
TIPIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE FOZ DO IGUAÇU-PR E DE PADRÕES DE VARIAÇÃO NA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA A CULTURA DA SOJA

CLIMATE TYPIFICATION OF FOZ DO IGUAÇU - PR, AND OF VARIATION
PATTERNS IN WATER AVAILABILITY FOR SOYBEAN CULTURE

TIPIFICACION CLIMATICA DE FOZ DO IGUAÇU – PR, Y DE LOS PATRONES
DE VARIACION EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL CULTIVO DE SOJA

TYPE CLIMATIQUE DE FOZ DO IGUAÇU-PR ET MODÈLES DE VARIATION
DE LA DISPONIBILITÉ EN EAU POUR LA CULTURE DE SOJA

Edimar Pereira dos Santos Junior¹

Marcia Aparecida Procopio da Silva Scheer²

Exzolvildres Queiros Neto³

José Mauro Palhares⁴

RESUMO: A soja é a mais importante cultura de verão no estado do Paraná. Este trabalho teve como principais objetivos a tipificação climática de Foz do Iguaçu e a identificação de padrões de variação na disponibilidade de água por meio do balanço hídrico climatológico e sequencial mensal pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) de modo a destacar períodos com maiores excedentes e deficiências para a cultura da soja. Foram utilizados dados homogêneos de temperatura e precipitação da estação Salto Cataratas nos períodos de 1961 a 1990 e 1991 a 2017 para a determinação da evapotranspiração mensal sequencial de cultivo. Com dados encontrados na literatura, foi definida a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente do solo. Trabalhou-se com cenários elaborados com base no calendário agrícola oficial do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). A classificação climática para o primeiro período foi B2 r w2 A' a', e para o segundo B2 r w2 B'4 a'. Tipicamente, a região não apresenta deficiência hídrica, mas os dados mensais sequenciais apontam que as deficiências existem e ocorrem nos meses de verão, enquanto no final do inverno são mais comuns os excedentes. Definiu-se o mês de novembro o mais indicado para a semeadura da soja em Foz do Iguaçu.

1 Mestrando em agricultura Tropical e subtropical - Instituto Agrônomo de Campinas-IAC/UNICAMP.

E-mail: edimar.junior@aluno.unila.edu.br.

2 Professora do programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento - Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA). E-mail: marcia.scheer@unila.edu.br.

3 Professor do Curso de Graduação em Geografia - Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA). E-mail: queiroz.neto@unila.edu.br.

4 Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná-UFPR. Professor Adjunto. Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGeo/UNIFAP. Universidade Federal do Amapá. E-mail: jmpalhares@gmail.com.

Artigo recebido em maio de 2021 e aceito para publicação em agosto de 2021.

Palavras-chave: Soja. Agrometeorologia. Balanço Hídrico. Classificação Climática. Calendário Agrícola.

ABSTRACT: The soybean is the most important summer culture in the Paraná state. Considering that climatic variations can directly affect plant's yields, this work had as main objectives the climatic typification of Foz do Iguaçu and the identification of patterns of variation in water availability through the climatological and sequential monthly water balance by the method of Thornthwaite and Mather (1955) to identify periods with greater excesses and deficiencies for soybean culture. Using precipitation and temperature homogeneous data providing by Salto Cataratas station for periods 1961 to 1990 and 1991 to 2017, determining the sequential monthly evapotranspiration for the soybean. With estimate data found in literature, the field capacity and the permanent wilting point of soil were defined. Scenarios created based on the Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) official agricultural calendar were created. The climatic classification for the first period was B2r w2 A 'a' and for the second B2r w2 B'4a '. Climatologically, the region do not present water deficiency, but the sequential monthly data indicate that deficiencies exist and occur in the summer months, while surpluses are more common at the end of winter. It is possible to define the November as the most suitable month for sowing soybeans in Foz do Iguaçu.

Keywords: Agricultural Calendar. Soybean. Water Balance. Climatic Classification. Agrometeorology.

RESUMEN: La soja es el cultivo más importante en el estado de Paraná, en el sur de Brasil, no obstante, las plantaciones sufren mucho por las condiciones climáticas adversas, especialmente variaciones en las precipitaciones. Este artículo tiene como objetivo la tipificación climática de Foz do Iguaçu, Paraná, y la identificación de patrones de variación en la disponibilidad de agua utilizando el método de Thornthwaite y Mather (1955). Los datos homogéneos de temperatura y precipitación utilizados para calcular la evapotranspiración mensual y del cultivo provienen de la estación Salto Cataratas y se dividieron en dos períodos distintos: 1961 a 1990 y de 1991 a 2017. Los datos del punto de marchitez permanente y la capacidad de campo se definieron utilizando información de la literatura científica. La definición de los cenários fue bajo las indicaciones del zoneamiento agrícola del Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR). La tipificación climática del primer período fue B2 r w2 A 'a', y para el segundo B2 r w2 B'4 a '. La región no presenta deficiencia de agua en los períodos normales, pero los datos mensuales indican que las deficiencias ocurren a menudo en los meses de verano, mientras los excedentes ocurren en fines del invierno. En síntesis, se definió el mes de noviembre como el más adecuado para la siembra de soja en Foz do Iguaçu.

Palabras clave: Soja. Agroclimatología. Balance Hídrico. Clasificación Climática. Calendario Agrícola.

RÉSUMÉ: Le soja est la culture d'été la plus importante dans l'état du Paraná. Ce travail avait pour objectifs principaux la typification climatique de Foz do Iguaçu et l'identification des modèles de variation de la disponibilité en eau à travers le bilan hydrique mensuel climatologique et séquentiel par la méthode de Thornthwaite et Mather (1955) afin de mettre en évidence les périodes avec des excédents et des carences pour la culture du soja. Les données

homogênes de température et de précipitation de la station Salto Cataratas dans les périodes de 1961 à 1990 et de 1991 à 2017 ont été utilisées pour déterminer l'évapotranspiration mensuelle séquentielle des cultures. Sur la base des données trouvées dans la littérature, la capacité au champ et le point de flétrissement permanent du sol ont été définis. Nous avons travaillé dans des scénarios élaborés sur la base du calendrier agricole officiel de l'Institut Agronomique de Paraná (IAPAR). Le classement climatique pour la première période était B2 r w2 A' a', et pour la seconde B2 r w2 B'4 a'. En règle générale, la région n'a pas de déficit hydrique, mais des données mensuelles séquentielles indiquent que des carences existent et se produisent pendant les mois d'été, tandis qu'à la fin de l'hiver, les excès sont plus fréquents. Le mois de novembre a été défini comme le plus approprié pour semer du soja à Foz do Iguaçu.

Mots-clés: Soja. Agrométéorologie. Équilibre hydrique. Classification climatique. Calendrier agricole.

INTRODUÇÃO

É amplamente conhecida a vulnerabilidade do setor agrícola às intempéries climáticas. De acordo com Sentelhas e Monteiro (2009) e Conti (2011), nenhum outro setor é tão dependente das condições climáticas como a agricultura. Ayoade (2016), lembra que as condições climáticas interferem em todos os estágios da produção agrícola, desde o preparo da terra, plantio, crescimento da planta, colheita, armazenagem etc. Dada essa condição é importante destacar a importância dos calendários agrícolas, regulados pela Portaria nº 152, de 20 de julho de 2018, do Ministério da Agricultura (MAPA, 2018) como ferramentas de planejamento no meio agrícola.

Para a melhor acurácia de um zoneamento agroclimático é necessário um conjunto de dados suficientemente longos e sem falhas. Como apontado por Blain (2009) o conhecimento espaço-temporal de séries climatológicas pode auxiliar na indicação de melhores áreas e períodos para o plantio e na definição de tendências climáticas.

No Paraná, o calendário do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) é responsável por indicar o zoneamento e os períodos para a semeadura de diversas culturas como a soja, milho e trigo dentre outros. No entanto, ao observar a janela de plantio para a soja na região noroeste e boa parte da região oeste, incluindo o município de Foz do Iguaçu, nota-se que o período para o plantio vai do final de setembro até dezembro. Uma janela de plantio tão grande torna difícil a tomada de decisão para os agricultores.

A soja é um dos principais produtos cultivados no Paraná. Sua inserção e popularização no estado se deu em meados de 1954, após os prejuízos nos cafezais causados por geadas (CÂMARA, 2015). No cenário econômico brasileiro, o complexo agroindustrial da soja foi responsável pela exportação de US\$ 31,7 bilhões em 2018 (EMBRAPA, 2019), considerando soja em grãos, farelo e óleo, consolidando o Brasil como um dos maiores exportadores de soja e derivados no mundo. No Paraná, segundo maior produtor no Brasil, a produção total na safra 2017/2018 foi de pouco mais de 19 milhões de toneladas, em uma área plantada de aproximadamente 5,5 milhões de hectares (CONAB, 2019).

Os cultivares de soja são constantemente castigados por episódios meteorológicos extremos, como veranicos ou chuvas em excesso. Hirakuri (2014) aponta que os fatores climáticos podem ser altamente impactantes na agricultura mundial, especialmente no Brasil, com as estiagens sendo um dos principais problemas.

Nesse aspecto ressalta-se a importância da classificação climática de regiões com produção agrícola relevante. Este trabalho consiste na tipificação climática de Foz do Iguaçu no oeste do estado do Paraná e em uma avaliação dos padrões na disponibilidade de água para a soja nos períodos de 1961 a 1990 e 1991 a 2017, de modo a refinar a janela de plantio da soja em Foz do Iguaçu levando em conta a disponibilidade de água como fator limitante. Para tal foi elaborado o balanço hídrico climatológico e mensal sequencial de cultivos, o qual foi comparado a cenários baseados no calendário agrícola do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), para a soja, considerando solo tipo 3 (argiloso, predominantes na região).

Parâmetros Climáticos Para a Soja no Oeste do Estado do Paraná

O cultivo da soja possui algumas exigências climatológicas para seu pleno desenvolvimento. Os limiares térmicos variam entre 13°C como a temperatura mínima do ar, 25°C o ótimo para as atividades metabólicas e 35°C o máximo, sendo que aos 40°C a planta pode ser induzida à má formação (CARAMORI *et al.*, 2015). Suas exigências hídricas são de 450 a 800 mm de chuva bem distribuídos ao longo do período de cultivo (EMBRAPA, 2008; FERREIRA, 2017). Para a Região Oeste do Paraná os limiares são de 500 a 700 mm (CARAMORI *et al.*, 2015).

As principais consequências do estresse hídrico sobre a soja, de acordo com Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007), são: pequena estatura, folhas pequenas, entrenós curtos, murchamento de tecidos vegetais, fechamento dos folíolos, diminuição da área foliar, enrolamento da folha, fechamento dos estômatos, queda prematura de folhas e flores, diminuição do número de vagens, vagens com menos grãos ou vazias, diminuição do acúmulo de matéria seca, grãos menores e maturação precoce.

Excedentes de água também podem ser bastante prejudiciais à planta em períodos do desenvolvimento como a germinação e enchimento de grãos; isso ocorre quando a capacidade de retenção e infiltração de água no solo é excedida, levando ao escoamento superficial; mais detalhes sobre a conceituação dos excedentes podem ser encontrados em Albuquerque (2010).

O excesso de água no solo diminui a concentração de oxigênio, prejudicando o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente, a captura de nutrientes do solo, a fixação de nitrogênio e, em casos extremos, leva ao afogamento da planta (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Os danos podem variar de acordo com o estágio fenológico em que a planta se encontra. Os períodos mais críticos ocorrem na germinação-emergência e no enchimento de grãos, ou seja, no início do estágio vegetativo e no estágio reprodutivo (FAO, 1995; FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007; FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2009; CARAMORI *et al.*, 2015; FERREIRA, 2017).

MATERIAL E METODOLOGIA

A área de estudo é o município de Foz do Iguaçu, localizado na região oeste paranaense (figura 1), faz fronteira com Ciudad del Este, Hernandarias e Presidente Franco do Paraguai e Puerto Iguazú da Argentina. Em 2017 a produção de soja no município de Foz do Iguaçu atingiu 33.598 toneladas em uma área plantada de aproximadamente 9.850 hectares (IBGE, 2018).

Os dados de temperatura e precipitação são provenientes da estação Salto Cataratas (figura 1), localizada no interior do Parque Nacional do Iguaçu, coordenadas: Latitude - 25° 40' 59", Longitude - 54° 25' 59", e altitude de: 152m, é a única com uma série

ininterrupta e suficientemente grande, atendendo às exigências da pesquisa. Os dados selecionados a partir de 1961 foram divididos em duas séries, aproximando-se da recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM), de se trabalhar com as normais climatológicas. Os períodos trabalhados foram 1961 a 1990 (30 anos) e 1991 a 2017 (27 anos), totalizando 57 anos.

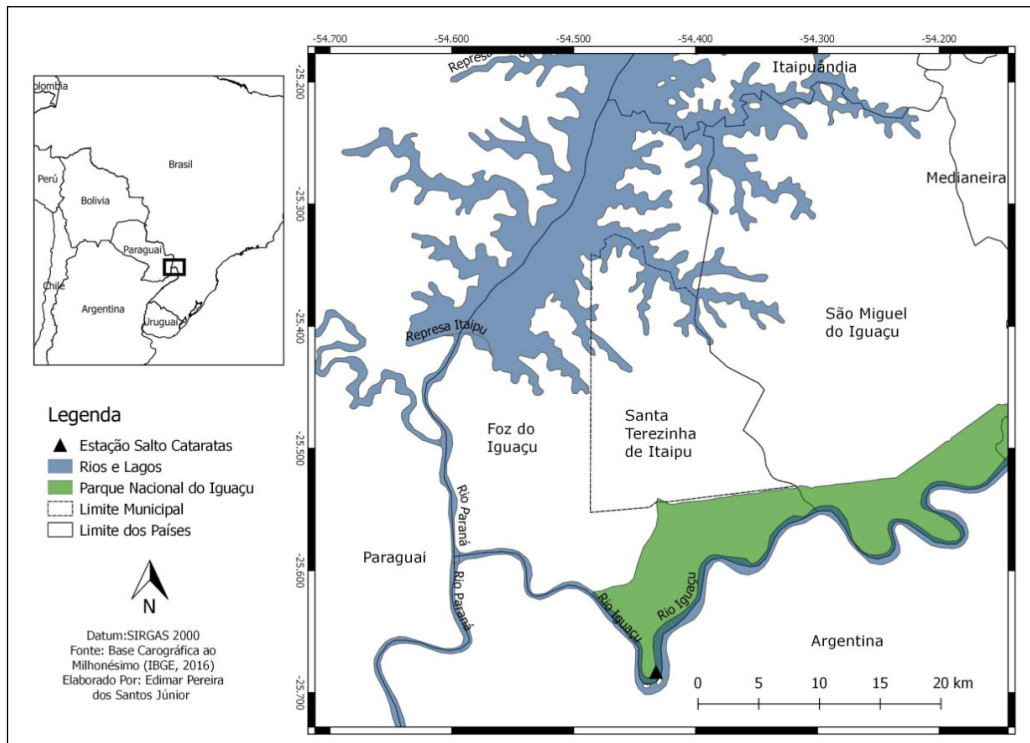


Figura 1. Localização do município de Foz do Iguaçu e da estação Salto Cataratas.

As séries de temperatura e precipitação foram submetidas a testes de homogeneidade. Os testes aplicados foram o Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), o teste de Pettitt e de Buishand, considerando 5% de significância. Os dados foram classificados conforme metodologia proposta por Wijngaard *et al.* (2003) sendo organizados da seguinte forma: classe 1) útil, quando rejeitada por até um teste; classe 2) duvidosa, quando rejeitada por 2 testes e classe 3) suspeita, quando rejeitada por 3 testes. Todos os testes foram conduzidos no R studio.

O tipo climático foi definido por meio do método de Thornthwaite e Mather (1995) que utiliza a temperatura mensal para o cálculo da evapotranspiração potencial que, por sua vez, permite a estimação do índice de umidade, do índice térmico e do índice de aridez, fundamentais para o enquadramento climático de uma região. Camargo e Camargo (2000) demonstraram que, em regiões de clima árido, este método pode subestimar os dados de ETp, apontando valores abaixo do que realmente ocorrem; não obstante, este não é o caso de Foz do Iguaçu. Ressalta-se também que o método em questão não é adequado para escalas de trabalho inferiores à mensal; contudo, apresenta bons resultados para escalas maiores, conforme constatado por Camargo e Sentelhas (1997). Uma das principais vantagens do método é a exigência apenas de dados de temperatura, que são mais abundantes e fáceis de compilar. Mais detalhes sobre os índices e a metodologia de Thornthwaite podem ser encontradas em Vianello e Alves (2000) e em Pereira *et al.* (2007).

O primeiro passo para o balanço hídrico é obter os dados de evapotranspiração potencial a partir da equação 1:

$$ETp = 16 \times \left(\frac{10 \times tm}{I} \right)^a \quad (01)$$

$$I = \sum_n^{12} (0,2 \times Tn)^{1,514} \quad (02)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \times 10^2 \times I + 0,49239 \quad (03)$$

Onde “ETp” é a evapotranspiração potencial mensal, “Tm” é a temperatura média mensal, “I” é um índice térmico que pode ser obtido pela equação 2 e “a” é um índice que pode ser obtido pela equação 3.

Objetivando quantificar o balanço hídrico para o cultivo da soja, se faz necessário encontrar a evapotranspiração potencial específica para esse cultivo através da equação 4 a seguir:

$$ETc = ETp + Kc \quad (04)$$

Onde “ETc” é a evapotranspiração de cultivo, “ETp” é a evapotranspiração potencial e “Kc” é o coeficiente de cultivo. Para essa pesquisa foram adaptados os valores de Kc considerando um ano com cultivo de soja contínuo conforme Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de cultura da soja em seus diferentes estágios fenológicos ao longo do ano.

Estágio Fenológico	Mês	Kc Médio
Reprodutivo	Janeiro	1,1
	Fevereiro	0,9
Maturação	Março	0,6
	Abril	0,40
Vegetativo	Maio	0,8
	Junho	1,1
	Julho	1,1
Reprodutivo	Agosto	0,9
	Setembro	0,6
Vegetativo	Outubro	0,40
	Novembro	0,8
	Dezembro	1,1

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.* (2007).

O passo seguinte foi calcular a capacidade de água disponível no solo, ou seja, a CAD, pela metodologia sugerida por Frizzzone (2017), e metodologia similar adotada por Lacerda (2007):

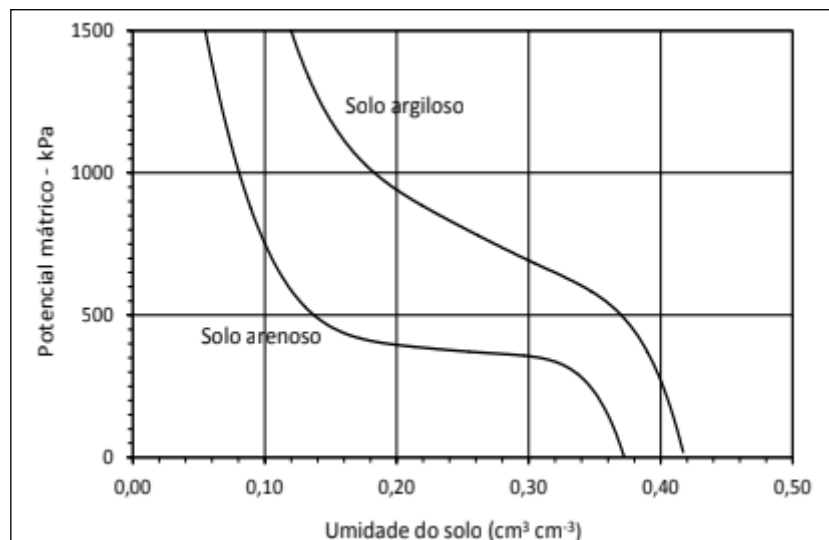
$$DTA = 1000 \times (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \quad (05)$$

Onde: “DTA” é a disponibilidade Total de Água; “ θ_{cc} ” é o volume de água no solo na Capacidade de Campo; “ θ_{pmp} ” é o volume de água no solo no Ponto de Murcha Permanente. O resultado é obtido em mm/cm. Em seguida para a obtenção da CAD basta aplicar a equação 6:

$$CAD = DTA \times Z \quad (06)$$

Onde “CAD” é a Capacidade de água disponível em mm/cm de solo, “DTA” é a Disponibilidade Total de Água e “Z” é a profundidade efetiva das raízes, para essa pesquisa foi adotada a profundidade efetiva de 40 centímetros, ou 0,40 metros pois, conforme apontado por Fietz e Rangel (2004), essa é a profundidade efetiva das raízes da soja em seu estágio fenológico mais desenvolvido.

Para a definição do Ponto de Murcha Permanente (PMP) e da Capacidade de Campo (CC) recorreu-se a curva característica de água no solo para a obtenção de valores médios conforme a Figura 2.



Fonte: Frizzzone, 2017.

Figura 2. Curva característica de água no solo.

O “PMP” corresponde ao teor de água no solo a partir do qual as plantas não têm mais a capacidade de manter a turgescência, sendo esse limite expresso em atmosferas, o valor médio para a maioria dos solos é de 15atm (FAO, 2005; Albuquerque, 2010). A “CC” é a capacidade máxima de retenção de água no solo após a infiltração e o escoamento do excedente.

Considerando que os solos predominantes na região são de textura argilosa, têm-se 0,11 para o PMP e 0,41 para a CC, conforme curva característica de retenção de água no

solo exposta em Frizzone (2017). Para a obtenção dos valores em mm basta inserir os valores nas equações 07 e 08 a seguir:

$$PMP = (\theta_{pmp} \times Z) \times 1000 \quad (07)$$

$$CC = (\theta_{cc} \times Z) \times 1000 \quad (08)$$

Onde “ θ_{cc} ” é a umidade da Capacidade de Campo, a base de volume, “ θ_{pmp} ” é a umidade do Ponto de Murcha Permanente, a base de volume, e “Z” é a profundidade do sistema radicular dada em metros.

Para essa pesquisa considera-se uma soja de ciclo médio onde o período da evolução dos estágios fenológicos aproxima-se dos valores expressos na Tabela 2.

Para fins de pesquisa, considera-se um mês (30 dias) para os estágios citados, um mês para a semeadura (considerando o preparo do solo) e um mês para a colheita.

Tabela 2. Período de duração médio em dias da soja de ciclo médio.

Estágio	Duração (em dias)
VE a V2	15
V2 a R1	36
R1 a R5	31
R5 a R7	36

Fonte: Fietz e Rangel (2004).

Foram definidos cenários (tabela 3) com base no calendário e zoneamento agrícola do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), instituto responsável pelo calendário agrícola oficial do estado disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1576>.

Tabela 3. Cenários estabelecidos de acordo com os estágios fenológicos da soja: S = semeadura; V = vegetativo; R1 = reprodutivo 1; R5 = reprodutivo 5; R7 = reprodutivo 7; M = maturação; C = colheita.

		Mês											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cenário	C1	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7
	C2	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5
	C3	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V
	C4	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S

No calendário associado ao zoneamento estabeleceu-se que a soja dos grupos 2 e 3 (ciclo médio e longo) em solos tipo 3 (com textura argilosa) tem uma janela de semeadura que vai de 21 de setembro até 31 de dezembro.

Foram elaborados calendários distintos onde se adiou em um mês a semeadura e, conseqüentemente, os estágios fenológicos seguintes. Ainda para fins de praticidade da pesquisa, considerou-se o ano agrícola com soja em sequência de soja.

RESULTADOS

Homogeneidade dos Dados

Os testes de homogeneidade indicaram que os dados de temperatura são homogêneos, tanto para o período de 1961 a 1990 como de 1991 a 2017, pois todas as séries mensais foram classificadas como classe 1, útil. Ressalta-se que no primeiro período apenas o teste de Pettitt indicou uma não homogeneidade dos dados, e no segundo período apenas o SNHT indicou uma não homogeneidade, porém, conforme a metodologia, isso não configura que os dados não sejam úteis pois os outros dois testes não indicaram irregularidades.

Para as séries mensais de precipitação, todos os testes para ambos os períodos indicaram alteração não significativa, ou seja, todas as séries foram classificadas como classe 1.

Clima Regional

Com os dados obtidos pelo balanço hídrico climatológico foi possível definir o clima regional. Na Tabela 4 estão relacionados os dados sintetizados do balanço hídrico climatológico para o primeiro período considerado (1961-1990).

Tabela 4. Extrato do Balanço Hídrico Climatológico 1961-1990. ETp = evapotranspiração potencial; P = precipitação; ARM = armazenamento; ETr = evapotranspiração real; DEF = deficiência; EXD = excedente.

Mês	ETp	P	ARM	ETr	DEF	EXD
Jan	165	166	100	165	0	1
Fev	143	146	100	143	0	3
Mar	138	127	89	138	1	0
Abr	80	135	100	80	0	44
Mai	53	147	100	53	0	94
Jun	37	123	100	37	0	86
Jul	40	104	100	40	0	64
Ago	56	116	100	56	0	60
Set	65	135	100	65	0	70
Out	103	174	100	103	0	71
Nov	129	156	100	129	0	27
Dez	152	155	100	152	0	3
Soma	1161	-	-	-	1	540

Considerando os dados da soma de ETp, DEF e EXD, obtém-se o valor do Índice de Umidade (I_m) totalizando 46,44, definido como B2 na nomenclatura de Thornthwaite, indicando um clima úmido.

Com a soma dos dados da coluna DEF e ETp obtém-se o Índice de Aridez (I_a) cujo valor alcançado foi 0,08, subtipo “r”, indicando deficiência de água pequena ou nula.

O Índice Hídrico (I_h), cujo valor foi 46,49, determina subtipo 2, pois o valor obtido foi maior que 20 e w_2 , devido ao fato de os valores de excedente hídrico estarem concentrados no inverno.

Considera-se também a soma da ETp em *stricto sensu* como um parâmetro para a classificação cujo valor obtido foi de 1161 mm que indica o subtipo A', Megatérmico, ou seja, com altas taxas de evapotranspiração potencial. Considerando ainda a porcentagem da evapotranspiração potencial acumulada nos meses de verão (EPV) de 39% nos meses de janeiro fevereiro e dezembro, obtemos o subtipo a', indicando uma concentração baixa da evapotranspiração nesses meses.

Em síntese, o clima regional para o período de 1961-1990 é: B2 r w2 A' a'.

De acordo com o método de Thornthwaite e Mather (1955), a evapotranspiração real (ETr) é igual a evapotranspiração potencial (ETp) quando a demanda de água é totalmente atendida pelo sistema. Em um ambiente onde não há deficiência hídrica a curva da evapotranspiração real será sempre igual à evapotranspiração potencial conforme demonstrado na Figura 3, que representa o balanço hídrico para o período 1961-1990.

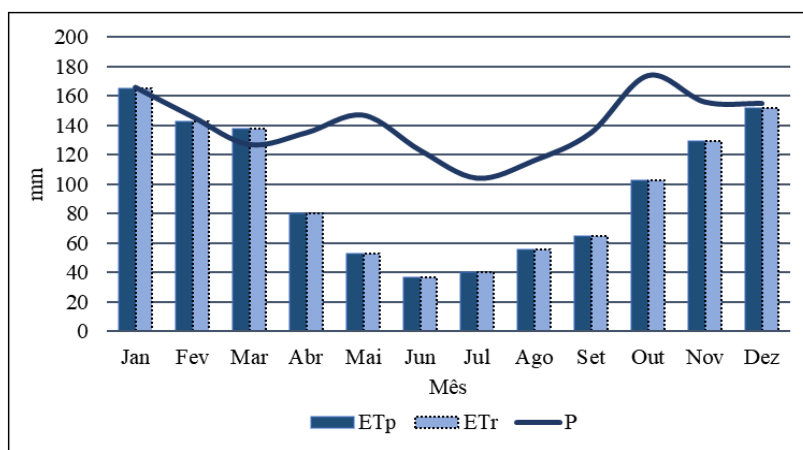


Figura 3. Balanço hídrico 1961-1990.

A Figura 4 demonstra a variação dos excedentes para o primeiro período; nota-se que assim como estabelecido na classificação climática esses excedentes são bastante expressivos, atingindo marcas próximas a 100 mm e estão concentrados nos meses do final de outono: abril e maio, do Inverno: junho, julho e agosto e início da primavera: setembro e outubro.

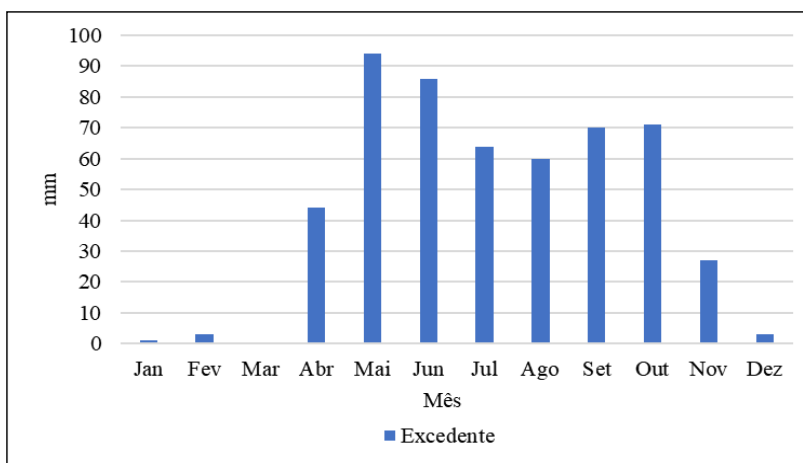


Figura 4. Variação do excedente hídrico.

Na Tabela 5 constam os valores obtidos para o balanço hídrico climatológico para o segundo período (1991-2017).

Nesse período o Índice de Umidade foi de 59, pouco maior que o período anterior, mas não o suficiente para mudar a classificação. O Índice de Aridez se igualou a 0, o que já era esperado; no entanto, conforme será demonstrado mais adiante, não se pode acreditar que as deficiências hídricas sejam inexistentes. O Índice Hídrico obtido para esse período foi de 59, igual ao Índice de Umidade, isso porque o cálculo para estimar o I_m leva em conta as deficiências, como não foram verificadas deficiências em nenhum mês, esse fator se iguala a 0, o que leva ao mesmo resultado da equação do I_h .

Para este período a soma da evapotranspiração anual foi igual a 1070 mm, 91mm menos que o período anterior, o bastante para mudar a classificação para Mesotérmico; considerando que a evapotranspiração é uma relação direta das temperaturas, pode-se associar a diminuição de um em função da diminuição do outro. A evapotranspiração acumulada no verão igual a 38%, apenas 1% a menos que o período anterior, indicando que a evapotranspiração não é concentrada no verão.

Tabela 5. Extrato do Balanço Hídrico Climatológico 1991-2017 ETp = evapotranspiração potencial; P = precipitação; ARM = armazenamento; EPr = evapotranspiração real; DEF = deficiência; EXD = excedente.

Mes	ETp	P	ARM	ETr	DEF	EXD
Jan	154	143	89	154	0	0
Fev	118	130	100	118	0	1
Mar	111	118	100	111	0	7
Abr	82	133	100	82	0	51
Mai	50	169	100	50	0	119
Jun	40	143	100	40	0	103
Jul	37	101	100	37	0	64
Ago	59	81	100	37	0	22
Set	68	133	100	68	0	65
Out	94	211	100	94	0	117
Nov	118	152	100	118	0	53
Dez	138	191	100	138	0	53
Soma	1070	-	-	-	0	635

Em síntese, o clima regional para 1991-2017 pode ser tipificado como: B2 r w2 B'4 a'.

A Figura 5 mostra uma deficiência bastante incipiente no mês de janeiro, pois a evapotranspiração potencial foi maior que a precipitação média para o mesmo mês.

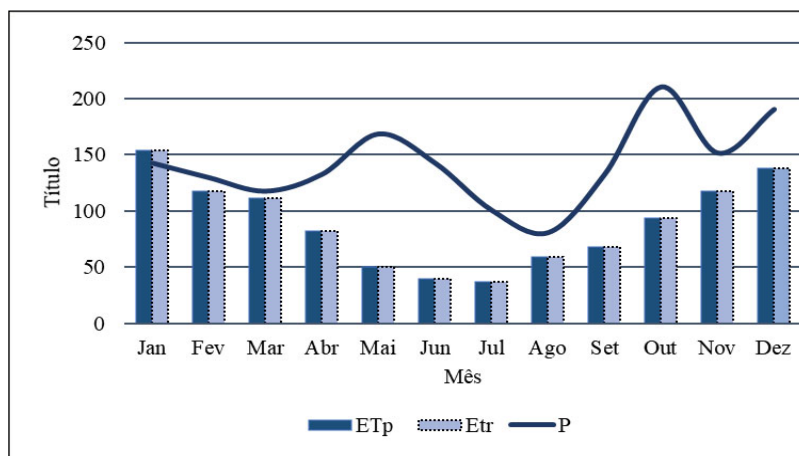


Figura 5. Balanço hídrico 1991-2017.

Assim como no período anterior, a evapotranspiração potencial foi igual à evapotranspiração real em quase todos os meses.

Na Figura 6 está representada a variação dos excedentes para o período de 1961-1990.

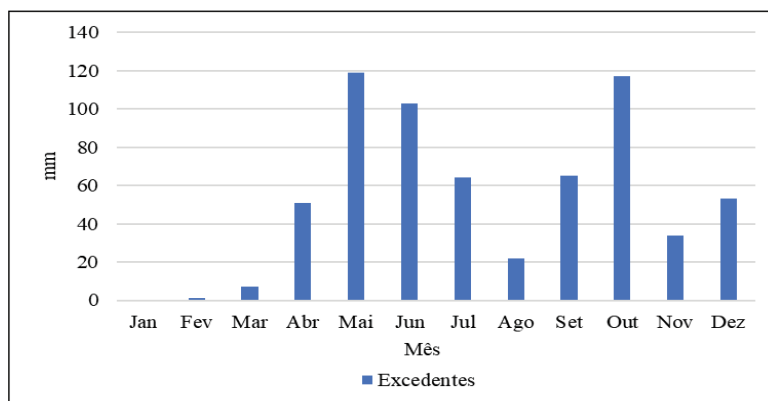


Figura 6. Variação dos excedentes 1991-2017.

Percebe-se que, assim como no período anterior, os meses do final do outono e início do inverno são os que concentram os maiores valores de excedentes, sendo os mais expressivos para os meses de maio e junho.

Balanço Hídrico Climatológico

O calendário agrícola do IAPAR estabelece que para toda a região noroeste do estado e grande parte da região oeste, incluindo o município de Foz do Iguaçu, as cultivares de soja grupo 2 e 3, em solos tipo 3 (mais argiloso) devem ser semeadas na janela entre final de setembro e início de dezembro.

Com os resultados obtidos por meio do balanço hídrico climatológico dos dois períodos em estudo é possível observar na Figura 7 que nos meses de maio, junho e julho há grande excedente hídrico, potencialmente prejudicial ao cultivo da soja como explicado anteriormente em relação às exigências climatológicas da soja.

Período	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Calendário 1	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7
Calendário 2	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5
Calendário 3	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V
Calendário 4	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S
1961-1990	101	103	89	144	194	186	164	160	170	171	127	103
1991-2017	89	101	107	151	219	203	164	122	165	217	134	153
Legenda												
PMP	Abaixo do Ponto de Murcha					Estágio Vegetativo						
Ideal	Disponibilidade em nível ideal					Estágio reprodutivo R1 a R5						
CC	Acima da Capacidade de Campo					Estágio Reprodutivo R5 a R7 (enchimento de grão)						
S	Semeadura					Maturação						
						Colheita						

Figura 7. Calendários Propostos em relação ao balanço hídrico para os dois períodos (1961-1990 e 1991-2017).

Considerando que tanto os excedentes como as deficiências hídricas são potencialmente prejudiciais ao cultivo da soja, é possível concluir que os dados climatológicos indicam que o melhor calendário a ser seguido é o 3, pois prevê a semeadura em novembro de modo que todo o desenvolvimento da cultura até a colheita esteja contido em meses nos quais a disponibilidade de água está dentro do ideal.

Balanço Hídrico Mensal Sequencial

Para o primeiro período (1961-1990), dispõe-se de 30 observações para cada mês (figura 8). Pode-se observar, considerando todo o período, um total de 30 meses onde a disponibilidade de água esteve abaixo do Ponto de Murcha Permanente estimado para a soja, ou seja, meses em que o valor do armazenamento de água no solo foi menor ou igual a 44 mm ($ARM \leq 44$ mm).

A Tabela 6 sintetiza a porcentagem das ocorrências. O mês com maior número de ocorrências de $ARM \leq 44$ mm foi janeiro, com 12, o que corresponde a 40% das observações, seguido de fevereiro com 7 e, em seguida, dezembro com 6; nota-se que são os meses de verão.

O mais preocupante, no entanto, foi a numerosa ocorrência de excedentes hídricos. Foram computados em todo o período 177 meses em que a disponibilidade de água esteve acima da Capacidade de Campo ($ARM \leq 164$ mm), ou seja, quando a quantidade de água disponível ultrapassa a capacidade do solo de reter água, formando então os excedentes, que prejudicam a planta e o solo com a lavagem dos nutrientes, saturação do solo e afogamento da planta.

Para o período de 1991-2017 (figura 9) observa-se que 15 meses apresentaram disponibilidade de água abaixo do PMP, dos quais 6 ocorreram nos meses de janeiro. Fevereiro e março tiveram 3 ocorrências cada e dezembro apenas duas. Nota-se que os anos de 2004 e 2012, nos meses de verão, houve acentuada deficiência hídrica. Os maiores excedentes ocorreram nos meses de abril, maio, setembro e outubro.

Os meses com excedente totalizaram 171 ocorrências, sendo o mês de outubro o que mais apresentou casos de excedentes acentuados seguido do mês de maio, setembro e abril. Destaca-se que os meses de verão, ademais de concentrar grande parte das ocorrências de deficiência hídrica, tiveram também a maior porcentagem de meses dentro do limiar ideal de disponibilidade de água para a soja conforme Tabela 7.

Fica clara a correlação entre os dois períodos em que os meses de verão, mesmo com a concentração dos meses em que a disponibilidade de água esteve abaixo do ideal, são também os que mais concentraram as observações dentro do que é considerado ideal.

Os dados do balanço hídrico mensal sequencial demonstram que, diferente do que é apresentado pelo balanço hídrico climatológico, existem deficiências hídricas relevantes, principalmente nos meses de verão. Além disso, fica claro que o que mais ocorre são casos de excedentes hídricos nos meses do outono, inverno e primavera.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Calendário 1	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7
Calendário 2	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5
Calendário 3	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V
Calendário 4	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S
1961	31	20	181	223	139	198	120	123	227	357	193	63
1962	149	324	128	193	174	123	175	147	226	306	246	29
1963	81	49	123	179	303	186	98	82	184	289	334	145
1964	37	64	257	292	109	142	187	330	251	193	154	67
1965	33	288	177	286	267	119	141	199	282	238	74	119
1966	37	69	63	49	52	236	153	116	131	197	55	28
1967	74	37	145	101	100	128	161	124	92	113	61	15
1968	17	11	10	149	134	140	131	111	236	298	65	180
1969	205	94	211	294	324	271	109	97	269	204	195	93
1970	57	38	64	55	78	174	210	129	302	271	92	71
1971	85	192	218	143	212	323	213	189	167	238	135	104
1972	70	76	63	129	131	113	229	325	332	204	211	74
1973	205	147	185	312	434	246	226	288	245	441	244	178
1974	110	126	111	195	261	348	138	389	147	347	299	216
1975	78	114	135	213	171	229	177	201	384	306	214	334
1976	200	109	358	232	205	194	196	219	210	287	179	84
1977	182	103	182	135	134	166	94	179	117	204	233	66
1978	20	9	7	5	5	119	309	166	213	209	176	64
1979	17	151	125	256	382	118	132	190	299	223	158	351
1980	249	82	84	94	310	141	126	178	245	269	117	57
1981	37	20	19	187	95	162	85	55	112	207	123	297
1982	37	83	87	106	135	232	350	191	116	235	535	47
1983	54	89	216	391	416	276	494	84	278	332	324	33
1984	21	13	65	223	106	253	117	222	159	161	203	96
1985	32	94	130	227	182	161	198	150	120	212	71	16
1986	41	209	232	173	412	110	137	187	252	213	116	162
1987	94	204	89	319	342	131	168	116	94	349	209	168
1988	56	88	56	202	254	222	95	62	47	208	77	28
1989	105	146	129	197	142	234	153	321	262	303	94	58
1990	287	85	111	361	316	359	220	391	422	190	103	77
PMP	Ponto de Murcha						R1-R5 Estágio reprodutivo R1 a R5					
Ideal	Ideal											
CC	Capacidade de Campo						R5-R7 Estágio reprodutivo R5 a R7					
S	Semeadura						M Maturação					
V	Estágio Vegetativo						C Colheita					

Figura 8. Calendários propostos em relação ao balanço hídrico mensal sequencial para o período 1961-1990.

Tabela 6. Porcentagem das ocorrências (meses) em cada classe de disponibilidade de água para o período de 1960-1990.

%	MÊS											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PMP	40	23	10	3	3	3	0	0	0	0	0	20
IDEAL	43	60	57	67	40	40	53	43	33	7	50	57
CC	10	17	33	30	57	57	47	57	67	93	50	23

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
Calendário 1	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	
Calendário 2	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	
Calendário 3	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	
Calendário 4	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	
1991	124	47	41	148	147	362	104	106	158	158	171	206	
1992	29	154	242	274	447	197	247	248	200	251	168	56	
1993	88	151	210	103	281	307	233	99	281	258	205	107	
1994	35	186	110	196	285	329	140	98	165	265	413	187	
1995	101	112	241	233	100	98	91	70	195	297	67	36	
1996	35	106	227	193	177	194	159	84	187	717	182	493	
1997	88	118	94	143	445	354	157	233	286	281	361	79	
1998	39	188	334	382	235	164	107	364	314	354	73	64	
1999	83	123	121	220	223	256	192	96	108	112	99	142	
2000	182	214	110	219	243	254	154	193	223	292	156	160	
2001	122	278	129	238	155	202	165	102	194	195	186	157	
2002	265	78	63	62	350	150	152	158	203	373	344	250	
2003	64	115	126	222	111	130	130	137	271	401	141	418	
2004	30	18	16	108	435	141	233	93	92	300	208	44	
2005	47	18	12	98	377	246	165	108	312	488	74	31	
2006	65	46	198	170	97	138	90	130	269	251	268	198	
2007	113	110	104	303	271	100	160	99	75	158	229	133	
2008	135	111	86	327	174	290	140	254	237	373	145	53	
2009	108	158	100	145	400	195	251	250	343	490	220	190	
2010	123	152	312	233	178	133	208	101	169	313	112	285	
2011	69	83	95	192	94	144	293	266	240	366	179	50	
2012	33	16	16	231	182	233	223	71	69	292	102	111	
2013	115	174	214	163	281	316	130	143	218	255	169	76	
2014	95	69	291	324	313	513	283	89	240	140	162	206	
2015	72	84	119	202	293	172	326	93	143	184	330	342	
2016	108	168	302	146	238	127	136	243	128	275	131	204	
2017	61	166	175	288	291	145	85	192	83	441	310	116	
	PMP	Disponib. abaixo do Ponto de Murcha						R1-R5	Estágio reprodutivo R1 a R5				
	Ideal	Disponib. em nível ideal						R5-R7	Estágio Reprodutivo R5 a R7				
	CC	Disponib. acima da Capacidade de Campo						M	Maturação				
	S	Semeadura						C	Colheita				
	V	Estágio Vegetativo											

Figura 9. Calendários propostos em relação ao balanço hídrico mensal sequencial para o período 1991-2017.

Tabela 7. Porcentagem das ocorrências (meses) em cada classe de disponibilidade de água para o período de 1990-2017.

%	MÊS											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PMP	22	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	7
IDEAL	67	63	48	30	19	37	52	63	26	11	44	56
CC	11	26	41	70	81	63	48	37	74	89	56	37

CONCLUSÃO

A classificação climática para Foz do Iguaçu pelo método de Thornthwaite e Matter (1955) indicou uma mudança climática incipiente entre os períodos estudados, mas foi o suficiente para mudar a classificação de megatérmico para mesotérmico.

Através da análise do balanço hídrico climatológico pode-se notar que o ciclo da soja com menor chance de sofrer com extremos na disponibilidade de água é seguindo o calendário 3, com semeadura em novembro, pois o comportamento climatológico da disponibilidade de água no período que se estende de novembro a abril apresenta condições ideais para o desenvolvimento da soja.

Por outro lado, o balanço hídrico mensal sequencial evidenciou a existência de deficiência hídrica em grande porcentagem dos meses de verão, sobretudo janeiro, o que pode prejudicar o cultivo da soja em fases de desenvolvimento críticas. Não obstante, ajuda a corroborar com os dados do balanço hídrico climatológico uma vez que os meses de verão, que compreendem a maior parte do desenvolvimento da soja ao levar em conta o calendário 3, apresentam porcentagens de disponibilidade de água dentro do ideal acima de 50% na maioria dos casos.

Cabe ressaltar, no entanto, que a definição do calendário agrícola pelo IAPAR leva em consideração muitos outros aspectos além da disponibilidade de água, e a pesquisa aqui desenvolvida fez uso de algumas simplificações para tornar possível o desenvolvimento do trabalho, como a definição de valores médio de Kc, profundidade de raiz e curva característica de água no solo, o que, em situações reais de campo, podem fazer grande diferença.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Paulo E. Pereira. **Estratégias de manejo de irrigação: exemplos de cálculo**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2010.
- AYOADE, Johnson Olaniyi. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2016.
- BLAIN, Gabriel Constantino. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da secretaria de agricultura e abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, p. 12-23, 2009.
- CÂMARA, Gil Miguel de Souza. **Introdução ao agronegócio da soja**. Piracicaba: ESALQ, 2015.
- CAMARGO, Ângelo de Paz; CAMARGO, M. B. **Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial**. Campinas: Bragantia, v.59, p.125-137, 2000.
- CAMARGO, Ângelo de Paz; SENTELHAS, Paulo César. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil**. Santa Maria: Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 5, p.89-97, 1997.
- CARAMORI, Paulo Henrique; WERNER, Simone Silmara; RICCE, Wilian da Silva; NITSCHKE, Pablo Ricardo; VIEIRA, Sidney Rosa. Clima no entorno do reservatório de Itaipu. In: ZANÃO JÚNIOR, Luiz Antônio; FARIA, Rogério Teixeira de; CARAMORI, Paulo Henrique. **Produtividade da soja no entorno do reservatório de Itaipu**. Londrina: IAPAR, 2015.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: CONAB, v6, 2019.
- CONTI, José Bueno. **Clima e meio ambiente**. São Paulo: Atual, 2011.

- EMBRAPA. **Tecnologias de produção da soja – região central do Brasil 2009 e 2010**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2008.
- EMBRAPA. Soja em números (safra 2018/19). Embrapa, 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em 15 de maio de 2020.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **El cultivo de la soja en los tropicos, mejoramiento y producción**. Roma, FAO, 1995.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal**. Roma, FAO, 2005.
- FARIAS, José Renato; NEPOMUCENO, Alexandre; NEUMAIER, Norman. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: EMBRAPA, 2007.
- FARIAS, José Renato; NEUMAIER, Norman; NEPOMUCENO, Alexandre. Soja. In: MONTEIRO, José Eduardo. (org). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009.
- FERREIRA, Luiz Gustavo Batista. **Disponibilidade hídrica e produtividade de soja no oeste do Paraná**. Londrina: Dissertação de Mestrado, IAPAR, 2017.
- FIETZ, Carlos Ricardo; RANGEL, Marco Antônio Sedrez. **Efeito da deficiência hídrica e do fotoperíodo no rendimento de grãos da soja semeadas na região de Dourados, MS**. Dourados, EMBRAPA, 2004.
- FRIZZONE, José Antônio. **Necessidade de água para irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2017.
- HIRAKURI, Marcelo Hirosh. **Impactos econômicos de estresses bióticos e abióticos na produção e soja**. Londrina: Embrapa, 2014.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/foz-do-iguacu/pesquisa/14/10193?ano=2017>. Acesso em: 10 de Agosto de 2021.
- MAPA, Ministério as Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **PORTARIA Nº 152, DE 20 DE JULHO DE 2018**. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/33852333/do1-2018-07-24-portaria-n-152-de-20-de-julho-de-2018-33852208 . Acesso em: 10 de Agosto de 2021.
- PEREIRA, Antonio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo Cesar. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba: ESALQ, 2007.
- SENTELHAS, Paulo Cesar.; MONTEIRO, José Eduardo. Agrometeorologia dos cultivos: informações para uma agricultura sustentável. In: MONTEIRO, José Eduardo. (org) **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. 530 p.
- THORNTHWAITE, Charles Warren; MATHER, John Russell. **The water balance: publications in climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.
- VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, UFV: Imprensa Universitária, 2000. 449 p.
- WIJNGAARD, J. B.; KLEIN TANK, A. M. G.; KÖNNEN, G. P. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. **International Journal of Climatology**, v.23, p.679-692, 2003.