

DEFICIÊNCIA HÍDRICA E EXCEDENTE HÍDRICO PROVÁVEIS PARA MILHO E SOJA NO ESTADO DO PARANÁ, SUL DO BRASIL¹

BRUNO CESAR GURSKI²; JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA²; ALEXANDRE CANDIDO XAVIER³; ALINE APARECIDA DOS SANTOS²

¹ Trabalho originado da tese de doutorado do primeiro autor intitulada: “Componentes hídricas prováveis e zoneamento de risco agroclimático para o estado do Paraná”.

² Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, Cabral, CEP 80035-050, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mails: brunocep@gmail.com; jmoretti@ufpr.br; aline.santos.trabalhos@gmail.com.

³ Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, Rua Alto Universitário, S/N, CEP 29500-000, Alegre, Espírito Santo, Brasil. E-mail: candido-xavier@ufes.br.

1 RESUMO

Teve-se por objetivo calcular os valores prováveis de deficiência hídrica (*Def*) e excedente hídrico (*Exc*) para o milho e a soja no estado do Paraná a fim de obter os melhores períodos de semeadura. Os dados climáticos (1980 a 2013) foram espacializados em grid regular de 0,25° x 0,25°. O balanço hídrico agrícola foi calculado diariamente com o programa AquaCrop, sendo os valores somados e agrupados em 37 decêndios por ano. Foram realizadas distribuições de frequência e aplicados testes de aderência aos decêndios para ajustá-los a funções densidade de probabilidade (FDP's). Determinou-se os valores decenciais prováveis de *Def* e *Exc* a 10%, 25% e 50% de probabilidade. Gama e Exponencial foram as FDP's que apresentaram aderência a maior quantidade de locais, enquanto a Uniforme pode ser descartada para ajustes futuros. No estado do Paraná, em média, a menor *Def* ocorre quando a soja é semeada de 27 a 31 de dezembro e o menor *Exc* ocorre de 08 a 17 de outubro. Para o milho 1ª e 2ª safras, os menores *Def*'s ocorrem quando são semeados de 17 a 26 de dezembro e 22 a 31 de março, respectivamente, e os menores *Exc*'s dependem do nível de probabilidade.

Palavras-chave: déficit, excesso, balanço hídrico agrícola, função densidade de probabilidade, Aquacrop.

**GURSKI, B. C.; SOUZA, J. L. M.; XAVIER, A. C.; SANTOS, A. A.
PROBABLE WATER DEFICIENCY AND SURPLUS FOR CORN AND SOYBEAN IN
THE STATE OF PARANÁ, SOUTHERN BRAZIL**

2 ABSTRACT

We aimed to calculate the probable values of water deficiency (*Def*) and surplus (*Exc*) for corn and soybean in the state of Paraná, to obtain the best sowing periods. Climatic data (1980 to 2013) were spatialized in a regular grid of 0.25° x 0.25°. The agricultural water balance was calculated daily using the AquaCrop program, with the values added up and grouped into 37 ten days per year. Frequency distributions were carried out and adherence tests were applied to ten days periods to adjust them to probability density functions (PDF's). The probable decennial

values of *Def* and *Exc* were determined at 10%, 25% and 50% of probability. Gamma and Exponential were the PDF's that showed adherence to the greatest number of locations, while Uniform can be discarded for future adjustments. In the State of Paraná, on average, the lowest *Def* occurs when soybean is sown from December 27th to 31, while the lowest *Exc* occurs from October 8th to 17. For season and off-season corn, the smallest *Def*'s occur when they are sown from December 17th to 26 and March 22nd to 31, respectively, and the smallest *Exc*'s depends on the level of probability.

Keywords: deficit, excess, agricultural water balance, probability density function, Aquacrop.

3 INTRODUÇÃO

A agricultura possui grande destaque econômico no estado do Paraná, sendo responsável por quase 7% do seu Produto Interno Bruto (IPARDES, 2020). Na safra 2019/2020 foram cultivados nesse estado 2.630 mil ha de milho e 5.503 mil ha de soja, totalizando 12% do total das áreas agrícolas no Brasil. A produção de milho foi de 14.948 mil ton, correspondendo a 15% da produção brasileira, e de soja foi de 21.598 mil ton, representando 17% da produção do País (CONAB, 2020a, 2020b).

Em contrapartida, a agricultura vem sofrendo com secas relacionadas principalmente à deficiência hídrica, o que pode resultar no esgotamento da umidade do solo. Para se ter uma ideia, o aumento de 20% no déficit hídrico durante um período prolongado de três anos (2013 a 2015) foi suficiente para causar condições de escassez de água no Brasil, ocasionando sérios problemas sociais e econômicos (GETIRANA, 2016).

Neste contexto, o balanço hídrico agrícola (BHA) é essencial para obtenção das condições reais da água no sistema solo-planta-atmosfera para diferentes locais e períodos. Suas componentes podem ser medidas diretamente em campo ou estimadas a partir de diferentes dados, utilizando modelos específicos (RAES et al., 2016). Contudo, Vanuytrecht et al. (2014) enfatizaram a dificuldade da mensuração em campo, a qual é extremamente onerosa do ponto de vista econômico e prático, além da

grande variabilidade espacial intrínseca de suas componentes. Por isso, o modelo AquaCrop, disponibilizado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), vem se destacando, pois dispensa medidas diretas, possui facilidade de uso, necessita de poucos dados de entrada e proporciona acurácia na estimativa de componentes hídricas e produtividades de várias culturas agrícolas, inclusive no Brasil (STEDUTO et al., 2012).

Não obstante, diversos autores consideram que o simples cálculo do BHA não é suficiente, sendo necessário estudos mais aprofundados, sobretudo para grandes regiões, considerando a variabilidade espacial e a probabilidade de ocorrência das componentes hídricas, uma vez que o uso de valores médios pode resultar em erros (SILVA et al., 2015; FERNANDES et al., 2019). Por sua vez, o estudo probabilístico da distribuição das componentes hídricas demonstra que suas ocorrências consistem em fenômenos aleatórios influenciados pela localização geográfica. Por isso, muitos trabalhos se limitam a estudar pequenas regiões, como municípios, o que não contribui para macroplanejamentos, como vem ocorrendo inclusive no estado do Paraná. Outra dificuldade reside na obtenção de séries históricas consistentes, que sejam longas, sem falhas ou oscilação no número de anos, e que apresentem o mesmo padrão instrumental de mensuração (SOUZA; JERSZURKI; DAMAZIO, 2013; JERSZURKI; SOUZA; EVANGELISTA, 2015).

Dessa forma, estudos em grandes regiões que minimizem os problemas mencionados devem ser priorizados e valorizados (STAGGE et al., 2015; VICENTE-SERRANO et al., 2015). Com isso, é possível aumentar as aplicações do BHA: melhorar a acurácia das estimativas; auxiliar o planejamento das operações da atividade agropecuária; aperfeiçoar o manejo de irrigação; aprimorar a previsão de safras e a definição de zoneamentos agrícolas; entre outros (FERNANDES et al., 2019).

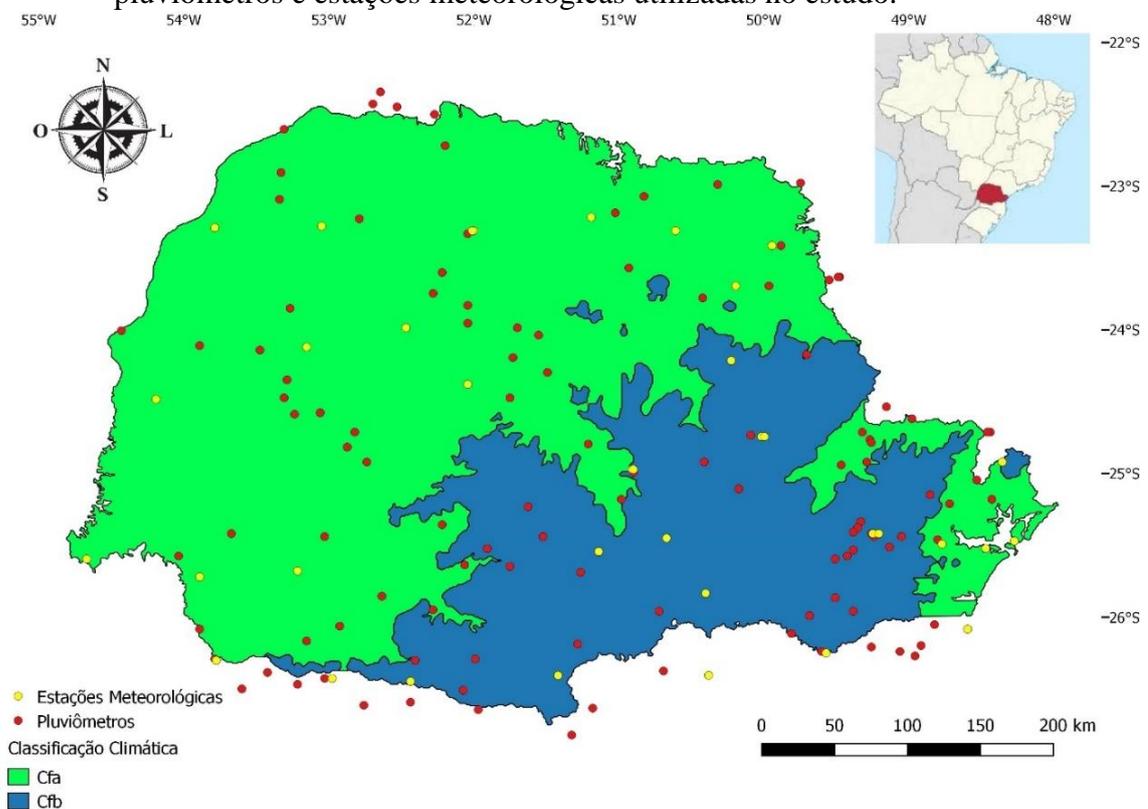
Diante destas considerações, teve-se por objetivo no presente trabalho definir as funções densidade de probabilidade de melhor ajuste e calcular os valores prováveis de deficiência hídrica e excedente hídrico para as culturas milho e soja no estado do Paraná a fim de obter os melhores períodos de semeadura e fomentar o planejamento da irrigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo e dados meteorológicos

No estado do Paraná predominam dois tipos climáticos principais, de acordo com a classificação de Köppen: Cfa e Cfb (Figura 1). Contudo, no sul do estado e partes de maior altitude dos planaltos é registrado ocorrência superior a dez dias de geada por ano (MAACK, 2012). O clima Cfa, subtropical, tem boa distribuição de chuvas, temperatura média anual de 19 °C e altura total de chuva de 1500 mm anuais. O clima Cfb, subtropical, tem boa distribuição de chuvas durante o ano e verões amenos. A média anual da temperatura é de 17 °C e a pluviosidade é superior a 1200 mm anuais (ALVARES et al., 2013).

Figura 1. Classificação climática de Köppen para o estado do Paraná e localização dos pluviômetros e estações meteorológicas utilizadas no estudo.



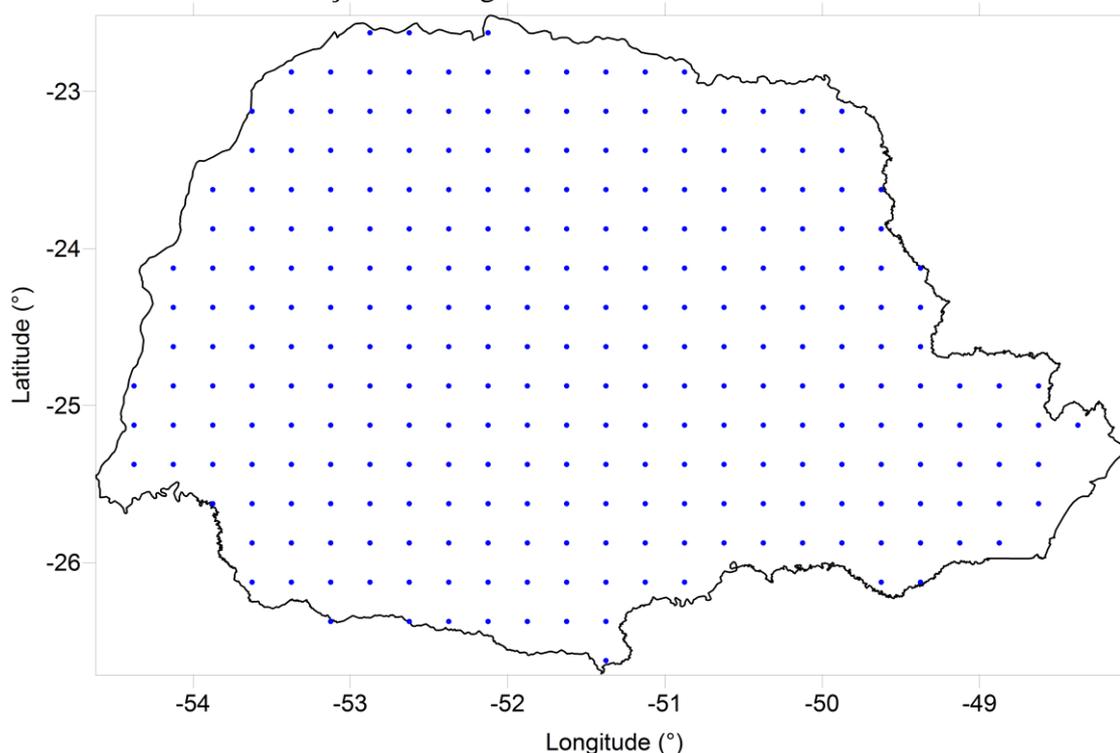
Fonte: Adaptado de ITCG (2006)

O conjunto de dados meteorológicos incluiu dados observados recolhidos diariamente a partir de pluviômetros (151 unidades), bem como estações meteorológicas convencionais e automáticas (38 unidades), no período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro 2013 (34 anos) (Figura 1). As fontes dos dados foram o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas (ANA). Os dados da ANA foram limitados à precipitação pluviométrica (P). Os dados do INMET foram constituídos de: temperaturas máxima (T_{max} ; °C), mínima (T_{min} ; °C) e média (T_{med} ; °C) do ar, umidade relativa do ar (UR ; %), velocidade do vento a 2 m de altura (u_2 , m s⁻¹), precipitação pluviométrica

(P ; mm), brilho solar diário (n ; horas) e radiação solar diária (R_s , MJ m⁻²).

Vários interpoladores foram testados por Xavier, King e Scanlon (2015) para espacializar os dados meteorológicos: ponderação da distância inversa; *krigagem* ordinária; *spline*; interpolação natural; média aritmética. O melhor interpolador foi obtido por meio da validação cruzada, e os dados meteorológicos foram espacializados em *grid* regular de 0,25° x 0,25°, cobrindo todo o estado do Paraná. Como resultado, os autores obtiveram os dados meteorológicos (P , T_{max} , T_{min} , T_{med} , UR , U_2 , n , R_s) diários (34 anos) para um *grid* regular contendo 279 pontos (Figura 2).

Figura 2. *Grid* regular de 0,25° x 0,25°, contendo os 279 pontos no estado do Paraná onde foi calculado o balanço hídrico agrícola.



4.2 Cálculo do balanço hídrico agrícola (BHA)

O cálculo do balanço hídrico agrícola (BHA) foi realizado para o milho e a soja a partir dos dados meteorológicos disponibilizados por Xavier, King e Scanlon

(2015), com o modelo AquaCrop, versão 5.0, disponibilizado pela FAO (RAES et al., 2016). Não foram considerados estresses decorrentes de salinidade e fertilidade. O BHA foi realizado com periodicidade diária, resultando em séries de 34 anos de dados de saída para cada ponto do *grid* regular (Figura

2). Os dados de entrada foram divididos em categorias: climáticos (dispostos no item anterior), de solo e da cultura de interesse. A evapotranspiração de referência (ET_0) (dado climático) foi calculada com o método de Penman-Monteith adaptado (ASCE-EWRI, 2005).

Os parâmetros de solos consideraram a classificação dos solos (BHERING et al., 2007) e texturas predominantes na localidade do estado do Paraná onde os dados climáticos (Figura 2) foram obtidos (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros dos solos do estado do Paraná utilizados no modelo Aquacrop para o cálculo do balanço hídrico agrícola.

Solo/ Textura	Prof (m)	θ_{PMP}	θ_{CC} ($m^3 m^{-3}$)	θ_s	K_s (mm dia $^{-1}$)	AFE (mm)	cc (adimensional)	a	b
Afloramento rochoso	0,5	0,01	0,03	0,05	0	0	77	-9,00	-9,00
Argissolo arenoso/médio	1,5	0,20	0,32	0,47	225	9	72	-0,58	-0,51
Argissolo arenoso	0,5	0,27	0,39	0,5	35	10	77	-0,57	-1,61
Argissolo argiloso	1,0	0,39	0,54	0,55	35	10	77	-0,61	0,59
Argissolo argiloso/médio	1,5	0,27	0,39	0,5	35	10	77	-0,57	-1,61
Argissolo médio	1,5	0,2	0,32	0,47	225	9	72	-0,58	-0,51
Cambissolo argiloso	1,0	0,39	0,54	0,55	35	14	77	-0,61	0,59
Cambissolo médio	1,0	0,20	0,32	0,47	225	9	72	-0,58	-0,51
Gleissolo arenoso/médio	1,5	0,10	0,22	0,41	1200	7	46	-0,32	0,22
Gleissolo argiloso	1,5	0,39	0,54	0,55	35	14	77	-0,61	0,59
Latossolo argiloso	2,0	0,39	0,54	0,55	35	14	77	-0,61	0,59
Latossolo médio	2,0	0,27	0,39	0,5	35	10	77	-0,57	-1,61
Neossolo Arenoso/médio	0,5	0,20	0,32	0,47	225	9	72	-0,58	-0,51
Neossolo argiloso	0,5	0,39	0,54	0,55	35	14	77	-0,61	0,59
Neossolo médio	0,5	0,20	0,32	0,47	225	9	72	-0,58	-0,51
Nitossolo Argiloso	2,0	0,39	0,54	0,55	35	14	77	-0,61	0,59

* Prof – profundidade máxima do perfil do solo; θ_{PMP} – umidade do solo no ponto de murcha permanente; θ_{CC} – umidade do solo na capacidade de campo; θ_s – umidade do solo na saturação; K_s – condutividade hidráulica do solo saturado; AFE – água facilmente evaporável; cc – coeficiente de curvatura; a e b – parâmetros hidráulicos do solo.

Fonte: Adaptado de Bhering et al. (2007) e Raes et al. (2016)

Como parâmetros das culturas milho e soja foram considerados quatro períodos de desenvolvimento, conforme proposto por Allen et al. (1998), sendo que o período III (florescimento/enchimento de grão) foi estendido ao longo de todo o ano (Tabela 2). Portanto, nos períodos I, II e IV as culturas

tiveram apenas 1 dia. Assim, o período III, que é o de maior demanda hídrica, perdurou ao longo de todo o ano, nos 34 anos de BHA simulados, ou seja, considerou-se que as culturas estavam estabelecidas no campo durante todo o ano. Este cenário hipotético foi estabelecido para quantificar a

deficiência hídrica e excedente hídrico que poderiam ocorrer com evapotranspiração

máxima ao longo de todo ano, nos 34 anos de balanços hídricos calculados.

Tabela 2. Parâmetros das culturas agrícolas utilizados no modelo Aquacrop para o cálculo do balanço hídrico agrícola para o milho e a soja.

----- Parâmetro -----	Milho	Soja
Ciclo total (dias)	365	365
Estádio de desenvolvimento I – semeadura a emergência (dias)	1	1
Estádio de desenvolvimento II – crescimento vegetativo a início do florescimento (dias)	1	1
Estádio de desenvolvimento III – florescimento/enchimento de grão (dias)	362	362
Estádio de desenvolvimento IV – maturação (dias)	1	1
Dossel (plantas ha ⁻¹)	65.000	300.000
Temperatura base inferior (°C)	15,5	13
Temperatura base superior (°C)	30	40
Fração de água disponível no solo (<i>p</i>) na camada superior do solo (adimensional)	0,25	0,20
Fração de água disponível no solo (<i>p</i>) na camada inferior do solo (adimensional)	0,55	0,50
Porosidade livre de aeração mínima (β_{min} ; m ³ m ⁻³)	0,10	0,10
Coeficiente de cultivo máximo (K_{cTx}) (adimensional)	1,20	1,10
Profundidade inicial do sistema radicular (z_o ; m)	0,10	0,10
Profundidade efetiva máxima do sistema radicular (z_m ; m)	1,35	1,00
Fator de forma (<i>n</i> ; adimensional)	15	15
Cobertura do dossel máxima (CDm ; %)	85	85

Fonte: Adaptado de Allen et al. (1998) e Raes et al. (2016).

2.3 Deficiência hídrica e excedente hídrico prováveis para o estado do Paraná

Considerando os procedimentos metodológicos de Souza, Jerszurki e Damazio (2013), foram realizados os seguintes passos:

- Agrupamento por soma dos valores diários de deficiência hídrica e excedente hídrico (*Def* e *Exc*) em períodos de dez dias (decêndios);
- Estabelecimento das distribuições de frequência com os dados das séries observadas;
- Cálculo dos parâmetros estatísticos das funções densidade de probabilidade (FDP's) Exponencial, Gama, Normal, Triangular e Uniforme, com as séries de valores decendiais;

d) Verificação da aderência dos valores decendiais às cinco FDP's com o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade;

e) Escolha da FDP que melhor se ajustou a cada decêndio observado;

f) Determinação dos valores prováveis à diferentes níveis de probabilidade de ocorrência.

Os valores diários de deficiência hídrica (*Def*) e excedente hídrico (*Exc*) foram somados e agrupados em 37 decêndios por ano. O trigésimo sétimo decêndio de cada ano foi composto pelos cinco ou seis (ano bissexto) últimos dias do ano.

Foram testadas as FDP's: Gama, Normal, Exponencial, Triangular e Uniforme em planilha do software Excel

específica para este fim. Os parâmetros estatísticos determinados foram: alfa e beta para a distribuição Gama; média e desvio padrão para a Normal; maior valor, menor valor e moda para a Triangular; média para a Exponencial; e maior e menor valor para a Uniforme (ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996; BUSSAB; MORETTIN, 2010).

A aderência dos valores decendiais às FDP's foi obtida com o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. O teste avalia por meio do valor D_{max} , o ajuste entre a distribuição de frequência acumulada teórica $F'(x)$ e outra, $F(x)$, proveniente dos dados amostrados.

$$D_{max} = \text{Max}|F(x) - F'(x)| \quad (1)$$

Em que: D_{max} =valor crítico para a estatística de Kolmogorov-Smirnov; $F(x)$ =função de distribuição de probabilidade teórica; e $F'(x)$ = função de distribuição de probabilidade observada.

Para a condição “ D_{max} calculado < D_{max} tabelado” aceitou-se a hipótese de que os valores da amostra ajustaram-se bem à

$$Def_{10\%} = P(Def_{10\%} \in Def \mid Def_i \geq Def_{10\%}) = 10\% \quad (4)$$

$$Def_{25\%} = P(Def_{25\%} \in Def \mid Def_i \geq Def_{25\%}) = 25\% \quad (5)$$

$$Def_{50\%} = P(Def_{50\%} \in Def \mid Def_i \geq Def_{50\%}) = 50\% \quad (6)$$

$$Exc_{10\%} = P(Exc_{10\%} \in Exc \mid Exc_i \geq Exc_{10\%}) = 10\% \quad (7)$$

$$Exc_{25\%} = P(Exc_{25\%} \in Exc \mid Exc_i \geq Exc_{25\%}) = 25\% \quad (8)$$

$$Exc_{50\%} = P(Exc_{50\%} \in Exc \mid Exc_i \geq Exc_{50\%}) = 50\% \quad (9)$$

Logo, para cada decêndio, a $Def_{25\%}$ refere-se ao valor de deficiência Def_i que tenha 25% de probabilidade de ser igualado ou superado, o que corresponde à probabilidade da deficiência Def_i ocorrer uma vez a cada quatro anos ou com tempo de retorno $T = 4$ anos, em média.

distribuição de probabilidade a 5% de significância, caso contrário, a hipótese foi rejeitada.

O valor de D_{max} tabelado foi estimado utilizando as Equações 2 e 3, conforme recomendações de Assis, Arruda e Pereira (1996) e Souza, Jerszurki e Damazio (2013):

$$D_{max} = 0,971 - 0,2388 \times \ln N \quad (2)$$

Para $N < 16$

$$D_{max} = \frac{1,37}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

Para $N \geq 16$

Em que: D_{max} = valor crítico D_{max} da estatística de Kolmogorov-Smirnov; e N = número de elementos da amostra (adimensional).

Depois de testada a aderência da FDP que melhor se ajustou às séries de dados de *Def* e *Exc*, para cada decêndio, determinou-se os valores decendiais prováveis a 10%, 25% e 50% de probabilidade (Equações 4 a 9) para cada localidade (Figura 2):

Com os valores decendiais prováveis calculados, foram gerados mapas de todo o estado do Paraná a partir da interpolação dos dados prováveis obtidos de $Def_{10\%}$ e $Exc_{10\%}$, para cada um dos pontos do grid (Figura 2). O método utilizado para a interpolação dos dados foi a krigagem ordinária, utilizando uma grade de 1000 por 637 linhas.

Posteriormente, os dados foram agrupados em 10 mesorregiões geográficas (MAACK, 2012), em seguida, foi calculada a média de todos os valores contidos na respectiva mesorregião.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Funções densidade de probabilidade de melhor ajuste

Não houve diferença entre as funções densidade de probabilidade (FDP's) de melhor ajuste obtidas para o milho ou a soja. Portanto, a natureza dos fenômenos de *Def* e

Exc não se modificou de acordo com o tipo de cultura (gramínea ou leguminosa), apenas os valores prováveis (mm decêndio^{-1}). Por isso, não será tratado a diferença na frequência de ocorrência entre as culturas, sendo abordados apenas aspectos relacionados aos fenômenos da *Def* e *Exc* em si.

As FDP's Gama e Exponencial apresentaram maiores quantidades de ajustes aos valores decendiais de *Def* e *Exc* nos pontos testados (Figura 2). Enquanto a Uniforme teve quantidade de ajustes ínfimos, podendo ser descartada para ajustes futuros (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Frequência das funções densidade de probabilidade (N – Normal; G – Gama; T – Triangular; E – Exponencial e; U – Uniforme) de melhor ajuste para deficiência hídrica e excedente hídrico na cultura do milho no estado do Paraná.

Decêndio	Deficiência Hídrica					Excedente Hídrico				
	N	G	T	E	U	N	G	T	E	U
1	84	124	17	48	2	8	211	2	54	2
2	2	99	2	172	0	8	107	1	161	0
3	2	131	2	140	0	10	170	0	97	0
4	4	146	0	125	0	8	158	1	110	0
5	0	199	0	76	0	6	108	7	156	0
6	1	157	0	117	0	33	104	17	119	4
7	32	151	13	78	1	3	220	1	53	0
8	89	98	35	49	4	9	187	1	80	0
9	23	107	12	132	1	3	158	3	113	0
10	29	179	11	56	0	12	153	0	112	0
11	4	170	6	95	0	11	102	4	158	2
12	0	169	3	103	0	1	207	0	69	0
13	58	163	14	39	1	1	195	0	81	0
14	16	134	0	122	3	1	130	0	146	0
15	12	87	4	172	0	2	157	2	116	0
16	20	104	21	129	1	1	242	0	34	0
17	17	128	11	119	0	1	193	0	83	0
18	0	157	0	118	0	0	246	0	31	0
19	9	184	0	82	0	3	165	1	108	0
20	55	120	16	84	0	5	199	0	73	0
21	51	107	10	68	39	8	118	7	143	1
22	56	113	11	81	14	3	234	0	40	0
23	139	78	12	45	1	6	237	0	33	1
24	135	35	22	61	22	8	160	2	106	1
25	45	72	1	116	41	6	121	5	144	1
26	2	90	3	180	0	27	71	11	162	6
27	129	97	9	36	4	6	85	7	179	0
28	114	37	8	34	82	6	117	10	143	1
29	123	44	48	35	25	35	137	19	85	1
30	122	44	46	23	40	38	165	6	67	1
31	173	43	37	21	1	23	164	16	74	0
32	177	88	4	5	1	37	119	10	110	1
33	176	61	24	12	2	24	131	4	116	2
34	151	74	22	25	3	37	124	11	101	4
35	131	100	21	15	8	69	133	13	56	6
36	110	103	11	22	29	19	154	7	94	3
37	47	166	16	44	2	9	170	2	93	3
Soma	2338	4159	472	2879	327	487	5852	170	3700	40
Percentual (%)	23,0	40,9	4,6	28,3	3,2	4,7	57,1	1,7	36,1	0,4

Tabela 4. Frequência das funções densidade de probabilidade (N – Normal; G – Gama; T – Triangular; E – Exponencial e; U – Uniforme) de melhor ajuste para deficiência e excedente hídrico na cultura da soja no estado do Paraná.

Decêndio	Deficiência Hídrica					Excedente Hídrico				
	N	G	T	E	U	N	G	T	E	U
1	166	81	24	8	0	10	183	0	84	0
2	80	154	27	18	0	44	132	25	71	5
3	8	125	6	139	1	38	148	9	82	0
4	1	152	0	126	0	11	132	4	130	0
5	0	207	0	72	0	11	103	4	158	1
6	1	159	0	119	0	34	96	15	128	4
7	35	147	15	80	2	6	225	1	45	0
8	93	117	30	34	5	11	172	2	92	0
9	23	108	8	140	0	5	151	2	119	0
10	35	190	13	41	0	7	178	0	92	0
11	6	168	5	100	0	11	94	2	168	2
12	8	170	1	100	0	1	201	1	74	0
13	61	158	13	46	1	0	189	0	88	0
14	10	126	0	140	3	0	141	0	136	0
15	17	90	9	163	0	4	150	0	123	0
16	26	101	24	128	0	2	262	0	13	0
17	14	133	13	117	2	0	180	0	97	0
18	2	147	1	129	0	0	183	0	94	0
19	4	188	2	85	0	1	166	0	110	0
20	45	131	15	88	0	4	165	0	108	0
21	56	101	13	65	44	7	132	3	135	0
22	62	98	15	92	12	3	213	0	61	0
23	131	88	10	48	2	6	230	0	40	1
24	155	22	20	37	45	8	150	0	119	0
25	61	107	4	56	51	9	129	1	138	0
26	14	97	6	162	0	40	76	8	148	5
27	16	158	15	90	0	8	104	2	163	0
28	25	89	19	146	0	2	119	1	155	0
29	13	157	2	106	1	38	132	16	89	2
30	45	161	22	48	3	10	129	4	134	0
31	171	62	27	17	2	9	127	5	136	0
32	164	57	40	14	4	19	103	3	151	1
33	171	69	22	11	6	22	137	4	113	1
34	174	44	33	26	2	40	132	11	92	2
35	190	57	6	22	4	59	123	24	68	3
36	197	48	8	25	1	35	132	2	103	5
37	173	56	16	32	2	4	163	2	108	0
Soma	2453	4323	484	2870	193	519	5582	151	3965	32
Percentual (%)	23,8	41,9	4,7	27,8	1,8	5,1	54,5	1,5	38,7	0,3

Silva et al. (2008) comentam que a distribuição de frequência dos dados de *Def* se assemelha à distribuição dos dados de precipitação, porém, ocorrendo concentração de frequência para os valores próximos de zero. Essa constatação torna a distribuição dos dados de *Def* tendendo mais à forma das FDP's Lognormal, seguidas da Exponencial e Gama.

De certa maneira, os resultados encontrados por Silva et al. (2008) para o sul do Rio Grande do Sul concordam com os obtidos no presente trabalho, visto que os melhores ajustes foram obtidos para as FDP's Gama e Exponencial, respectivamente. Contudo, os autores não utilizaram a metodologia da distribuição mista para a função Gama, o que pode ter diminuído consideravelmente seu ajuste aos valores de *Def*. Talvez por esse motivo, Nied et al. (2005) concluíram que a melhor FDP para a *Def* em Santa Maria-RS (tipo climático Cfa) foi a Gama, bem como Stagge et al. (2015), que destacaram os bons resultados desta última função após testarem diversas outras FDP's (Gumbel, Logística, Log-Logística, Lognormal, Normal e Weibull) para toda a Europa.

Também em Santa Maria, Sul do Brasil, Bortoluzzi et al. (2017) realizaram o ajuste do *Exc* para a soja utilizando as FDP's Exponencial, Gama, Lognormal, Normal e Weibull, e concluíram que as melhores distribuições foram a Gama, seguida da Weibull. Ressalta-se que os valores de *Exc*

utilizados foram da soma total do ciclo da soja e não os valores com periodicidade decendial, o que pode ter influenciado a escolha da melhor FDP.

Os parâmetros das FDP's de melhor ajuste para todos os decêndios do ano, para qualquer probabilidade de ocorrência (1% a 99%), em qualquer localidade do estado do Paraná estão disponíveis em Gurski (2018). Esses parâmetros têm uma série de aplicações voltadas ao planejamento da agricultura: manejo de irrigação, previsão de safras, definição de zoneamentos agrícolas, entre outras (SOUZA; JERSZURKI; DAMAZIO, 2013; SILVA et al., 2015; FERNANDES et al., 2019).

5.2 Valores prováveis de deficiência hídrica e excedente hídrico

Os valores prováveis completos de deficiência hídrica e excedente hídrico (*Def* e *Exc*) para cada decêndio do ano, em todo o estado do Paraná, estão disponíveis para consulta¹.

Verificou-se, em média, que a cultura do milho teve maiores *Def* e *Exc* que a soja (Tabelas 5 e 6). Em parte, esse resultado justifica-se, segundo Doorenbos e Pruitt (1977), em virtude de o milho ter um coeficiente de cultivo (kc) médio cerca de 5% superior ao da soja, ou seja, o consumo hídrico (evapotranspiração) desta última geralmente é inferior.

Tabela 5. Valores prováveis médios (mm decêndio⁻¹) de deficiência hídrica (*Def*), para diferentes níveis de probabilidade, para as culturas milho e soja no estado do Paraná.

Decêndio	Milho				Soja			
	<i>Def</i> média	<i>Def</i> _{50%}	<i>Def</i> _{25%}	<i>Def</i> _{10%}	<i>Def</i> média	<i>Def</i> _{50%}	<i>Def</i> _{25%}	<i>Def</i> _{10%}
1	12,66	10,69	17,62	25,41	27,86	26,68	30,89	35,45
2	12,30	8,30	16,75	28,02	21,37	20,51	24,24	28,24
3	11,64	8,14	15,89	26,07	9,70	7,70	12,90	19,33
4	11,38	7,89	15,54	25,64	9,89	6,77	13,52	22,40
5	9,32	6,14	12,68	21,52	9,26	6,22	12,72	21,37
6	9,25	6,71	12,67	20,38	9,29	6,73	12,81	20,53
7	13,56	11,07	18,65	27,74	13,64	11,13	18,86	28,05
8	12,37	10,61	17,42	24,97	12,68	11,05	17,79	25,19
9	12,60	9,58	17,40	27,14	12,71	9,61	17,54	27,57
10	12,47	10,51	16,79	24,21	12,76	10,92	17,12	24,41
11	11,34	8,66	15,46	24,02	11,46	8,70	15,61	24,45
12	9,09	6,61	12,32	19,64	8,70	6,44	11,80	18,69
13	9,12	7,54	12,55	18,38	8,95	7,40	12,30	18,04
14	7,15	4,96	9,66	15,77	7,17	4,88	9,67	15,94
15	5,83	3,91	7,78	12,81	5,98	4,08	8,03	13,07
16	5,51	3,90	7,36	11,64	5,60	3,98	7,50	11,84
17	5,65	4,04	7,66	12,24	5,80	4,16	7,88	12,52
18	5,10	3,12	6,66	11,43	5,23	3,31	6,95	11,68
19	6,13	4,45	8,23	13,07	6,21	4,43	8,40	13,39
20	6,88	5,53	9,45	14,00	6,81	5,37	9,41	14,05
21	8,08	6,96	11,18	15,65	8,24	7,17	11,54	15,90
22	10,26	8,76	14,07	20,04	10,06	8,59	13,87	19,65
23	14,01	12,75	19,45	26,58	13,99	12,61	19,51	26,88
24	12,49	11,44	17,68	23,98	16,11	15,24	22,89	30,12
25	11,66	9,85	16,40	23,70	17,04	14,95	23,84	33,35
26	11,21	8,11	15,41	24,92	15,98	11,84	22,00	35,17
27	9,20	8,31	12,22	16,49	11,90	9,23	16,24	24,93
28	12,56	11,93	17,55	22,50	9,27	6,89	12,88	20,12
29	17,86	17,54	23,43	28,78	6,85	5,20	9,48	14,62
30	21,66	21,42	28,15	33,70	6,99	5,84	9,75	13,99
31	26,08	25,84	31,21	36,05	11,82	11,40	15,33	18,91
32	29,62	29,09	33,66	38,13	22,42	22,13	27,13	31,70
33	32,42	31,33	35,39	39,56	27,89	27,48	31,58	35,55
34	33,83	32,71	36,83	41,32	29,80	28,73	33,08	37,51
35	32,37	31,13	35,11	39,53	29,28	28,11	32,74	37,28
36	31,01	29,55	34,78	40,59	30,38	29,25	33,93	38,76
37	8,34	7,58	10,47	13,67	15,47	14,78	17,45	20,12
Média	13,84	12,07	17,61	24,03	13,37	11,61	17,00	23,26
Soma (mm)	512	447	652	889	494	430	629	861

Tabela 6. Valores prováveis médios (mm decêndio⁻¹) de excedente hídrico (Exc), para diferentes níveis de probabilidade, para as culturas milho e soja no estado do Paraná.

Decêndio	Milho				Soja			
	<i>Exc méd</i>	<i>Exc</i> _{50%}	<i>Exc</i> _{25%}	<i>Exc</i> _{10%}	<i>Exc méd</i>	<i>Exc</i> _{50%}	<i>Exc</i> _{25%}	<i>Exc</i> _{10%}
1	28,32	14,07	32,71	59,45	13,43	12,60	16,65	21,00
2	38,79	17,91	45,23	82,95	12,68	11,96	15,62	19,51
3	35,48	16,34	41,85	77,29	16,73	16,45	19,16	21,82
4	30,52	15,32	36,86	66,21	34,69	34,81	38,79	42,23
5	34,44	17,64	41,34	72,96	32,74	32,79	37,21	41,08
6	29,21	17,49	36,19	59,54	31,74	31,88	36,69	40,90
7	19,81	8,40	22,81	43,84	28,42	28,59	33,33	37,30
8	21,55	7,06	22,18	45,50	26,07	26,27	31,06	35,14
9	23,63	7,85	24,67	49,07	23,85	23,98	28,58	32,36
10	19,05	5,14	18,51	37,69	21,82	22,05	26,34	29,86
11	24,90	9,40	26,68	49,78	19,53	19,66	23,62	26,91
12	34,24	13,09	38,38	75,28	18,81	19,03	22,50	25,51
13	26,10	8,05	26,92	55,68	15,76	15,92	19,14	21,86
14	41,52	14,11	43,32	85,77	14,61	14,72	17,97	20,73
15	42,73	15,99	46,41	88,70	14,39	14,48	17,13	19,40
16	30,57	9,51	32,30	67,99	13,29	13,35	15,63	17,60
17	29,17	12,47	33,81	64,35	13,08	13,13	15,49	17,46
18	42,03	14,57	45,56	92,20	13,25	13,30	15,82	17,93
19	28,39	11,62	32,48	62,34	13,60	13,63	16,37	18,71
20	26,55	9,31	28,64	58,28	13,60	13,53	16,37	18,93
21	23,62	8,64	24,73	48,77	14,22	14,12	17,39	20,41
22	19,60	4,62	18,08	41,13	14,05	14,06	17,28	20,11
23	20,66	2,21	12,88	36,84	13,43	13,08	17,06	20,77
24	31,68	2,03	19,18	51,59	13,84	13,18	18,41	23,46
25	27,06	3,63	20,47	46,61	15,30	14,92	20,58	25,78
26	38,24	9,21	36,08	70,70	17,36	17,50	22,67	26,76
27	40,74	16,95	45,05	82,15	21,96	22,05	26,25	29,94
28	46,32	22,81	55,10	97,68	20,46	20,57	24,08	27,11
29	44,36	28,98	56,63	90,53	21,98	22,02	25,07	27,74
30	43,23	29,36	55,52	88,24	23,46	23,46	26,07	28,39
31	36,65	26,13	47,63	74,26	23,50	23,33	26,28	29,02
32	37,75	25,80	48,97	79,17	18,67	17,68	22,76	28,17
33	34,47	20,17	41,36	70,26	17,70	16,35	21,36	27,11
34	39,91	24,21	47,37	79,40	16,42	14,74	20,06	26,42
35	48,14	33,90	57,01	86,80	14,60	13,56	17,75	22,42
36	43,22	26,11	50,77	84,76	14,55	13,56	17,83	22,53
37	22,62	12,06	26,36	47,29	7,16	6,68	8,82	11,20
Média	32,58	14,65	36,22	66,79	18,40	18,19	21,98	25,50
Soma (mm)	1205	542	1340	2471	681	673	813	944

É importante frisar que tanto o *Def* como o *Exc* médios nem sempre foram iguais aos valores de *Def*_{50%} e *Exc*_{50%} decendiais, principalmente quando a componente se ajustou melhor a uma FDP diferente da Normal (Tabelas 5 e 6). Por exemplo, comparando os valores da soma entre *Def* média e *Def*_{50%} verificou-se diferença de aproximadamente 65 mm no ano tanto para a cultura milho como para a soja. (Tabela 5). Os resultados concordam com Nied et al. (2005) e Stagge et al. (2015), que consideraram que a função Normal e consequentemente a sua média, não reflete bem a tendência em estudos de valores prováveis de *Def*. Nessa situação, a obtenção de melhor ajustamento com outras FDP's, possibilita a obtenção de valores prováveis mais confiáveis.

Sentelhas, Santos e Machado (2008) estabeleceram o *Def* e *Exc* para todo o Brasil, utilizando a grama como cultura padrão e a metodologia de Thornthwaite e Matter para calcular o balanço hídrico agrícola (BHA) e encontraram faixas de valores anuais iguais a 0-100 e 100-700 mm ano⁻¹, respectivamente, para o estado do Paraná. Esses valores estão muito abaixo dos encontrados no presente trabalho. Apesar das culturas utilizadas serem bem diferentes,

ao que tudo indica, essa grande variação nos valores encontrados pode estar ocorrendo devido às diferenças nas metodologias utilizadas para o cálculo do BHA. No modelo do Aquacrop (RAES et al., 2016) a capacidade de água disponível (CAD) é variável e ocorre a contabilização do escoamento superficial no *Exc*, enquanto na metodologia de Thornthwaite e Matter todo o volume proveniente das precipitações é considerado como entrada de água no sistema, a CAD é fixa e estabelecida/calculada previamente conforme o cenário estudado.

Apesar dos cálculos do BHA contabilizarem que as culturas estariam cultivadas o ano todo, considerou-se para efeitos de simulações de épocas de semeadura, que o ciclo médio da soja é de 130 dias e do milho é de 110 dias (BRASIL, 2020a, 2020b, 2020c). Neste sentido, as Tabelas 7 e 8 demonstram o saldo do *Def* ou *Exc*, considerando a data inicial dos decêndios como a data da semeadura da cultura e somando-se os valores ocorridos durante o ciclo das culturas para contabilizar a *Def* ou *Exc*. Por exemplo, se o milho fosse semeado no decêndio 1 (01/jan), ocorreria uma *Def*_{10%} = 313 mm durante todo o ciclo de 110 dias.

Tabela 7. Saldo^(*) da deficiência hídrica (*Def*) decendial provável (mm ciclo⁻¹), para diferentes níveis de probabilidade, para as culturas milho e soja no estado do Paraná.

Decêndio	Milho				Soja			
	<i>Def</i> média	<i>Def</i> _{50%}	<i>Def</i> _{25%}	<i>Def</i> _{10%}	<i>Def</i> média	<i>Def</i> _{50%}	<i>Def</i> _{25%}	<i>Def</i> _{10%}
1 (01/jan)	147	112	202	313	168	140	194	314
2 (11/jan)	142	107	194	304	148	118	175	294
3 (21/jan)	135	102	185	288	132	102	163	279
4 (31/jan)	129	98	176	274	128	98	160	272
5 (10/fev)	123	94	168	260	124	95	154	262
6 (20/fev)	119	91	162	250	120	92	149	252
7 (02/mar)	116	89	158	243	117	90	144	245
8 (12/mar)	109	83	149	229	110	84	132	231
9 (22/mar)	105	80	143	220	106	80	123	222
10 (01/abr)	103	79	139	213	103	79	115	214
11 (11/abr)	104	81	142	215	104	81	109	216
12 (21/jan)	105	84	144	215	109	88	107	222
13 (01/mai)	108	87	148	219	117	96	115	236
14 (11/mai)	110	88	151	226	124	101	126	254
15 (21/mai)	112	91	154	227	129	105	140	263
16 (31/mai)	119	99	163	236	132	108	154	270
17 (10/jun)	131	113	179	253	133	109	163	272
18 (20/jun)	147	130	200	275	135	111	168	274
19 (30/jun)	168	153	224	299	141	119	170	281
20 (10/jul)	192	178	250	325	157	136	171	299
21 (20/jul)	217	203	276	350	179	159	177	321
22 (30/jul)	243	229	301	376	200	180	193	343
23 (09/ago)	265	251	322	395	219	200	211	360
24 (19/ago)	282	268	338	409	236	216	224	372
25 (29/ago)	284	270	339	412	249	229	234	380
26 (08/set)	285	269	340	415	257	238	244	378
27 (18/set)	286	269	341	417	256	240	255	367
28 (28/set)	288	269	345	426	254	238	266	363
29 (08/out)	286	264	341	427	254	238	272	365
30 (18/out)	277	253	330	419	257	239	276	371
31 (28/out)	267	241	318	410	261	242	279	381
32 (07/nov)	254	226	305	400	263	242	277	389
33 (17/nov)	237	207	289	388	253	230	265	384
34 (27/nov)	217	185	270	374	238	213	252	374
35 (07/dez)	195	162	250	357	220	194	237	361
36 (17/dez)	173	139	228	339	201	173	221	345
37 (27/dez)	151	116	206	318	179	151	204	325

(*) Somatório dos valores médios de *Def* no ciclo de cada cultura – 13 e 11 decêndios para o milho e a soja, respectivamente, tendo o respectivo decêndio como início do ciclo (semeadura).

Tabela 8. Saldo^(*) do excedente hídrico (*Exc*) decendial provável (mm ciclo⁻¹), para diferentes níveis de probabilidade, para as culturas milho e soja no estado do Paraná.

Decêndio	Milho				Soja			
	<i>Exc</i> médio	<i>Exc</i> _{50%}	<i>Exc</i> _{25%}	<i>Exc</i> _{10%}	<i>Exc</i> médio	<i>Exc</i> _{50%}	<i>Exc</i> _{25%}	<i>Exc</i> _{10%}
1 (01/jan)	366	158	414	775	262	261	307	348
2 (11/jan)	379	158	425	802	267	267	313	353
3 (21/jan)	383	156	426	807	270	271	316	355
4 (31/jan)	378	149	417	798	268	270	315	354
5 (10/fev)	377	146	414	796	248	249	294	331
6 (20/fev)	385	143	418	815	228	230	272	308
7 (02/mar)	384	137	414	818	210	211	251	284
8 (12/mar)	390	138	420	833	194	196	233	265
9 (22/mar)	392	140	422	836	182	183	219	248
10 (01/abr)	388	137	416	828	172	173	206	235
11 (11/abr)	390	134	410	827	164	165	197	225
12 (21/jan)	397	126	403	829	159	159	191	219
13 (01/mai)	390	117	385	800	153	153	186	214
14 (11/mai)	402	118	394	815	151	151	185	216
15 (21/mai)	401	121	396	812	152	151	188	221
16 (31/mai)	405	128	404	821	155	154	193	228
17 (10/jun)	418	147	429	843	164	162	204	240
18 (20/jun)	432	164	450	867	171	170	212	250
19 (30/jun)	427	175	452	849	180	179	222	260
20 (10/jul)	436	190	469	866	190	188	231	269
21 (20/jul)	444	201	482	878	200	198	241	279
22 (30/jul)	461	216	504	909	204	202	247	287
23 (09/ago)	489	245	543	954	208	204	251	294
24 (19/ago)	512	269	581	1002	211	206	254	300
25 (29/ago)	517	286	605	1028	211	206	253	299
26 (08/set)	523	299	623	1052	211	205	250	296
27 (18/set)	522	307	631	1062	207	200	245	291
28 (28/set)	515	306	625	1051	198	191	235	281
29 (08/out)	501	299	609	1023	193	184	228	274
30 (18/out)	488	288	591	999	196	188	232	279
31 (28/out)	469	271	565	962	206	198	244	292
32 (07/nov)	453	253	540	933	215	207	254	304
33 (17/nov)	438	235	514	901	227	220	267	315
34 (27/nov)	425	221	495	874	236	231	277	324
35 (07/dez)	407	204	470	838	245	241	287	331
36 (17/dez)	389	181	445	814	253	251	297	340
37 (27/dez)	376	166	427	795	259	258	304	346

(*) Somatório dos valores médios de *Exc* no ciclo de cada cultura – 13 e 11 decêndios para o milho e a soja, respectivamente, tendo o respectivo decêndio como início do ciclo (semeadura).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA (BRASIL, 2020a), a semeadura da soja no Paraná pode ser realizada entre 10 de setembro e 31 de dezembro do ano (decêndios 26 ao 37), em decorrência da imposição do vazio sanitário no estado. Neste período (janela de semeadura), o decêndio em que menos ocorreria *Def*, independentemente do nível de probabilidade, seria no decêndio 37 (semeadura de 27 a 31 de dezembro), enquanto o menor *Exc* ocorreria no decêndio 29 (08 a 17 de outubro) (Tabela 7).

Farias et al. (2001), considerando todo o estado do Paraná, também verificaram que o período de semeadura entre 21 e 31 de dezembro proporcionou a menor *Def* para a cultura da soja. Os autores realizaram cenários de simulações considerando a *Def* a 80% de probabilidade de ocorrência para cultivar precoce (120 dias) e solo com média retenção de água (50 mm).

Segundo Bortoluzzi et al. (2017), nesse período de semeadura (21 a 31 de dezembro) também foi quando ocorreram os menores *Exc*'s para a soja em Santa Maria-RS. Os autores testaram diversas datas de semeadura de outubro a dezembro, por serem as recomendadas para o estado do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, e verificaram que quanto mais próximo do final do ano, menores os *Exc*'s.

Em relação ao milho, a cultura pode ser cultivada no estado do Paraná em dois períodos do ano: 1ª safra – 01 de agosto a 27 de dezembro (decêndios 22 ao 36) (BRASIL, 2020b); e 2ª safra – 28 de dezembro a 31 de março (decêndios 37 ao 9) (BRASIL, 2020c). Nestes períodos, em média em todo o estado do Paraná, os menores valores de *Def* ocorreriam se o milho 1ª e 2ª safras fosse semeado nos

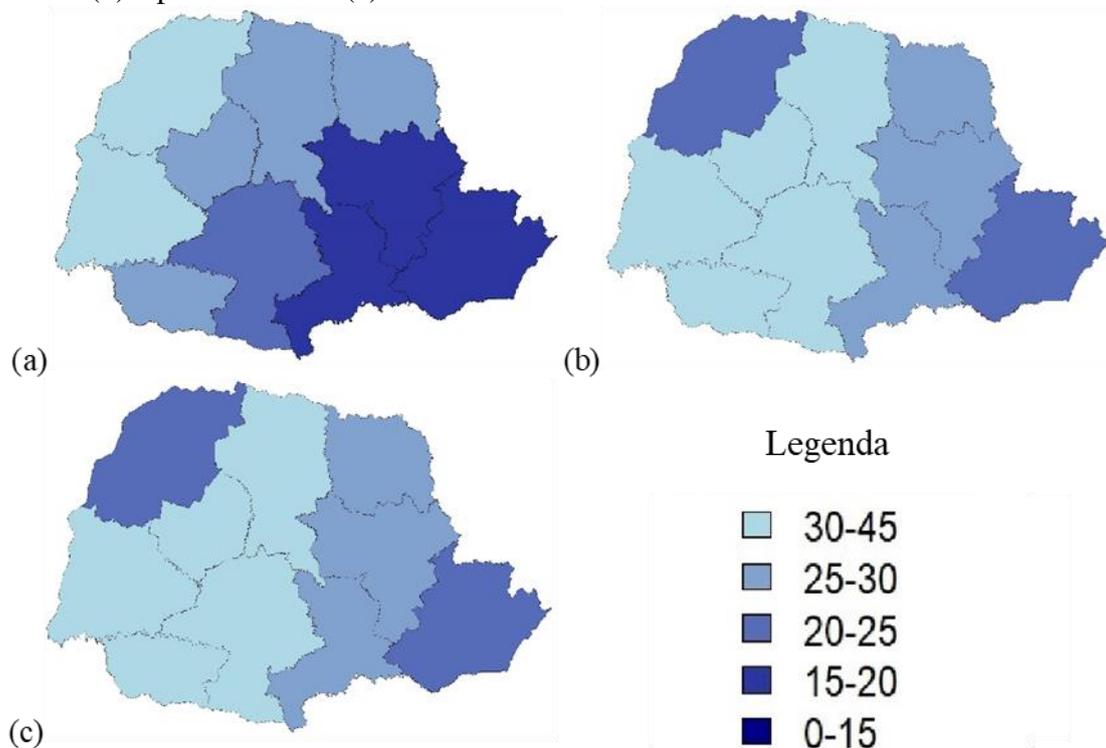
decêndios 36 (17 a 26 de dezembro) e 09 (22 a 31 de março), respectivamente. Quanto aos menores valores de *Exc* houve variação conforme o nível de probabilidade utilizado.

De forma geral, verificou-se que as menores *Def* e *Exc*, para soja e milho, ocorrem nas datas finais dos períodos indicados para a semeadura. Considerando que no estado do Paraná, exceto em regiões específicas (CARAMORI, 2003), há pelo menos uma safra no verão e uma no inverno, normalmente, as datas de semeadura adotadas/preferenciais ocorrem no início dos períodos recomendados e não no final a fim de evitar influência de outros riscos climáticos (FARIAS et al., 2001).

O fato mencionado demonstra grande potencial para a irrigação suplementar no estado do Paraná, com o intuito de semear as culturas no início do período recomendado. Considerando que principalmente a *Def* é elevada quando a semeadura ocorre nestas datas, o uso de irrigação suplementar proporcionaria aumento da produtividade das culturas, evitaria outros riscos climáticos e, sobretudo, possibilitaria um melhor planejamento da sucessão de safras, aumentando assim o uso eficiente da terra (FERNANDES et al., 2019).

No entanto, ressalta-se que o Paraná possui grande heterogeneidade climática ao longo do ano e também no relevo (MAACK, 2012; ALVARES et al., 2013), acarretando distribuição espacial da *Def* e *Exc* bem variável. Para ilustrar esta questão, considerando os respectivos períodos de semeadura recomendados para o milho e a soja no Paraná, bem como uma *Def*_{10%}, verificou-se que a porção oeste do estado detém os maiores valores (Figura 3). Justamente a região onde a atividade agrícola é mais intensa (IBGE, 2017).

Figura 3. Deficiência hídrica média (mm decêndio⁻¹) a 10% de probabilidade de ocorrência nos decêndios recomendados para a semeadura* da soja (a) e do milho segunda safra (b) e primeira safra (c).

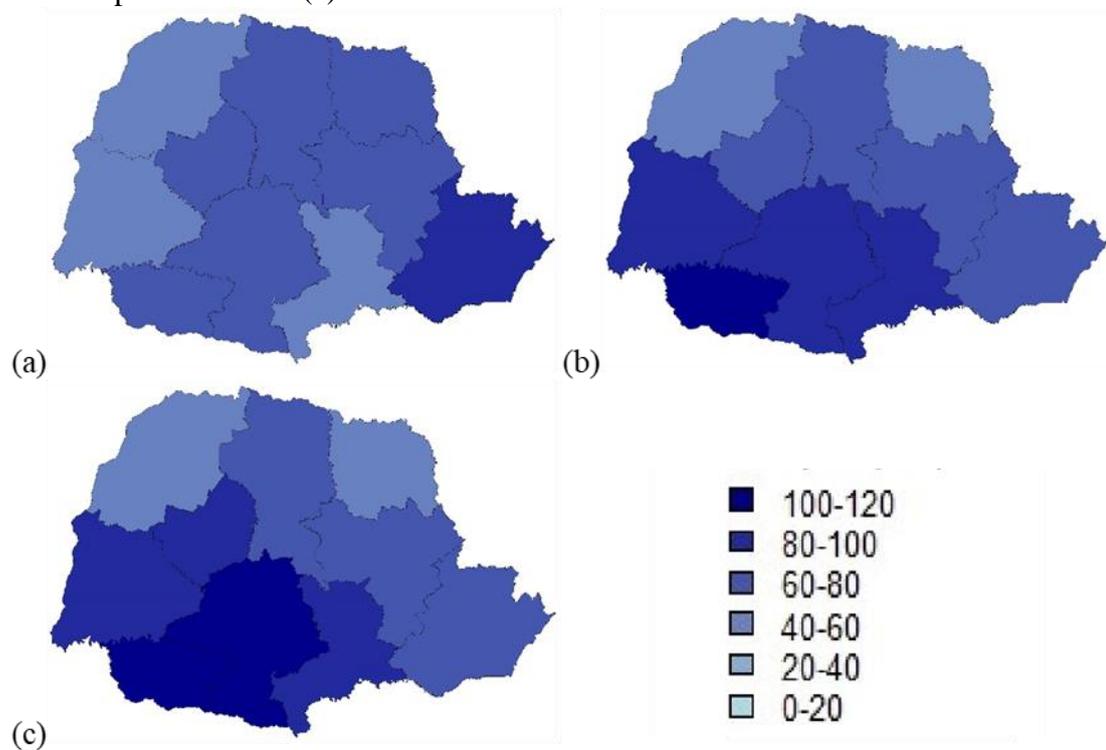


* Decêndios recomendados para a soja – 26 ao 37; milho segunda safra – 37 ao 9; milho primeira safra – 22 ao 36 (BRASIL, 2020a; 2020b; 2020c).

Em relação ao *Exc10%*, não houve uma distribuição espacial bem estabelecida por mesorregião. Ainda assim, notou-se que os valores foram menores na porção norte do

estado (Figura 4), região onde também a atividade agrícola é mais intensa (IBGE, 2017).

Figura 4. Excedente hídrico médio (mm decêndio⁻¹) a 10% de probabilidade de ocorrência nos decêndios recomendados para a semeadura* da soja (a) e do milho segunda safra (b) e primeira safra (c).



* Decêndios recomendados para a soja – 26 ao 37; milho segunda safra – 37 ao 9; milho primeira safra – 22 ao 36 (BRASIL, 2020c; 2020b; 2020c).

Carvalho e Stipp (2004) relataram *Exc* médio anual no Paraná de aproximadamente 800 mm, enquanto Sentelhas, Santos e Machado (2008) encontraram uma faixa de 0-700 mm. Os

6 CONCLUSÃO

As funções densidade de probabilidade Gama e Exponencial foram as que apresentaram aderência a maior quantidade de locais considerando os valores de deficiência (*Def*) e excedente (*Exc*) hídricos, enquanto a Uniforme pode ser descartada para ajustes futuros.

resultados expostos, inclusos os deste trabalho, demonstram grande potencial para armazenamento e uso proveniente deste *Exc* que ocorre no estado.

Considerando todo o estado do Paraná e a janela de semeadura estabelecida pelos órgãos oficiais, em média, a menor *Def* ocorre quando a soja é semeada no decêndio 37 (27 a 31 de dezembro) e o menor *Exc* ocorre no decêndio 29 (08 a 17 de outubro). Para o milho primeira e segunda safras, os menores *Def*'s ocorrem nos decêndios 36 (17 a 26 de dezembro) e 09 (22 a 31 de março), respectivamente, enquanto os menores *Exc*'s dependem do nível de probabilidade utilizado.

7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. 1. ed. Rome: FAO, 1998.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate Classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ASCE-EWRI. **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation**: report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration, Environmental and Water Resources. Reston: Institute of the American Society of Civil Engineers, 2005.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**: teoria e prática. Pelotas: Editora UFPel, 1996.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G.; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I.; CARVALHO, A. P.; POTTER, O.; AGLIO, M. L. D.; SILVA, J. S.; CHAFFIN, C. E.; CARVALHO JUNIOR, W. **Mapa de solos do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

BORTOLUZZI, M. P.; HELDWEIN, A. B.; TRENTIN, R.; LUCAS, D. D. P.; RIGHI, E. Z.; LEONARDI, M. Risk of water surplus in soybean crop on haplic planosol soil in the Central Depression of Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 2, p. 1-7, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 158, de 28 de maio de 2020. Aprova o zoneamento agrícola para a cultura da soja no estado do Paraná. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, edição 102, p. 115, 29 maio 2020a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 180, de 13 de julho de 2020. Aprova o zoneamento agrícola para a cultura do milho 1ª safra no estado do Paraná. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, edição 133, p. 200, 14 jul. 2020b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 301, de 18 de setembro de 2020. Aprova o zoneamento agrícola para a cultura do milho 2ª safra no estado do Paraná. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, edição 101, p. 85, 21 set. 2020c.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

CARAMORI, P. H. **Zoneamento agrícola do estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2003.

CARVALHO, S. M.; STIPP, N. A. F. Contribuição ao estudo do balanço hídrico no estado do Paraná: uma proposta de classificação qualitativa. **Geografia**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 57-71, 2004.

CONAB. **Série histórica das safras – milho total**. Brasília, DF: CONAB, 2020a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das->

safras/item/download/38199_2e757752bbcb11d1ed94fe7322460347. Acesso em: 10 jun. 2020.

CONAB. **Série histórica das safras** – soja. Brasília, DF: CONAB, 2020b. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/38200_2f3e63e24f86f6fa2c25b834da84282a. Acesso em: 10 jun. 2020.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco climático nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Serra Talhada, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FERNANDES, R. D. M.; JOSÉ, J. V.; WOLFF, W.; COSTA, J. O.; FOLEGATTI, M. V. Probability distribution functions applied in the water requirement estimates in irrigation projects. **Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 189-199, 2019.

GETIRANA, A. Extreme water deficit in Brazil detected from space. **Journal of Hydrometeorology**, Washington, DC, v. 17, n. 2, p. 591-599, 2016.

GURSKI, B. C. **Componentes hídricas prováveis e zoneamento de risco agroclimático para o estado do Paraná**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2018_gurski_b_c_apendice_4.xlsm. Acesso em: 19 ago. 2020.

IBGE. **Censo agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IPARDES. **Valor adicionado bruto, participação e taxa de crescimento, segundo as atividades econômicas no Paraná**. Curitiba: IPARDES, 2020. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Valor-Adicionado-Bruto-Participacao-e-Taxa-de-Crescimento-segundo-Atividades-Economicas-no>. Acesso em: 18 jun. 2020.

ITCG. **Mapa de clima do estado do Paraná**. Curitiba: ITCG, 2006.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; EVANGELISTA, A. W. P. Probability and temporal variation of reference evapotranspiration in the region of Telêmaco Borba-PR. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 118-129, 2015.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 4. ed. Curitiba: IBPT, 2012.

NIED, A. H.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J. C.; ALBERTO, C. M. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 995-1002, 2005.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. **AquaCrop version 5.0 reference manual**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.

SENTELHAS, P. C.; SANTOS, D. L.; MACHADO, R. E. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. **Ambiágua**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 28-42, 2008.

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; TRENTIN, G.; STRECK, N. A.; MARTINS, F. B. Funções de distribuição de probabilidade decendial e mensal para a deficiência hídrica no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1893-1899, 2008.

SILVA, A. O.; CORREIA, J. S.; BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. C. Evapotranspiração de referência para dimensionamento de sistemas de irrigação em Petrolina, PE. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 9, n. 1, p. 30-38, 2015.

SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; DAMAZIO, E. C. Relações funcionais entre precipitação provável e média em regiões e climas brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 7, p. 693-702, 2013.

STAGGE, J. H.; TALLAKSEN, L. M.; GUDMUNDSSON, L.; LOONC, A. F. V.; STAHL, K. Candidate distributions for climatological drought indices. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 35, n. 13, p. 4027-4040, 2015.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop yield response to water**. Rome: FAO, 2012. (Irrigation and Drainage Paper, 66).

VANUYTRECHT, E.; RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; HENG, L. K.; VILA, M. G.; MORENO, P. M. AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. **Environmental Modelling & Software**, Utah, v. 62, n. 1, p. 351-360, 2014.

VICENTE-SERRANO, S. M.; SCHRIER, G. V.; BEGUERÍA, S.; AZORIN-MOLINA, C.; LOPEZ-MORENO, J. I. Contribution of precipitation and reference evapotranspiration to drought indices under different climates. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 526, n. 1, p. 42-54, 2015.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2015.