

## MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA ESTIMATIVA E COMPARATIVO DE QUEBRA DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO\*

TAISE CRISTINE BUSKE<sup>1</sup>; ADROALDO DIAS ROBAINA<sup>2</sup>; MARCIA XAVIER PEITER<sup>3</sup> E ROGÉRIO RICALDE TORRES<sup>4</sup>

1 Engenheira Agrônoma; Doutora em Engenharia Agrícola; Docente do Instituto Federal Catarinense – Campus Santa Rosa do Sul, Rua das Rosas s/n - Cx. Postal 04 - CEP 88965-000 - Santa Rosa do Sul/ SC, Brasil; E-mail: [taise.buske@ifc.edu.br](mailto:taise.buske@ifc.edu.br)

2 Engenheiro Agrônomo; Doutor; Professor Titular; Departamento de Engenharia Rural; Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000 - Cidade Universitária - Bairro Camobi – CEP 97105-900 - Santa Maria/ RS, Brasil; E-mail: [diasrobaina@gmail.com](mailto:diasrobaina@gmail.com)

3 Engenheira Agrônoma; Doutora; Professora Adjunta; Departamento de Engenharia Rural; Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000 - Cidade Universitária - Bairro Camobi – CEP 97105-900 - Santa Maria/ RS, Brasil; E-mail: [mpeiter@gmail.com](mailto:mpeiter@gmail.com)

4 Engenheiro Agrônomo; Doutor; Docente do Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Vacaria, Estrada Engenheiro João Viterbo de Oliveira, 3061 - Zona Rural - CEP: 95219-899, Vacaria/ RS, Brasil; E-mail: [rogerio.torres@vacaria.ifrs.edu.br](mailto:rogerio.torres@vacaria.ifrs.edu.br)

\* O artigo foi gerado a partir da tese do primeiro autor.

### 1 RESUMO

A agricultura do Rio Grande do Sul é caracterizada pela predominância de culturas de primavera-verão, as quais tem sua produção afetada pelo déficit hídrico. Assim, objetivou-se estimar a produtividade da cultura do milho com os modelos agrometeorológicos e avaliar as quebras de rendimento da cultura na microrregião de Cruz Alta. Para estimar a produtividade real da cultura foram adotados os modelos agrometeorológicos de Jensen (1968), Minhas, Parikh e Srinivasan (1974) e, Doorenbos e Kassan (1979), todos com parâmetros ajustados. A precisão da estimativa foi determinada a partir de análise de regressão linear e correlação. Ainda, foram simuladas as quebras de rendimento para cada ano avaliado, no período de 1993-2014. O desempenho variou de “mau” até “muito bom”, sendo que os modelos de Jensen e Minhas, Parikh e Srinivasan foram classificados como “muito bom” em outubro e novembro. Recomendam-se os coeficientes -0,768, 0,699, 0,374 e -0,330 para o modelo de Jensen, e -1,438, 1,078, 0,439 e -0,442 para o modelo de Minhas, Parikh e Srinivasan, conforme o estágio fenológico. Também, observou-se quebra de rendimento na maioria dos anos estudados, notoriamente nas faixas maiores de 30% de perda de produtividade, podendo atingir frequência relativa de 30% para outubro, novembro e dezembro.

**Palavras-chave:** déficit hídrico, modelagem, quebra de rendimento.

**BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.**  
**AGROMETEOROLOGICAL MODELS FOR ESTIMATION AND COMPARATIVE  
BREAKDOWN OF MAIZE CULTURE PRODUCTIVITY**

## 2 ABSTRACT

Agriculture in the state of Rio Grande do Sul is predominant in spring-summer crops, whose production is affected by water deficit. This study aimed to estimate maize productivity with agrometeorological models and to evaluate crop yield losses in the Cruz Alta micro region. Agrometeorological models, with adjusted parameters of Jensen (1968), Minhas, Parikh and Srinivasan (1974) and, Doorenbos and Kassan (1979) were adopted to estimate the actual productivity of the crop. The accuracy of the estimation of each model was determined by linear regression analysis and correlation. Also, yield breaks were simulated for each year, in the period of 1993-2014. The performance ranged from “poor” to “very good”, with Jensen's and Minhas, Parikh and Srinivasan models being rated “very good” in October and November. The recommended coefficients are -0.768, 0.699, 0.374 and -0.330 for Jensen's model, and -1.438, 1.078, 0.439 and -0.442 for Minhas, Parikh and Srinivasan's model, according to the phenological stage. It was also observed a yield break in most of the years, notoriously where productivity loss is higher than 30%, reaching relative frequency of 30% for October, November and December.

**Keywords:** water deficit, modeling, break of yield.

## 3 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, e o Rio Grande do Sul é o sexto maior produtor no país, tendo registrado na primeira e segunda safra 2018/2019 a produção de 5.768,0 mil toneladas do grão em 754,0 mil ha, totalizando a produtividade de 7.649,87 kg/ha, segundo dados da CONAB (2019). Ao comparar as safras das duas últimas décadas, Emygdio et al. (2013) observaram que a área cultivada de milho no RS teve uma retração, mas com relativo ganho de produtividade por meio do emprego de novas tecnologias e manejo do solo.

O milho (*Zea mays*) é uma espécie anual da família das poáceas, pertencente ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C4, expressando sua elevada produtividade quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico (BERGAMASCHI et al., 2004).

Como a precipitação média mensal no estado do Rio Grande do Sul é da ordem de 100 a 150 mm, as necessidades hídricas

da cultura poderiam ser supridas pelas precipitações pluviais (EMYGDIO et al., 2013). Entretanto, ocorrem variações no rendimento de grãos causadas, principalmente, pela ocorrência de baixa quantidade e irregularidade na distribuição de precipitações, causando deficiência hídrica durante o desenvolvimento da cultura (SOLER et al., 2010), que pode ser intensa em alguns anos nos meses de final de primavera e início de verão.

Os modelos de simulação são ferramentas que permitem gerar cenários, considerando as diversas combinações dos fatores que influenciam a produtividade das culturas (GOMES et al., 2014). Dentre as vantagens da utilização de modelos destacam-se à economia de tempo, o trabalho e a quantidade de recursos para o planejamento e tomada de decisões de manejo no setor agrícola.

Nesse contexto, os modelos agrometeorológicos consideram que cada elemento climático exerce certo controle na produtividade, interferindo como um fator de eficiência (SOLER et al., 2010). Quando existe dependência entre efeitos dos déficits hídricos ocorridos em diferentes estádios

fenológicos, são mais indicados os modelos multiplicativos como Jensen (1968) e, Minhas, Parikh e Srinivasan (1974). Nos casos em que o efeito do déficit entre estádios é independente, se propõe que os modelos aditivos de função de produção sejam mais apropriados, como o modelo de Doorenbos e Kassam (1979).

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo estimar a produtividade da cultura do milho com os modelos agrometeorológicos e avaliar as quebras de rendimento da cultura na microrregião de Cruz Alta, RS.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Dentre as áreas de produção significativa de milho no Rio Grande do Sul, o trabalho foi desenvolvido para a microrregião de Cruz Alta, com clima predominante o subtropical, tipo "Cfa", temperado úmido com verão quente, de acordo com a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013).

Os dados meteorológicos diários utilizados, no período de 1993 a 2014, foram as temperaturas do ar máxima e mínima (°C), a umidade relativa do ar (%), a velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ), o número de horas de luz do sol ou insolação (h) e a precipitação pluviométrica (mm), oriundos da estação meteorológica localizada no município de Cruz Alta, com 28,63° de latitude sul, 53,6° de longitude oeste e 472,5m de altitude, obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017).

Foram adotados três modelos agrometeorológicos (Equações 1 a 3), tendo todos com variável independente o consumo relativo de água ( $ETr / ETp$ ), e variável dependente o rendimento relativo de grãos ( $Yr / Yp$ ).

$$\frac{Yr}{Yp} = \prod_{i=1}^n \left( \frac{ETr}{ETp} \right)^{\lambda_i} \quad (1)$$

**Fonte:** Jensen (1968).

$$\frac{Yr}{Yp} = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \left( 1 - \frac{ETr}{ETp} \right)^2 \right]^{\lambda_i} \quad (2)$$

**Fonte:** Parikh e Srinivasan (1974).

$$\frac{Yr}{Yp} = 1 - \left[ ky \left( 1 - \frac{ETr}{ETp} \right) \right] \quad (3)$$

**Fonte:** Doorenbos e Kassam (1979).

Sendo: Yr o rendimento real ( $Kg ha^{-1}$ ); Yp o rendimento potencial ( $Kg ha^{-1}$ ); ETr a evapotranspiração real (mm); ETp a evapotranspiração potencial (mm);  $\lambda_i$  o fator hídrico de penalização da produtividade por déficit (adimensional); Ky o coeficiente de penalização da produtividade por déficit (adimensional); i referente às fases do ciclo fenológico (i = 1, 2, 3 e 4) e n o número de estádios fenológicos (n = 4).

Posteriormente, foi realizado ajuste estatístico dos parâmetros dos modelos agrometeorológicos, apresentados na Tabela 1. Sendo que foram utilizados valores de  $\lambda_i$  provenientes do ajustamento em análise de regressão múltipla, a partir das transformadas logarítmicas da equação e método dos mínimos quadrados, para os modelos de Jensen e Minhas, Parikh e Srinivasan. Para o parâmetro ky, foram usados valores oriundos de um ajuste envolvendo regressão simples.

**Tabela 1.** Valores dos parâmetros ajustados com os dados da região de Cruz Alta/ RS para os modelos de: (A) Jensen (1968); (B) Minhas, Parikh e Srinivasan (1974); (C) Doorenbos e Kassan (1979).

|     | Modelo | Parâmetro   | Estádios |        |        |        | Todo ciclo |
|-----|--------|-------------|----------|--------|--------|--------|------------|
|     |        |             | I        | II     | III    | IV     |            |
| Set | A      | $\lambda_i$ | 0,175    | -1,346 | -0,011 | 0,575  | *          |
|     | B      | $\lambda_i$ | 0,399    | -4,863 | 0,131  | 0,786  | *          |
|     | C      | $K_y$       | *        | *      | *      | *      | 0,959      |
| Out | A      | $\lambda_i$ | -0,943   | -0,499 | 0,613  | 0,218  | *          |
|     | B      | $\lambda_i$ | -2,518   | -0,928 | 0,887  | 0,199  | *          |
|     | C      | $K_y$       | *        | *      | *      | *      | 0,807      |
| Nov | A      | $\lambda_i$ | -0,768   | 0,699  | 0,374  | -0,330 | *          |
|     | B      | $\lambda_i$ | -1,438   | 1,078  | 0,439  | -0,442 | *          |
|     | C      | $K_y$       | *        | *      | *      | *      | 0,684      |
| Dez | A      | $\lambda_i$ | 0,257    | 0,544  | -0,365 | 0,029  | *          |
|     | B      | $\lambda_i$ | 0,359    | 0,873  | -0,631 | 0,064  | *          |
|     | C      | $K_y$       | *        | *      | *      | *      | 0,658      |

Para o cálculo da ETp multiplicou-se a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), que foi estimada pelo método de Penman-Montheit por meio do *software* ETO Calculator Version 3.1 (FAO, 2009), pelo coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) retirado do trabalho de Köpp et al. (2015). Para estimativa da ETr foi utilizado o método do balanço hídrico climatológico empregando-se o *software* System for Water Balance – SYSWAB, desenvolvido por Gaspar et al. (2015).

O Y<sub>p</sub> foi calculado pelo método da Zona Agroecológica (MZA), recomendado pela FAO e citado em Doorenbos e Kassam (1979). Por fim, o valor de Y<sub>r</sub> estimado foi considerado o resultado obtido em cada ciclo/ano, conforme as combinações dos modelos agrometeorológicos com o MZA, para o plantio em setembro, outubro, novembro e dezembro, de acordo com o zoneamento agrícola de risco climático para a cultura do milho no estado do Rio Grande do Sul.

Ainda, foram simuladas as quebras de rendimento (Q, em %), dado pela equação 4, para cada um dos anos avaliados, as quais foram convertidas em frequência relativa para análise dos resultados.

$$Q = \left(1 - \frac{Y_r}{Y_p}\right) * 100 \quad (4)$$

A precisão da estimativa foi determinada a partir de análise de regressão linear e correlação, realizada entre os valores de produtividade real observada, obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) para a microrregião, e estimada com os referidos modelos. Para avaliar o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas foi usado o índice “d” de concordância (WILLMOTT et al., 1985). Também se adotou o índice de desempenho ou confiança “c”, segundo Camargo e Sentelhas (1997), considerando as seguintes classes de interpretação: c > 0,85 – “ótimo”, 0,75 a 0,85 – “muito bom”, 0,65 a 0,75 – “bom”, 0,60 a 0,65 – “mediano”, 0,50 a 0,60 – “sofrível”, 0,40 a 0,50 – “mau” e c ≤ 0,40 – “péssimo”.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

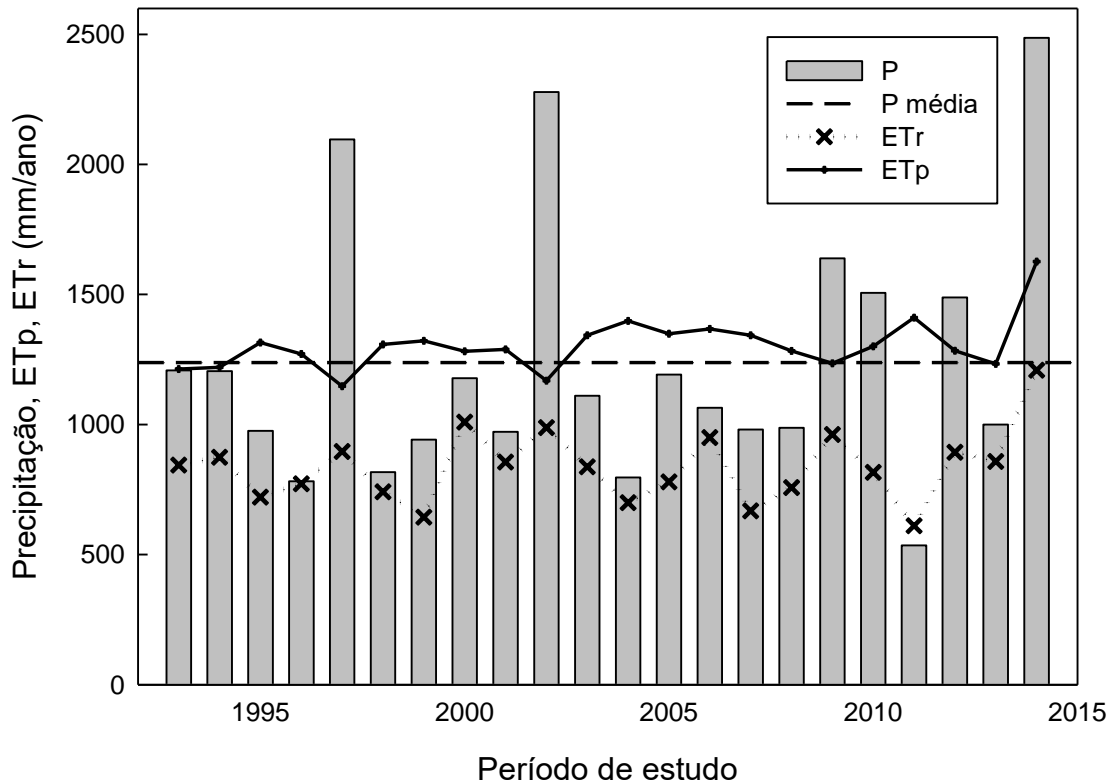
Para o período estudado, que compreende a primavera-verão, a média de precipitação observada foi de 1238 mm, como pode ser visto na Figura 1. Dentre os anos com os menores acumulados

precipitados merecem destaque: 1996, 1998, 2004 e 2011 com 781,7 mm, 816,9 mm, 796,4 mm e 535,7 mm, respectivamente. Confirmado por ANA (2012), que verificou em vários municípios do Rio Grande do Sul a ocorrência de chuvas abaixo do padrão, levando à decretação de situação de calamidade

pública por seca, em janeiro de 2011 e entre novembro e dezembro de 2011.

Os anos de 1995, 1999, 2004, 2007 e em especial 2011 apresentam os menores valores do índice de satisfação de necessidade de água (ISNA), que é a relação  $ETr / ETp$ , demonstrando que a variação entre a quantidade de água consumida e demandada é alta para a produção máxima.

**Figura 1.** Balanço hídrico do período de estudo para a cultura do milho na microrregião de Cruz Alta/ RS, CAD 100 mm.

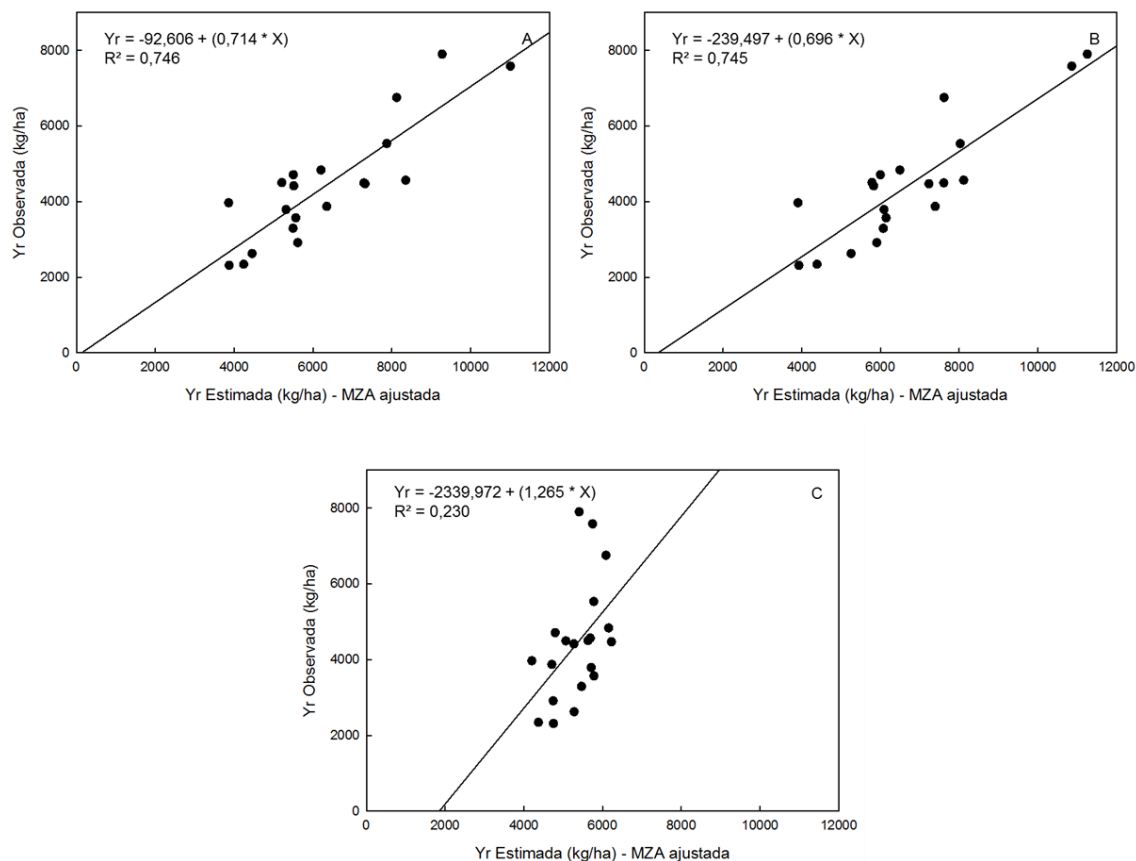


No presente estudo verificou-se que em apenas 27% das observações à precipitação superou a evapotranspiração potencial. Da mesma forma Avila et al. (1996) observaram que nos meses mais críticos para as culturas de primavera-verão em relação à água, a probabilidade da precipitação pluvial superar a  $ETp$  é menor do que 60% em grande parte do RS, incluindo as principais regiões produtoras de grãos, enfatizando a necessidade de planejamento quanto às épocas de

semeadura das culturas de primavera-verão e, também, quanto à utilização de técnicas de irrigação.

Quando verificado o desempenho dos modelos agrometeorológicos, com parâmetros ajustados, ficaram evidenciados os modelos de Jensen e Minhas, Parikh e Srinivasan, no plantio em novembro, como pode ser visto na Figura 2. Ambos os modelos tiveram, em média, apenas 24% da variância da regressão não dependente das variáveis estudadas.

**Figura 2.** Análise de regressão linear entre os valores observados de produtividade real da cultura do milho e estimados com os modelos de: (A) Jensen (1968); (B) Minhas, Parikh e Srinivasan (1974); (C) Doorenbos e Kassan (1979), empregando os parâmetros ajustados com os dados da região de Cruz Alta/ RS, para o plantio em novembro.



Assim como no presente trabalho, Gerstemberger et al. (2010) encontraram coeficiente de determinação de 0,7052 com o modelo de Minhas, Parikh e Srinivasan, para as análises com as médias de todos os sistemas de plantio analisados e concluíram que o modelo utilizando parâmetros obtidos por regressão e produtividade potencial da região, proporcionou relações lineares estreitas entre as produtividades reais e estimadas de milho, na região de Ponta Grossa, Paraná.

Os valores dos coeficientes de correlação, índice de concordância e índice de desempenho estão organizados na Tabela 2, sendo que o desempenho variou de “péssimo” até “muito bom”. Os piores resultados foram do modelo de Doorenbos e Kassan, possivelmente em função de adotar um valor de  $k_y$  único para todo ciclo, enquanto os demais modelos separam os parâmetros de penalização da produtividade por déficit em estádios, acompanhando melhor as necessidades de cada fase da cultura.

**Tabela 2.** Valores do coeficiente de correlação, índice de concordância, índice de desempenho e sua respectiva interpretação para os modelos de: (A) Jensen (1968); (B) Minhas, Parikh e Srinivasan (1974); (C) Doorenbos e Kassan (1979), utilizando parâmetros ajustados com os dados da região de Cruz Alta/ RS.

|     | <b>Modelo</b> | <b>r</b> | <b>d</b> | <b>c</b> | <b>Desempenho</b> |
|-----|---------------|----------|----------|----------|-------------------|
| Set | A             | 0,6825   | 0,9781   | 0,6675   | Bom               |
|     | B             | 0,6529   | 0,9752   | 0,6367   | Mediano           |
|     | C             | 0,4888   | 0,9679   | 0,4732   | Mau               |
| Out | A             | 0,8136   | 0,9819   | 0,7989   | Muito bom         |
|     | B             | 0,7739   | 0,9791   | 0,7577   | Muito bom         |
|     | C             | 0,4905   | 0,9701   | 0,4758   | Mau               |
| Nov | A             | 0,8637   | 0,9782   | 0,8449   | Muito bom         |
|     | B             | 0,8631   | 0,9771   | 0,8433   | Muito bom         |
|     | C             | 0,4793   | 0,9702   | 0,4650   | Mau               |
| Dez | A             | 0,6875   | 0,9827   | 0,6756   | Bom               |
|     | B             | 0,6684   | 0,9804   | 0,6553   | Bom               |
|     | C             | 0,4612   | 0,9684   | 0,4466   | Mau               |

Resultados próximos aos do estudo de Souza et al. (2013), em que o modelo de Jensen, utilizando coeficientes ajustados, proporcionou coeficiente de correlação superior a 0,80 independentemente do sistema de plantio avaliado. Confirmando, portanto, que ao usar coeficientes e fatores obtidos por regressão múltipla, as relações lineares foram mais estreitas entre as produtividades reais e estimadas da cultura do trigo, e o seu desempenho obtido foi classificado como “muito bom” em Ponta Grossa, Paraná. Para o modelo de Minhas, Parikh e Srinivasan o índice “c” se apresentou como “mediano”, enquanto que o modelo de Doorenbos e Kassan permaneceu classificado como “péssimo”.

Cabe ainda destacar a observação feita por Souza et al. (2013), os quais descrevem que os modelos testados apresentaram bom desempenho, especialmente pela sua simplicidade, pois consideram somente o consumo relativo de água como variável independente.

Por fim, as melhores respostas foram para o modelo de Jensen e para o modelo de Minhas, Parikh e Srinivasan no plantio em outubro e novembro. Portanto, recomendam-se os coeficientes de -0,768, 0,699, 0,374 e -0,330 para o modelo de

Jensen, e os coeficientes de -1,438, 1,078, 0,439 e -0,442 para o modelo de Minhas, Parikh e Srinivasan, conforme o estágio fenológico I, II, III e IV, respectivamente, para a microrregião de Cruz Alta/ RS.

Também foram simuladas as quebras de rendimento para o período estudado, e convertido em frequência relativa para diferentes faixas de quebra de rendimento (Figura 3) para análise dos resultados.

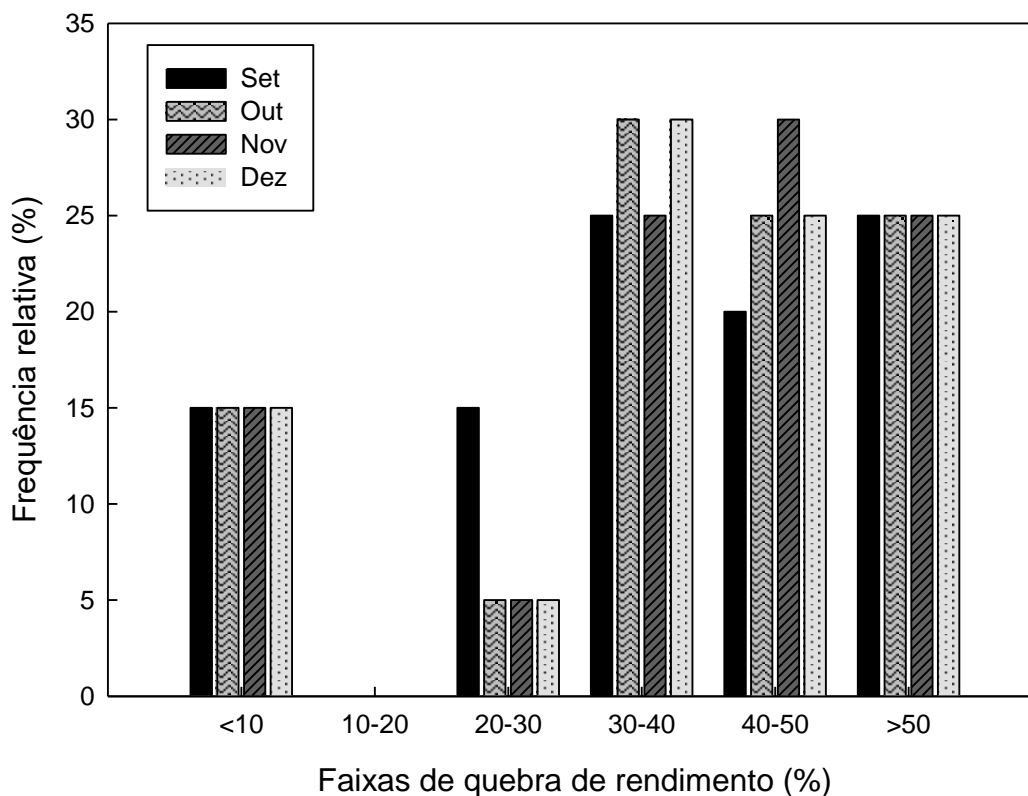
Quando os dados são convertidos em frequência relativa, percebe-se quebra de rendimento na maioria dos anos estudados, notoriamente nas faixas maiores de 30% de perda de produtividade, podendo atingir frequência relativa de 30% para outubro, novembro e dezembro. Esses extremos de frequência correspondem a seis anos do total avaliado. Inclusive na faixa com menos de 10% de perdas, em qualquer época avaliada, foram observados prejuízos em 15% dos anos, correspondente a três anos do período total considerado.

Resultado este semelhante ao estudo de Wagner et al. (2013), em que a cultura do milho foi afetada pela distribuição da disponibilidade de água ao longo do ciclo fenológico e a probabilidade média de redução de produção por deficiência hídrica

foi de aproximadamente 50%. Nesse estudo, que considerou a realização da semeadura em diferentes momentos dentro do período recomendado pelo zoneamento

agrícola do estado do Paraná, foi verificada produção média de 7091 kg/ha para o município de Guarapuava.

**Figura 3.** Frequência de perda da produtividade potencial para a cultura do milho na região de Cruz Alta/ RS.



Em relação às frequências médias mensais para diferentes faixas de quebra do estudo de Marin et al. (2006), os resultados do presente trabalho se assemelharam aos efeitos observados em Ilha Solteira, onde as maiores quebras se concentraram na faixa acima de 20% de frequência para os meses de setembro, outubro e novembro, podendo atingir 63% de frequência dos casos analisados. Para dezembro 43,3% das observações ficaram na faixa de 6-10% de perdas.

Os resultados aqui obtidos, além de se aproximarem com os de outros autores, apresentam ainda o risco de quebra de rendimento para cada época de semeadura, informação fundamental ao planejamento e à tomada de decisão com relação à

implantação da cultura. Pode-se ainda afirmar que a cultura do milho é afetada pela deficiência hídrica na primavera-verão, ocasionando riscos de obtenção de produtividade de grãos abaixo da expectativa.

## 6 CONCLUSÕES

Segundo a metodologia utilizada neste estudo e os resultados obtidos, foi possível concluir que:

- O desempenho das diferentes combinações variou de “mau” até “muito bom”, sendo que o modelo de Jensen e o modelo de Minhas, Parikh e Srinivasan



foram classificados como “muito bom” em outubro e novembro.

- Recomendam-se os coeficientes de -0,768, 0,699, 0,374 e -0,330 para o modelo de Jensen, e os coeficientes de -1,438, 1,078, 0,439 e -0,442 para o modelo de Minhas, Parikh e Srinivasan, conforme o estágio fenológico I, II, III e IV, respectivamente.

- Ocorreu quebra de rendimento na maioria dos anos estudados, notoriamente

nas faixas maiores de 30% de perda de produtividade, podendo atingir frequência relativa de 30% para outubro, novembro e dezembro.

- A cultura do milho é afetada pela deficiência hídrica na primavera-verão, ocasionando riscos de obtenção de produtividade de grãos abaixo da expectativa para a microrregião de Cruz Alta/RS.

## 7 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2012. Ed. Especial. - Brasília: ANA, 2012. 215 p.

AVILA, A. M. H. de.; BERLATO, M. A.; SILVA, J. B. da.; FONTANA, D. C. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.2, n.2, p. 149-154, 1996.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n.1, p. 89-97, 1997.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Portal de informações agropecuárias**. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-dashboard>>. Acesso em out. 2019.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 193p. (FAO Irrigation and Drainage, Paper 33).

EMYGDIO, B. M.; ROSA, A. P. S. A. da; TEIXEIRA, M. C. C. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul**: Safras 2013/2014 e 2014/2015. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 124p.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **ETo Calculator**. Manual (38p) e software Version 3.1. 2009. Land and Walter Digital Media Series Nº 36.

GASPAR, N. A.; APARECIDO, L. E. de O.; ROLIM, G. de S.; SOUZA, P. S. de; BOTELHO, T. G. Software for the management of weather stations and for agrometeorological calculations. **Australian Journal of Crop Science**, v.9, n.6, p.545-551, 2015.

GERSTEMBERGER, E.; SOUZA, J. L. M. de; SANTOS, M. de J. dos; ARAUJO, M. A. Estimativa da Produtividade da Cultura do Milho em Diferentes Sistemas de Cultivo na Região de Ponta Grossa-PR, Utilizando Modelos Agrometeorológicos. In: XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA - Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil, 2010, Teresina/ PI. **Anais...** Teresina/ PI, 2010.

GOMES, A. C. dos S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; SOARES, F. C.; PARIZI, A. R. C. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. **Ciência Rural**, v.44, n.1, p. 43-49, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em jul. 2017.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em jul. 2017.

JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKY, T. T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, v.2, p. 1-22, 1968.

KÖPP, L. M.; PEITER, M. X.; BEN, L. H. B.; NOGUEIRA, H. M. C. de M.; PADRÓN, R. A. R.; ROBAINA, A. D.; BUSKE, T. C. Simulação da necessidade hídrica e estimativa de produtividade para cultura do milho em municípios do RS. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p. 235-246, 2015.

MARIN, F. R.; PANDORFI, H.; SENTELHAS, P. C.; CAMARGO, M. B. P. de; HERNANDEZ, F. B. T. Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, p.157-162, 2006.

MINHAS, B. S.; PARIKH, K. S.; SRINIVASAN, T. N. Towards the structure of a production function for wheat yields with dated inputs of irrigation water. **Water Resources Research**, v. 10, n. 3, p. 383-393, 1974.

SOLER, C. M. T.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. The impact of El Niño Southern Oscillation phases on off-season maize yield for a subtropical region of Brazil. **International Journal of Climatology**. v. 30, n. 7, p. 1056–1066, 2010.

SOUZA, J. L. M. de; GERSTEMBERGER, E.; ARAUJO, M. A. Calibração de modelos agrometeorológicos para estimar a produtividade da cultura do trigo, considerando sistemas de manejo do solo, em Ponta Grossa-PR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.28, n.4, 409 - 418, 2013.

WAGNER, M. V.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R.; LIMA, A. dos S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.2, p.170–179, 2013.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.