a disponibilidade hídrica do modelo CanESM5.

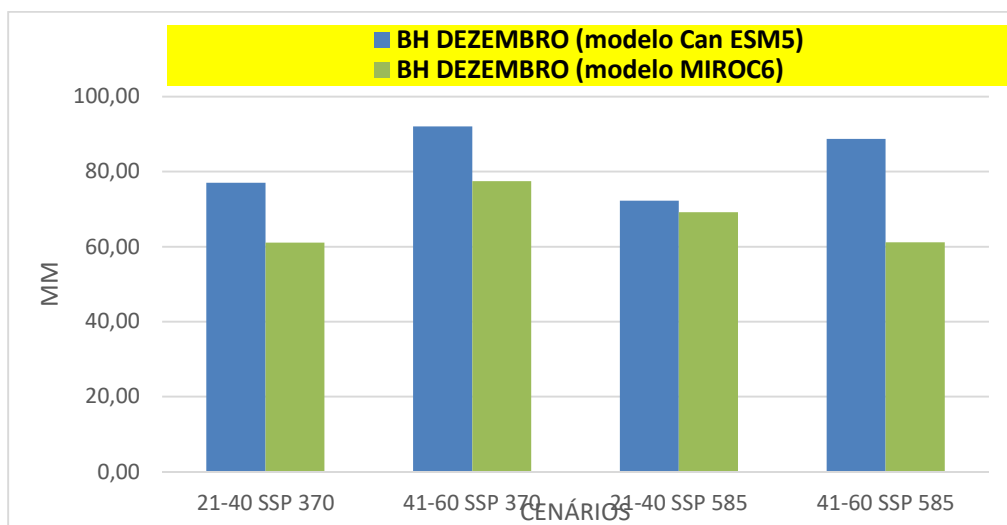


Figura 12 - Representação do balanço hídrico para o mês de dezembro clima futuro

na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 13, podemos notar que para o mês de janeiro, também não existe déficit hídrico em todos os cenários, porém para o cenário SSP585 período 2041-2060 podemos notar que o modelo MIROC6 apresenta uma disponibilidade hídrica 50% menor comparado a disponibilidade hídrica do modelo CanESM5.

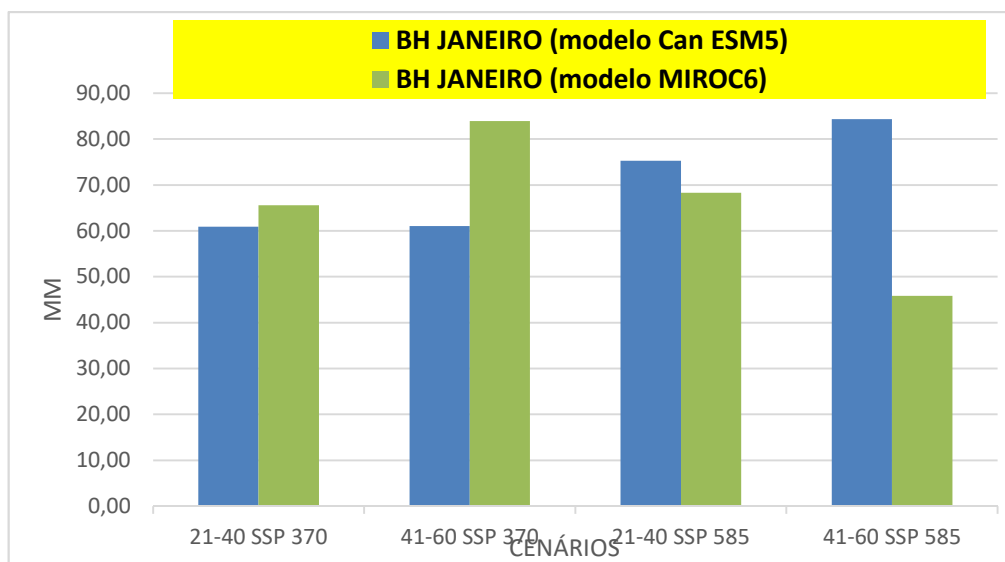


Figura 13 - Representação do balanço hídrico para o mês de janeiro clima futuro na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 14, podemos notar que para o mês de fevereiro, também não existe déficit hídrico em todos os cenários, porém para o cenário SSP585 período 2041-2060 podemos notar que o modelo MIROC6 apresenta uma disponibilidade hídrica 60% menor comparado a disponibilidade hídrica do modelo CanESM5.

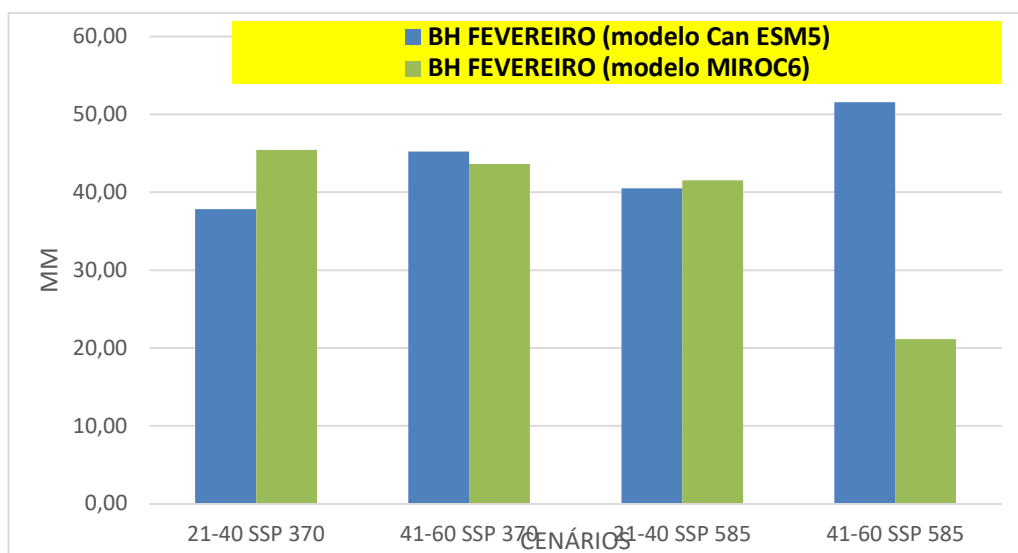


Figura 14 - Representação do balanço hídrico para o mês de fevereiro clima futuro na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Na figura 15, podemos notar que para o mês de março, não existe déficit hídrico e a diferença na disponibilidade hídrica entre os cenários e modelos é inferior a 10%, portanto é um mês mais tranquilo e também o soja já está próximo a colheita.

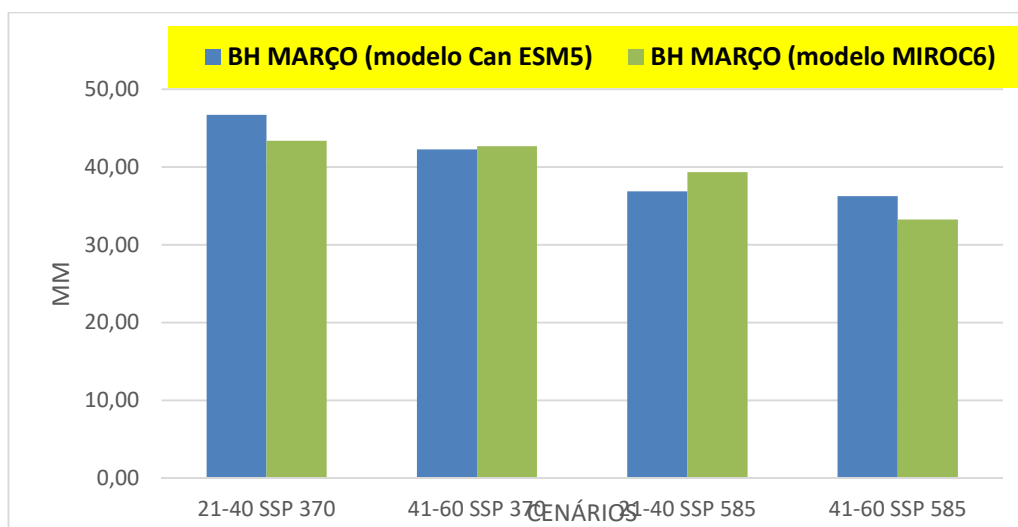


Figura 15 - Representação do balanço hídrico para o mês de março clima futuro na bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Os mapas representados nas figuras 16 a 20 trazem o extrato do balanço hídrico em decêndios a partir de outubro, período em que começa a semeadura da soja na região, finalizando em março, período de colheita. Na figura 16, apresenta-se o extrato do balanço hídrico do clima presente. No decorrer do ciclo de cultivo da soja, o período da semeadura até a emergência das plântulas e a partir da floração até o enchimento de grãos são os que mais demandam disponibilidade hídrica no solo. De fato, pode ser observado no clima presente (Fig. 16), que os decêndios da primavera apresentam abundância e excedentes de disponibilidade hídrica até meados do fim de outubro para a região de Urussanga (se estende para meados de novembro no estado de Santa Catarina).

Durante a germinação/emergência, tanto o excesso quanto a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura e à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas, sendo o excesso hídrico mais limitante do que o déficit. Para germinar, a semente de soja precisa absorver 50% de seu peso em água. Nesta fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% da capacidade de campo e nem ser inferior a 50%.

No período da floração/enchimento de grãos, a planta chega a consumir de 7 a 8 mm/dia, sendo este considerado o período mais crítico para a cultura. O excesso de água no solo resulta em plantas de pequena estatura, com folhas pequenas e amareladas, entrenós curtos, raízes adventícias e nódulos na superfície do solo, com a base do caule apresentando tecido esponjoso. Longos períodos de encharcamento dos solos, com excesso de chuvas, muitos dias nublados e pequena demanda evaporativa da atmosfera, reduzem o crescimento da planta e diminuem a área foliar. Observa-se que no último decêndio de novembro e no mês de dezembro, o extrato tem déficit hídrico.

Nesse período a planta de soja está em fase de floração/frutificação, fato que pode gerar perdas significativas de produtividade. Nos demais decêndios, a cultura da soja não teria problemas com disponibilidade hídrica e portanto a planta teria boa resposta a produtividade. O padrão climático, tanto para Urussanga quanto para SC, demonstra que embora a expectativa de aumento da temperatura afete a evapotranspiração, a maior precipitação principalmente nos meses da primavera, compensam a disponibilidade hídrica.

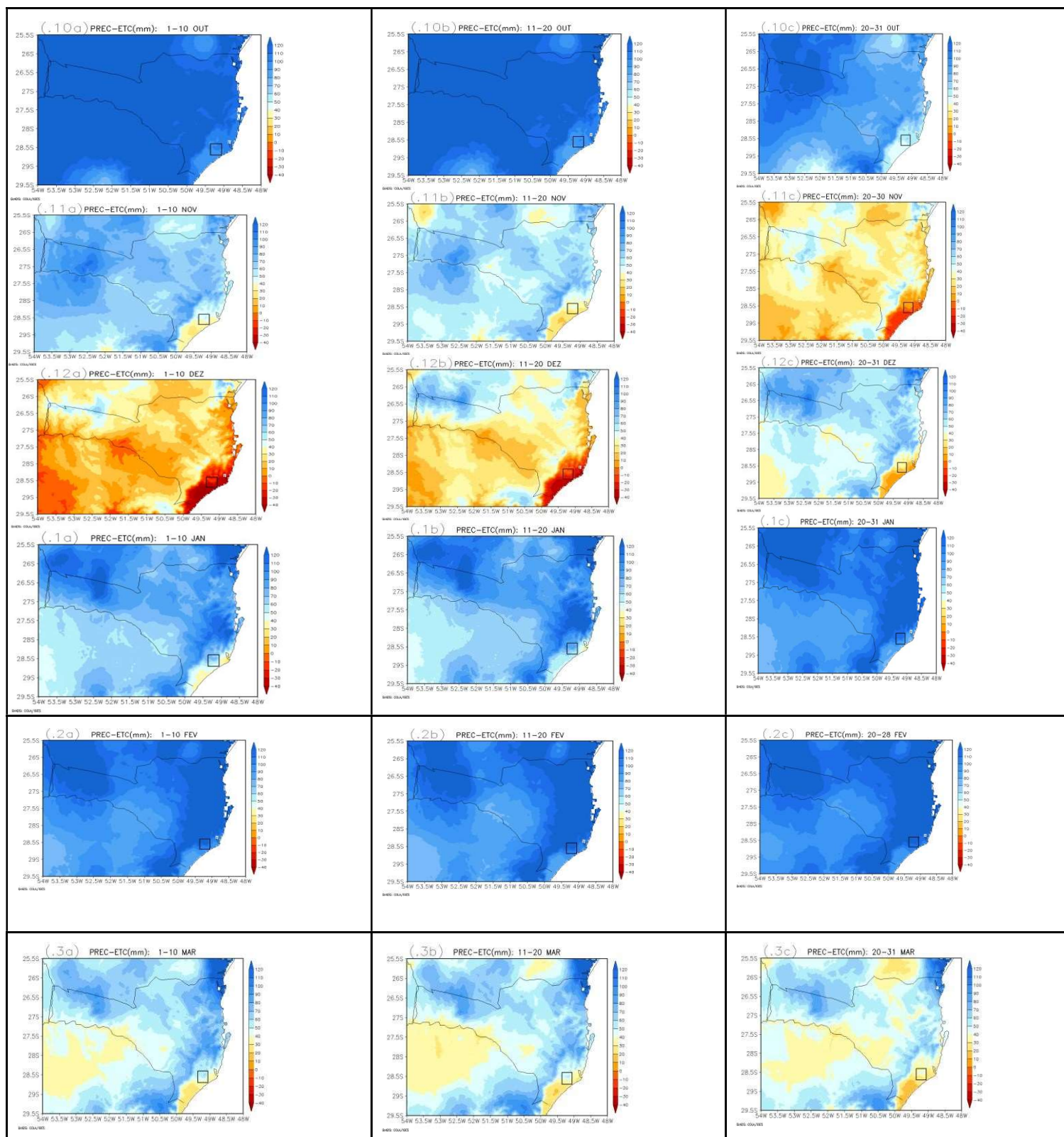


Figura 16. Extrato do Balanço Hídrico do clima presente por decêndios de 1 a 10 de outubro a 20 a 31 de março para o cultivo da soja (escala -40mm a 120mm).

A Figura 17 mostra o extrato do balanço hídrico do clima futuro (com referência ao clima presente, isto é, anomalia do extrato) para o cultivo da soja em SC destacando na bacia hidrográfica do rio Urussanga, utilizando dados extraídos do modelo MIROC6 para o cenário SSP370 no período 2021-2040. Percebe-se nos decêndios de meados de outubro para

novembro um leve favorecimento da disponibilidade hídrica em torno de 10mm em Urussanga e o mesmo se verifica para o restante de SC. Já nos decêndios desde o fim de novembro até o período de março, nota-se um pequeno déficit hídrico relativo ao clima presente, sendo o período mais crítico de dezembro para janeiro, tanto para Urussanga quanto para SC, período em que a soja está em plena granação. Esse fato pode definir a produtividade final, em função de causar abortamento de vagens e grãos pequenos e com pouco peso.

A chuva é a principal fonte de água para a maior parte dos agricultores (TUCCI, 2004). Apesar de muito eficazes, poucos são os agricultores que dispõem de sistemas de irrigação para suplementar as necessidades de água da sua lavoura, em função do elevado custo de aquisição, de manutenção, de operação e dos elevados gastos com energia elétrica para seu funcionamento, o que faz elevar os custos de produção de alimentos. Apesar dos grandes prejuízos advindos da ocorrência de adversidades climáticas, pouco ou quase nada se tem para apresentar, como solução, ao produtor, sem aumentar seu custo de produção.

Em relação aos gases do efeito estufa, as emissões de CO₂ estão fortemente correlacionadas com os desafios futuros de mitigação, apresentando uma duplicação das emissões de CO₂ ao longo do século. Depois do CO₂, o segundo maior contribuinte para o aquecimento global é o gás metano CH₄. Sua emissão está relacionada ao manejo dos dejetos do gado bovino e da fermentação entérica desses animais, bem como do cultivo de arroz irrigado por inundação. O crescimento populacional e a demanda por alimentos são um forte impulsionador das futuras emissões de CH₄ nos cenários futuros. As emissões de CH₄ estarão num nível intermediário de emissões a longo prazo. O óxido nitroso N₂O, outro importante gás de efeito estufa, é oriundo principalmente do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura, mas também provém de outras fontes como o esterco animal, esgoto, indústria, automóveis e queima de biomassa.

As medidas primárias no setor agrícola incluem a redução das emissões de CH₄ e N₂O de várias fontes (gado, arroz, fertilizantes) e medidas dedicadas a reduzir o desmatamento e incentivar o florestamento e o reflorestamento. Embora as incertezas para as opções de mitigação baseadas em terra estejam geralmente entre as maiores, a expansão da cobertura florestal é um fator importante nos cenários de mitigação.

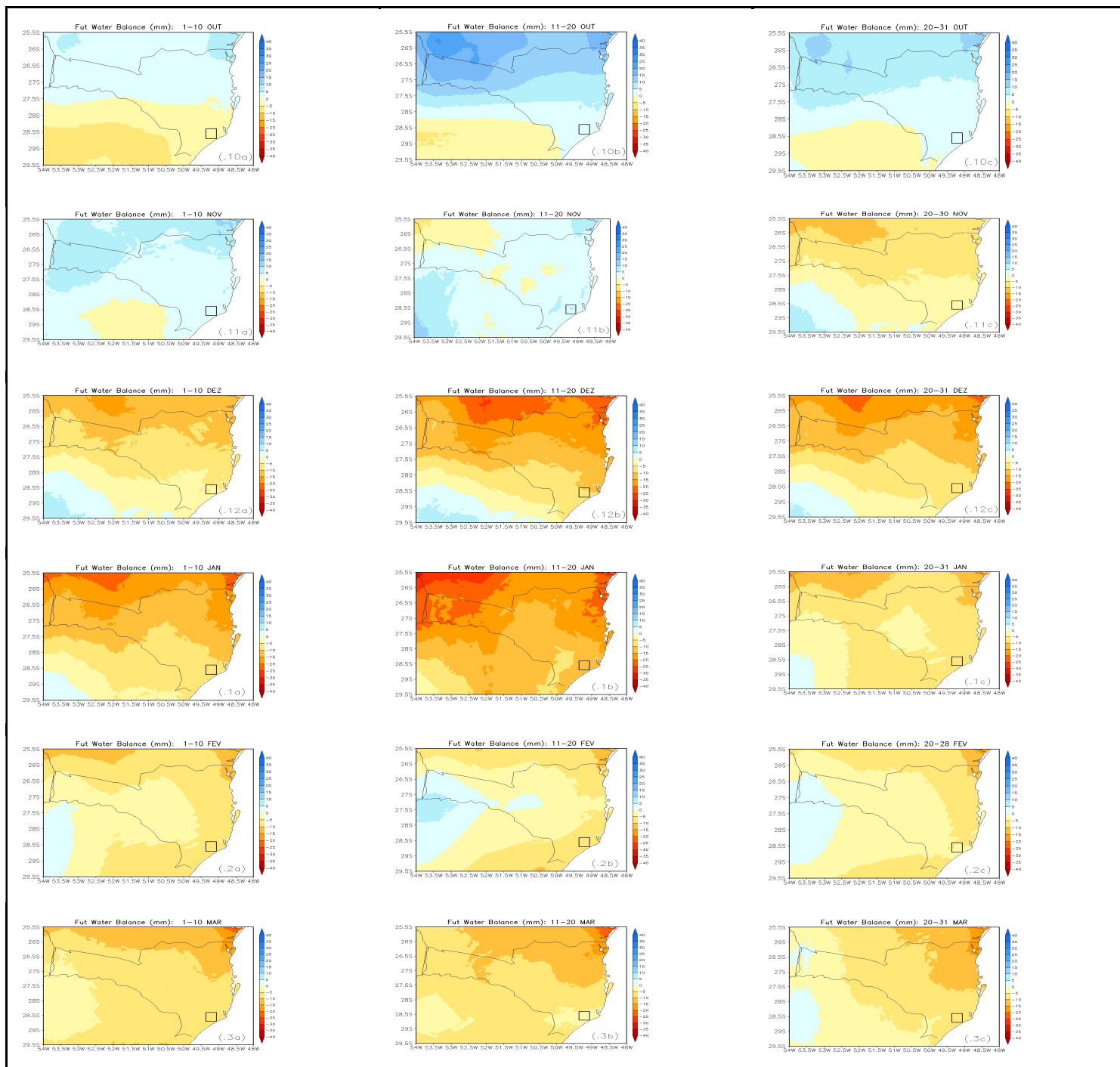


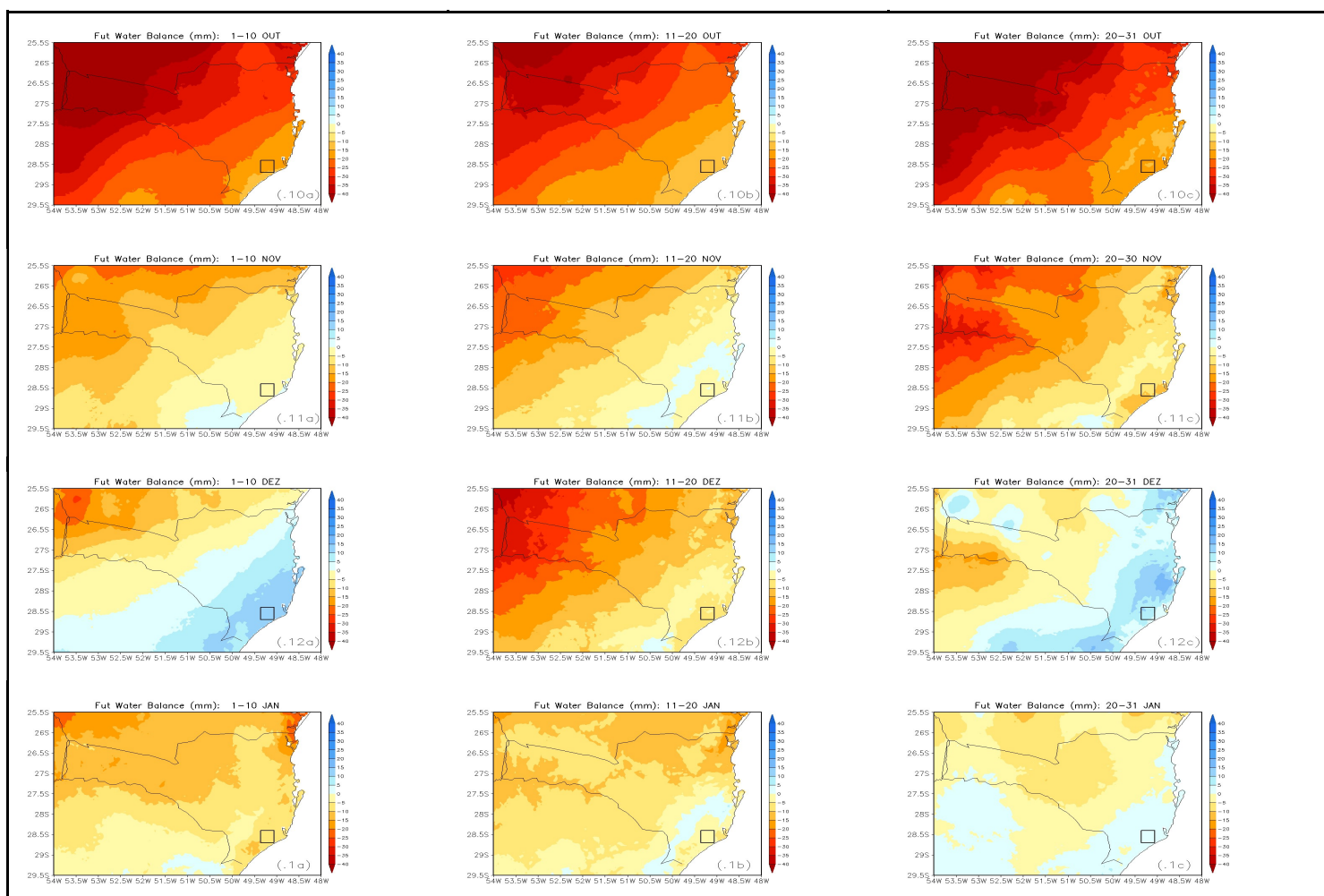
Figura 17. Extrato do Balanço Hídrico do clima futuro usando modelo MIROC6 2021-2040 e cenário SSP370 em relação ao clima presente (anomalia) por decêndios para o cultivo da soja (escala de valores -40mm a 40mm).

A Figura 18 mostra da mesma forma como na Figura 16, o extrato anômalo do balanço hídrico futuro menos presente para o mesmo cenário SSP370 e período 2021-2040, mas com dados extraídos do modelo CanESM5. Observa-se um padrão climático de um balanço hídrico crítico no período da primavera para Urussanga, mas ainda mais danoso regionalmente em direção ao oeste de SC. Já no período do verão, mostra-se variações intra-sazonais dentre os decêndios intercalando valores positivos e negativos no balanço hídrico. Entretanto, com déficit hídrico já estimado na fase de florescimento, acarreta-se uma significativa dificuldade em se cultivar a soja nesse cenário. Seria necessário o uso de equipamentos de irrigação, do plantio direto na palha, da rotação de culturas, dentre outras técnicas visando tornar o

ambiente mais resiliente.

Para minimizar os efeitos do déficit hídrico, indica-se semear apenas cultivares adaptadas à região e à condição de solo, fazendo-o em época recomendada e de menor risco climático, com adequada umidade em todo o perfil do solo, além de adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água no solo, como, por exemplo, o controle de ervas daninhas, o aumento de matéria orgânica, a rotação de culturas e o plantio direto na palha.

O estresse hídrico no estágio de granação, produz um abortamento de vagens jovens e produção de vagens chochas nas pontas, tendo em vista que o enchimento ocorre da base para as pontas. Deficiência hídrica durante os estádios de enchimento de grãos e de maturação, causa redução no número de grãos por vagem, devido ao aborto dos últimos grãos pela planta, que transloca carboidratos para os grãos mais velhos, em detrimento dos mais novos. Para Calvache et al. (1997), o número de vagens por planta é o componente da produção mais afetado pelo estresse hídrico. Em condições de falta de água na planta, aumenta a síntese de ácido abscísico e etileno no pedúnculo da flor, provocando sua queda ao menor movimento e impedindo a formação de vagens e grãos.



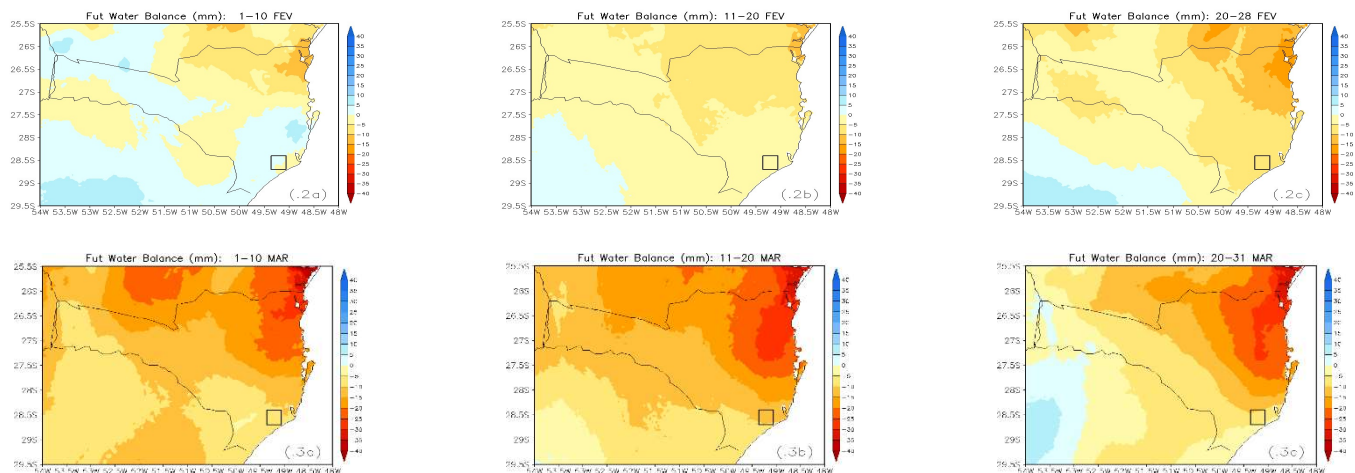
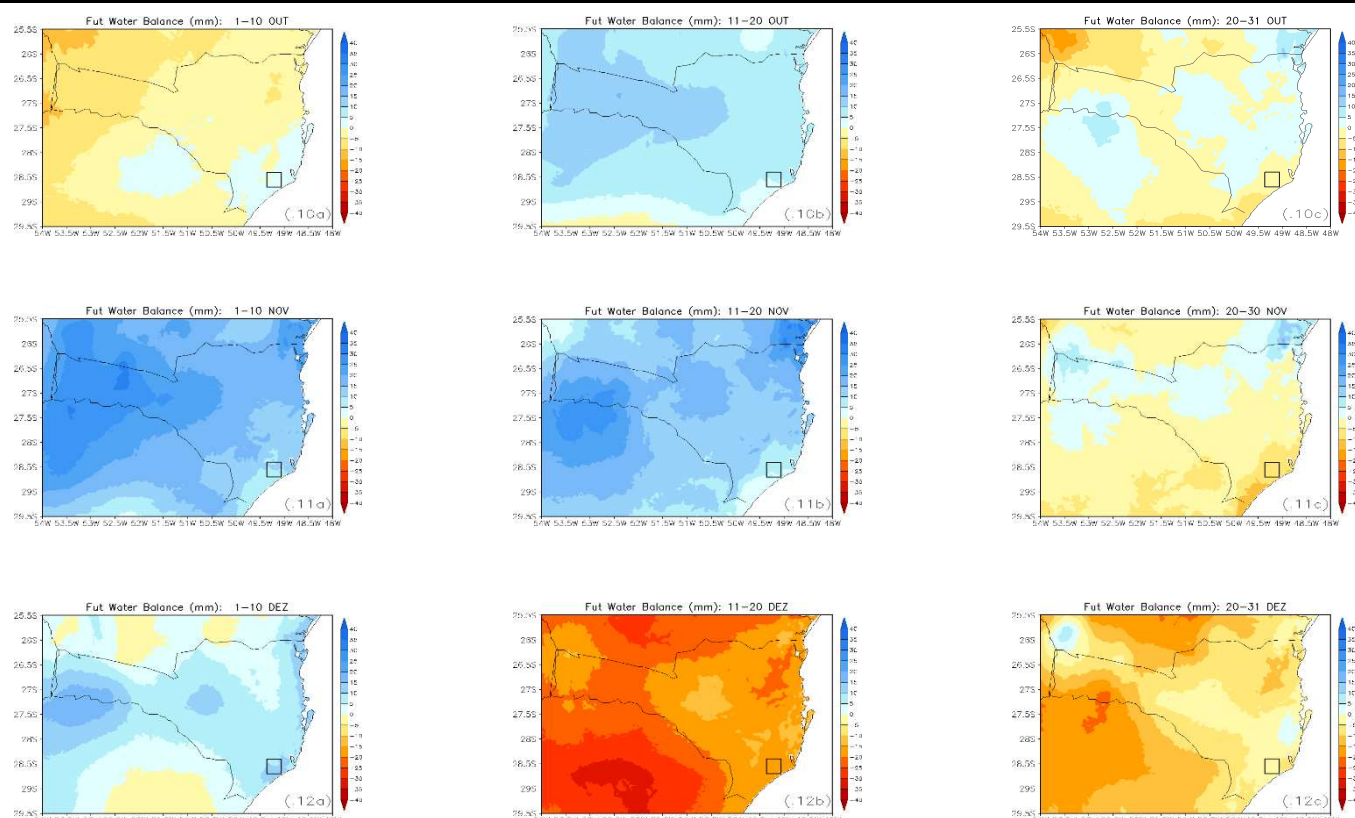


Figura 18. Como na Fig. 16, mas usando CanESM5 2021-2040 e cenário SSP370

Na Figura 19, percebe-se que nos decêndios no período de semeadura e desenvolvimento vegetativo da cultura, tem-se condições positivas da disponibilidade hídrica. O padrão climático estabelecido parece favorecer o período chuvoso da primavera. Entretanto, nos períodos subsequentes se não forem utilizadas técnicas de irrigação, de conservação de solos, rotação de cultivos e plantio escalonado para tornar o ambiente mais resiliente a disponibilidade hídrica, a produtividade será prejudicada.



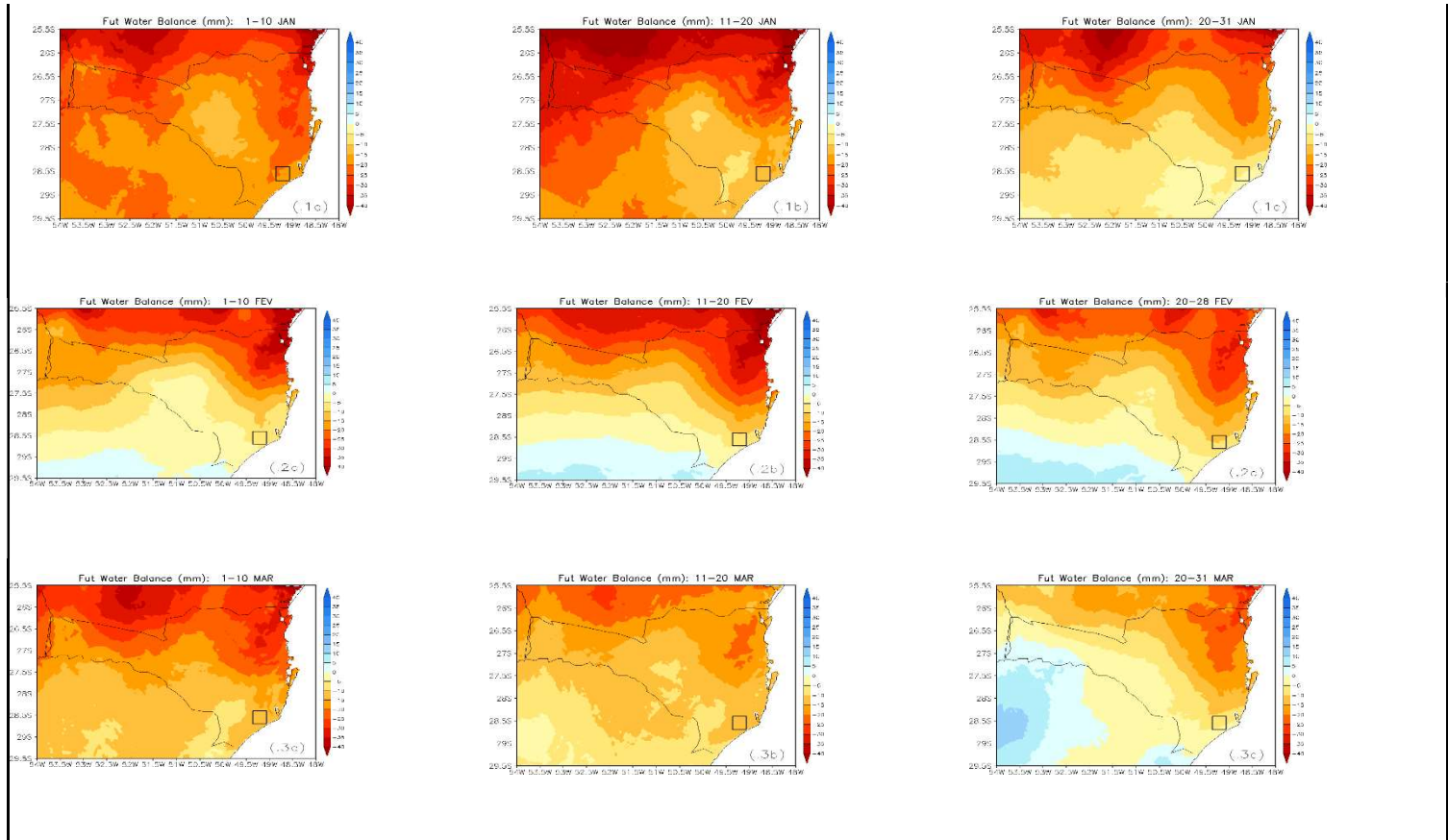


Figura 19. Como na Fig. 16, mas usando MIROC6 2041-2060 e cenário SSP585.

Na Figura 20 observa-se já nos primeiros decêndios do período atual de plantio, que ocorreria um agravado déficit hídrico, o que pode comprometer todo o ciclo da cultura e sua produtividade. Observa-se nesse caso que o período de granação e maturação fisiológica ocorreria sob déficit hídrico, o que acarretaria em perdas expressivas de produtividade. Esse cenário do modelo CanESM5 ainda é pessimista para o cultivo da soja na bacia hidrográfica do rio Urussanga quanto mais para todo SC, comparado ao da Figura 6 que representa o balanço hídrico anômalo com os dados extraídos do modelo MIROC6. Resta um curto período de disponibilidade hídrica anômala favorável em Urussanga e extremo sul de SC nos decêndios de dezembro. O que mais chama atenção é que o balanço hídrico para ambos os modelos, cenários e período utilizados se mostra preocupante em termos de disponibilidade hídrica para o cultivo da soja nessa região.

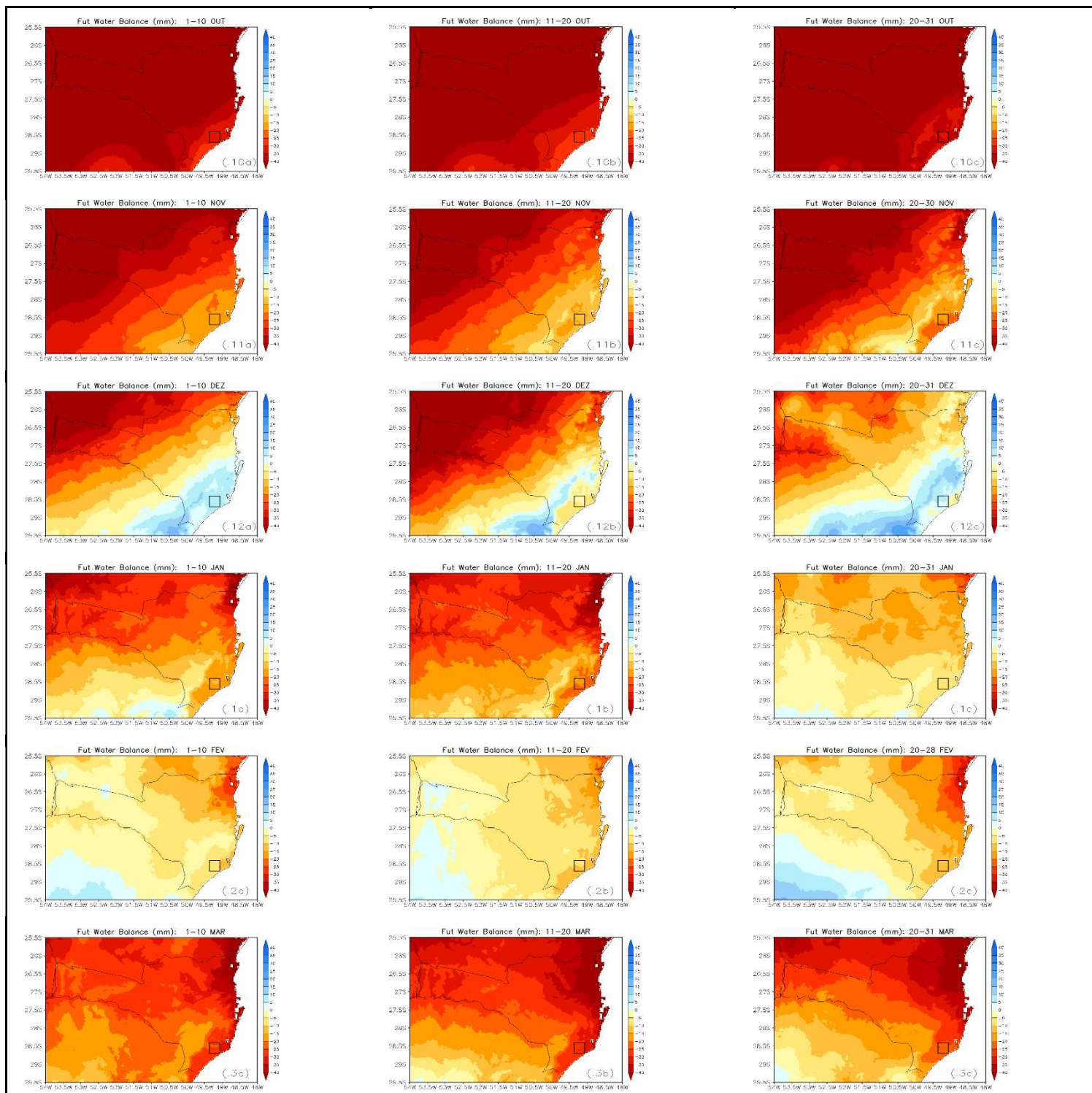


Figura 20 Como na Fig. 16, mas usando CanESM5 2041-2060 e cenário SSP585.

Os sistemas de produção agrícola terão de se tornar cada vez mais resilientes para possibilitarem reduzir os efeitos adversos do clima nos cultivos e para isso terão de adotar uma série de práticas que visam a manutenção e a conservação dos solos, da vegetação e dos recursos hídricos.

Algumas estratégias são recomendadas para os agricultores, muitas inclusive já são de conhecimento deles, porém não praticam por diversos motivos, dentre eles o cultural e a carência de uma assistência técnica focada na sustentabilidade dos agroecossistemas. Quando comparadas as estratégias e os efeitos estimados para aspectos adaptativos por

parte dos agricultores, sintetiza-se na Tabela 7 os principais procedimentos conhecidos e utilizados.

Tabela 7. Descrição de estratégias mais utilizadas e seus respectivos efeitos para elaboração de produto tecnológico e de inovações:

Estratégia	Efeitos
(a) Diversificação de culturas, cultivares e datas de semeadura:	reduz a exposição das culturas às condições meteorológicas adversas, em fases fenológicas críticas, tal como florescimento e enchimento dos grãos;
(b) Definição da densidade populacional da cultura:	em condições de clima adverso, como seca, uma menor densidade populacional resulta em menor competição intraespecífica;
(c) Definição da densidade populacional da cultura:	em condições de clima adverso, como seca, uma menor densidade populacional resulta em menor competição intraespecífica;
(d) Correção das deficiências nutricionais e controle integrado de pragas e doenças:	melhoram o vigor das culturas, permitindo maior tolerância às condições meteorológicas adversas;
(e) Uso de quebra-ventos:	reduz a evapotranspiração das plantas, melhorando a eficiência do uso da água, além de reduzir o potencial de danos mecânicos à cultura;
(f) Uso da irrigação:	reduz o estresse hídrico e favorece a estabilidade da produção agrícola. Deve ser empregada especialmente nos períodos mais críticos das culturas, como no estabelecimento, florescimento e frutificação;
(g) Alocação de culturas e cultivares adequados a diferentes posições do relevo:	alocar espécies e cultivares mais resistentes ao vento nos locais de maior altitude e, os menos sensíveis à geada, nas regiões de baixada;

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo intencionou-se auxiliar a agricultura na bacia do Rio Urussanga em SC por meio da análise da disponibilidade hídrica do clima futuro comparada ao clima presente, utilizando uma metodologia bastante difundida e já conceitualmente usual na bibliografia dos estudos hidrológicos, que é o método de Thornthwaite & Mather (1955). Para inferir sobre o clima futuro, utilizou-se de dois modelos climáticos, dois cenários e dois períodos futuros para comparações entre ambos.

O resultado do clima futuro em comparação com o clima presente, observa-se em vários decêndios, que o balanço hídrico têm disponibilidade hídrica menor durante os meses de cultivo da soja (outubro-março), onde a evapotranspiração da cultura seria maior combinada ou não a uma precipitação menor dentro de uma variabilidade climática intra-sazonal. Isso porque, no período vegetativo (outubro e novembro) as variáveis que mais impactam o período do cultivo são as que têm prognóstico de alteração, sendo a precipitação, temperaturas máximas e mínimas, em conjunto as variáveis relativamente estáveis da radiação e fotoperíodo. Entre o final do período vegetativo e o início do reprodutivo (novembro

e dezembro), além da radiação, a variável mais impactante passa a ser somente a precipitação.

A agricultura precisa mais do que nunca precisa ser pensada a curto, médio e principalmente a longo prazo. A produção de alimentos é estratégica para o Brasil, uma vez que representa cerca de 30% do PIB nacional. A atividade agrícola terá de aliar a partir de agora, produção com preservação ambiental, se adaptar às incertezas dos mercados, se adaptar às variabilidades climáticas, entre outros. Os profissionais de agronomia são peça chave nesse processo, pois atuam diariamente junto ao agricultor e podem ser os grandes fomentadores das mudanças que os sistemas produtivos deverão enfrentar para mitigar os efeitos da variabilidade climática.

A agricultura mais do que nunca precisa ser pensada a curto, médio e principalmente a longo prazo. A produção de alimentos é estratégica para o Brasil, uma vez que representa cerca de 30% do PIB nacional. A atividade agrícola terá de aliar a partir de agora, produção com preservação ambiental, se adaptar às incertezas dos mercados, se adaptar às variabilidades climáticas, entre outros. Os profissionais de agronomia são peça chave nesse processo, pois atuam diariamente junto ao agricultor e podem ser os grandes fomentadores das mudanças que os sistemas produtivos deverão enfrentar para mitigar os efeitos da variabilidade climática.

Referências

ALMEIDA, H. A.; HERMENEGIDIO, G. M. dos S. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencional e automática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, p. 32-47, 2013.

BERUSKI, GUSTAVO C.. PEREIRA, ANDRÉ B.. (2014) Validation study of an overall radiation balance estimation method under Ponta Grossa (PR) Brazil weather conditions. **Engenharia Agrícola**, 34. DOI: [10.1590/S0100-69162014000300010](https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000300010)

CALVACHE, A.M. et al. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agricola** [online]. 1997, v. 54, n. 3 [Acessado 21 Agosto 2021] , pp. 232-240. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000200019>>. Epub 03 Fev 1999. ISSN 1678-992X. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000200019>.

CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; SILVA DIAS, M. A. F. da Silva Dias (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

Comitê da Bacia do Rio Urussanga. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/a-bacia-rio-urussanga/bacia-hidrografica-rio-urussanga>, acesso em 03/12/18 as 14:00h

DE SOUZA ROLIM, Glauco; SENTELHAS, Paulo Cesar; BARBIERI, Valter. **Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de**

cultura e de produtividade real e potencial. Rev. Bras. Agrometeorologia, v. 6, p. 133-137, 1998.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: FAO, 1994 (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33)

EYRING, V. et al. Overview of the coupled model intercomparison project phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geosci. Model Dev.** 9, 1937–1958 (2016).

FAO, 2012. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. La seguridad alimentaria y el cambio climático: Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición. Roma, 2012.
<www.fao.org/3/a-me421s.pdf>. Acesso em 09/11/2020 as 19:00h

FEHR, W. R. and CAVINESS, C. E., "Stages of soybean development" (1977). **Special Report**. 87.

HARGRAVES, G. H., e Z. A. SAMANI. Evapotranspiração da cultura de referência da temperatura. **Engenharia aplicada na agricultura** 1.2 (1985): 96-99.

HIJMANS, R.J., S.E. CAMERON, J.L. PARRA, P.G. JONES AND A. JARVIS. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology** 25: 1965- 1978, 2005.

IPCC, 2014. Sumário do Relatório do IPCC para os Tomadores de Decisão – **WG II AR5**. Versão em Português, Iniciativa Verde. São Paulo, 2015.

OLIVEIRA, A. D. de; ALMEIDA, B. M. de; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; ESPINOLA SOBRINHO, J.; VIEIRA, R. Y. M. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Jaboticabal-SP. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 108-114, 2010.

PERH/SC. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina**. Dez/2017, disponível em:
http://www.aguas.sc.gov.br/jsmaifib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_e/perh_sc_plano_de_acoes-2017-final.pdf, acesso em 23/10/2019 as 17h.

PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; CAVIGLIONE, J. H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina-PR. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 2, p. 299-306, 2008.

REBOITA, M.S., Gan M. A., da ROCHA R. P., AMBRIZZI T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 25(2):185-204, 2010.

ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SENAY, Gabriel B., Stefanie Bohms, Ramesh K. Singh, Prasanna H. Gowda, Naga M. Velpuri,

Henok Alemu, and James P. Verdin, 2013. **Operational Evapotranspiration Mapping Using Remote Sensing and Weather Datasets: A New Parameterization for the SSEB Approach.** Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 49(3): 577-591. DOI: 10.1111/jawr.12057

SOUZA, I. de A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. de. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá. **Acta Scientiarum Technology**, v. 25, n. 2, p. 203-207, 2003.

STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A. de; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 273-278, 2011.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology, 1955. 104 p.

TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia – Ciência e Aplicação. **Editora da UFRGS/ Coleção ABRH** Volume 4, 3a Edição, 2004. 943 p.

UNFCCC, 1992. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. (d.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 333 p.