

ESTUDO DE CASO DE UM ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO DA PRODUTIVIDADE CLIMÁTICA (ZARPRO)

JOSE EDUARDO BOFFINO DE ALMEIDA MONTEIRO¹; Santiago Viana Cuadra¹; Gilberto Rocca da Cunha²; Luis Gustavo Barioni¹; Alan Massaru Nakai¹
Autor para correspondência: eduardo.monteiro@embrapa.br

¹Embrapa Informática Agropecuária; ²Embrapa Trigo

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar um caso de zoneamento agrícola de risco da produtividade climática para três níveis de produtividade esperada, utilizando como exemplos a cultura da soja na região sul do Brasil. Foram selecionadas três séries de produtividade municipal com médias e desvio padrão distintos. Foi utilizado um modelo de produtividade para se estimar as produtividades a partir de uma série de dados meteorológicos de 30 anos, e determinação da distribuição de frequências e riscos associados a três níveis de produtividade esperada (Pe) em cada município. A avaliação do risco espacializado foi feita com base nas disponibilidades hídricas correspondentes às Pe selecionadas. Os resultados demonstraram que o risco quantificado variou de 5% a 76% em função do local e de 26% a 76% em função da Pe. As avaliações do risco agroclimático devem ser específicas para produtividades esperadas condizentes com cada ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: zoneamento; risco; produtividade

A CASE STUDY OF AN AGRICULTURAL ZONING OF CLIMATE YIELD RISK (ZARPRO)

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate a case of an agricultural zoning of climate yield risk for three levels of expected yield, using as examples the soybean crop in the southern region of Brazil. Three series of municipal yield were selected with different mean and standard deviation. A yield model was used to estimate yields from a series of 30 year meteorological data, and to determine the distribution of frequencies and risks associated with three levels of expected yields (Pe) in each municipality. The spatialized risk assessment was based on the water availability corresponding to selected yields. The results showed that the quantified risk ranged from 5% to 76% depending on the site and from 26% to 76% as a function of the Pe. Agroclimatic risk assessments should be specific to expected yields consistent with each environment.

KEY-WORDS: zoning; risk; yield

INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade de elevado risco e significativa incerteza. Tais riscos decorrem da instabilidade climática, ocorrências sanitárias e oscilações do mercado (GUIMARÃES; NOGUEIRA 2009). Estudo recente apoiado pelo Banco Mundial indica que o Brasil perde, anualmente, mais de R\$ 11 bilhões devido a riscos que poderiam ser geridos de forma mais eficaz (ARIAS; MENDES; ABEL 2015). Em muitas regiões do globo, mais de 60% da variabilidade e risco de produção agrícola são causados pela

variabilidade climática (RAY et al., 2015), já que os agricultores exercem pouco ou nenhum controle sobre fenômenos naturais como secas, geadas, onda de calor, vendavais e granizo (MONTEIRO, 2009).

Muitos modelos foram desenvolvidos para simular o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas considerando diferentes parâmetros e níveis de complexidade. CHALLINOR et al. (2007) discutiram várias abordagens utilizadas, com maior ou menor número de processos especificados ou puramente empíricos. Dentre esses modelos, os incorporados nas plataformas Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) e Simulador de Sistemas de Produção Agrícola (APSIM) são amplamente estudados em todo o mundo (KNÖRZER et al., 2011). No entanto, a maioria dos métodos demanda dados e parametrizações que não são facilmente obtidas (ZHAO et al., 2014), especialmente para áreas grandes e heterogêneas (REIDSMA et al., 2009).

Os modelos baseados incorporados nessas plataformas simulam o desenvolvimento das culturas com base nas condições meteorológicas, nas propriedades físicas e químicas do solo, nos coeficientes específicos de cultivares e nas práticas de manejo. Nesse contexto, quando bem parametrizados, são muito úteis para orientar os produtores no planejamento e tomada decisões, de práticas de manejo, assim como auxiliar a o planejamento no nível regional ou nacional, por exemplo, através, das avaliações dos impactos da variabilidade climática na produtividade das culturas; podendo, portanto, auxiliar o setor público na operacionalização de políticas agrícolas e ações de segurança alimentar (HANSEN, 2005). O conceito de “produtividade climática” tem sido frequentemente empregado em estudos agrônômicos, especialmente naqueles envolvendo temas como modelagem de culturas, agrometeorologia ou mudanças climáticas, sempre que é necessário medir ou avaliar a produtividade exclusivamente em função das variáveis meteorológicas, em situações reais ou hipotéticas, em que os demais fatores de produtividade são secundários ou então constantes (SUPIT et al., 2010; IRMAK, KUKAL, 2018). Esta é uma abordagem útil para se estudar os efeitos das condições do tempo e clima na produtividade sem ter que tratar interações complexas com outros fatores.

De acordo com SANTOS e MARTINS (2016), o desenvolvimento agrícola colaborou para a redução dos riscos, que passaram não apenas a ser presumidos, mas quantificados a partir de cálculos probabilísticos, sobretudo graças à inauguração do que se convencionou denominar agricultura moderna, com a contribuição da ciência e da incorporação da alta tecnologia no campo. Um exemplo de ferramenta técnico-científica que integra esse contexto é o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc), usado para apoiar os programas de mitigação dos riscos de perdas na agricultura brasileira, o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) e o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR).

O Zarc em uso desde a década de 1990 para definir regiões e datas de semeadura conforme níveis de risco, gerou grandes economias ao Proagro e ao setor produtivo em geral, devido a redução das perdas. Entre 1996 e 1998 quando o ZARC era opcional nos contratos do Proagro, o índice médio de perdas foi de 11,5% nos contratos sem ZARC e de 2,73% nos contratos com ZARC (PROAGRO, 1998).

Nos contratos do Proagro e na maioria dos seguros rurais, as indenizações são calculadas com base na redução na produtividade observada em relação à produtividade esperada. Assim, é preciso considerar que a grande variabilidade espacial nas condições do solo, nos sistemas de produção e níveis de manejo resultam em grandes diferenciais de produtividade. Logo, é necessário isolar perdas provocadas por eventuais eventos meteorológicos adversos (sinistros climáticos) dos outros fatores de produção e quantificar os riscos para diferentes níveis de produtividade esperada. Isso seria fundamental para a formatação de contratos (preço x risco) mais adequados a cada caso ou região.

OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso de zoneamento agrícola de risco da produtividade climática, considerando três níveis de produtividade esperada e utilizando como caso a cultura da soja na região sul do Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas três séries de produtividade municipal da soja estimadas pelo IBGE, entre os anos de 2001 e 2017, para os municípios de Irineópolis em Santa Catarina, Passo Fundo e Alegrete no Rio Grande do Sul. Foi removida a tendência tecnológica das séries pela subtração dos desvios em relação a tendência linear ajustada por regressão.

Os dados de produtividade do IBGE foram utilizados para a calibração do modelo da Produtividade Potencial Tecnológica, conforme descrito em MONTEIRO et al. (2013). Esse modelo se baseia no histórico de produtividade e disponibilidade hídrica de um local para determinação da produtividade atingível e da resposta da cultura para a estimativa da produtividade real ano a ano. Assim, foi determinada para essas localidades a relação entre a produtividade e o índice de satisfação das necessidades hídricas (ISNA). Foi este estudo de caso, foi considerada uma data média de plantio, no primeiro decêndio de novembro.

A partir do modelo ajustado, foi determinada a série de produtividade de 30 anos com base nas séries de dados meteorológicos considerando as estações localizadas nos municípios ou mais próximas destes, gerando uma série de produtividade histórica. A partir da série histórica do rendimento estimados pelo modelo, foi realizada uma análise de distribuição de frequência das produtividades nos três municípios e ajustado um modelo de distribuição Beta, a fim de permitir o cálculo das frequências ou probabilidades associadas a cada nível de produtividade esperada.

A partir do modelo calibrado foram identificados os ISNAs correspondentes às produtividades de 1,0, 1,5 e 2,0 toneladas de grãos por hectare que, posteriormente, serviram de referência para a espacialização e zoneamento de risco nas classes de até 20%, 21 a 30%, 31 a 40% e maior que 40%, conforme adotado atualmente pelo Proagro e PSR.

O zoneamento de risco foi gerado nos sistemas MAIRA, de processamento, e MICURA, de visualização e análise de resultados espacializados, mantidos pela Embrapa Informática Agropecuária e atualmente em uso para as avaliações de risco climáticos utilizadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). Foi adotado como exemplo um cenário utilizando cultivar de ciclo médio, com cerca de 120 dias entre emergência e colheita, e solo de média capacidade de armazenamento hídrico com 50mm de água disponível na zona radicular efetiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os municípios de Irineópolis em Santa Catarina, Passo Fundo e Alegrete no Rio Grande do Sul foram escolhidos por estarem situados em condições distintas de favorabilidade e risco climático, e também por apresentarem produtividades diversas. Irineópolis apresenta produtividades em geral mais elevadas e mais estáveis, com média de 3,3 t/ha e desvio padrão de 0,4 t/ha (figuras 1 e 2).

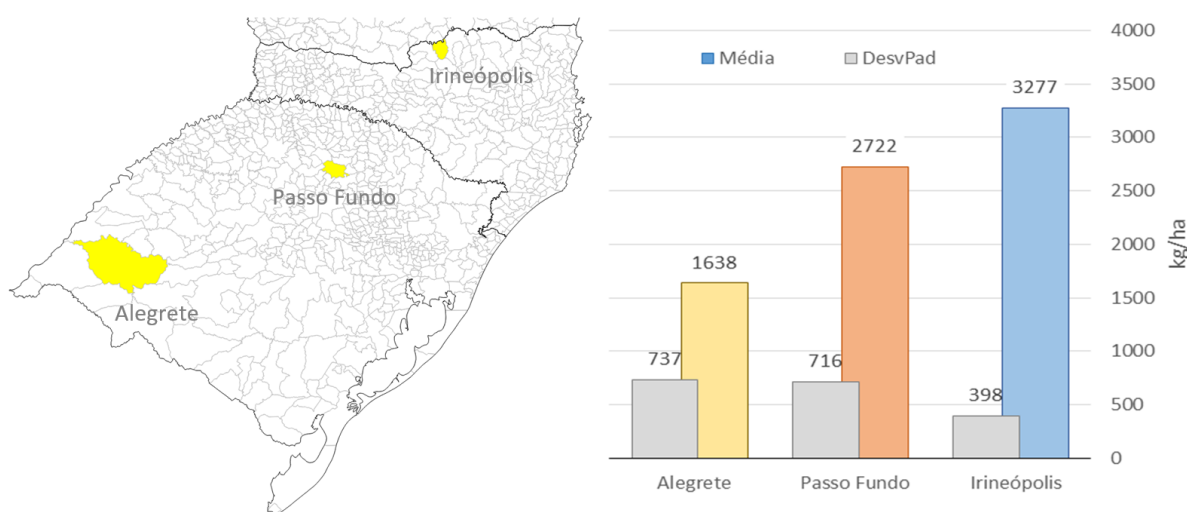


Figura 1

Figura 1: Localização e produtividades médias de soja e desvio padrão entre 2001 e 2017 dos municípios de Irineópolis em Santa Catarina, Passo Fundo e Alegrete no Rio Grande do Sul.

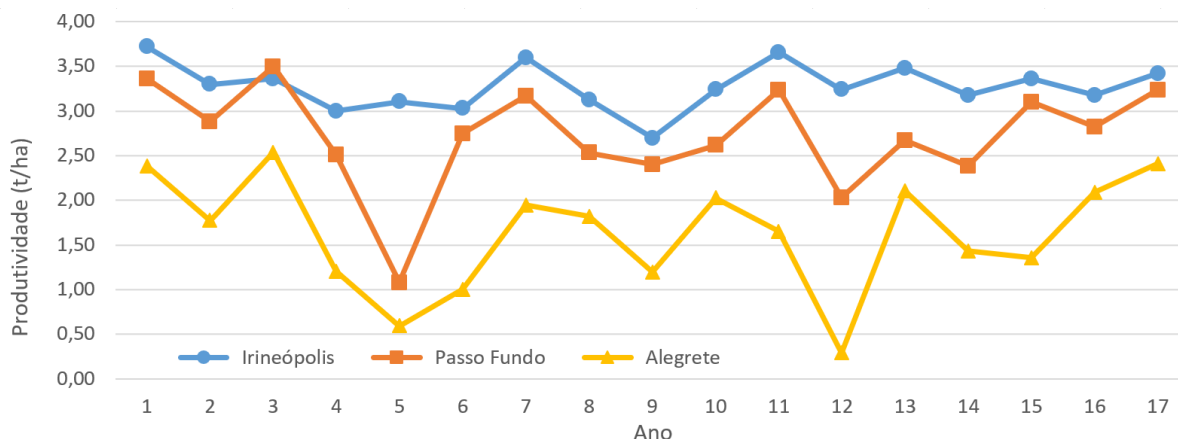


Figura 2

Figura 2: Produtividades municipais de soja entre 2001 e 2017, com tendência removida, nos municípios de Irineópolis em Santa Catarina, Passo Fundo e Alegrete no Rio Grande do Sul.

Passo Fundo apresenta produtividades um pouco mais baixas e menos estáveis, com média de 2,7 t/ha e desvio padrão de 0,7 t/ha. Alegrete apresenta uma a série de produtividades mais baixas e grande variabilidade, com média de 1,6 t/ha e desvio padrão de 0,7 t/ha.

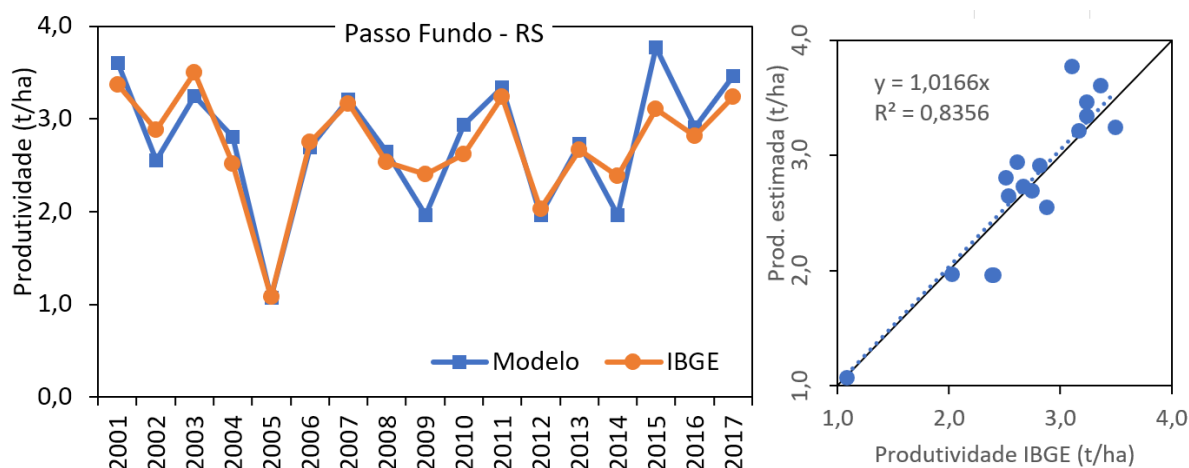


Figura 3

Figura 3: Séries de produtividade de soja entre 2001 e 2017 levantadas pelo IBGE, com tendência removida, e séries de produtividade estimadas pelo modelo de produtividade baseado em disponibilidade hídrica.

O modelo de produtividade apresentou desempenho satisfatório para este estudo de caso, nas localidades selecionadas e com erro médio de 220 kg/ha e coeficiente de determinação de 0,83 no município de Passo Fundo (figura 3).

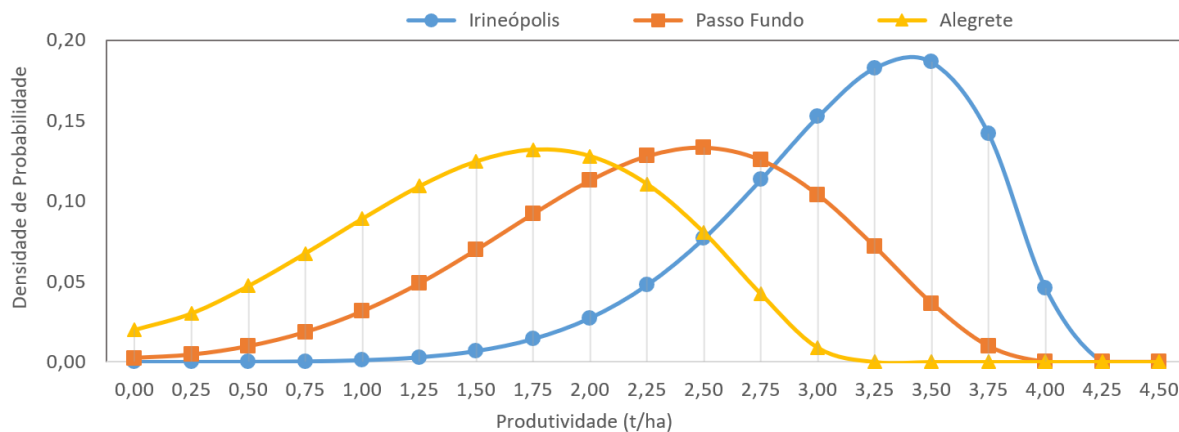


Figura 4

Figura 4: Distribuição Beta de frequência ajustada das séries de produtividade de soja entre 2001 e 2017, nos municípios de Irineópolis em Santa Catarina, Passo Fundo e Alegrete no Rio Grande do Sul.

Importante ressaltar, porém, que o modelo foi utilizado apenas para determinação dos ISNAs associados aos três níveis de produtividade, para posterior avaliação dos riscos ou probabilidades dos ISNAs correspondentes às produtividades esperadas pela ferramenta de risco hídrico (ISNA) do sistema MAIRA. Fixada a data de semeadura utilizada no exemplo, grupo de cultivar e solo, os demais fatores climáticos relevantes à produtividade se tornam secundários já que estes são relativamente constantes para um mesmo local e data.

Tanto as séries de produtividade de 2001 a 2011 como a distribuição de frequência ajustada (Figura 4) permitem identificar as claras diferenças existentes entre as localidades tanto em relação às médias como e, principalmente, com a variabilidade interanual, que é um conceito diretamente relacionado ao risco da cultura em cada município. Alegrete, por exemplo, apresenta uma curva de distribuição mais ampla, enquanto Irineópolis uma distribuição mais concentrada em torno da média.

Se admitirmos uma área de soja em cada uma das regiões, produzindo exatamente como a média do seu município, e tomando como exemplo uma produtividade esperada (P_e) de 1,0 toneladas por hectare, então, em cada município, a probabilidade ou risco de não se atingir esse valor seriam de 26% em Alegrete, 7% em Passo Fundo e 0,2% em Irineópolis (Quadro 1).

Nesse caso, para essa P_e de 1,9 toneladas por hectare, conforme as faixas de risco do ZARC hoje aceitas nos programas Proagro e PSR, de até 20%, 21 a 30% e 31 a 40%, e considerando uma cultivar de ciclo médio ou GMR 6.0 e um solo médio nos três municípios, então Alegrete seria classificado na faixa 2 de risco e Irineópolis e Passo Fundo na faixa 1. Ou seja, na prática, todos os municípios apresentariam épocas viáveis de plantio (quadro 1 e figura 5).

Por outro lado, ao elevar a P_e para 1,5 toneladas por hectare, os riscos aumentam para 50% em Alegrete, 19% em Passo Fundo e 1% em Irineópolis (Figura 4). Ou seja, Alegrete excederia o nível máximo de risco aceito e não poderia realizar contratos via Proagro ou PSR, nas condições do exemplo. Passo Fundo e Irineópolis ainda estariam na faixa 1 de baixo risco.

Município	Níveis de Produtividade Esperada (t/ha)				
	< 1,0	< 1,5	< 2,0	< 2,5	< 3,0
Irineópolis	0,2	1%	5%	18%	44%
Passo Fundo	7%	19%	39%	65%	88%
Alegrete	26%	50%	76%	95%	99%

Quadro 1: Probabilidades ajustadas de ocorrência de produtividades abaixo da esperada, nos municípios de Irineópolis em Santa Catarina, Passo Fundo e Alegrete no Rio Grande do Sul.

É interessante ressaltar que essa P_e corresponde ao ISNA utilizado até 2018 para caracterização de risco hídrico do ZARC da soja nessa região. E, portanto, até aquele ano o mapa do ZARC correspondia exatamente ao do P_e 1,5 t/ha da Figura 5. Em 2018, porém, o referencial de ISNA que era fixo ao longo da época de plantio foi atualizado para um ISNA variável corrigido pela variação do potencial produtivo em diferentes datas, resultando em um critério mais proporcional à produtividade e mais adequado à realidade da cultura naquele local.

Se for considerada uma P_e de 2,0 t/ha, então a probabilidade ou risco de não se atingir o valor esperado seriam de 76% em Alegrete, 39% em Passo Fundo e 5% em Irineópolis. Passo Fundo ainda estaria enquadrado, mas no limite, quase fora da faixa de mais alto risco (31 a 40%) e Irineópolis continuaria dentro da faixa de baixo risco, até 20%.

Uma abordagem alternativa ao ZARC de milho baseada na modelagem da produtividade da cultura foi proposta em PAIXÃO et al. (2016), indicando os locais e épocas de semeadura que resultassem em produtividade esperada média de pelo menos 60% da máxima produtividade obtida. Portanto, este tipo de indicador está baseado na média da produtividade verificada em cada local x época, e não incorpora o componente da variabilidade ou de uma análise de probabilidades de se alcançar determinada produtividade esperada (P_e).

Não se pode, à priori, definir se as diferenças entre os três municípios decorrem unicamente por fatores ambientais, como os edáficos e climáticos, ou se o nível tecnológico e de manejo utilizado em cada local já são condicionados pelo próprio potencial ambiental. Conforme analisado por SANGOI et al (2003), a adoção de um determinado sistema de produção deve contemplar aspectos técnicos e econômicos. Assim, além da avaliação do potencial produtivo, é importante averiguar a viabilidade econômica de cada sistema nos dois ambientes. Essa, em última instância, influenciará a escolha do nível de manejo e do tipo de cultivar mais adequado para cada situação. Portanto, é muito provável que a cultura da soja em cada local já seja a resultante de um processo gradual de adaptação e ajustes dos sistemas de produção local ao potencial do ambiente. Nem sempre isso é totalmente correto, já que é comum se observar em certas regiões, um “*yield gap*” acentuado, indicando que o manejo ainda pode ser ajustado para explorar melhor o potencial produtivo local.

No entanto, retomando o argumento de SANGOI et al (2003) de que os respectivos sistemas de produção já estariam adequados ao potencial ambiental, então faria mais sentido uma avaliação de riscos ajustada ao potencial desses locais, e não utilizar um referencial único para locais com potenciais diferentes. Em outras palavras, mesmo que um local apresente baixo potencial produtivo, se houver ali um sistema de produção sustentável, viável economicamente, deve-se buscar uma avaliação de risco baseada na frequência de safras em que a viabilidade econômica não se concretiza. Isso, obviamente, não depende da produção absoluta, mas da diferença entre receita e custo. Os dois casos, porém, podem ser identificados através da aplicação da modelagem dos resultados de produtividade em função do ambiente e manejo.

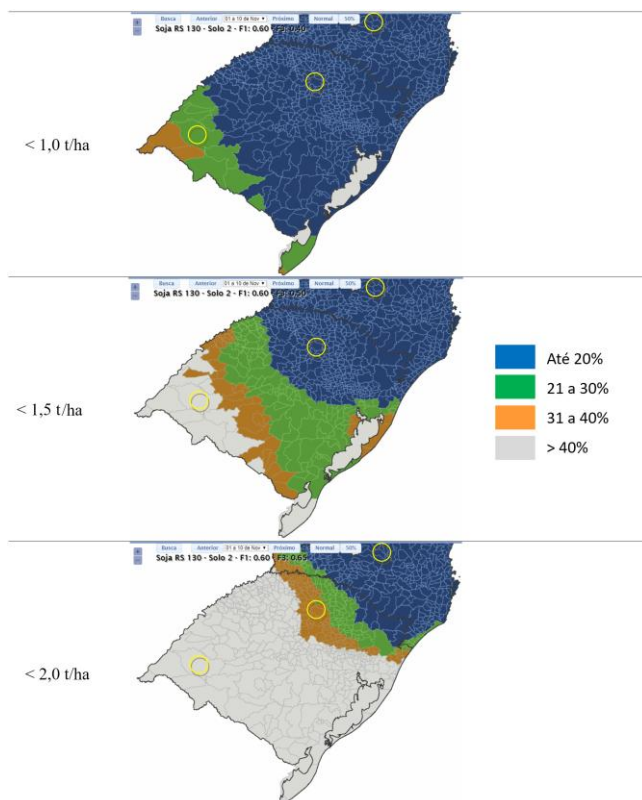


Figura 5

Figura 5: Zoneamento Agrícola de Risco da Produtividade Climática (ZARPro) da soja no extremo sul do Brasil com 3 níveis de produtividade esperada e classes de risco de até 20%, 21 a 30%, 31 a 40% e maior que 40%. Os municípios de Irineópolis em Santa Catarina, Passo Fundo e Alegrete no Rio Grande do Sul encontram-se destacados pelos círculos sobre o mapa.

Os estudos de zoneamento baseado em indicadores de produtividade como LI et al. (2016), PAIXÃO et al. (2016) e MULLER et al (2018), tem se baseado em estimativas especializadas das médias de produtividade potencial, atingível ou real. A análise da variabilidade temporal da produtividade e os riscos associados a diferentes níveis de produtividade esperada, conforme apresentamos neste estudo de caso ainda é uma abordagem pouco explorada.

Porém, um estudo recente no Brasil evoluiu nessa direção utilizando o SimulArroz (www.ufsm.br/simularroz/) (Rosa et al., 2015), um modelo ecofisiológico baseado em processos, para a avaliação da variabilidade e risco da produtividade climática. Nesse estudo, STEINMETZ et al. (2018), definiram um zoneamento agrícola de risco da produtividade climática (ZARCPPro) para o arroz irrigado, no Estado do Rio Grande do Sul, indicando os períodos de semeadura com menor risco climático em cada município do estado e para quatro grupos de cultivares. O risco é dado pela frequência ou probabilidade em que a produtividade estimada não supera 60% da produtividade de referência, que possui uma relação direta com a produtividade potencial da região. Os resultados foram agrupados de acordo com as faixas de risco de até 20%, 21 a 30%, 31 a 40% e maior que 40%, conforme utilizado pelo Proagro. Esses resultados, seguindo o mesmo formato do Zoneamento Agrícola de Risco Climático foram publicados pela Secretaria de Política Agrícola/MAPA, na Portaria nº 222, de 4 de setembro de 2018.

Por basear-se na estimativa de produtividade de grãos, a metodologia utilizada caracteriza um avanço em relação às utilizadas anteriormente para o zoneamento de risco climático, uma vez que o modelo empregado representa de forma mais detalhada e precisa as respostas da cultura às variações meteorológicas, principalmente quanto à duração do ciclo e ao potencial produtivo. Porém, vale ressaltar que esse ZARCPPro fixou um único referencial de produtividade para se manter dentro da estrutura atual do ZARC e ser publicado como tal, mas poderia ser ampliado considerando outras produtividades esperadas. Essa nova abordagem permite ajustar os retornos esperados, valores do prêmio do seguro, e as probabilidades de perdas às realidades das regiões produtoras ou aos diferentes produtores em uma mesma região. Isso

viabiliza o desenvolvimento de novos tipos de contrato de seguro rural e crédito, tanto governamentais quanto da iniciativa privada.

CONCLUSÃO / CONCLUSION

Os resultados demonstram que um Zoneamento de Risco para diferentes níveis de produtividade esperada permitiria um enquadramento mais preciso das diferentes regiões produtoras em categorias ou faixas de risco ao considerar uma maior amplitude de possibilidades de produtividade em de diferentes ambientes, sistemas de produção e níveis de manejo.

APOIO / ACKNOWLEDGMENT

Os autores agradecem à Embrapa e à Secretaria de política Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento pelo suporte financeiro ao desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS / REFERENCES

ARIAS, D.; MENDES, P.; ABEL, P. **Revisão rápida e integrada da gestão de riscos agropecuários no Brasil**. Brasília, DF: Banco Mundial, 2015. 76 p. il.

CHALLINOR, A.; WHEELER, T.; GARFORTH, C.; CRAUFURD, P.; KASSAM, A. Assessing the vulnerability of food crop systems in Africa to climate change. **Climatic Change**, v.83, p.381-399, 2007. DOI: 10.1007/s10584-007-9249-0.

GUIMARAES, M. F.; NOGUEIRA, J. M. A experiência norte-americana com o seguro agrícola: lições ao Brasil? **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 27-58, Mar. 2009.

HANSEN, J.W. Integrating seasonal climate prediction and agricultural models for insights into agricultural practice. **Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences**, v.360, p.2037-2047, 2005.

KNÖRZER, H.; LAWES, R.; ROBERTSON, M.; GRAEFF-HÖNNINGER, S.; CLAUPEIN, W. Evaluation and performance of the APSIM crop growth model for german winter wheat, maize and fieldpea varieties in monocropping and intercropping systems. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.9, p.698-717, 2011.

KUKAL, M.S.; IRMAK, S. Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great Plains Agricultural Production. **Scientific Reports**, v. 8, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-21848-2

Li, Y.; Wu, H.; Shi, Z. Farmland productivity and its application in spatial zoning of agricultural production: a case study in Zhejiang province, China. **Environmental Earth Sciences**. v. 75, 2016. 10.1007/s12665-015-4887-4.

MONTEIRO, J.E.B.A. [org.] **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.: i

MONTEIRO, J.E.B.A.; ASSAD, E.D.; SENTELHAS, P. C.; AZEVEDO, L.C. Modeling of corn yield in Brazil as a function of meteorological conditions and technological level. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 52, n. 3, p. 137-148, 2017.

MULLER, A.S.; DOURADO NETO, D.; REICHARDT, K. et al. Soybean and Maize Zoning in West African Economic and Monetary Union—A simulation Approach. **Journal of Agricultural Science**; v. 10, n. 11, 2018.

PAIXÃO, J. S.; ANDRADE, C. L. T.; GARCIA Y GARCIA, A.; AMARAL, T. A.; STEIDLE NETO, A. J.; MARIN, F. R. An alternative approach to the actual Brazilian maize crop zoning. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.13, n.3, p. 347-363, 2014.

PROAGRO: **Programa de Garantia da Atividade Agropecuária – relatório circunstanciado 1996 a 1998**. Brasília, DF: Banco Central do Brasil, 1998.

RAY, D.K.; GERBER, J.S.; MACDONALD, G.K.; WEST, P.C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, v. 6, n. 5989, 2015. doi:10.1038/ncomms6989

REIDSMA, P.; EWERT, F.; BOOGAARD, H.; DIEPEN, K.van. Regional crop modelling in Europe: the impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields. **Agricultural Systems**, v.100, p.51-60, 2009. DOI: 10.1016/j.agsy.2008.12.009.

ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; CARLI, C. De.; RIBAS, G. G.; MARCHESAN, E. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 12, p. 1-9, dez. 2015.

SANGOI, L. et al . Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria , v. 33, n. 6, p. 1021-1029, Dec. 2003. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000600005>

SANTOS, W.G.; MARTINS, J.I.F. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático e sua contribuição à agricultura brasileira. **Política Agrícola**, Ano XXV, n. 3, 2016.

STEINMETZ, S.; CUADRA, S.V.; ALMEIDA, I.R. ET AL. Subtropical irrigated rice sowing periods based on simulated grain yield. **Agrometeoros**, v. 26, n.2, 2018

SUPIT, I.; DIEPEN, C.A.; DE WIT, A.J.W. et al. Recent changes in the climatic yield potential of various crops in Europe. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 9, p. 683-694, November 2010,

ZHAO, G.; BRYAN, B.A.; SONG, X. Sensitivity and uncertainty analysis of the APSIM-wheat model: interactions between cultivar, environmental, and management parameters. **Ecological Modeling**, v.279, p.1-11, 2014. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.02.003.