

## Produtividade potencial e atingível da soja no oeste do Paraná: quantificando os componentes do *yield gap* da cultura

## Potential and attainable soybean productivity in western Paraná: quantifying the components of the crop's yield gap

Tharsos Hister Giovanella<sup>1</sup>, Fabrício Correia de Oliveira<sup>2</sup>

### RESUMO

A determinação dos potenciais produtivos das culturas permite identificar o impacto do clima e do manejo na produção agrícola, contribuindo com melhorias nas práticas de manejo e planejamento agrícola. Este trabalho teve como objetivo determinar a Produtividade Potencial (PP), a Produtividade Atingível (PA) e o *Yield Gap* (YG) da cultura da soja em diferentes datas de semeadura, quantificando as perdas devido ao déficit hídrico (YGW) e ao manejo dos cultivos (YGM). Foi utilizado o Modelo de Zona Agroecológica da FAO para determinar a PP, PA e YGW da cultura da soja em 7 municípios da região oeste do Paraná, com seis datas diferentes de semeadura. As PP e PA foram comparadas com dados de produtividade observados na região, a fim de quantificar o YGM. As melhores datas de semeadura para a cultura da soja foram no mês de novembro. O YGW encontrado se manteve acima de 50% em todos os municípios, indicando grande perda de produtividade devido ao clima. Isso reforça a importância no planejamento da semeadura da cultura. O YGM médio da região foi de 20% da PA, demonstrando que incrementos em práticas de manejo da cultura podem proporcionar expressivos aumentos em produtividade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Data de semeadura; Déficit Hídrico; Modelagem.

### ABSTRACT

The determination of crop productivity allows us to identify the impact of climate and management on agricultural production, contributing to improvements in management practices and agricultural planning. This study aimed to determine Potential Productivity (PP), Achievable Productivity (PA), and Yield Gap (YG) of soybean crops at different sowing dates, quantifying losses due to water deficit (YGW) and crop management (YGM). The FAO Agroecological Zone Model was used to determine PP, PA, and YGW for soybean crops in seven municipalities in the western region of Paraná, with six different sowing dates. PP and PA were compared with observed productivity data in the region to quantify YGM. The best sowing dates for soybean crops were in November. The YGW remained above 50% in all municipalities, indicating significant productivity loss due to the climate. This reinforces the importance of crop planning. The average YGM for the region was 20% of PA, demonstrating that improvements in crop management practices can lead to significant increases in productivity.

**KEYWORDS:** Sowing date; water deficit; modeling.

### INTRODUÇÃO

A produtividade das culturas agrícolas sofre influência de diversos fatores bióticos e abióticos, podendo ser limitada pela falta ou excesso destes elementos. Existem diversos parâmetros para expressar o rendimento das culturas, esses podem ser expressos em termos de produtividade (FARIAS *et al.*, 2001). Os principais tipos são a Produtividade Potencial (PP) e a Produtividade Atingível (PA) (SENTELHAS *et al.*, 2015a). A PP é a produção máxima de uma cultura sem restrições hídricas ou nutricionais e sem ataque de pragas e doenças. Por outro lado, a PA é a máxima produtividade alcançada,

<sup>1</sup> Bolsista do CNPq. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Santa Helena, Paraná, Brasil. E-mail: tharsoshg@gmail.com. ID Lattes: 6334149001534414

<sup>2</sup> Professor Fabrício Correia de Oliveira. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Santa Helena, Paraná, Brasil. E-mail: fcoliveira@utfpr.edu.br. ID Lattes: 9528194038713972.

sendo limitada pelos fatores abióticos, como radiação, temperatura e restrição hídrica, com o manejo ideal da cultura. Além disso, a relação entre a PA e a PP é um índice que representa a quebra de produtividade, sendo chamado de *Yield Gap* (YG) (SENTELHAS *et al.*, 2015b). A quantificação das perdas de rendimento permite identificar os fatores que levam a perda de produtividade, conseqüentemente, surgem possibilidades para minimizar os processos que causam a essas reduções (FARIAS *et al.*, 2001).

O YG pode ser dividido de acordo com a origem, podendo ser por manejo (YGM), que quantifica as perdas de produtividade relacionadas ao manejo da cultura durante seu desenvolvimento, como adubação, controle fitossanitário e tecnologia empregada, ou climático, (YGW), que quantifica as perdas decorrentes do déficit hídrico que ocorreu na lavoura durante o ciclo da cultura.

A determinação de PP, PA e YG contribui com técnicos e produtores em suas tomadas de decisão, principalmente para otimizar ainda mais as práticas de manejo da irrigação e das culturas (SENTELHAS *et al.*, 2015b). Existem diferentes modelos agrometeorológicos baseados em parâmetros meteorológicos e das culturas que visam estimar PP e PA para diferentes espécies vegetais. Entre esses modelos, pode ser citado o Modelo de Zona Agroecológica – FAO (MZA-FAO), baseado em variáveis meteorológicas e nas características da planta para determinar PP e PA (BATTISTI; SENTELHAS, 2015).

O MZA-FAO é um modelo amplamente utilizado por ser mais simples e utilizar menos dados de entrada que os demais métodos. Assim, considerando a finalidade da aplicação do modelo, o MZA-FAO tem apresentado bons resultados em uma vasta área de aplicação, principalmente no planejamento agrícola e no processo de realização do zoneamento agrícola de risco climático. Além disso, este modelo pode ter seus coeficientes calibrados regionalmente ou de acordo com a cultura de interesse, melhorando seu desempenho nas estimativas (BATTISTI; SENTELHAS, 2015).

Visando contribuir com o aumento da produtividade dos cultivos de maneira dinâmica e sustentável na região oeste do Paraná, este trabalho tem como objetivo determinar a PP, PA e YG da cultura da soja em diferentes datas de semeadura, quantificando as perdas devido ao déficit hídrico e ao manejo dos cultivos.

## METODOLOGIA

O trabalho foi realizado considerando a região oeste do estado do Paraná. Inicialmente, foram selecionadas duas estações meteorológicas da rede de estações automáticas do INMET e mais cinco estações da rede de estações meteorológicas da rede de estações automáticas do SIMEPAR. A área de estudo e as respectivas estações estão representadas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Localização e elevação das estações utilizadas no trabalho.**

| Estação             | Código   | Latitude (°) | Longitude (°) | Altitude (m) | Entidade |
|---------------------|----------|--------------|---------------|--------------|----------|
| Foz do Iguaçu       | A846     | -25,60       | -54,48        | 235,09       | INMET    |
| Mal. Cândido Rondon | A820     | -24,53       | -54,02        | 392,07       | INMET    |
| Assis Chateaubriand | 24235332 | -24,40       | -53,51        | 440,00       | SIMEPAR  |
| Cascavel            | 2453064  | -23,66       | -52,60        | 781,00       | SIMEPAR  |
| Guaíra              | 2454029  | -24,31       | -54,15        | 220,00       | SIMEPAR  |
| Santa Helena        | 2454030  | -24,78       | -54,24        | 258,00       | SIMEPAR  |
| Toledo              | 2453065  | -24,73       | -53,74        | 550,00       | SIMEPAR  |

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).



Foram selecionados dados meteorológicos das estações do INMET e SIMEPAR considerando uma série de 10 anos de dados horários, compreendendo o período de 01/01/2011 a 31/12/2020. Os elementos meteorológicos utilizados foram: temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), radiação líquida (Rn), umidade relativa do ar (RH) precipitação e velocidade do vento (U2). Também foi determinada a irradiância no topo da atmosfera (Qo), considerando a localização e os dados dos elementos meteorológicos.

Os dados retirados das estações do INMET e SIMEPAR foram utilizados para determinar a evapotranspiração de referência (ETo) por meio da equação de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998).

Então, foram realizadas as estimativas de PP e PA por meio do Modelo de Zona Agroecológica - FAO (MZA-FAO) (DOORENBOS; KASSAM, 1977). As estimativas foram realizadas considerando 6 datas de semeadura: 25/09, 05/10, 15/10, 25/10, 05/11 e 15/11. O ciclo da soja utilizado foi de 120 dias. Os dados utilizados no MZA-FAO foram Tmax, Tmin, ETo e precipitação das estações meteorológicas automáticas. Os valores do coeficiente Ky utilizados no modelo foram previamente calibrados, por fase fenológica da cultura, sendo estes: 0,0, na fase vegetativa, 0,49 na floração, 0,52 no enchimento de grãos e 0,3 na maturação.

Os dados de produtividade observados (PR) foram retirados do banco de dados da Secretaria de Agricultura do Paraná, das séries históricas de produção de grãos. Os dados de produtividade correspondem à média de produtividade de cada município no período de 01/01/2011 até 31/12/2020.

Para a determinação do YGM foi feita a média de PA entre as seis datas de semeadura e subtraída da PR da mesma safra. Da mesma forma, o YGW foi determinado por meio da diferença entre PA e PP, utilizando as médias das seis datas de semeadura. Foi realizado o cálculo da média de PP, PA, YGM e YGW para cada localidade no período de dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

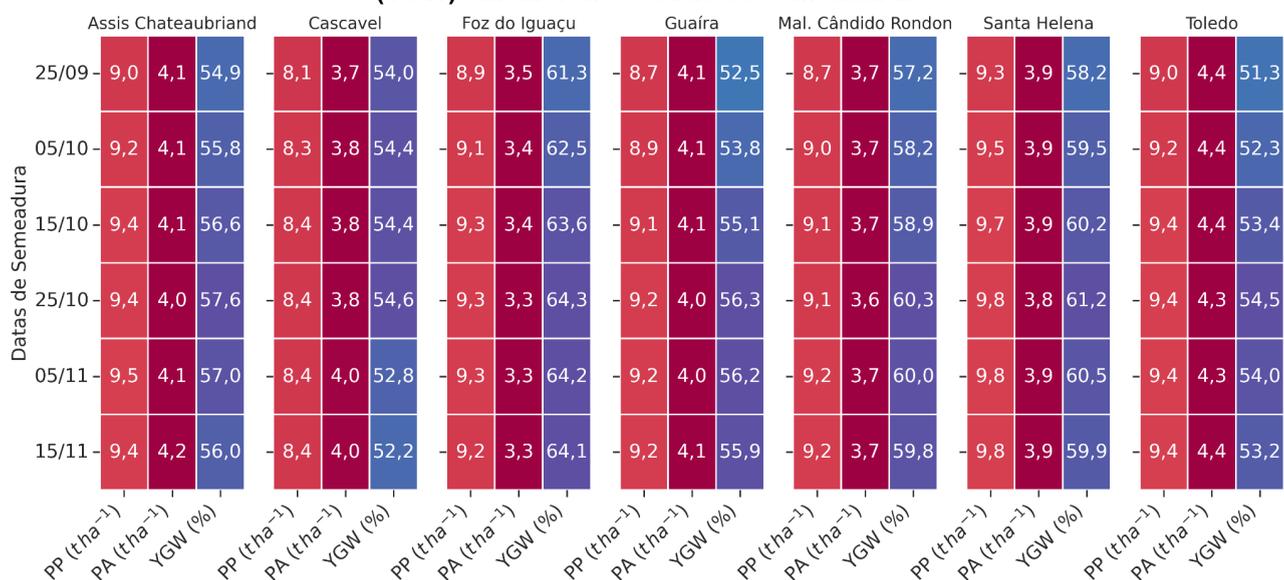
Os valores de PP variaram de  $8,1 \pm 0,42$  a  $9,8 \pm 0,42$  t ha<sup>-1</sup>, com média de  $9,1 \pm 0,42$  t ha<sup>-1</sup>. O maior valor de PP foi observado no município de Santa Helena na data 05/11 e o menor foi em Cascavel na data 25/09. Para a PA, os valores variaram entre  $3,3 \pm 0,3$  e  $4,4 \pm 0,3$  t ha<sup>-1</sup>, com média de  $3,9 \pm 0,3$  t ha<sup>-1</sup>. O maior valor de PA foi observado em Toledo e o menor em Foz do Iguaçu, ambos na data de 15/11. O restante dos valores de PP e PA se mantiveram bastante próximos, com pouca variação dentro de cada localidade (Figura 1).

O valor de PP aumentou conforme a data de semeadura, sendo maior nas datas mais tardias. Isso ocorre devido ao aumento da radiação solar disponível, do fotoperíodo e da temperatura do ar, que proporcionam maior fotossíntese bruta da planta. Dessa forma, ocorre maior acúmulo de massa e conseqüentemente, maior produtividade (NITSCHKE *et al.*, 2019; SENTELHAS *et al.*, 2015a). A PA variou entre as datas de semeadura, na maioria das localidades a PA foi maior em semeaduras tardias. Ao mesmo tempo, o YG tendeu a ser menor nas semeaduras em setembro, devido ao potencial produtivo ser menor nessas datas, o que resulta em menores perdas de produtividade.

A PA é determinada pela PP penalizada pelo déficit hídrico. Portanto, as variações na PA estão relacionadas prioritariamente a precipitação que ocorre durante o ciclo da cultura, a quantidade de dias chuvosos ou secos, armazenamento de água do solo,

ocorrência de veranicos e estiagens (BATTISTI; SENTELHAS, 2015). Assim, as perdas por déficit hídrico são chamadas de YGW.

**Figura 1 - Produtividade Potencial (PP), Produtividade Atingível (PA) e Yield Gap Climático (YGW) em diferentes datas de semeadura.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Em todos os locais estudados, o YGW se manteve acima dos 50%. O município com a maior média de YGW foi Foz do Iguaçu, indicando maior ocorrência de déficit hídrico na cidade em relação às demais. Na localidade de Cascavel, apesar da PP ser inferior, os valores de YGW foram os menores entre os avaliados. A precipitação anual média em Cascavel é 200 mm superior do que em Foz do Iguaçu, reduzindo a ocorrência de déficit hídrico e proporcionando maior PA.

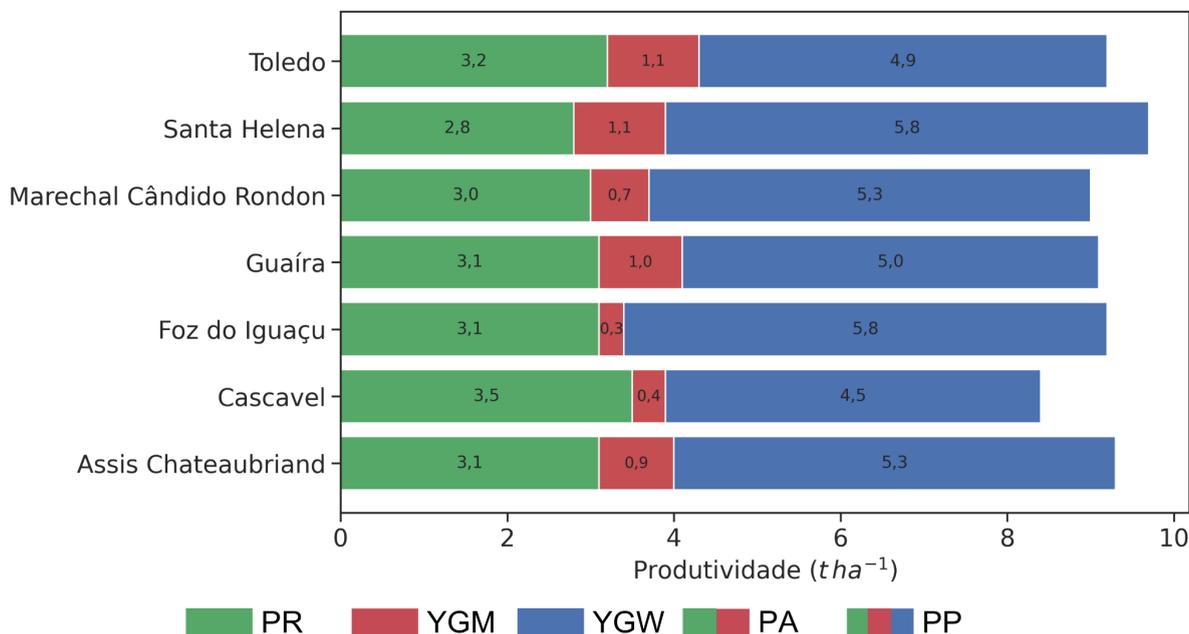
Realizar a semeadura tardia da soja proporciona menor estresse hídrico durante as fases críticas da cultura (FARIAS *et al.*, 2001). Entretanto, na região oeste do Paraná, a janela de semeadura é geralmente realizada entre setembro e outubro, com uso de cultivares precoces. Essa preferência decorre do aproveitamento das áreas para o plantio de milho de segunda safra em sucessão à soja. A semeadura antecipada da soja proporciona uma melhor janela de semeadura para o milho (JOHANN *et al.*, 2016).

Do ponto de vista climático, as melhores datas de semeaduras foram as do mês de novembro. Entretanto, além de prejudicar a semeadura do milho de segunda safra, existe a possibilidade de maior ocorrência de doenças favorecidas pelo clima (HENCK, 2022).

A PR dos municípios avaliados variou de  $2,8 \pm 0,21$  t ha<sup>-1</sup> a  $3,5 \pm 0,21$  t ha<sup>-1</sup>, com média de  $3,1 \pm 0,21$  t ha<sup>-1</sup>. Entre as localidades avaliadas, o município de Cascavel se destacou, com a maior média de PR alcançada, enquanto a menor foi observada em Santa Helena. O maior valor de PA foi observado em Toledo e o menor em Foz do Iguaçu. O YGW se manteve acima de  $4,5 \pm 0,5$  t ha<sup>-1</sup> em todos os municípios estudados. O YGM variou de  $0,3 \pm 0,3$  t ha<sup>-1</sup> a  $1,1 \pm 0,3$  t ha<sup>-1</sup>, com média de  $0,78 \pm 0,3$  t ha<sup>-1</sup> (Figura 2).

Nos municípios de Cascavel e Foz do Iguaçu, o YGM se manteve muito baixo, com a PR muito próxima de atingir a PA. Isso demonstra que o manejo dos produtores nesses municípios tem sido adequado, já que as perdas por manejo da lavoura tem representado apenas 9,0% e 6,1%, respectivamente, do que pode ser atingido sem irrigação.

Figura 2 - Produtividade Potencial (PP), Produtividade Atingível (PA), Produtividade Real (PR), Yield Gap Climático (YGW) e Yield Gap Manejo (YGM).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As localidades de Assis Chateaubriand e Marechal Cândido Rondon apresentaram YGM próximo à média regional. Provavelmente, os produtores desta região apresentam nível tecnológico e de manejo inferior aos produtores de Cascavel e Foz do Iguaçu, porém superior às demais cidades avaliadas.

Os municípios de Guaíra, Santa Helena e Toledo apresentaram os maiores valores de YGM, com 21,8%, 22,9% e 29,5%, respectivamente. O YGM está relacionado com a fertilidade do solo, fitossanitário, data e uniformidade de semeadura, e as tomadas de decisões dos produtores. Visando alcançar maiores produtividades, as lacunas de produtividade decorrentes do manejo podem ser mitigadas por meio da adoção de práticas e tecnologias adequadas à sua região produtiva (SENTELHAS *et al.*, 2015a). Algumas que podem ser aplicadas são: utilização de cultivares com resistência à seca para os municípios com maiores valores de YGW, como Santa Helena e Guaíra. Implantação de práticas para melhorar o armazenamento de água e a fertilidade do solo. Realizar a semeadura de acordo com a data mais favorável para a cultivar escolhida, buscando considerar parâmetros do clima e das práticas culturais.

Considerando a PP para a região (média de 9,1 t ha<sup>-1</sup>), uma das alternativas para contornar o YGW é a utilização da irrigação suplementar. Sem a restrição pelo déficit hídrico, os valores de produtividade seriam mais próximos da PP, limitados somente pelo manejo da lavoura.

O presente trabalho demonstrou que existe potencial para aumento da média de produtividade dos municípios da região oeste do Paraná, por meio do emprego de melhores práticas de manejo e tecnologia. A média de PR dos locais avaliados é de 3,1 t ha<sup>-1</sup>, que em caso de YGM reduzido para apenas 10% da PA, a média atingiria 3,8 t ha<sup>-1</sup>. Representando um incremento de 11,6 sacas (0,7 t ha<sup>-1</sup>) no rendimento.

## CONCLUSÃO

As melhores datas de semeadura para a cultura da soja na região oeste do Paraná foram as do mês de novembro. O YGW encontrado se manteve acima de 50% em todos os municípios, indicando grande perda de produtividade devido ao clima. Isso, reforça a importância no planejamento da semeadura da cultura. O YGM médio da região foi de 20% da PA, demonstrando que incrementos em práticas de manejo da cultura podem proporcionar expressivos aumentos em produtividade.

## Agradecimentos

Agradecemos ao SIMEPAR por fornecer os dados meteorológicos. Também agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio financeiro.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements** Rome: FAO, 1998.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Drought Tolerance of Brazilian Soybean Cultivars Simulated By a Simple Agrometeorological Yield Model. **Experimental Agriculture**, v. 51, n. 2, p. 285-298, 2015.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.; **Yield response to water**. FAO, Rome, Italy, 1979.
- FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 2001, n. 3, p. 415-421, 2001.
- HENCK, A. U. **RISCO CLIMÁTICO PARA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA NO BRASIL**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campo Largo, 2022.
- JOHANN, J. A.; BECKER, W. R.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E. USO DE IMAGENS DO SENSOR ORBITAL MODIS NA ESTIMAÇÃO DE DATAS DO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA PARA O ESTADO DO PARANÁ – BRASIL. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36, n. 1, p. 126 - 142, 2016.
- NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. DA S.; PINTO, L. F. D. **Atlas do Estado do Paraná**, 2019.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil - Magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 135, n. , p. 1394- 1411, 2015a.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; MONTEIRO, L. A.; DUARTE, Y. C. N.; VISSÉS, F. A. Yield gap: concepts, definitions and examples (in portuguese). **Informações Agrônomicas (BRASIL)**, n. 155, p. 9-12, 2015b.