

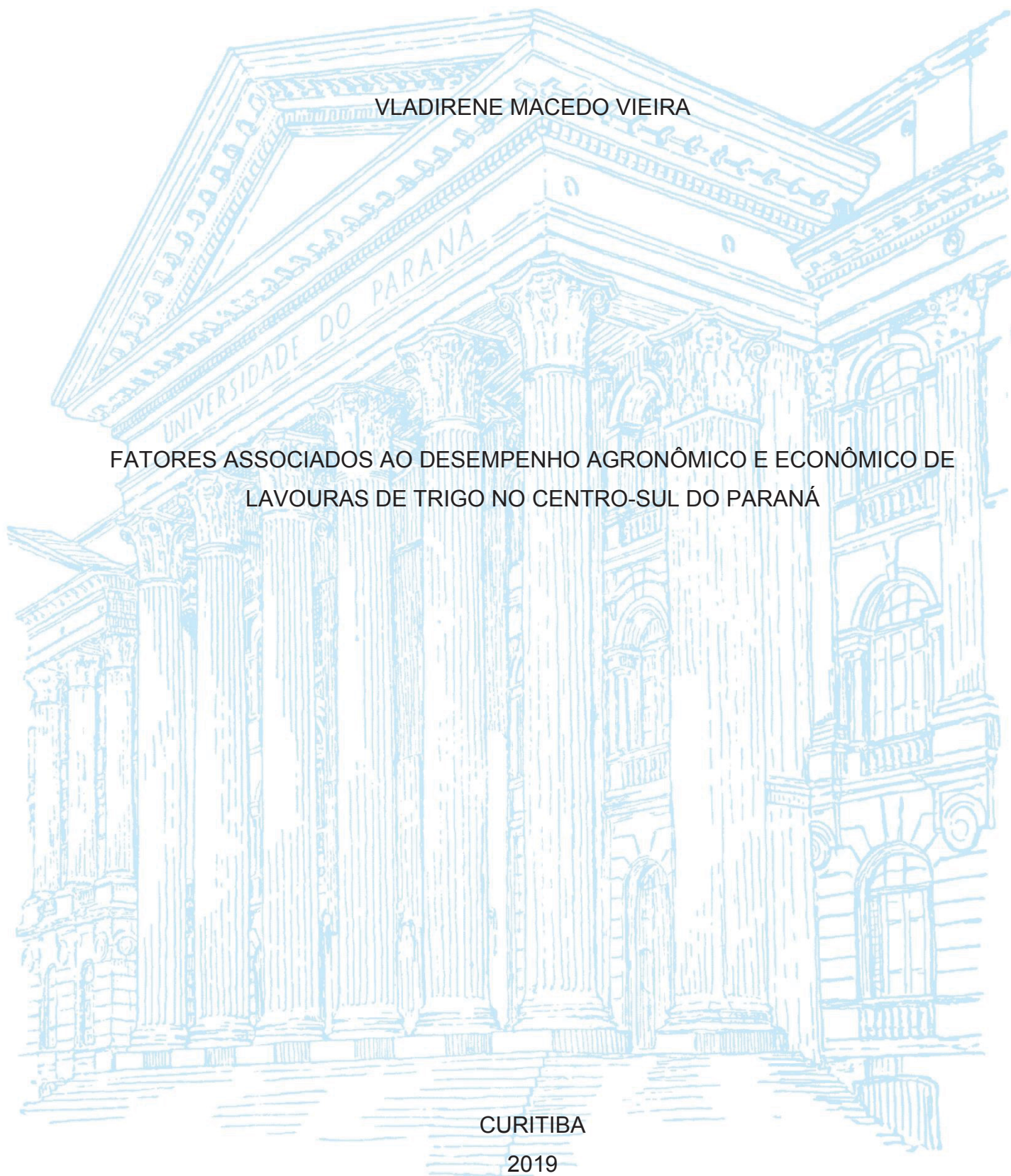
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VLADIRENE MACEDO VIEIRA

FATORES ASSOCIADOS AO DESEMPENHO AGRONÔMICO E ECONÔMICO DE  
LAVOURAS DE TRIGO NO CENTRO-SUL DO PARANÁ

CURITIBA

2019



VLADIRENE MACEDO VIEIRA

FATORES ASSOCIADOS AO DESEMPENHO AGRONÔMICO E ECONÔMICO DE  
LAVOURAS DE TRIGO NO CENTRO-SUL DO PARANÁ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto de Oliveira  
Co-orientador: Prof. Dr. Edelclaiton Daros

CURITIBA

2019

V658f Vieira, Vladirene Macedo  
Fatores associados ao desempenho agrônomo e econômico de  
lavouras de trigo no Centro-Sul do Paraná / Vladirene Macedo  
Vieira. - Curitiba, 2019.  
92 p.: il.,

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de  
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia -  
(Produção Vegetal).

Orientador: Ricardo Augusto De Oliveira  
Coorientador: Edelclaiton Daros

1. Trigo - cultivo - aspectos econômicos - Paraná. 2. Trigo -  
rendimento - Paraná. 3. Economia agrícola. 4. Nitrogênio na  
agricultura. I. Oliveira, Ricardo Augusto De (Orientador) . II. Daros,  
Edelclaiton (Coorientador). III. Título. IV. Universidade Federal do  
Paraná.

CDU 633.11(816.2)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA  
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

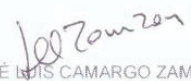
## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **VLADIRENE MACEDO VIEIRA** intitulada: **FATORES ASSOCIADOS AO DESEMPENHO AGRÔNOMICO E ECONÔMICO DE LAVOURAS DE TRIGO NO CENTRO-SUL DO PARANÁ**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

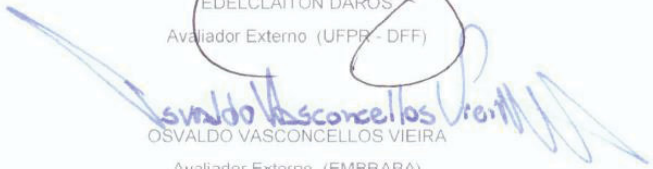
A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Fevereiro de 2019.

  
RICARDO AUGUSTO DE OLIVEIRA  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
JOSÉ LUIS CAMARGO ZAMBON  
Avaliador Externo (UFPR)

  
EDELCLAITON DAROS  
Avaliador Externo (UFPR - DFF)

  
OSVALDO VASCONCELLOS VIEIRA  
Avaliador Externo (EMBRAPA)

*Dedico a todos que contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Cooperativa Agrária Agroindustrial e à Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária pela disponibilização das informações e pelo apoio, e às suas equipes de pesquisadores, agrônomos e colaboradores.

Aos agricultores associados da Cooperativa Agrária Agroindustrial pela disponibilização de seus cadernos de campo.

Aos professores orientadores Ricardo Augusto de Oliveira e Edelclaiton Daros pela oportunidade, confiança e ensinamentos.

Aos colegas de curso pela amizade, pelo companheirismo, e pelo compartilhamento de conhecimento, especialmente Renata Grunnenvaldt, que me recebeu em sua casa muitas vezes, e que tornou o Programa de Pós-Graduação (PPG) em Agronomia um local familiar desde minha chegada.

Aos todos os funcionários do PPG, especialmente Lucimara, que sempre esteve disponível para o atendimento de minhas demandas.

Aos amigos Osvaldo, Adão, Claudia, Jorge, Giovani, Álvaro, Ives, Lisandra, Flávia, Ethieli e Hector, os quais contribuíram para concepção e desenvolvimento do trabalho, sempre com apoio, incentivo e boas ideias.

Ao amigo Márcio Nicolau pela disposição e paciência nos “ensinamentos estatísticos”.

À minha família: Alvim, Ireni e Jair Rodrigo, pelo carinho e compreensão durante mais essa jornada.

*Comece onde estiver, use o que tiver, faça o que puder.*

*Arthur Ashe*

## RESUMO

A diversidade do manejo adotado e do perfil de custos de produção nas lavouras de trigo podem resultar em diferenças no rendimento de grãos e no desempenho econômico da cultura, o que permite a identificação dos fatores de maior contribuição para sua variabilidade. Os objetivos do estudo foram: identificar os principais fatores de manejo associados a variabilidade do rendimento de grãos, e os principais fatores relacionados a variabilidade do desempenho econômico, em lavouras de trigo no Centro-Sul do Paraná. O estudo baseou-se em dados de lavouras conduzidas nas safras 2013, 2014 e 2015. As variáveis analisadas no estudo de manejo foram: adubação na semeadura, nitrogênio em cobertura, nitrogênio total, densidade de semeadura, uso de redutor de crescimento, cultura antecessora no inverno, cultura antecessora no verão e rendimento de grãos, enquanto as analisadas no estudo do desempenho econômico foram: custo com fertilizantes, custo com herbicidas, custo com inseticidas, custo com fungicidas, custo com sementes, rendimento de grãos e margem bruta simplificada. Os dados foram submetidos a análise de componentes principais, seguido da análise de agrupamento. A variabilidade do rendimento de grãos não foi explicada pelas variáveis de manejo em 2013, já em 2014 e 2015 parte dela foi correlacionada com adubação na semeadura, com adubação nitrogenada e com densidade de semeadura. Em 2013 a variabilidade da margem bruta simplificada foi relacionada principalmente ao rendimento de grãos de trigo, enquanto em 2014 ela foi associada ao rendimento de grãos e ao custo com fungicidas, e em 2015 ao custo com sementes e ao rendimento de grãos. A variabilidade do rendimento de grãos em lavouras de trigo no Centro-Sul do Paraná está potencialmente associada a adubação na semeadura, a adubação nitrogenada e a densidade de semeadura. Os fatores de manejo da cultura do trigo correlacionados com a variabilidade da produtividade podem ser diferentes entre anos, e provavelmente estão associados às condições ambientais vigentes. O maior investimento em fungicidas pode aumentar o desempenho econômico de lavouras de trigo no Centro-Sul do Paraná, enquanto o maior custo com sementes pode diminuí-lo. A contribuição de cada um dos itens de custo analisados para variabilidade do desempenho econômico pode ser diferente em cada safra, provavelmente devido as variações do perfil de custos e da produtividade.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L.. Manejo. Rendimento de grãos. Potencial de rendimento. Margem bruta.



## ABSTRACT

The diversity of crop management and the cost profile of wheat commercial fields can result in differences in grain yield and on the economic performance of wheat, which allows the identification of the factors with the greatest contribution in its variability. The objectives of this study were to identify in wheat commercial fields in the Southern Region of Paraná State: the main management factors associated to variability of wheat grain yield; and the main factors related to the variability of its economic performance. The study was based on data from commercial fields cultivated in 2013, 2014 and 2015. The variables evaluated on the study about management were: starter fertilization, nitrogen side dressing, nitrogen total, sowing density, previous winter crop, previous summer crop, use of plant growth regulator and grain yield; while in the study about economic performance were: fertilizer costs; herbicide costs; insecticide costs; fungicide costs; seed costs; grain yield; and simplified gross margin. These data were subjected to Principal Components Analysis followed by Cluster Analysis. The wheat grain yield variability was not elucidated by crop management variables in 2013, while in 2014 and 2015 part of it was correlated to starter nitrogen, phosphorus and potassium fertilization doses, nitrogen fertilization and sowing density. The variability of simplified gross margin found in 2013 was mainly related to grain yield, while in 2014 it was related to grain yield and fungicide costs, and in 2015 it was associated with seed costs and grain yield. The wheat grain yield variability in commercial fields in the Southern Region of Paraná State is potentially associated with starter fertilization, nitrogen fertilization and sowing density. The crop management factors correlated with wheat grain yield variability could be different amid years, and they are probably associated with the environmental conditions in force. A greater investment in fungicides can increase wheat economic performance in the Southern Region of Paraná State, while high seed expenses can turn it lower. The contribution of each item of costs analyzed to the variability of the economic performance may be different in each cropping season, probably due to variations on the costs profile and grain yield.

Keywords: *Triticum aestivum* L.. Crop management. Grain yield. Yield potential. Gross margin.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I – CROP MANAGEMENT AND WHEAT GRAIN YIELD VARIABILITY IN COMMERCIAL FIELDS

TABLE 1 - MEAN VALUES AND STANDARD DEVIATION OF WHEAT CROP MANAGEMENT VARIABLES, GRAIN YIELD IN COMMERCIAL FIELDS AND YIELD POTENTIAL IN SOUTHERN PARANÁ IN 2013, 2014 AND 2015.....	56
TABLE 2 - CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN VARIABLES – CROP MANAGEMENT VARIABLES AND WHEAT GRAIN YIELD – AND PRINCIPAL COMPONENTS (PC) IN 2013, 2014 AND 2015. ....	57
TABLE 3 - CHARACTERIZATION OF WHEAT COMMERCIAL FIELD GROUPS ACCORDING TO MANAGEMENT VARIABLES AND GRAIN YIELD IN 2013, 2014 AND 2015.....	58

### CAPÍTULO II – ECONOMIC PERFORMANCE OF WHEAT COMMERCIAL FIELDS

TABLE 4 - MEANS AND STANDARD DEVIATIONS (SD) OF FIELD ESTABLISHMENT AND PLANT PROTECTION COSTS (FEPPC), SIMPLIFIED GROSS MARGIN (SGM), AND GRAIN YIELD IN WHEAT COMMERCIAL FIELDS AND YIELD POTENTIAL IN 2013, 2014, AND 2015. ....	65
TABLE 5 - CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN VARIABLES – FIELD ESTABLISHMENT AND PLANT PROTECTION COSTS, SIMPLIFIED GROSS MARGIN (SGM), AND WHEAT GRAIN YIELD – AND PRINCIPAL COMPONENTS (PC) IN 2013, 2014, AND 2015. ....	66
TABLE 6 - CHARACTERIZATION OF WHEAT COMMERCIAL FIELD GROUPS ACCORDING TO FIELD ESTABLISHMENT AND PLANT PROTECTION COSTS, SIMPLIFIED GROSS MARGIN (SGM) AND GRAIN YIELD IN 2013, 2014 AND 2015.....	68

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I – CROP MANAGEMENT AND WHEAT GRAIN YIELD VARIABILITY IN COMMERCIAL FIELDS

- FIGURE 1 - RAINFALL (A) AND AVERAGE TEMPERATURE (B) REGISTERED DURING THE WHEAT CYCLE IN 2013, 2014 AND 2015, AND HISTORICAL AVERAGE (1976-2015).....60
- FIGURE 2 - DENDROGRAM OF WHEAT COMMERCIAL FIELDS DISTRIBUTION ACCORDING TO MANAGEMENT VARIABLES AND GRAIN YIELD IN 2013, 2014 AND 2015, USING EUCLIDIAN DISTANCE AND WARD'S METHOD.....59

### CAPÍTULO II – ECONOMIC PERFORMANCE OF WHEAT COMMERCIAL FIELDS

- FIGURE 3 - RAINFALL AND AVERAGE TEMPERATURE DURING THE WHEAT CYCLE IN 2013, 2014, AND 2015, AND HISTORICAL AVERAGE (1976-2015).....69

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
2.1	TRIGO NO BRASIL .....	14
2.2	POTENCIAL DE RENDIMENTO E LACUNAS DE RENDIMENTO .....	17
2.3	MANEJO DA CULTURA DO TRIGO .....	24
2.4	DESEMPENHO ECONÔMICO .....	26
2.5	ABORDAGENS DE ANÁLISE DE DADOS .....	30
2.6	CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO .....	32
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO I – CROP MANAGEMENT AND WHEAT GRAIN YIELD VARIABILITY IN COMMERCIAL FIELDS IN THE SOUTHERN REGION OF PARANÁ STATE</b> .....	<b>44</b>
4.1	ABSTRACT .....	44
4.2	RESUMO .....	44
4.3	INTRODUCTION .....	45
4.4	MATERIAL AND METHODS.....	47
4.5	RESULTS AND DISCUSSION.....	48
4.6	CONCLUSIONS.....	53
4.7	REFERENCES .....	53
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO II – FACTORS RELATED TO THE ECONOMIC PERFORMANCE OF WHEAT COMMERCIAL FIELDS IN THE SOUTHERN REGION OF PARANÁ STATE</b> .....	<b>61</b>
5.1	ABSTRACT.....	61
5.2	INTRODUCTION .....	61
5.3	MATERIAL AND METHODS.....	63
5.4	RESULTS AND DISCUSSION.....	64
5.5	CONCLUSIONS.....	71
5.6	REFERENCES .....	71
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>74</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>77</b>

<b>ANEXO 1 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO RENDIMENTO DE GRÃOS DE TRIGO DA POPULAÇÃO E DA AMOSTRA DE LAVOURAS NAS SAFRAS 2013, 2014 E 2015, E DEFINIÇÃO DOS LIMITES DOS ESTRATOS DE LAVOURAS.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO 2 - TEMPERATURA MÉDIA – TM (°C) E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL – PP (MM) OCORRIDAS DURANTE JUNHO E NOVEMBRO DE 2013 EM GUARAPUAVA, PR. ....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO 3 - TEMPERATURA MÉDIA – TM (°C) E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL – PP (MM) OCORRIDAS DURANTE JUNHO E NOVEMBRO DE 2014 EM GUARAPUAVA, PR. ....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 4 - TEMPERATURA MÉDIA – TM (°C) E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL – PP (MM) OCORRIDAS DURANTE JUNHO E NOVEMBRO DE 2015 EM GUARAPUAVA, PR. ....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO 5 - MÉDIAS MENSIS DA TEMPERATURA MÉDIA E DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL OCORRIDAS DE JUNHO A NOVEMBRO NAS SAFRAS DE 2013, DE 2014 E DE 2015, E MÉDIAS HISTÓRICAS (1976 A 2015) EM GUARAPUAVA, PR.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO 6 - DENDROGRAMA DO AGRUPAMENTO DAS LAVOURAS DE TRIGO DE ACORDO COM OS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E DE PROTEÇÃO DE PLANTAS, MARGEM BRUTA SIMPLIFICADA E RENDIMENTO DE GRÃOS EM 2013, 2014 E 2015, BASEADO NA DISTÂNCIA EUCLIDIANA E MÉTODO DE WARD.....</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A demanda anual de trigo no Brasil é parcialmente atendida pela produção brasileira do cereal, que alcançou a média de 5,5 milhões de toneladas nas últimas dez safras (CONAB, 2018a). A importação de mais de cinquenta por cento do trigo moído no país posicionou o Brasil como um dos principais importadores do grão no mundo. Esse contexto afeta todo o complexo agroindustrial do trigo, e implica na tomada de medidas estratégicas para tornar sua produção mais competitiva e sustentável, e para aumentar a participação do cereal brasileiro no suprimento da demanda do grão no país.

No Sul do Brasil, principal região produtora de trigo do país, o cereal desempenha um papel estratégico, sendo a principal cultura de grãos de inverno, com inúmeros benefícios agrônômicos e econômicos aos sistemas de produção onde está inserido (PIRES et al., 2016). A produção de trigo do Paraná representou 50% da produção brasileira na última década, geralmente com produtividades superiores à média nacional (CONAB, 2018a). O Centro-Sul do Estado destaca-se pela obtenção de rendimentos de grãos altos em relação as demais regiões, os quais são sustentados principalmente pelas características edafoclimáticas e pelo nível tecnológico adotado nas lavouras da região (FONTOURA et al., 2015).

A produtividade de trigo brasileira avançou muito nas últimas décadas, mas ainda está aquém do potencial de rendimento da cultura em muitas regiões tritícolas. Além disso, o alto risco do cultivo do trigo, atrelado principalmente as variações de produtividade devido as condições ambientais e a oscilação dos preços, além do alto custo de produção, frequentemente comprometem o retorno econômico do produtor (PEREIRA; ARÊDES; TEIXEIRA, 2007; BAUMGRATZ et al., 2017). Esses fatores têm como consequências a oscilação da área cultivada com o cereal, o aumento das áreas de pousio no inverno, e a substituição do trigo por culturas de maior retorno econômico a curto prazo (DE MORI; IGNACSAK, 2011).

A determinação das lacunas de rendimento, que representam as diferenças entre o potencial de rendimento da cultura e o rendimento obtido em lavouras, tem sido foco de diversos estudos em todo o mundo (BEZA et al., 2017). No entanto, poucos têm se dedicado a identificar suas causas, cujos resultados podem ser úteis na definição de estratégias para minimizar essas diferenças. Além disso, a maioria dos estudos são baseados em dados experimentais ou modelagem, com pouca

exploração da diversidade e da representatividade de dados de lavouras, os quais expressam as reais limitações impostas no ambiente de cultivo. Para trigo, os fatores já identificados nessa condição estão relacionados principalmente ao manejo da cultura (CALVIÑO; SADRAS, 2002; LOBELL et al., 2005; KRUPNIK et al., 2015). No Brasil, essa abordagem de estudo ainda é incipiente, e apresenta grande potencial de aplicação como ferramenta na redução das lacunas de rendimento.

O incremento da eficiência técnica e a redução dos custos de produção são fatores chave para o incremento da renda do produtor com o cultivo do trigo (VAN DIJK et al., 2017). No caso desse cereal, cuja produção apresenta alto risco, a observação desses aspectos é crucial. Embora em muitas safras o desempenho econômico das lavouras de trigo seja determinado por fatores que estão fora do alcance do produtor, como as condições ambientais, a redução de custos contribui para que, mesmo em condições de preços baixos e/ou baixa produtividade, a atividade não proporcione prejuízo, ou que esse seja mínimo. Nesse contexto, a identificação das principais limitações para potencializar os desempenhos agrônômicos e econômicos pode contribuir para manutenção da cultura do trigo nos sistemas de produção.

A diversidade do manejo adotado e do perfil de custos de produção nas lavouras de trigo podem resultar em diferenças no rendimento de grãos e no desempenho econômico da cultura, o que permite a identificação dos fatores de maior contribuição para sua variabilidade. Assim, o objetivo geral do trabalho foi identificar os principais fatores associados a variabilidade do rendimento de grãos e do desempenho econômico em lavouras de trigo no Centro-Sul do Paraná. Os objetivos específicos foram: a) identificar os principais fatores de manejo associados a variabilidade do rendimento de grãos de trigo em lavouras no Centro-Sul do Paraná e; b) identificar os principais fatores relacionados a variabilidade do desempenho econômico do trigo em lavouras no Centro-Sul do Paraná.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 TRIGO NO BRASIL

O trigo é um dos principais cereais consumidos no mundo, representando, aproximadamente, 30% da produção de grãos. Este cereal é empregado na alimentação humana, na elaboração de produtos não alimentícios, bem como na alimentação animal, na forma de forragem, de grão ou na composição de ração. No Brasil, estima-se que 95% da produção seja destinada ao processamento industrial, 2% seja reserva de semente e 3% utilizada diretamente na alimentação animal (DE MORI; IGNACSAK, 2011). Somado a isso, o trigo é uma cultura importante na composição de sistemas de produção agrícolas sustentáveis, sendo alternativa indispensável para sucessão e rotação em sistemas de produção de grãos e de hortaliças e fibras em algumas regiões, contribuindo na manutenção da capacidade produtiva do solo e no manejo integrado de pragas, doenças e de plantas daninhas (EMBRAPA, 2016).

O desenvolvimento da triticultura no Brasil seguiu um padrão de distribuição espacial no país no período de 1990 a 2014, isto é, tanto as áreas de expansão da cultura quanto os locais de declínio da produção de trigo concentraram-se em regiões específicas, revelando um forte componente territorial nas tendências e projeções para a cultura. Dentre as razões para esse comportamento podem ser listados aspectos edafoclimáticos, além de elementos de ordem econômica e social, como estrutura fundiária e políticas de incentivo à produção, logística, presença de cooperativas e moinhos compradores do grão, entre outros fatores, os quais ainda requerem análise específica (FARIAS et al., 2017).

A área cultivada com trigo no Brasil na última década oscilou entre 1,89 milhões de hectares em 2012 a 2,76 milhões de hectares em 2014. Na safra 2018/2019 foram cultivados aproximadamente dois milhões de hectares, sendo 90% dessa área no Sul do país, 8% no Sudeste e 2% no Centro-oeste (CONAB, 2018a). Segundo último censo agropecuário, 35,2 mil propriedades cultivaram trigo no Brasil em 2017, com 93% dessas propriedades localizadas no Rio Grande do Sul e no Paraná (IBGE, 2018). Já a produção brasileira de trigo anual nos últimos dez anos situou-se entre 4,2 e 6,7 milhões de toneladas, sendo aproximadamente 50% dessa produção oriunda do estado do Paraná. O segundo maior estado produtor é o Rio



Grande do Sul, responsável por aproximadamente 40% da produção brasileira no período (CONAB, 2018a).

A produtividade média de trigo no Brasil na última década foi de 2.457 kg ha<sup>-1</sup>, com destaque para a média da região Centro-oeste, de 3.023 kg ha<sup>-1</sup>, a qual considera áreas de cultivo irrigado, que alcançam rendimentos acima de 5.000 kg ha<sup>-1</sup>. Na região Sudeste a média foi de 2.837 kg ha<sup>-1</sup>, e na região Sul de 2.427 kg ha<sup>-1</sup>. Nesse mesmo período, o estado do Paraná apresentou média de 2.524 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto no Rio Grande do Sul foi de 2.270 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018a).

A principal região produtora de trigo no Paraná situa-se no Norte do estado, correspondendo a 37% da área cultivada e com produtividade de 2.269 kg ha<sup>-1</sup> na média da última década. Outra região de destaque é o Sul do Estado, que foi responsável por 23% da área cultivada, com média de produtividade de 3.231 kg ha<sup>-1</sup> no mesmo período (DERAL, 2018).

Entre as safras de 2012/2013 e 2017/2018 o Brasil importou anualmente entre cinco e sete milhões de toneladas de trigo para suprir a demanda da moagem industrial, que situou-se ao redor de 10,5 milhões de toneladas (CONAB, 2018b). Portanto, a produção brasileira tem capacidade de suprimento de aproximadamente 50% da demanda moageira. Nesse mesmo período, o Brasil também exportou volumes de trigo que variaram de 164 mil toneladas a 1,7 milhão de toneladas (ABITRIGO, 2018).

O cultivo do trigo está em expansão na região Sudeste, especialmente no estado de Minas Gerais, que quadruplicou a área cultivada nos últimos dez anos. Na região Nordeste, nas safras 2016/2017 e 2017/2018 registrou-se o cultivo de aproximadamente cinco mil hectares de trigo irrigado na Bahia. A motivação de seu cultivo na região está relacionada aos benefícios como cultura de cobertura de solo e para controle de pragas, doenças e plantas daninhas na cultura subsequente (CONAB, 2018b).

Segundo De Mori e Ignacsak (2011), os sistemas de cultivo de trigo no Brasil são condicionados pelos fatores: condições edafoclimáticas, tipo de propriedade, nível de capitalização, comportamento de mercado de produto e insumos, e aspectos de logística e geografia. Já os principais elementos de variação dos sistemas de cultivo estão relacionados ao manejo de solo, ao uso de irrigação e ao nível de uso de insumos externos, podendo ser agrupados em: irrigado plantio direto, irrigado plantio convencional, plantio convencional, cultivo mínimo com baixo

uso de insumos externos, plantio direto com baixo uso de insumos externos, plantio direto com médio uso de insumos externos e plantio direto com alto uso de insumos externos (DE MORI et al., 2005).

No mesmo sentido, o desempenho da triticultura brasileira está relacionado principalmente à instabilidade das condições climáticas vigentes nas principais áreas produtoras do grão no país, assim como ao nível de tecnologia e manejo aplicados nas propriedades (PIRES et al., 2011). Nas regiões subtropicais, os principais riscos de perda de rendimento de grãos estão relacionados à ocorrência de geadas e déficit hídrico no florescimento, e ao excesso de chuva após a maturação fisiológica. Já nas regiões tropicais, como no Cerrado brasileiro, os riscos mais importantes estão relacionados à ocorrência de brusone e à umidade e temperatura do ar elevadas durante o período de florescimento e enchimento de grãos. O impacto dessas condições de ambiente pode causar perda de rendimento físico, e afetar negativamente o padrão de qualidade tecnológica dos grãos (EMBRAPA, 2016).

Sob o ponto de vista de adoção de tecnologia, a flutuação das relações econômicas que ocorre em trigo, quer seja no custo de insumos ou no preço do produto, faz com que, a cada safra, sejam realizados ajustes no nível de investimento aplicado nas lavouras brasileiras. É muito comum a realização de cortes de insumos em razão da perspectiva de preço baixo do produto (PIRES et al., 2011). Nessa condição, apesar da perspectiva de menor rendimento de grãos, o menor custo de produção permite equilibrar a relação custo/benefício. Os itens de maior importância no custo operacional de produção são os fertilizantes, que representam cerca de 25% do valor investido na lavoura (DE MORI et al., 2005).

A produtividade de trigo no Brasil passou de aproximadamente 700 kg ha<sup>-1</sup> na década de 1940 para próximo de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> nas últimas safras (CONAB, 2018b). No período de 1940 a 2009 houve um incremento de produtividade de trigo de 29 kg ha<sup>-1</sup> ao ano no país, o que representa um ganho genético anual de 0,92% (BECHE et al., 2014). O aumento do potencial de rendimento em trigo nas principais regiões produtoras do mundo tem sido atribuído, principalmente, ao aumento do índice de colheita e ao aumento do número de grãos por área (ACEVEDO; SILVA; SILVA, 2002). No Brasil, as principais características associadas a esse ganho foram aumento do índice de colheita, do número de grãos por unidade de área, e da produção de biomassa da parte aérea. Esses avanços foram alcançados pela redução da estatura das plantas e pelo aumento das trocas gasosas e do conteúdo

de clorofila (BECHE et al., 2014). Além disso, as mudanças no rendimento de grãos e nos componentes de rendimento estão relacionadas à mudanças na partição de biomassa para órgãos reprodutivos no estágio de pré-antese (RODRIGUES et al., 2007).

Embora os avanços tecnológicos tenham proporcionado incrementos de mais de 100% na produtividade brasileira de trigo nos últimos quarenta anos, os rendimentos médios de lavoura ainda são baixos se comparados com o potencial genético das cultivares modernas e com os melhores rendimentos obtidos em lavouras. Na safra 2018, a média de rendimento de grãos foi 2.716 kg ha<sup>-1</sup> e 2.676 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018b), respectivamente, no Brasil e no Paraná, principal estado produtor. No Sul do Brasil, o potencial de rendimento das cultivares disponíveis no mercado pode alcançar 7.000 kg ha<sup>-1</sup> em algumas condições (ALMEIDA; FOSTIN, 2017), e pode ultrapassar 8.000 em sistemas irrigados do Cerrado (ALBRECHT et al., 2016). Em lavouras de sequeiro, não é rara a obtenção de rendimentos próximos de 5.000 kg ha<sup>-1</sup>, o que indica a oportunidade de maximizar a exploração desse potencial em nível de campo, contribuindo para sustentabilidade do sistema produtivo.

## 2.2 POTENCIAL DE RENDIMENTO E LACUNAS DE RENDIMENTO

O rendimento potencial, ou rendimento teórico, é definido como aquele passível de ser obtido por determinada espécie vegetal em condições ótimas para o seu crescimento e desenvolvimento. Normalmente, essa categoria é descrita por meio de modelos matemáticos, sendo condicionado por características edafoclimáticas e morfofisiológicas da espécie. Já o potencial de rendimento é definido como o rendimento de grãos de uma cultivar adaptada, sem limitações de nutrientes e de água, e com pragas, doenças, plantas daninhas, acamamento e outros estresses controlados. Esse nível de rendimento depende do local e, portanto, está relacionado as condições ambientais. No entanto, é independente do solo, pois considera-se que não há limitações físicas e químicas para o desenvolvimento das plantas. Nesse caso, os rendimentos de grãos obtidos em condições experimentais podem ser considerados para estimar essa categoria, embora em muitos casos possam não alcançar o potencial de rendimento (EVANS; FISCHER, 1999; FAO, 2015).

Outro conceito bastante adotado na literatura é o de rendimento limitado por água, que é similar ao potencial de rendimento, porém considera a limitação do suprimento de água. Essa definição é importante para avaliações em cultivos de sequeiro. Já o rendimento alcançável corresponde aos melhores rendimentos obtidos mediante o uso adequado da melhor tecnologia disponível. Em alguns estudos essa categoria é adotada como uma aproximação do potencial de rendimento e do rendimento limitado por água, e os maiores rendimentos de grãos obtidos por produtores servem como medida dessa categoria. Por fim, o rendimento médio de uma região agrícola é denominado rendimento real, e representa a condição edafoclimática, o conhecimento dos agricultores e o nível de tecnologia adotado em determinada região (FAO, 2015).

A média de rendimento de grãos de determinada cultura em uma região ou país é inevitavelmente menor que o seu potencial de rendimento, uma vez que alcançar a esse nível requer que o manejo da cultura e outros fatores determinantes estejam próximo do ótimo durante todo o ciclo da planta. Embora poucos produtores possam alcançar esses tetos de rendimento, pode não ser rentável nem exequível para a maioria dos produtores (LOBELL; CASSMAN; FIELD, 2009).

Estudos com foco na determinação das lacunas de rendimento, que representam a diferença entre o potencial de rendimento e o rendimento real (VAN ITTERSUM; RABBINGE, 1997), têm recebido grande atenção de pesquisadores em todo o mundo (VAN ITTERSUM; CASSMAN, 2013; FAO, 2015). Esses trabalhos são muito importantes na quantificação do potencial biofísico disponível para melhorar a produção agrícola em um local específico, e fornecem a base para identificar os fatores mais importantes da cultura, do solo e de manejo, que limitam os rendimentos agrícolas atuais (VAN ITTERSUM et al., 2013). Em alguns casos os rendimentos estão estagnados em níveis altos, como em alguns locais da Europa. Já em outras regiões as produtividades estão estagnadas em níveis bem abaixo do potencial de rendimento, ou estão em processo de incremento, mas também abaixo desse referencial. Em ambas as situações as estimativas das lacunas de rendimento fornecem informações importantes para minimizar as diferenças de produtividade.

Esses estudos são aplicados em diversas escalas no espaço e no tempo. Especialmente, a estimativa pode ser feita em nível de lavoura, região, país, continente ou global (LOBELL; CASSMAN; FIELD, 2009; FAO, 2015). Entre as principais abordagens utilizadas estão o uso de modelos matemáticos aliados a

informações de sensoriamento remoto, experimentos, dados obtidos *on-farm*<sup>1</sup> e informações de lavouras (LOBEL; CASSMAN; FIELD, 2009; LOBELL, 2013). Estimativas das lacunas de rendimento em nível de sistemas de produção também têm sido exploradas (GUILPART et al., 2017).

No caso do trigo, uma estimativa baseada em 169 locais do mundo apontou que a lacuna de rendimento no cultivo de sequeiro é de 48% (VAN OORT et al., 2017). No mesmo sentido, Licker et al. (2010) destacaram que se 95% das áreas que cultivam o cereal no mundo alcançassem o rendimento de grãos estimado com base em suas condições climáticas, seria possível incrementar a produção de trigo em 60%. Em análise recente realizada para o continente Europeu, estimou-se que as lacunas de rendimento são inferiores a 30% em países do Noroeste, enquanto são observados valores superiores a 50% no Leste e no Sudoeste do continente (SCHILS et al., 2018).

Na Argentina, o rendimento real de trigo alcançou 58% do potencial rendimento limitado por água no período de 2005 a 2012 (ARAMBURU MERLOS et al., 2015), enquanto em Wimmera, na Austrália, esse valor foi de 52% no período de 1990 a 2009 (HOCHMAN et al., 2012). Já na Planície ao Norte da China, de 1981 a 2010, o rendimento real chegou a 55% do rendimento estimado por modelos (LI et al., 2014), e na Rússia a lacuna foi de 48% em relação ao potencial de rendimento para trigo de sequeiro, e de 62% para trigo irrigado de 1995 a 2006 (SCHIERHORN et al., 2014). No Brasil não há registro de trabalhos estimando a lacuna de rendimento de grãos para cultura do trigo, mas considerando o rendimento médio das lavouras brasileiras e estimativas de potencial de rendimento baseado no desempenho de cultivares, pode-se estimar que provavelmente as lavouras alcancem entre 45 e 55% do potencial de rendimento em sequeiro (RODRIGUES et al., 2007; BECHE et al., 2014; ALMEIDA; FOSTIN, 2017).

Tão desafiador e importante como estimar a lacuna entre o rendimento potencial e o rendimento obtido nas lavouras é identificar as causas dessas diferenças de forma regionalizada. As análises de causas das lacunas de rendimento em nível de propriedade e de região permitem avaliar a possibilidade da sua resolução, e em caso afirmativo, sob quais condições de produção, econômicas

---

<sup>1</sup> Referem-se a pesquisas conduzidas em propriedades rurais, as quais são planejadas e realizadas em diversos locais e safras. Os resultados acumulados permitem validar as tecnologias e colaboram na previsão de suas respostas em condições de lavoura no momento de sua adoção pelos produtores. Geralmente incluem análises econômicas (LAUER, 2009).

e ambientais (GILLER; ROWE; DE RIDDER, 2006). Portanto, as informações obtidas nessa etapa são fundamentais para o estudo de estratégias que possam contribuir para superação dessas limitações (LOBELL; ORTIZ-MONASTERIO, 2006; FAO, 2015). Nesse sentido, diversos estudos têm sido conduzidos com importantes culturas agrícolas. Esses trabalhos, também baseados principalmente em modelos matemáticos, além de quantificar as lacunas de rendimento, aplicaram metodologias para explicar suas causas e/ou a variabilidade do rendimento de grãos (VAN ITTERSUM; CASSMAN, 2013).

Para as principais culturas, como arroz, milho e trigo, a estagnação da média do rendimento de grãos observada em alguns locais pode relacionar-se ao alcance do limite do potencial a ser explorado e/ou à influência de fatores, como por exemplo, degradação do solo, mudanças climáticas e políticas de uso de fertilizantes e agrotóxicos (GRASSINI; ESKRIDGE; CASSMAN, 2013; VAN WART et al., 2013). Na França, cujos tetos de rendimento são altos, a estagnação no rendimento de grãos de trigo observada a partir da década de 90 está relacionada a mudanças climáticas, como altas temperaturas durante o enchimento de grãos, e déficit hídrico na alongação, além da redução do uso de leguminosas nos sistemas de rotação de culturas, e do uso de nitrogênio (BRISSON et al., 2010). Já na Planície do Norte da China, as causas estão relacionadas a precipitação no Norte da região, enquanto ao Sul, o efeito conjunto de baixa radiação e de alta temperatura são os fatores limitantes (WU et al., 2006).

Sob o ponto de vista de condições ambientais, estima-se que 36% da variabilidade do rendimento de trigo nas principais regiões tritícolas do mundo esteja relacionado a variabilidade climática (RAY et al., 2015). Na região que compreende os estados do Texas, Oklahoma, Colorado, e Kansas, nos Estados Unidos, as variáveis meteorológicas responsáveis por grande parte da variabilidade da produtividade foram disponibilidade hídrica, radiação solar acumulada e temperatura durante a antese e a maturação fisiológica (LOLLATO; EDWARDS; OCHSNER, 2017). De acordo com Hoffmann et al. (2018), ao analisar a influência da variação das condições ambientais de cada ano nas lacunas de rendimento, quanto maior o rendimento alcançável de uma safra específica, maior a lacuna de rendimento, o que indicando que os produtores não conseguem aproveitar as condições ambientais sazonais favoráveis.

Somado, e muitas vezes em interação com aspectos relacionados aos recursos ambientais, o manejo tem sido apontado em muitos estudos dentre os fatores mais importantes para explicar as lacunas de rendimento das grandes culturas (MENG et al., 2013; LIU et al., 2016; BEZA et al., 2017; BATTISTI et al., 2018). Dentre eles destacam-se adubação, irrigação, preparo do solo, semeadura e proteção de plantas. Em seguida estão os fatores relacionados ao solo como fertilidade, tipo de solo e disponibilidade de água no solo. Fatores socioeconômicos geralmente são pouco explorados nesses estudos (LOBELL; ORTIZ-MONASTERIO, 2006; PRADHAN et al., 2015; BEZA et al., 2017).

Buscando explorar a variabilidade e representatividade que as informações oriundas de lavouras disponibilizam, alguns trabalhos têm sido conduzidos visando compreender os fatores responsáveis pela variação do desempenho das culturas com base nessas informações. Assim como nos estudos com modelagem (BEZA et al., 2017), nesse conjunto de resultados a variabilidade do rendimento de grãos foi explicada principalmente pelo manejo aplicado nas lavouras, que configura-se em uma boa oportunidade de diminuir as lacunas de produtividade (HOCHMAN; GOBBETT; HORAN, 2017).

Para milho, identificou-se o nível de recurso investido e a época de semeadura (TITTONELL et al., 2008), assim como a densidade de plantas e a escolha de híbridos em cultivo irrigado (GRASSINI et al., 2011). No caso da soja, fatores relacionados ao manejo da fertilidade do solo, época de semeadura, arranjo de plantas, sistema de cultivo, uso de inseticidas e de fungicidas já foram identificados como elementos importantes para variabilidade da produtividade (ZHENG et al., 2009; VILLAMIL; DAVIS; NAFZIGER, 2012; GRASSINI et al., 2015; RATTALINO EDREIRA et al., 2017). Na cultura do arroz, a antecipação do plantio em relação a época recomendada, adubação e irrigação adequadas (ROEL; FIRPO; PLANT, 2007), e competição com plantas daninhas (DELMOTTE et al., 2011). Para o girassol, a variabilidade do rendimento de grãos apresentou relação com a deficiência hídrica na fase reprodutiva e com os teores de Ca, B e P no tecido foliar (RIBEIRO et al., 2011).

Para o trigo, estudos investigando o papel das práticas de manejo na variabilidade do rendimento de grãos de lavouras têm apontado diversos fatores como relevantes. Algumas práticas são comumente identificadas como importantes,

enquanto outras são específicas de determinadas regiões tritícolas e/ou dos sistemas de cultivo.

Dentre essas práticas está a época de semeadura, que interfere diretamente no potencial de rendimento de grãos, já que posiciona os estádios de desenvolvimento da cultura em épocas nas quais as variáveis meteorológicas apresentam maior ou menor efeito sobre o crescimento e desenvolvimento da planta (PIRES et al., 2011). Na Austrália, o atraso da semeadura compromete significativamente o rendimento de grãos, sendo contabilizadas perdas de  $17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em Malle (SADRAS; ROGET; O'LEARY, 2002; HOCHMAN; HOLZWORTH; HUNT, 2009). Já na região dos Pampas na Argentina, importante área produtora de trigo do país, o ajuste da época de semeadura para reduzir o déficit hídrico no final da estação de crescimento é uma das estratégias mais efetivas para reduzir as perdas de rendimento de grãos (CALVIÑO; SADRAS, 2002).

Diversos trabalhos relatam o manejo da adubação, especialmente da nitrogenada, como fator importante para as lacunas de rendimento. Destacam-se principalmente aspectos relacionados às doses e épocas de aplicação, e a forma de aplicação, no caso do fósforo (LOBELL et al., 2005; HOCHMAN; HOLZWORTH; HUNT, 2009; KRUPNIK et al., 2015; HAJJARPOOR et al., 2018; LOLLATO et al., 2018).

A densidade de semeadura, fundamental para estabelecimento de um estande ideal de plantas na lavoura, foi um dos aspectos mais importantes relacionados a variabilidade do rendimento de grãos, tanto na região do Kansas, Estados Unidos, como na Austrália (HOCHMAN; HOLZWORTH; HUNT, 2009; LOLLATO et al., 2018).

O sistema de rotação ou sucessão de culturas também pode reduzir as lacunas de rendimento. Segundo Sadras, Roget e O'Leary (2002), o trigo cultivado após outros cereais rendeu  $0,4 \text{ t ha}^{-1}$  menos do que após pousio, e  $0,7 \text{ t ha}^{-1}$  menos do que após leguminosas. De forma semelhante, Lollato et al. (2018) observaram que os rendimentos de grãos de trigo em sucessão a canola foram superiores aos obtidos em sucessão a soja ou trigo.

Além desses aspectos, em alguns locais o sistema de cultivo também é uma prática de manejo importante para variabilidade do rendimento de grãos de trigo (LOLLATO et al., 2018), assim como a época da primeira irrigação no caso de cultivos irrigados, como no Vale do Yaqui, no México (LOBELL et al., 2005).



Ademais, as condições ambientais e/ou edáficas podem determinar a efetividade do manejo em incrementar o rendimento de grãos, especialmente da adubação (ABELED0; SAVIN; SLAFER, 2008; BRYAN; KING; ZHAO, 2014).

Apesar da riqueza de informações a serem extraídas de análises realizadas com dados de lavouras, os esforços dedicados a esse tipo de trabalho são escassos devido ao alto dispêndio financeiro e de pessoal para sua execução, no caso de obtenção de dados direto com os produtores. O uso de bancos de dados regionais, de instituições de pesquisa, cooperativas ou de associações de produtores são uma opção atrativa de fonte de dados (LOLLATO et al., 2018).

As informações geradas nesses estudos têm potencial para subsidiar a adequação do manejo para o alcance de altas produtividades, além de embasar a tomada de medidas em nível de assistência técnica (GOSWAMI; CHATTERJEE; PRASAD, 2014). Outra oportunidade é a compreensão sobre os fatores que influenciam a adoção de determinado plano de manejo pelos produtores (NAVE; JACQUET; JEUFFROY, 2013; ZHANG et al., 2016). Além disso, as informações podem subsidiar o delineamento de ações de pesquisa e de desenvolvimento para minimizar as restrições identificadas e para potencializar o uso dos recursos, tornando os sistemas produtivos mais sustentáveis.

Os estudos *on-farm*, além de fornecerem informações para as estimativas das lacunas de rendimento, podem ser úteis na identificação das causas de variabilidade dos rendimentos de grãos. Nesse sentido, é possível destacar o método de diagnósticos agronômicos regionais (DAR), o qual não se baseia em ensaios experimentais, mas na coleta de informações e de monitoramento de uma rede de lavouras conduzidas por agricultores (BYERLEE; TRIOMPHE; SEBILLOTTE, 1991; DORE et al., 2008). O DAR busca identificar as práticas de manejo e características ambientais que são responsáveis pela variação no rendimento de grãos em regiões com características edafoclimáticas homogêneas. Uma adaptação dessa metodologia foi aplicada para cultura do girassol no Paraná (RIBEIRO et al., 2011; RIBEIRO; RAIHER, 2013).

Sobre os estudos *on-farm*, Lollato et al. (2018) destaca que o uso de dados oriundos desses trabalhos tem vantagens e desvantagens comparado a dados experimentais. Uma vantagem seria a oportunidade de avaliar a associação de um grande número de variáveis e suas potenciais interações com o rendimento de grãos, as quais teriam um custo exorbitante para avaliar em condições

experimentais. De outro modo, identificar uma associação positiva pode não permitir uma inferência a respeito de relações de causa e efeito devido à natureza dos dados (CALVIÑO; SADRAS, 2002). Assim, os resultados deveriam ser interpretados dentro do contexto acadêmico, e associações significativas poderiam orientar futuros trabalhos de pesquisa em experimentos controlados (LOLLATO et al., 2018).

### 2.3 MANEJO DA CULTURA DO TRIGO

Intervenções no manejo de cultivos podem estreitar as lacunas de rendimento por meio da gestão de fatores promotores e protetores do rendimento, combinadas com estratégias de otimização dos fatores de definição de rendimento (LOOMIS; CONNOR, 2002; LOBELL; CASSMAN; FIELD, 2009). Embora a variabilidade edafoclimática seja uma das principais fontes de variação do rendimento de grãos, as práticas de manejo representam um papel crítico no desempenho das culturas (LOBELL; ORTIZ-MONASTERIO, 2006 ANDERSON, 2010; AFFHOLDER et al., 2013). Assim, a elevação do patamar de rendimento de grãos em escala de lavoura depende, acima de tudo, do conhecimento do manejo da cultura e do ambiente, que são determinantes do potencial de rendimento de grãos, e da interação desses fatores a campo (PIRES et al., 2011).

O número de relações entre as culturas e o ambiente é muito extenso, sendo que algumas delas repercutem muito pouco sobre o comportamento geral dos mesmos, enquanto outras exercem um forte controle. Os agricultores dispõem de grande número de ferramentas de manejo para controlar o que ocorre no campo, incluindo sistemas de cultivo, escolha de cultivares, época e densidade de semeadura, adubação, controle de pragas, de doenças e de plantas daninhas, e manejo do solo. A chave do êxito na agricultura é poder quantificar e ajustar taticamente os principais circuitos de controle (LOOMIS; CONNOR, 2002).

O manejo adequado do trigo durante as diferentes fases de desenvolvimento da planta é fundamental para potencializar o rendimento de grãos. A pré-semeadura e semeadura são momentos onde ocorrem decisões e eventos importantes, como escolha do local de cultivo e das cultivares, da adubação, do tratamento de sementes e da adequação da época de semeadura. Nesse momento, também é definida a população de plantas a ser implantada na lavoura, visando garantir um estande adequado. Mesmo com a plasticidade adaptativa do trigo, é importante o

estabelecimento de uma densidade de plantas adequada para potencializar o rendimento de grãos. No caso de densidades muito baixas, a compensação da planta com emissão de mais perfilhos e aumento do tamanho da espiga pode não ser suficiente para garantir número suficiente de espigas por área para atingir altos tetos de produtividade. Além disso, no caso de densidades altas, pode haver competição intraespecífica, o que também reduz o potencial de rendimento de grãos, além de favorecer o acamamento de plantas e a ocorrência de doenças (PIRES et al., 2011; FIOREZE; RODRIGUES, 2014).

Na fase seguinte, de emergência das plantas e perfilhamento, é fundamental o manejo de pragas, de doenças e de plantas daninhas, que deve ser iniciado de forma integrada na cultura antecessora e na implantação da lavoura, com objetivo de garantir o estabelecimento das plântulas recém emergidas. Na fase de perfilhamento, o meristema apical do trigo, localizado abaixo da superfície do solo, gera folhas e perfilhos até o aparecimento do primeiro primórdio da espiguetas, denominado de estágio de duplo anel, quando se encerra a fase vegetativa e inicia-se a fase reprodutiva da planta de trigo. A partir desse estágio, o primórdio diferencia as demais espiguetas na espiga até desenvolver a última espiguetas, caracterizando o estágio de espiguetas terminal. Nessa fase é definido o número potencial de espiguetas por espiga (RODRIGUES et al., 2011). Assim, com a definição do número potencial de espigas por metro quadrado e de espiguetas por espiga nesse período, é importante viabilizar o suprimento de nitrogênio por meio da adubação nitrogenada de cobertura, visando garantir disponibilidade adequada desse nutriente de forma a não limitar o desenvolvimento dessas estruturas, nem o potencial de rendimento de grãos (PIRES et al., 2011).

Com o início do alongamento e da competição por recursos, a formação de novos perfilhos encerra, havendo, inclusive, morte de perfilhos. A planta adquire porte ereto e a espiga eleva-se acima da superfície do solo, no nó de perfilhamento (RODRIGUES et al., 2011). Nesse momento, estão ocorrendo o crescimento da espiga e a diferenciação de primórdios florais. Assim como perfilhamento, o suprimento de nitrogênio em quantidade suficiente é muito importante para garantir a sobrevivência das estruturas já formadas. Além disso, é fundamental o manejo adequado de doenças como ferrugens, manchas foliares e viroses, e de pragas como lagartas e pulgões, além do controle de plantas daninhas, especialmente no início do alongamento. Dependendo do manejo adotado na lavoura e da cultivar, é

indicado o uso de redutor de crescimento, que deve ser aplicado quando o primeiro nó for visível. O momento correto de aplicação do produto é fundamental para obter o resultado esperado, visto que a aplicação fora da época indicada pode reduzir o rendimento de grãos (PIRES et al., 2011).

Ao alcançar o emborrachamento e espigamento, inicia-se o manejo de proteção de plantas, especificamente das doenças de espiga, como giberela e brusone. Somado a isso, essa etapa é muito sensível a estresses abióticos como seca, calor e geada, por coincidir com a meiose dos grãos de pólen. Os danos causados por geadas podem causar prejuízos de 100%, no entanto, pela impossibilidade de manejo dessa condição com a lavoura implantada, uma estratégia importante é observar a época de semeadura adequada para cada região e cultivar, buscando evitar que o florescimento coincida com períodos de ocorrência de geadas. Nessa fase, os danos causados por lagartas também podem limitar o rendimento de grãos a ser obtido, portanto, o monitoramento e controle desses insetos é fundamental (PIRES et al., 2011).

Durante o enchimento de grãos, que começa poucos dias depois da floração e encerra-se na maturação fisiológica, é definida a qualidade tecnológica, que sofre forte influência de interações entre genótipo e ambiente – clima e manejo – sobre a relação das proteínas gliadina/glutenina, e sobre o tipo de amido formado. Com relação a colheita, o atraso na operação pode levar a problemas com excesso de chuva, que dependendo da cultivar, podem causar germinação pré-colheita, o que reduz a qualidade dos grãos (PIRES et al., 2011).

## 2.4 DESEMPENHO ECONÔMICO

A produção de *commodities* agrícolas como o trigo depende de fatores considerados instáveis, como o ambiente, da oferta e da demanda interna e externa, e de fatores de comercialização, os quais exercem grande influência na variabilidade da produção e dos preços, impondo dificuldades no planejamento da produção e no abastecimento de mercados (PEREIRA; ARÊDES; TEIXEIRA, 2007).

Somado a isso, a produção nacional de trigo não conta com quaisquer subsídios como os que podem ser observados em outros países, como Argentina e Paraguai. Assim, a questão econômica e tributária nas últimas safras tem afetado a rentabilidade da cultura do trigo, levando a redução da área cultivada do cereal, que

foi direcionada para culturas que tiveram melhor remuneração no curto prazo. Dentre elas destacam-se o milho safrinha em algumas regiões do Paraná, e a manutenção da área em pousio, ou com cultivo de aveia preta para cobertura de solo no Rio Grande do Sul (DE MORI; IGNACSAK, 2011; HIRAKURI, 2013; PIRES et al., 2016).

Apesar dessas dificuldades, o investimento na produção de trigo no Rio Grande do Sul e no Paraná é economicamente viável, principalmente no Paraná, que geralmente apresenta maior preço do grão e maior nível de produtividade. Esses fatores são responsáveis pela maior parcela do risco do cultivo do trigo. No entanto, quando sob algum dos riscos, o cultivo do trigo torna-se mais frágil em gerar benefícios econômicos líquidos nesses estados, e há 45% e 40% de probabilidade da produção resultar em prejuízos, no Rio Grande do Sul e no Paraná, respectivamente (SALDANHA, 2005; PEREIRA; ARÊDES; TEIXEIRA, 2007; BAUMGRATZ et al., 2017).

Mesmo neste contexto, o trigo tem um papel importante na diluição dos custos fixos anuais da propriedade. No semestre correspondente da cultura de inverno essa contribuição pode alcançar 81% do custo fixo total, evidenciando que a manutenção da área em pousio no inverno não é a melhor escolha (BAUMGRATZ et al., 2017). Além disso, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, apesar da sucessão aveia preta/soja apresentar maior retorno em algumas situações, a sobra de recursos é maior na sucessão trigo/soja. Portanto, além de contribuir para diluir os custos fixos da propriedade, o cultivo de produção de grãos no inverno colabora para aumentar o retorno financeiro da cultura de verão, a qual, do contrário, teria que arcar com todos os custos da propriedade no ano (PIRES et al., 2016).

Para maximização do desempenho econômico-financeiro em meio aos riscos e as instabilidades do mercado de trigo, é importante que a gerência das atividades agrícolas seja realizada considerando princípios fundamentais como a minimização de custos, a otimização do espaço produtivo e a obtenção de níveis de produtividade significativos. Assim, avaliações que integrem esses fatores são ferramentas essenciais para o processo de tomada de decisão nos sistemas de produção para garantir a sustentabilidade da propriedade (BAUMGRATZ et al., 2017).

Os custos de produção constituem-se em um dos principais instrumentos de planejamento e controle de processos de produção, contribuindo para o uso eficiente

dos recursos, na identificação de gargalos de produção ou de alternativas otimizadas, orçamentação, dentre outros (DE MORI; IGNACSAK, 2011).

Em relação a outros países, o Brasil apresenta um dos custos de produção de trigo por unidade de produto mais altos do mundo, o qual é relacionado principalmente a aspectos edafoclimáticos, à incidência de doenças, estresses abióticos, e fatores econômicos, como o maior custo de insumos. Além disso, o cultivo do trigo apresenta maior risco em relação às culturas de verão, e junto ao difícil acesso ao crédito, instrumentos de seguro agrícola insatisfatórios, descapitalização, baixa capacidade de investimentos e mercado instável, tornam o cultivo do trigo pouco atrativo (DE MORI; IGNACSAK, 2011).

A estimativa dos custos operacionais relacionados ao cultivo de trigo no Brasil varia de acordo com as diferenças no manejo de solo, na densidade de semeadura, na adubação, no número de aplicações de fungicidas e no uso de irrigação, além de diferenças de preços de insumos e do nível de integração com organizações como cooperativas, cerealistas e indústria. Dentre os componentes de custo, os fertilizantes de base e cobertura, a semente e os fungicidas são os itens de maior participação, no entanto, há diferenças entre regiões e nível tecnológico do triticultor (DE MORI et al., 2007; HIRAKURI, 2013).

A margem bruta é uma medida de lucratividade importante para o planejamento da propriedade (GRDC, 2018). Esse indicador, que representa a diferença entre a receita bruta e os custos variáveis, é um dos mais utilizados como medida de rentabilidade em ensaios de pesquisa e empiricamente pelos produtores, tanto pela sua relativa facilidade de obtenção, como pelo significado prático e imediato de tomar conhecimento do desempenho de determinada atividade. No entanto, a margem bruta deve ser considerada como medida de desempenho parcial ao fazer inferências em determinados sistemas de produção (LLANILLO, 2007).

Estudos que considerem aspectos agrônômicos, econômicos e de uso de insumos são escassos, especialmente para cultura do trigo (BEZA et al., 2017). Os resultados descritos indicam que, na maioria das vezes, o maior nível de investimentos em insumos não está associado ao desempenho agrônômico e econômico. Em algumas situações, sistemas com menor uso de insumos associados a determinadas cultivares permitem reduzir riscos e obter retorno econômico satisfatório (PIRES et al., 2009; SILVA NETO; OLIVEIRA; LORENZONI, 2009; NAVE; JACQUET; JEUFFROY, 2013). No caso de agrotóxicos, estima-se que seja

possível reduzir o seu uso na cultura do trigo em até 20% sem afetar a produtividade e a renda (JACQUET; BUTAULT; GUICHARD, 2011). Embora o rendimento de grãos seja um componente importante na determinação do desempenho econômico das culturas (RIBEIRO; RAIHER, 2013), em muitas situações o maior investimento para aumentar o rendimento de grãos pode ultrapassar o ganho incremental (PINGALI; RAJARAM, 1999). Portanto, evidencia-se que o produtor deve buscar maximizar os lucros e não somente o rendimento de grãos (LOBELL; CASSMAN; FIELD, 2009).

Para as principais culturas, estima-se que rendimentos de grãos ao redor de 80% do potencial de rendimento seria o limite para obtenção de um retorno econômico satisfatório. Deve-se considerar que essa estimativa pode ser alterada frente a realidade de cada produtor ou região, levando em conta alterações nos preços e nas tecnologias e manejo adotados, e a incerteza climática (LOBELL; CASSMAN; FIELD, 2009). Esse nível de rendimento, que maximiza a renda e reflete as condições econômicas locais, tem sido referido na literatura como rendimento explorável, rendimento alcançável e rendimento econômico (VAN ITTERSUM; CASSMAN, 2013; FISCHER, 2015).

Com objetivo de agregar o conceito de lacunas de rendimento e lacunas econômicas, Van Dijk et al. (2017) sugerem uma abordagem que considera ambos os aspectos. A proposta decompõe o indicador lacuna de rendimento convencional em outros quatro componentes: lacuna de eficiência técnica, lacuna de alocação, lacuna econômica e lacuna de tecnologia. A lacuna de eficiência técnica representa a diferença entre o rendimento de eficiência técnica e o rendimento real, enquanto a lacuna de alocação se refere a diferença entre o rendimento econômico e o rendimento de eficiência técnica. Já a lacuna econômica ilustra a diferença entre o rendimento alcançável e o econômico, enquanto a lacuna tecnológica representa a diferença entre o rendimento potencial e o alcançável.

A análise com essa metodologia considera o nível de uso de insumos e de rendimento de grãos de determinada propriedade, e outras duas funções: 1) Função de resposta teórica, que descreve a relação entre rendimento e insumos quando não há restrições para cultura, a qual pode ser estimada a partir de dados experimentais, sendo que o máximo da função representa o rendimento potencial da cultura; 2) Função de resposta de rendimento limite, que é estimada a partir de observações de uma amostra de agricultores de determinado local, a qual representa o desempenho

das melhores práticas em diferentes níveis de insumos, e reflete a tecnologia disponível e as melhores práticas de manejo na região (VAN DIJK et al., 2017).

## 2.5 ABORDAGENS DE ANÁLISE DE DADOS

Os estudos com modelagem são amplamente adotados para estimativas das lacunas de rendimento (LOBELL; CASSMAN; FIELD, 2009; VAN ITTERSUM et al., 2013), e em estudos que tratam da identificação de suas causas (BEZA et al., 2017).

No caso de estudos com dados de lavouras, as abordagens empregadas são variadas. Dentre elas podemos citar técnicas de análise multivariada, destacando-se a análise de componentes principais e análise de agrupamento (KÖBRICH; REHMAN; KHAN, 2003; RIBEIRO et al., 2011; VILLAMIL; DAVIS; NAFZIGER, 2012; NAVE; JACQUET; JEUFFROY, 2013); técnicas de regressão e classificação por árvores (LOBELL et al., 2005; ROEL; FIRPO; PLANT, 2007; TITTONELL et al., 2008; ZHENG et al., 2009); regressão linear (CALVIÑO; SADRAS, 2002); *Random Forest* (KRUPNIK et al., 2015) e *Stepwise* (LOBELL et al., 2005). Uma abordagem que começa a ser utilizada nesses estudos é o *Lasso* (*Least Absolute Shrinkage and Selection Operator*) (ZHAO; CHEN; LOBELL, 2016; LOLLATO et al., 2018). Esse método de regressão linear, similar a *Stepwise*, permite selecionar variáveis e estimar um modelo correspondente simultaneamente (KOSTOV; DAVIDOVA, 2013)

Em alguns estudos são utilizadas mais de uma técnica de análise, tanto para avaliação do potencial de uso das metodologias em determinada situação, como de forma complementar. Para essa abordagem destaca-se o trabalho de Lollato et al. (2018), que utilizou onze abordagens estatísticas para testar a associação de práticas de manejo e das condições ambientais com o rendimento de grãos observado a campo. Dentre as técnicas estão: *Stepwise selection*, *Forward selection*, *Backward Elimination*, *Least angle regression*, *Lasso*, *Elastic net*, *Random Forests*, e *Conditional inference trees*, análise de variância, regressão linear e regressão não linear.

A análise multivariada se refere a todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos. Muitas técnicas multivariadas são extensões da análise univariada e bivariada. Analogamente, a variável dependente única encontrada na análise de variância é



estendida para incluir múltiplas variáveis dependentes. Algumas técnicas multivariadas, como por exemplo a regressão múltipla, proporcionam executar em uma análise aquilo que antes exigia múltiplas análises univariadas para ser realizado. Já outras técnicas multivariadas são planejadas para trabalhar com aspectos multivariados, como a análise fatorial, que identifica uma estrutura inerente a um conjunto de variáveis, ou análise discriminante, que distingue entre grupos baseada em um conjunto de variáveis (HAIR et al., 2009).

Dentre as técnicas multivariadas, a análise fatorial, que inclui a análise de componentes principais (ACP), é uma técnica que analisa as inter-relações entre um grande número de variáveis simultaneamente, e explica essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes comuns. Ou seja, a análise condensa a informação das variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas, os fatores, com uma perda mínima de informação (HAIR et al., 2009).

Na ACP, os componentes principais, que correspondem aos fatores na análise fatorial, representam um novo conjunto de variáveis ortogonais, que são combinações lineares das variáveis originais, e que tem variância máxima (ABDI; WILLIAMS, 2010). De forma simplificada, um componente principal pode ser visto como uma combinação particular dos resultados de diversas variáveis observadas, num único resultado global. Por meio de estudo da associação entre os componentes principais e as variáveis originais e/ou variáveis suplementares, pode-se elencar as variáveis mais importantes (DUARTE, 1998; DEL POZO et al., 2014)

A análise de agrupamento é um grupo de técnicas multivariadas cuja finalidade principal é agregar objetos ou indivíduos com base em suas características. Assim, a técnica classifica uma amostra em um número menor de grupos mutuamente excludentes com base na similaridade dos indivíduos. A análise de agrupamento se assemelha a análise fatorial em seu objetivo de avaliar estrutura. Porém, a análise de agrupamento agrega objetos ou indivíduos, e a análise fatorial agrega variáveis. Além disso, o agrupamento faz agrupados baseados em distância, ou seja, proximidade, enquanto a análise fatorial faz os agrupamentos baseada em padrões de correlação dos dados (HAIR et al., 2009).

## 2.6 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

A Mesorregião Geográfica Centro-Sul do Paraná é composta por três microrregiões: Microrregião Geográfica Pitanga, Microrregião Geográfica Guarapuava, e Microrregião Geográfica Palmas, as quais são constituídas de seis, 17 e cinco municípios, respectivamente. A microrregião de Guarapuava abrange os municípios de: Campina do Simão, Candói, Cantagalo, Espigão, Alto do Iguaçu, Foz do Jordão, Goioxim, Guarapuava, Inácio Martins, Laranjeiras do Sul, Marquinho, Nova Laranjeiras, Pinhão, Porto Barreiro, Quedas do Iguaçu, Reserva do Iguaçu, Rio Bonito do Iguaçu, Turvo e Virmond (IPARDES, 2018a).

A altitude da região varia entre 800 e 1.200 metros, e o clima é subtropical úmido, do tipo Cfb (Köppen), sem estação seca e com geadas frequentes. A temperatura média dos meses mais quentes é inferior à 22°C, e dos meses mais frios inferior à 18°C. Essas características, aliadas a elevada precipitação pluviométrica, de aproximadamente 1.900 mm anuais, e sua boa distribuição durante o ano, proporciona condições favoráveis para as culturas de verão e de inverno (FONTOURA et al., 2015).

Os solos predominantes na região Centro-Sul são Latossolos Brunos e Nitossolos nas condições de relevo plano, os quais apresentam boas condições físicas quando sob condição natural, e um alto potencial para uso agrícola quando corrigidas as restrições para fertilidade. Nas encostas ocorrem os Neossolos (Litólicos) e, nas zonas de deposição, os Cambissolos, que são solos relativamente jovens, que podem apresentar alguma restrição a mecanização. O sistema predominante de manejo do solo na região é o plantio direto (FONTOURA et al., 2015).

O setor rural possui forte influência na microrregião de Guarapuava, assim como os setores ligados ao fornecimento de serviços para a agricultura e a indústria de transformação (NUNES; PARRÉ; DE MELO, 2014). Em 2017 foram registrados 23.993 estabelecimentos agropecuários em 1.129.456 ha. Nessa área foram cultivados 25.490 ha de feijão, 79.840 ha de milho, 329.850 ha de soja e 47.735 ha de trigo (IPARDES, 2018b).

Os dados do levantamento do uso de tecnologias em lavouras de trigo tecnicamente assistidas no Paraná, realizado em 2014 pela Embrapa e Emater/PR, evidenciam diversas características do cultivo do cereal na Região Homogênea de

Adaptação de Cultivares de Trigo 1, fria e úmida, na qual se insere a microrregião de Guarapuava. Cerca de 93% das áreas utilizaram sementes de categorias C1, C2, S1 e S2, 71% realizaram tratamento de sementes com fungicida e inseticida, e aproximadamente 80% da semeadura do trigo é realizada entre o segundo decêndio de junho e o primeiro decêndio de julho. Com relação a adubação, em 35% das lavouras a dose de adubação de base é superior a 300 kg ha<sup>-1</sup>, e 46% utilizam doses de adubação nitrogenada de cobertura entre 200 e 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, sendo a região tritícola do Paraná com maior percentual de uso desses níveis de adubação. Além disso, os resultados apontam que 62% das áreas utilizam redutor de crescimento, e que em 47% da área foram realizadas cinco ou seis aplicações de fungicidas (DE MORI et al., 2016).

A Cooperativa Agrária Agroindustrial localiza-se no distrito de Entre Rios, município de Guarapuava, e foi estabelecida na década de 1950. A partir da agricultura, a cooperativa instituiu cadeias produtivas completas, que compreendem desde pesquisa agrícola, realizada pela FAPA - Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária - até a industrialização. As principais culturas produzidas pelos cooperados são soja, milho, trigo e cevada. Em 2017, a Agrária contou com 650 cooperados, 1.500 colaboradores e faturamento total de 2,8 bilhões (COOPERATIVA AGRÁRIA, 2018).

Os solos predominantes na região de atuação da cooperativa são o Latossolo Bruno e o Nitossolo, que geralmente apresentam boas condições físicas e elevados teores de matéria orgânica quando sob manejo conservacionista, mas apresentam restrições químicas que exigem correção. De acordo com levantamento de análises de solo, considerando a camada de 0 a 20 cm, cerca de 50% dos solos em cultivo demandam calagem, e em 37 e 62% das lavouras há uma expectativa de aumento da produtividade e do retorno econômico com a adubação potássica e fosfatada (FONTOURA et al., 2015).

Na safra 2016/2017, a área atendida pela cooperativa foi de 115 mil hectares em 14 municípios. No período de 2014 a 2017, as produtividades médias de soja, milho, trigo e cevada foram 4.071, 12.633, 3.604 e 3.855 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na safra 2016/2017, cujas condições ambientais foram muito favoráveis para a cultura do trigo, a produtividade média em 20.749 hectares foi de 4.887 kg ha<sup>-1</sup> (COOPERATIVA AGRÁRIA, 2018).

Além das condições já citadas, as altas produtividades dos sistemas de produção da região são sustentadas pela ampla adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, caracterizados pelo plantio direto, cobertura de solo no inverno por culturas em desenvolvimento como trigo, cevada, plantas de cobertura e pastagens, e o cultivo de soja em rotação com milho, que compreende um terço da área cultivada no verão. Portanto, a condição edafoclimática favorável e a adoção generalizada desse sistema de manejo do solo, que considera a manutenção e melhoria da capacidade produtiva ao longo do tempo, tem proporcionado um alto aproveitamento do potencial genético das cultivares e das melhorias do manejo fitotécnico (FONTOURA et al., 2015).

### 3 REFERÊNCIAS

ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Computational Statistics**, v. 2, p. 433–459, 2010.

ABELEDI, L. G.; SAVIN, R.; SLAFER, G. A. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 541–550, 2008.

ABITRIGO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO. **Brasil - Exportação de trigo 2018 (por país)**. Disponível em: <[http://abitrito.com.br/associados/arquivos/5.TRIGO\\_EXPORT\\_2018.pdf](http://abitrito.com.br/associados/arquivos/5.TRIGO_EXPORT_2018.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

ACEVEDO, E.; SILVA, P.; SILVA, H. Wheat Growth and Physiology. In: CURTIS, B. C.; RAJARAM, S; MACPHERSON, H. (Ed.). **Bread wheat Improvement and Production**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002.

AFFHOLDER, F. et al. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modelling. **Field Crops Research**, v. 143, p. 106–118, 1 mar. 2013.

ALBRECHT, J. C. et al. **Trigo BRS 394 - nova cultivar para o cerrado**. Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 10., 2016, Londrina. **Anais...**Londrina: Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2016. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158174/1/ID44011-2016RCBPTTJULIO55-.pdf>>. Acesso em 14 dez.2018.

ALMEIDA, J. L. DE; FOSTIN, M. L. . **Ensaio de épocas de semeadura de trigo em 2016**. Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 11., 2017, Cascavel. **Anais...**Cascavel: Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2017. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164856/1/ID44123-2017PCReuniaoTrigoResumosExpandidos.pdf>>. Acesso em 14 dez.2018.

ANDERSON, W. K. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. **Field Crops Research**, v. 116, n. 1–2, p. 14–22, 2010.

ARAMBURU MERLOS, F. et al. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. **Field Crops Research**, v. 184, p. 145–154, 1 dez. 2015.

BATTISTI, R. et al. Soybean Yield Gap in the Areas of Yield Contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 12, n. 3, p. 159–168, 7 set. 2018.

BAUMGRATZ, E. I. et al. Produção de trigo A decisão por análise econômico-

financeira. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 8–21, 2017.

BECHE, E. et al. Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20th century. **European Journal of Agronomy**, v. 61, p. 49–59, 2014.

BEZA, E. et al. Review of yield gap explaining factors and opportunities for alternative data collection approaches. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 206–222, 2017.

BRISSON, N. et al. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. **Field Crops Research**, v. 119, n. 1, p. 201–212, 9 out. 2010.

BRYAN, B. A.; KING, D.; ZHAO, G. Influence of management and environment on Australian wheat: Information for sustainable intensification and closing yield gaps. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 4, 2014.

BYERLEE, D.; TRIOMPHE, B.; SEBILLOTTE, M. Integrating Agronomic and Economic Perspectives into the Diagnostic Stage of On-farm Research. **Experimental Agriculture**, v. 27, n. 02, p. 95, 3 abr. 1991.

CALVIÑO, P.; SADRAS, V. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. **Field Crops Research**, v. 74, n. 1, p. 1–11, 2002.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras - Trigo**. Brasília: Conab, 2018. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/22904\\_87f7ed9b7ae653aafc45bca39f5e754c](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/22904_87f7ed9b7ae653aafc45bca39f5e754c)>. Acesso em: 25 nov. 2018a.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira Grãos V. 6 - SAFRA 2018/19- N. 2 - Segundo levantamento NOVEMBRO 2018**. Brasília: Conab, 2018. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/23679\\_041c465fb71e41cf382825c6b8c43623](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/23679_041c465fb71e41cf382825c6b8c43623)>. Acesso em: 16 dez. 2018b.

COOPERATIVA AGRÁRIA, A. **Relatório Anual de 2017**. Guarapuava. Disponível em: <[http://www.agraria.com.br/arquivos/relatorio\\_anual\\_2017-v2.pdf](http://www.agraria.com.br/arquivos/relatorio_anual_2017-v2.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2018.

DE MORI, C. et al. **Wheat cropping system and its costs in Brazil (2003-2004)**. INTERNATIONAL WHEAT CONFERENCE, 7., 2005, Mar del Plata. Poster presentations... **Anais**...Mar del Plata: SAGPyA/INTA, 2005.

DE MORI, C. et al. **Uso de tecnologias em lavouras de trigo tecnicamente assistidas no Paraná – Safra 2014**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147667/1/ID43753-2016DO160.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2018.

DE MORI, C.; IGNACSAK, J. C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. DA; (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 41–76.

DEL POZO, A. et al. Agronomic and physiological traits associated with breeding advances of wheat under high-productive Mediterranean conditions. The case of Chile. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, p. 180–189, 1 jul. 2014.

DELMOTTE, S. et al. On farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate. **European Journal of Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 223–236, 2011.

DERAL - DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. **Comparativo de área produção e rendimento**. Curitiba: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>>. Acesso em: 22 dez. 2018.

DORÉ, T. et al. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 28, n. 1, p. 151–161, mar. 2008.

DUARTE, J. B. **INTRODUÇÃO À ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (Com Aplicação do SAS® - Statistical Analysis System)**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1998. Disponível em: <<https://www.agro.ufg.br/up/396/o/ACP.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2016.

EVANS, L. T; FISCHER, R. A. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. **Crop Science - CROP SCI**, v. 39, p. 1544–1551, 1999.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Yield gap analysis of field crops, Methods and case studies. FAO Water Reports**. Rome: FAO, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4695e.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2016.

FARIAS, A. R. et al. **Dinâmica Espacial da Cultura do Trigo no Brasil no período de 1990 a 2014**. Campinas: Embrapa Gestão Territorial, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1082781/dinamica-espacial-da-cultura-do-trigo-no-brasil-no-periodo-de-1990-a-2014>>. Acesso em: 2 dez. 2018.

FIOREZE, S. L.; RODRIGUES, J. D. Tillering affected by sowing density and growth regulators in wheat. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 589–604, 2014.

FISCHER, R. A. Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. **Field Crops Research**, v. 182, p. 9–18, 2015.

FONTOURA, S. M. V. et al. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. 1. ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015.

GILLER, K. E.; ROWE, E. C.; DE RIDDER, N. Resource use dynamics and interactions in the tropics: Scaling up in space and time. **Agricultural Systems**, v. 88, n. 1, p. 8–27, 1 abr. 2006.

GOSWAMI, R.; CHATTERJEE, S.; PRASAD, B. Farm types and their economic characterization in complex agro-ecosystems for informed extension intervention: study from coastal West Bengal, India. **Agricultural and Food Economics**, v. 2, n. 1, 2014.

GRASSINI, P. et al. High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt: I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices. **Field Crops Research**, v. 120, n. 1, p. 142–150, jan. 2011.

GRASSINI, P. et al. Soybean yield gaps and water productivity in the western U.S. Corn Belt. **Field Crops Research**, v. 179, p. 150–163, 2015.

GRASSINI, P.; ESKRIDGE, K. M.; CASSMAN, K. G. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. **Nature Communications**, v. 4, n. 1, p. 2918, 17 dez. 2013.

GRDC - GRAINS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION. **Farm Gross Margin and Enterprise Planning Guide**. Canberra: GRDC, 2018. Disponível em: <[https://grdc.com.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0038/294959/Farm-Gross-Margin-and-Enterprise-Planning-Guide-2018.pdf?utm\\_source=website&utm\\_medium=download\\_button&utm\\_campaign=pdf\\_download&utm\\_term=National;+South&utm\\_content=Farm+Gross+Margin+and+Enterprise+Planning+Guide+2018](https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0038/294959/Farm-Gross-Margin-and-Enterprise-Planning-Guide-2018.pdf?utm_source=website&utm_medium=download_button&utm_campaign=pdf_download&utm_term=National;+South&utm_content=Farm+Gross+Margin+and+Enterprise+Planning+Guide+2018)>. Acesso em: 31 dez. 2018

GUILPART, N. et al. Estimating yield gaps at the cropping system level. **Field Crops Research**, v. 206, p. 21–32, 2017.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAN, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAJJARPOOR, A. et al. Using boundary line analysis to assess the on-farm crop yield gap of wheat. **Field Crops Research**, v. 225, p. 64–73, 1 ago. 2018.

HIRAKURI, M. H. **Avaliação econômica da produção de trigo no estado do Paraná, para a safra 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94188/1/Avaliacao-economica-da-producao-de-trigo-no-Estado-do-Parana-para-a-safra-2013.pdf>>. Acesso em 07 dez. 2018.

HOCHMAN, Z. et al. **Yield Gap Analysis : quantifying the gap between farmers ' wheat yields and water limited yield potential**. Australian Agronomy Conference, 16., 2012. **Anais...Armidale**: Australian Society of Agronomy, 2012. Disponível em:



<[http://www.regional.org.au/au/asa/2012/soil-water-management/8040\\_hochmanz.htm#TopOfPage](http://www.regional.org.au/au/asa/2012/soil-water-management/8040_hochmanz.htm#TopOfPage)>. Acesso em: 26 dez. 2018.

HOCHMAN, Z.; GOBBETT, D. L.; HORAN, H. Climate trends account for stalled wheat yields in Australia since 1990. **Global Change Biology**, v. 23, n. 5, p. 2071–2081, maio 2017.

HOCHMAN, Z.; HOLZWORTH, D.; HUNT, J. R. Potential to improve on-farm wheat yield and WUE in Australia. **Crop and Pasture Science**, v. 60, n. 8, p. 708, 26 ago. 2009.

HOFFMANN, M. P. et al. How does inter-annual variability of attainable yield affect the magnitude of yield gaps for wheat and maize? An analysis at ten sites. **Agricultural Systems**, v. 159, n. September 2016, p. 199–208, 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017 - Resultados preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 2 dez. 2018.

IPARDES. **Relação dos municípios do estado ordenados segundo as mesorregiões e as microrregiões geográficas do IBGE - Paraná - 2012**. Curitiba: IparDES, 2018. Disponível em: <[http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base\\_fisica/relacao\\_mun\\_micros\\_mesos\\_para\\_na.pdf](http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/relacao_mun_micros_mesos_para_na.pdf)>. Acesso em: 24 dez. 2018a.

IPARDES, I. P. DE D. E. E S. **Base de Dados do Estado - BDEweb**. Curitiba: IparDES, 2018. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/imp/index.php>>. Acesso em: 24 dez. 2018b.

JACQUET, F.; BUTAULT, J. P.; GUICHARD, L. An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops. **Ecological Economics**, v. 70, n. 9, p. 1638–1648, 2011.

KÖBRICH, C.; REHMAN, T.; KHAN, M. Typification of farming systems for constructing representative farm models: Two illustrations of the application of multivariate analyses in Chile and Pakistan. **Agricultural Systems**, v. 76, n. 1, p. 141–157, 2003.

KOSTOV, P.; DAVIDOVA, S. A Quantile Regression Analysis of the Effect of Farmers' Attitudes and Perceptions on Market Participation. **Journal of Agricultural Economics**, v. 64, n. 1, p. 112–132, 1 fev. 2013.

KRUPNIK, T. J. et al. Untangling crop management and environmental influences on wheat yield variability in Bangladesh: An application of non-parametric approaches. **Agricultural Systems**, v. 139, p. 166–179, 2015.

LAUER, J. **Conducting Meaningful On-Farm Research and Demonstrations**. Trabalho apresentado no Wisconsin Crop Management Conference, Madison, 2009.

Disponível em: <<http://corn.agronomy.wisc.edu>>. Acesso em: 1 jan. 2019.

LI, K. et al. Low yield gap of winter wheat in the North China Plain. **European Journal of Agronomy**, v. 59, p. 1–12, 2014.

LICKER, R. et al. Mind the gap: How do climate and agricultural management explain the “yield gap” of croplands around the world? **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 6, p. 769–782, 2010.

LIU, Z. et al. Maize yield gaps caused by non-controllable, agronomic, and socioeconomic factors in a changing climate of Northeast China. **Science of the Total Environment**, v. 541, p. 756–764, 2016.

LLANILLO, R. F. **Indicadores de sustentabilidade da produção familiar mecanizada de grãos em modalidade de plantio direto no norte do Paraná, Brasil**. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

LOBELL, D. B. et al. Combining field surveys, remote sensing, and regression trees to understand yield variations in an irrigated wheat landscape. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 1, p. 241–249, 2005.

LOBELL, D. B. The use of satellite data for crop yield gap analysis. **Field Crops Research**, v. 143, p. 56–64, 2013.

LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 34, n. 1, p. 179–204, 2009.

LOBELL, D. B.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I. Regional importance of crop yield constraints: Linking simulation models and geostatistics to interpret spatial patterns. **Ecological Modelling**, v. 196, n. 1–2, p. 173–182, 2006.

LOLLATO, R. P. et al. Agronomic Practices for Reducing Wheat Yield Gaps: A Quantitative Appraisal of Progressive Producers. **Crop Science**, v. 0, n. 0, p. 0, 7 out. 2018.

LOLLATO, R. P.; EDWARDS, J. T.; OCHSNER, T. E. Meteorological limits to winter wheat productivity in the U.S. southern Great Plains. **Field Crops Research**, v. 203, p. 212–226, 2017.

LOOMIS, R.; CONNOR, D. **Ecología de cultivos**. Productividad y manejo em sistemas agrarios. In: Madri: Mundi-iPrensa, 2002. p. 3–34.

MENG, Q. et al. Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. **Field Crops Research**, v. 143, p. 91–97, 2013.

NAVE, S.; JACQUET, F.; JEUFFROY, M. H. Why wheat farmers could reduce chemical inputs: Evidence from social, economic, and agronomic analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 4, p. 795–807, 2013.

NUNES, P. A.; PARRÉ, J. L.; DE MELO, C. O. Estrutura produtiva da região da microrregião de Guarapuava e do município de Laranjeiras do Sul-PR: Comparações entre os indicadores econômicos. **Revista Faz Ciência**, v. 16, n. 24, p. 71–97, 2014.

PEREIRA, M. W. G.; ARÊDES, A. F. DE; TEIXEIRA, E. C. Avaliação econômica do cultivo de trigo dos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 5, n. 4, p. 591–610, 2007.

PINGALI, P.L.; RAJARAM, S. Global wheat research in a changing world: options and sustaining growth in wheat productivity. In: PINGALI, P. L. (Ed.). **WORLD WHEAT FACTS AND TRENDS Global Wheat Research in a Changing World: Challenges and Achievements**. Mexico, DF: CIMMYT, 1999. p. 8–25.

PIRES, J. L. F. et al. Integração de práticas de manejo nos sistemas de produção de trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. D. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 77–115.

PIRES, J. L. F. et al. **Avaliação de cultivares de trigo em diferentes níveis de manejo na região do Planalto do Rio Grande do Sul 1**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp74.pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp74.pdf)>. Acesso em 25 ago. 2018.

PIRES, J. L. F. et al. **Estratégias de sucessão trigo/aveia preta- soja para sistemas de produção de grãos no Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144792/1/ID43667-2016CTO30.pdf>>. Acesso em 25 ago. 2018.

PRADHAN, P. et al. Closing yield gaps: How sustainable can we be? **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, p. 1–18, 2015.

RATTALINO EDREIRA, J. I. et al. Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 247, p. 170–180, 15 dez. 2017.

RAY, D. K. et al. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, v. 6, p. 1–9, 2015.

RIBEIRO, M. DE F. S. et al. Desempenho agrônomo da cultura do girassol em diferentes condições edafoclimáticas do sudeste paranaense. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 550–560, 2011.

RIBEIRO, M. DE F. S.; RAIHER, A. P. Desempenho econômico da cultura do girassol em sistemas de agricultura familiar do sudeste paranaense. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 786–791, 9 abr. 2013.

RODRIGUES, O. et al. Ecofisiologia do trigo: bases para elevado rendimento de grãos. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. DA; (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa

Trigo, 2011. p. 115–134.

RODRIGUES, O. et al. Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 817–825, 2007.

ROEL, A.; FIRPO, H.; PLANT, R. E. Why do some farmers get higher yields? Multivariate analysis of a group of Uruguayan rice farmers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 58, n. 1, p. 78–92, 2007.

SADRAS, V.; ROGET, D.; O'LEARY, G. On-farm assessment of environmental and management factors influencing wheat grain quality in the Mallee. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 53, n. 7, p. 811–820, 2002.

SALDANHA, A. N. K. **Evolução e determinantes da margem bruta em estabelecimentos agropecuários familiares no Norte do Paraná, de 1998 a 2003**. 204 f. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

SCHIERHORN, F. et al. Quantifying yield gaps in wheat production in Russia. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 8, 2014.

SCHILS, R. et al. Cereal yield gaps across Europe. **European Journal of Agronomy**, v. 101, p. 109–120, 1 nov. 2018.

SILVA NETO, B.; OLIVEIRA, A. DE; LORENZONI, J. Modelos de ajuda à decisão para a definição da época de semeadura e do padrão tecnológico da cultura do trigo. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p. 1005–1011, 2009.

TITTONELL, P. et al. Unravelling the effects of soil and crop management on maize productivity in smallholder agricultural systems of western Kenya-An application of classification and regression tree analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 123, n. 1–3, p. 137–150, 2008.

VAN DIJK, M. et al. Disentangling agronomic and economic yield gaps: An integrated framework and application. **Agricultural Systems**, v. 154, n. March, p. 90–99, 2017.

VAN ITTERSUM, M. K. et al. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4–17, 2013.

VAN ITTERSUM, M. K.; CASSMAN, K. G. Yield gap analysis-Rationale, methods and applications-Introduction to the Special Issue. **Field Crops Research**, v. 143, p. 1–3, 2013.

VAN ITTERSUM, M. K.; RABBINGE, R. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. **Field Crops Research**, v. 52, n. 3, p. 197–208, 1 jun. 1997.

VAN OORT, P. A. J. et al. Can yield gap analysis be used to inform R&D

prioritisation? **Global Food Security**, v. 12, n. September 2016, p. 109–118, 2017.

VAN WART, J. et al. Estimating crop yield potential at regional to national scales. **Field Crops Research**, v. 143, p. 34–43, 2013.

VILLAMIL, M. B.; DAVIS, V. M.; NAFZIGER, E. D. Estimating Factor Contributions to Soybean Yield from Farm Field Data. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 4, p. 881, 2012.

WU, D. et al. Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. **European Journal of Agronomy**, v. 24, n. 3, p. 226–235, 1 abr. 2006.

ZHANG, W. et al. Closing yield gaps in China by empowering smallholder farmers. **Nature**, v. 537, n. 7622, p. 671–674, 2016.

ZHAO, Y.; CHEN, X.; LOBELL, D. B. An approach to understanding persistent yield variation—A case study in North China Plain. **European Journal of Agronomy**, v. 77, p. 10–19, 2016.

ZHENG, H. et al. Classification and regression tree (CART) for analysis of soybean yield variability among fields in Northeast China: The importance of phosphorus application rates under drought conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, n. 1–2, p. 98–105, 2009.

## 4 CAPÍTULO I – CROP MANAGEMENT AND WHEAT GRAIN YIELD VARIABILITY IN COMMERCIAL FIELDS IN THE SOUTHERN REGION OF PARANÁ STATE<sup>2</sup>

### 4.1 ABSTRACT

The objective of this study was to identify the main management factors related to the variability of wheat grain yield in commercial fields in the Southern Region of Paraná State. The study was based on data gathered from 65, 65, and 80 farms in 2013, 2014, and 2015, respectively. Stratified proportional sampling procedures were followed, according to strata defined from the average grain yield obtained in each year. The variables evaluated were: starter fertilization, nitrogen side dressing, nitrogen total, sowing density, previous summer crop, previous winter crop, use of plant growth regulator, and grain yield. The data were subjected to Principal Component Analysis followed by Cluster Analysis. The wheat grain yield variability was not explained by crop management variables in 2013, while in 2014 and 2015 part of it was correlated to starter nitrogen, phosphorus and potassium fertilization doses, nitrogen fertilization, and sowing density. The wheat grain yield variability in commercial fields in the Southern Region of Paraná State is potentially associated with starter fertilization, nitrogen fertilization, and sowing density. The crop management factors correlated with the wheat grain yield variability could be different amid years, and they are probably associated with the environmental conditions in force.

Index terms: *Triticum aestivum* L., yield gap, yield potential, management practices.

### 4.2 RESUMO

O objetivo do trabalho foi identificar os principais fatores de manejo associados a variabilidade do rendimento de grãos em lavouras de trigo no Centro-Sul do Paraná. O estudo baseou-se em dados de 65, 65 e 80 lavouras das safras 2013, 2014 e 2015, respectivamente. A amostragem foi estratificada proporcional, de acordo com os estratos definidos a partir da média do rendimento de grãos de cada

---

<sup>2</sup> O capítulo apresenta estrutura e parte da formatação exigida pela Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.

saфра. As variáveis estudadas foram: adubação na semeadura, nitrogênio em cobertura, nitrogênio total, densidade de semeadura, uso de redutor de crescimento, cultura antecessora no inverno e verão, e rendimento de grãos. Os dados foram submetidos a análise de componentes principais e análise de agrupamento. A variabilidade do rendimento de grãos não foi explicada pelas variáveis de manejo em 2013, já em 2014 e 2015 parte dela foi correlacionada com adubação na semeadura, com adubação nitrogenada e com densidade de semeadura. A variabilidade do rendimento de grãos em lavouras de trigo no Centro-Sul do Paraná está potencialmente associada a adubação na semeadura, a adubação nitrogenada e a densidade de semeadura. Os fatores de manejo da cultura do trigo correlacionados com a variabilidade da produtividade podem ser diferentes entre anos, e provavelmente estão associados às condições ambientais vigentes.

Termos para indexação: *Triticum aestivum* L., lacuna de rendimento, potencial de rendimento, práticas de manejo.

#### 4.3 INTRODUCTION

Producing wheat in a sustainable and competitive way is a great challenge for the Brazilian agriculture (Cunha et al., 2011). According to Conab (2017), in 2017 about eleven million tons of wheat were used for milling and 62% of that demand had its origin from grain importation. Therefore, it is necessary to increase the wheat production in Brazil to meet the growing demand of this cereal in the country, reducing the dependence on importation.

Wheat grain yield in Brazil has increased significantly in the last decades, from approximately 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, in the 1970s, to nearly 2.200 kg ha<sup>-1</sup> in 2017. This increase is a result of improvements in the genetic potential, crop management, disease reaction, and tolerance to abiotic stresses (Lobell et al., 2009). However, the current average grain yield is still below if compared with the one obtained in experimental conditions, which represents the crop yield potential for a given location (Sadras & Calderini, 2009). Hence, identifying the main factors that influence wheat grain yield in commercial fields is very important, because it will allow us to minimize the difference between the productivity obtained in crop fields and the cereal yield potential.

The current Brazilian wheat grain yield corresponds to about 45 to 55% of rainfed wheat yield potential in the country (Rodrigues et al., 2007; Beche et al., 2014). At the global level, wheat grain yield obtained in rainfed commercial fields represents 52% of cereal yield potential (Van Oort et al., 2017), and 60% more wheat could be produced if 95% of the harvested areas met their current climatic potential (Licker et al., 2010). From the economic point of view, the maximum yield level for farmers to achieve is around 80% of yield potential, in the farm economic context (Lobell et al., 2009). Thus, many studies have been developed around the world to determine this yield gaps (Beza et al., 2017), but fewer has been dedicated to identify their causes.

The challenge to understand yield gaps is to identify, among the main causes of decrease in yield, those that show major influence on it (Lobell et al., 2009). The knowledge about factors that affect wheat cultivation is vast, standing out weather conditions, technology use, production structure, and quality of production process management (Cunha et al., 2011; Nave et al., 2013; Mazzili et al., 2016; Lollato et al., 2017), which have been obtained in experimental conditions or from crop growth models. However, research indicating these factors is restrict in commercial fields (Beza et al., 2017), mainly due to the high financial and personnel expenses for its execution. Among the main factors already associated with yield gaps in wheat fields are those related to crop management, such as fertilization, irrigation, plant protection, and sowing time (Calvino & Sadras, 2002; Lobell et al., 2005; Krupnik et al., 2015). In Brazil, studies with this approach to wheat cultivation were not found.

The information from these studies is relevant for the interpretation of grain yield in a given crop condition, with the identification of the main restrictive factors. Thus, it is possible to analyze the feasibility of reducing yield gaps (Beza et al., 2017), and to develop strategies to minimize or overcome them by indicating proper crop management. Therefore, this information can provide support to the decision-making process at the technical assistance level (Goswami et al., 2014), as well as contributing to understand the factors that influence the adoption of a given management plan by farmers (Zhang et al., 2016).

Thus, the objective of this study was to identify the main management factors related to wheat grain yield variability in commercial fields in the Southern Region of Paraná State.



#### 4.4 MATERIAL AND METHODS

The study was based on data from wheat commercial fields owned by farmers who are associated to a cooperative situated in the Southern Region of Paraná State, whose area of activity comprises 115.000 hectares covering 14 cities. This region is composed by high yielding environments for winter crops due to both climate and edaphic potential and high technology use, reaching one of the highest rainfed wheat yields in Brazil. The climate of the region is classified as Cfb, in accordance with of Koeppen classification, and the predominant soil classes are Nitosols and Oxisol (Haplohumox) (Fontoura et al., 2015).

Wheat stands out among winter crops promoted by the mentioned cooperative, with yield of 3.330 kg ha<sup>-1</sup> during 2005-2015, which is 39% higher than the average of Paraná State in that period (2.390 kg ha<sup>-1</sup>) (Ipardes, 2017). Despite the relevant performance of wheat, about 14% of the farms' yields has been underneath the cooperative average in the last five years.

The data was obtained from the technical department of the cooperative and from its research foundation. The grain yield data was gained from annual reports of the cooperative as well. Crop management data were gotten from field notebooks registered by farmers or extension agents. Meteorological information was taken from Simepar's Forecast Station at Entre Rios/Guarapuava, and experimental grain yield was obtained from the up mentioned cooperative research foundation.

The farmer population considered in this study was of 151, 172 and 181, both individual farmer or family groups in 2013, 2014 and 2015, respectively. The family groups correspond to farmers members of the same family that share land, machinery, and labor. Stratified proportional sampling procedures were used according to strata based on grain yield obtained in each cropping season (Attachment 1). The determination of strata was based on the extent of variation around average, using grain yield standard deviation for each cropping season. The strata were classified into Superior Stratum (SS), Inferior Stratum (IS), and Medium Stratum (MS). SS corresponded to wheat fields with grain yield superior to average added one standard deviation, while IS referred to wheat fields with grain yield inferior to average minus one standard deviation. MS corresponds to wheat fields with yield grains situated between average plus or minus one standard deviation. Sample size considered a margin of error of 10%, a confidence level of 95%, and a

population heterogeneity of 50%. A total of 65, 65, and 80 wheat commercial fields were analyzed in 2013, 2014, and 2015, respectively.

The evaluated variables were: grain yield; starter fertilization dose, nitrogen, phosphorus and potassium; nitrogen side dressing dose; nitrogen total dose; sowing density; previous winter crop; previous summer crop; and use of plant growth regulator. The variables previous winter crop, previous summer crop, and use of plant growth regulator were codified as follow: previous winter crop: 1-wheat; 2-oat for soil cover; 3-barley; 4-oat and 5-oilseed radish; previous summer crop: 1-corn and 2-soybean or bean; use of plant growth regulator: 1-no; 2-yes.

Descriptive statistics were used to summarize the data of each variable. Subsequently, the data were standardized using Z-score (Hair et al., 2009), and the multivariate analysis was performed in two stages. First, the data were subjected to the Principal Component Analysis (PCA), considering crop management variables as active ones to extract components and grain yield as a supplementary variable. The selection of the principal components considered the minimum cumulative variance explained of 70%. In a second stage, all variables were used for commercial field classification using agglomerative hierarchical clustering, considering Euclidian distance as a measure of distance between two points and Ward's method as a classification algorithm. In the characterization of the groups, a frequency distribution analysis was performed bearing in mind the following variables: previous winter crop, previous summer crop, and use of plant growth regulator. The R Program was used to process all the analyses, using FactoMineR package for PCA and Cluster package for clustering analysis.

#### 4.5 RESULTS AND DISCUSSION

The average grain yield of wheat commercial fields was of 4.186, 3.898 and 2.668 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, in 2013, 2014, and 2015, which corresponded to 59, 80, and 72% of wheat yield potential, represented by grain yield in experimental condition (Table 1). Soybean or bean were the main previous summer crop, while barley was the main previous winter crop. The nitrogen dose of the starter fertilization varied between 33 and 37 kg ha<sup>-1</sup>, the phosphorus dose between 109 and 117 kg ha<sup>-1</sup>, and the potassium dose between 63 and 76 kg ha<sup>-1</sup>. Nitrogen side dressing varied between 52 and 55 kg ha<sup>-1</sup>, in the form of urea, and the nitrogen total between 87

and 92 kg ha<sup>-1</sup>. The sowing density ranged from 346 to 366 seeds m<sup>-2</sup>, and plant growth regulator was not used in most of the fields.

Considering the minimum cumulative explained variance of 70%, PCA indicated four principal components in each year (Table 2). In 2013, the first two principal components explained 49% of the total variance. The first component was positively correlated with nitrogen and phosphorus doses in the starter fertilization, nitrogen total and side dressing doses, and negatively with the previous winter crop. On the other hand, the second component was positively correlated with nitrogen, phosphorus and potassium doses in the starter fertilization and previous winter crop, and negatively with nitrogen side dressing doses and sowing density. However, there was no significant correlation between the principal components and grain yield, indicating that crop management variables did not explain the grain yield variability in 2013.

The first principal component explained 27% of variance in 2014, with positive correlation with nitrogen, phosphorus and potassium doses in the starter fertilization and nitrogen total dose, and negatively with sowing density (Table 2). In addition, this principal component showed significant positive correlation (0.28) with grain yield indicating that part of grain yield variability is related with both higher starter fertilization and higher nitrogen total doses and lower sowing density.

In 2015, the first principal component accounted for 28% of variance without significant correlation with grain yield (Table 2). The second and the third principal components explained 35% of total variance and were positively correlated with grain yield. The second principal component, accounted for most grain yield variability (0,40), had a significant positive correlation with starter fertilization doses, and negative with nitrogen side dressing dose and sowing density. The third principal component showed a negative correlation with sowing density (-0,73) and previous summer crop, and positive correlation with potassium doses in the starter fertilization, nitrogen total and side dressing doses and use of plant regulator. Thus, in 2015 part of grain yield variability can be explained by higher starter fertilization, lower nitrogen side dressing, and lower sowing density, like observed in 2014.

The commercial fields were clustered into three groups in 2013 (Figure 1, Table 3). Group 1 represented 66% of fields and reached a grain yield of 4,047 kg ha<sup>-1</sup>. Barley was predominant as previous winter crop, and soybean or bean as previous summer crop. The sowing density was 363 seeds m<sup>-2</sup>, and starter

fertilization doses and nitrogen doses were similar to average of sample analyzed (Table 1). Group 2 achieved grain yield of 4,450 kg ha<sup>-1</sup>, and represented 11% of fields (Figure 1, Table 3). The group adopted sowing density of 346 seeds m<sup>-2</sup> and had barley and soybean or bean as predominant previous crop. Nitrogen doses and starter fertilization doses were superior to average of sample analyzed, while nitrogen side dressing dose was similar (Table 1).

Group 3, composed of 15 commercial fields, reached productivity of 4,461 kg ha<sup>-1</sup>, and had oat for cover soil as previous winter crop, and corn as previous summer crop (Figure 1, Table 3). The starter fertilization doses were like average of sample analyzed (Table 1), however nitrogen doses were higher. Besides that, sowing density was 388 seeds m<sup>-2</sup>, which could be related to cultivation after corn, when some farmers increase sowing density to compensate loss of stand due to their difficulty for sowing operation as a result of corn straw. The results did not show a clear relationship between crop management variables and grain yield variability, agreeing with PCA results, without significant correlation with grain yield.

In 2014, commercial fields were clustered into four groups (Figure 1, Table 3). Group 1, representing 33% of fields, reached grain yield of 3,797 kg ha<sup>-1</sup>. The sowing density was 344 seeds m<sup>-2</sup>, and barley was predominant as previous winter crop, and soybean or bean as previous summer crop. In relation to average of sample analyzed, starter fertilization doses and nitrogen doses were similar (Table 1). Group 2, composed of seven fields, obtained productivity of 4,207 kg ha<sup>-1</sup>. In this group, sowing density was 351 seeds m<sup>-2</sup>, and 50% of fields had corn and 50% had soybean as previous summer crop, while oat for cover soil was predominant as previous winter crop. The starter fertilization doses stood out, with a use of 65, 173 and 69 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen, phosphorus and potassium, respectively, and total nitrogen dose of 115 kg ha<sup>-1</sup>.

Group 3, which represented 25% of commercial fields, achieved grain yield of 3,361 kg ha<sup>-1</sup> (Figure 1, Table 3). Oat for cover soil was predominant as previous winter crop, and corn as previous summer crop. Sowing density was 383 seeds m<sup>-2</sup>, and starter fertilization doses were 26, 91 and 51 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen, phosphorus and potassium, respectively. Total nitrogen doses were similar to average of sample analyzed (Table 1). Group 4 clustered 32% of fields and reached a productivity of 4,094 kg ha<sup>-1</sup>. This group was characterized using 380 seeds m<sup>-2</sup>, barley and soybean or bean as previous crops, and starter fertilization doses (nitrogen and

phosphorus) and nitrogen doses were similar to average of sample analyzed (Table 1).

In 2015, the commercial fields were clustered into three groups. Group 1, which represented 15% of these fields, showed grain yield of 2,229 kg ha<sup>-1</sup>, had barley and soybean or bean as previous crops and adopted sowing density of 388 seeds m<sup>-2</sup> (Figure 1, Table 3). Total nitrogen and side dressing doses were 72 and 111 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. These fields had a high starter phosphorus fertilization of 153 kg ha<sup>-1</sup>, and a lower starter potassium fertilization of 17 kg ha<sup>-1</sup>.

Group 2, representing 19% of the fields, had a grain yield of 2,311 kg ha<sup>-1</sup>, a sowing density of 359 seeds m<sup>-2</sup>, and barley and soybean or bean as previous crops (Figure 1, Table 3). Besides that, this group showed a lower starter fertilization doses and total nitrogen doses in relation to average of sample analyzed (Table 1). Group 3, that clustered 66% of commercial fields, obtained grain yield of 2,868 kg ha<sup>-1</sup>, had sowing density of 333 seeds m<sup>-2</sup>, and barley and soybean or bean as previous crops. These fields adopted nitrogen and starter fertilization doses similar to average of sample analyzed, except for potassium, with 81 kg ha<sup>-1</sup> (Table 1, Table 3).

According to PCA and cluster analysis, part of wheat grain yield variability in 2014 and 2015 is related with the starter fertilization, nitrogen fertilization, and sowing density, while in 2013, there was no relation with grain yield variation and crop management. Fertilization has been reported as one of the main crop management factors responsible for yield gaps in wheat around the world, although most results were obtained by crop simulation (Beza et al., 2017). As performed in the present study, Lobell et al. (2005) and Krupnik et al. (2015), analyzing commercial field data with a different statistical approach, reported nitrogen fertilization as one of the main sources of grain yield variability. Sowing density showed negative correlation with grain yield, as it was observed by Nave et al. (2013), in which high grain yield farms used low sowing density.

The region studied is characterized by fields with high input use (Table 1) (De Mori et al., 2016) to take advantage of the region's climatic potential for winter crops such as wheat and barley. In 2013, the environmental conditions were favorable for Southern Paraná winter crops, especially in the Guarapuava region, with a yield potential of 7.068 kg ha<sup>-1</sup> (Table 1, Figure 2). The exploration of 59% of yield potential in commercial fields indicates that there is space to improve management to increase grain yield, which can be related with others management practices

(LOBELL et al., 2005). The expression of yield potential depends on both favorable environmental conditions and proper crop management. Yield potential represents the expression of various factors that define (CO<sub>2</sub>, solar radiation, and temperature), limit (water and nutrients), and reduce (diseases, pests, and weeds) production, and the level of intervention of the crop management on these factors (Fischer, 2007). Once optimized the factors under control of crop management, maximum grain yield depends mainly on light absorption rate, CO<sub>2</sub> assimilation, and water availability (Loomis & Connor, 2002).

In 2015, environmental conditions were unfavorable for wheat crops in the evaluated region, with the occurrence of the El Niño phenomenon with strong intensity. Rainfall above the average during heading and seed filling (Figure 2) can favor the occurrence of Fusarium Head Blight (*Fusarium graminearum*), a fungal disease which attacks the spike and can cause severe losses in grain yield (Del Ponte et al., 2009). In Guarapuava Region, this disease reached an incidence of 91% and a severity of 63% in 2015 (Santana et al., 2016). Hence, part of grain yield variability in 2015 could be associated to this disease. Variables related to disease incidence and severity should be considered in new studies for a better understanding of grain yield variability, especially in years with El Niño influence. Moreover, cumulative solar radiation and temperature during reproductive stages are important variables to be analyzed, since they can account for a large part of grain yield variability (Calvino & Sadras, 2002; Fischer, 2011; Lollato et al., 2017).

In addition to variables related to diseases and environmental conditions, other important crop management practices can be evaluated, as a weed competition and sowing date. Other aspect that should be considered is the inclusion of variables of physico-chemical parameters of soil and their interaction with crop management (Zhao et al., 2016).

The outcomes of this study showed that the use of high levels of starter fertilizers and low sowing density can provide better grain yields, even under unfavorable environmental conditions as in 2015. However, it is important to consider that the yield potential is lower in these conditions, and farmers that use high input levels usually have a lower economic performance (Nave et al., 2013).

#### 4.6 CONCLUSIONS

1. The wheat grain yield variability in commercial fields in the Southern Region of Paraná State is potentially associated to starter fertilization dose, nitrogen fertilization, and sowing density.

2. Crop management factors correlated with the wheat grain yield variability in the Southern Region of Paraná State could be different amid years, and probably they are associated with the environmental conditions.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors want to thank the cooperative with its research foundation, as well as their employees and associates for the given willingness to provide data for the present study.

#### 4.7 REFERENCES

BECHE, E.; BENIN, G.; DA SILVA, L. C.; MUNARO, L. B.; MARCHESE, J. A. Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20th century. **European Journal of Agronomy**, v.61, p. 49-59, 2014.

BEZA, E.; SILVA, J. V.; KOOISTRAA, L.; REIDSMA, P. Review of yield gap explaining factors and opportunities for alternative data collection approaches. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 206–222, 2017.

CALVINO, P.; SADRAS V. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. **Field Crops Research**, v. 74, p.1–11, 2002.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, V.5 - safra 2017/18, - N. 3 – terceiro levantamento, dezembro 2017.** Brasília, DF. 2017. 130 p. Available at: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18\\_01\\_11\\_14\\_14\\_35\\_dezembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_11_14_14_35_dezembro.pdf)>. Accessed on: 12 Feb. 2018.

CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; VARGAS, L. Bases para produção competitiva e sustentável de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Ed.) **Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável.** 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 19-26.

DE MORI, C.; HARGER, N.; PRANDO, A. M.; SILVA, S. R.; TAVARES, L. C. V.; BASSOI, L. C.; FOLONI, J. S. S.; DE OLIVEIRA, A. B.; LIMA, D.; SILVA FILHO, P. M.

da S. **Uso de tecnologias em lavouras de trigo tecnicamente assistidas no Paraná – Safra 2014**. Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2016. PDF (44 p.). (Documentos online / Embrapa Trigo, ISSN 1518-6512; 160). Available at: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147667/1/ID43753-2016DO160.pdf>. Accessed on: 01 de fev. 2018.

DEL PONTE, E. M.; FERNANDES, J. M.; PAVAN, W.; BAETHGEN, W. E. A Model-based Assessment of the Impacts of Climate Variability on Fusarium Head Blight Seasonal Risk in Southern Brazil. **Journal of Phytopathology**, v.157, p.675-681, 2009.

FISCHER, R. A. Understanding the physiological basis of yield potential in wheat. **Journal of Agricultural Science**, v.145, p.99–113, 2007.

FISCHER, R. A. Wheat physiology: a review of recent developments. **Crop & Pasture Science**, v.62, p.95–114, 2011.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I.; MORAES, R. P. DE. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. 1. ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015.

GOSWAMI, R.; CHATTERJEE, S.; PRASAD, B. Farm types and their economic characterization in complex agro-ecosystems for informed extension intervention: study from coastal West Bengal, India. **Agricultural and Food Economics**, v. 2, n. 1, 2014.

HAIR Jr., J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. & TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.

IPARDES. **Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social**. Base de Dados do Estado. Available at: [http://www.ipardes.gov.br/imp/imp.php?page=consulta&action=ano\\_save](http://www.ipardes.gov.br/imp/imp.php?page=consulta&action=ano_save). Accessed on: 29 Jan. 2017.

KRUPNIK, T. J. *et al.* Untangling crop management and environmental influences on wheat yield variability in Bangladesh: An application of non-parametric approaches. **Agricultural Systems**, v. 139, p. 166-179, 2015.

LICKER, R; Johnston, M; FOLWY, J. A.; BARFORD, C.; KUCHARIK, C.J.; MONFREDA, C.; RAMANKUTTY, N. Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the ‘yield gap’ of croplands around the world? **Global Ecology and Biogeography**, v.19, p.769–782, 2010.

LOBELL, D. B.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I.; ASNER, G. P.; NAYLOR, R. L.; FALCON, W. P. Combining field surveys, remote sensing, and regression trees to understand yield variations in an irrigated wheat landscape. **Agronomy Journal**, v.97, p.241–249, 2005.



LOBELL, D.B.; CASSMAN, K.G.; FIELD, C.B. Crops yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review of Environmental Resource**, v.34, p.179-204, 2009.

LOLLATO, R.P.; EDUARDES, J. T.; OCHSNER, T. E. Meteorological limits to winter wheat productivity in the U.S. southern Great Plains. **Field Crops Research**, v. 203, p.212–226, 2017.

LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. Sistemas agrarios. In: LOOMIS, R. S.; CONNOR, D.J. **Ecología de cultivos. Productividad y manejo em sistemas agrarios**. Madrid: Mundi-Prensa, p.3-34, 2002.

MAZILLI, S. R.; ERNST, O. R.; MELLO, V. P. de.; PÉREZ, C. A. Yield losses on wheat crops associated to the previous winter crop: Impact of agronomic practices based on on-farm analysis. **European Journal of Agronomy**, v.75, p.99–104, 2016.

NAVE, S.; JACQUET, F.; JEUFFROY, M. H. Why wheat farmers could reduce chemicals inputs: evidence from social, economic, and agronomic analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v.33, p.795-807, 2013.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J. C. B.; DIDONET, A. D.; MARCHESE, J. A. Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.817-825, 2007.

SADRAS, V.; CALDERINI, D. Crop physiology: applications for breeding and agronomy. In: SADRAS, V.; CALDERINI, D. **Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy**. 2. ed. Academic Press, 2009. cap. 1, p. 1-20.

SANTANA F. M.; LAU, D.; SBALCHIERO, C. C.; FEKSA, H.; GUTERRES, C. W.; VENÂNCIO, W. S. (2016) **Eficiência de fungicidas para controle de *Giberella zae* em trigo: resultados dos ensaios cooperativos Safra 2015**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016. PDF (9 p.). (Comunicado técnico online / Embrapa Trigo, ISSN 1517-4964; 368). Available at: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158569/1/ID44025-2016CTO368.pdf>. Accessed on: 17 Nov. 2018.

VAN OORT, P. A. J.; SAITO, K.; DIENG, I.; GRASSINI, P.; CASSMAN, K.G. VAN ITTERSUMD, M.K. Can yield gap analysis be used to inform R&D prioritisation? **Global Food Security**, v. 12, p. 109–118, 2017.

ZHANG, W.; CAO, G.; LI, X.; ZHANG, H.; WANG, C.; LIU, Q.; CHEN, X.; CUI, Z.; SHEN, J.; JIANG, R.; MI, G.; MIAO, Y.; ZHANG, F.; DOU, Z. Closing yield gaps by empowering smallholder farmers. **Nature**, v.000, 2016.

ZHAO, Y.; CHEN, X.; LOBELL, D. B. An approach to understanding persistent yield variation – a case study in North China Plain. **European Journal of Agronomy**, v. 77, p.10-19, 2016.

**Table 1.** Mean values and standard deviation of wheat crop management variables, grain yield in commercial fields and yield potential in Southern Paraná in 2013, 2014 and 2015.

Variable	2013	2014	2015
Starter nitrogen fertilization dose <sup>(2)</sup>	35 (9) <sup>(1)</sup>	37 (13)	33 (9)
Starter phosphorus fertilization dose <sup>(2)</sup>	111 (22)	109 (32)	117 (28)
Starter potassium fertilization dose <sup>(2)</sup>	76 (18)	70 (23)	63 (34)
Nitrogen side dressing <sup>(2)</sup>	52 (11)	55 (15)	55 (18)
Nitrogen total <sup>(2)</sup>	87 (15)	92 (16)	89 (18)
Sowing density <sup>(3)</sup>	367 (31)	366 (28)	346 (32)
Use of plant growth regulator <sup>(4)(7)</sup>	1	1	1
Previous winter crop <sup>(5)(7)</sup>	3	3	3
Previous summer crop <sup>(6)(7)</sup>	2	2	2
Grain yield <sup>(2)</sup>	4.186 (637)	3.898 (487)	2.668 (586)
Yield potential <sup>(2)(8)</sup>	7.068	4.864	3.681

<sup>(1)</sup>Values between parentheses: standard deviation. <sup>(2)</sup>kg ha<sup>-1</sup>. <sup>(3)</sup>Number of seeds m<sup>-2</sup>. <sup>(4)</sup>1-no; 2-yes <sup>(5)</sup>1-wheat; 2-oat for soil cover; 3-barley; 4-oat; 5-oilseed radish. <sup>(6)</sup>1-corn; 2-soybean or bean. <sup>(7)</sup>The number represents the category most frequently. <sup>(8)</sup>Grain yield obtained in experimental conditions. Results corresponded to average of three sites, two sowing dates and 20 (2013), 16 (2014) e 18 (2015) cultivars. Source: Cooperative research foundation.

**Table 2.** Correlation coefficients between variables – crop management variables and wheat grain yield – and principal components (PC) in 2013, 2014 and 2015.

Variable	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
2013				
Starter nitrogen fertilization dose	0.80*	0.40*	-0.15 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>
Starter phosphorus fertilization dose	0.65*	0.53*	-0.23 <sup>ns</sup>	-0.06 <sup>ns</sup>
Starter potassium fertilization dose	0.23 <sup>ns</sup>	0.70*	0.29*	-0.01 <sup>ns</sup>
Nitrogen side dressing	0.61*	-0.61*	0.21 <sup>ns</sup>	-0.18 <sup>ns</sup>
Nitrogen total	0.94*	-0.23 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	-0.09 <sup>ns</sup>
Sowing density	0.08 <sup>ns</sup>	-0.48*	-0.58*	0.37*
Use of plant growth regulator	-0.05 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	0.77*	0.44*
Previous winter crop	-0.41*	0.52*	-0.23 <sup>ns</sup>	-0.26*
Previous summer crop	0.07 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	0.84*
<b>Grain yield</b>	<b>0.11<sup>ns</sup></b>	<b>0.01<sup>ns</sup></b>	<b>0.01<sup>ns</sup></b>	<b>-0.11<sup>ns</sup></b>
Cumulative explained variance (%)	28	49	63	76
2014				
Starter nitrogen fertilization dose	0.90*	-0.13 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>
Starter phosphorus fertilization dose	0.89*	-0.09 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	0.26*
Starter potassium fertilization dose	0.41*	-0.22 <sup>ns</sup>	-0.30*	-0.26*
Nitrogen side dressing	-0.10 <sup>ns</sup>	0.90*	0.15 <sup>ns</sup>	-0.32*
Nitrogen total	0.61*	0.72*	0.12 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>
Sowing density	-0.49*	-0.06 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.36*
Use of plant growth regulator	0.00 <sup>ns</sup>	0.33*	0.55*	0.61*
Previous winter crop	0.13 <sup>ns</sup>	-0.31*	0.63*	-0.40*
Previous summer crop	0.10 <sup>ns</sup>	-0.47*	0.60*	-0.19 <sup>ns</sup>
<b>Grain yield</b>	<b>0.28*</b>	<b>0.08<sup>ns</sup></b>	<b>-0.12<sup>ns</sup></b>	<b>-0.03<sup>ns</sup></b>
Cumulative explained variance (%)	27	48	61	72
2015				
Starter nitrogen fertilization dose	0.23*	0.88*	-0.22 <sup>ns</sup>	-0.11 <sup>ns</sup>
Starter phosphorus fertilization dose	0.54*	0.65*	-0.18 <sup>ns</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>
Starter potassium fertilization dose	-0.40*	0.52*	0.56*	0.13 <sup>ns</sup>
Nitrogen side dressing	0.78*	-0.38*	0.40*	0.19 <sup>ns</sup>
Nitrogen total	0.90*	0.05 <sup>ns</sup>	0.29*	0.14 <sup>ns</sup>
Sowing density	0.38*	-0.22*	-0.73*	-0.23*
Use of plant growth regulator	0.33*	0.02 <sup>ns</sup>	0.51*	-0.36*
Previous winter crop	-0.55*	0.06 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>
Previous summer crop	0.06 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	-0.25*	0.87*
<b>Grain yield</b>	<b>-0.07<sup>ns</sup></b>	<b>0.40*</b>	<b>0.25*</b>	<b>0.05<sup>ns</sup></b>
Cumulative explained variance (%)	28	46	63	74

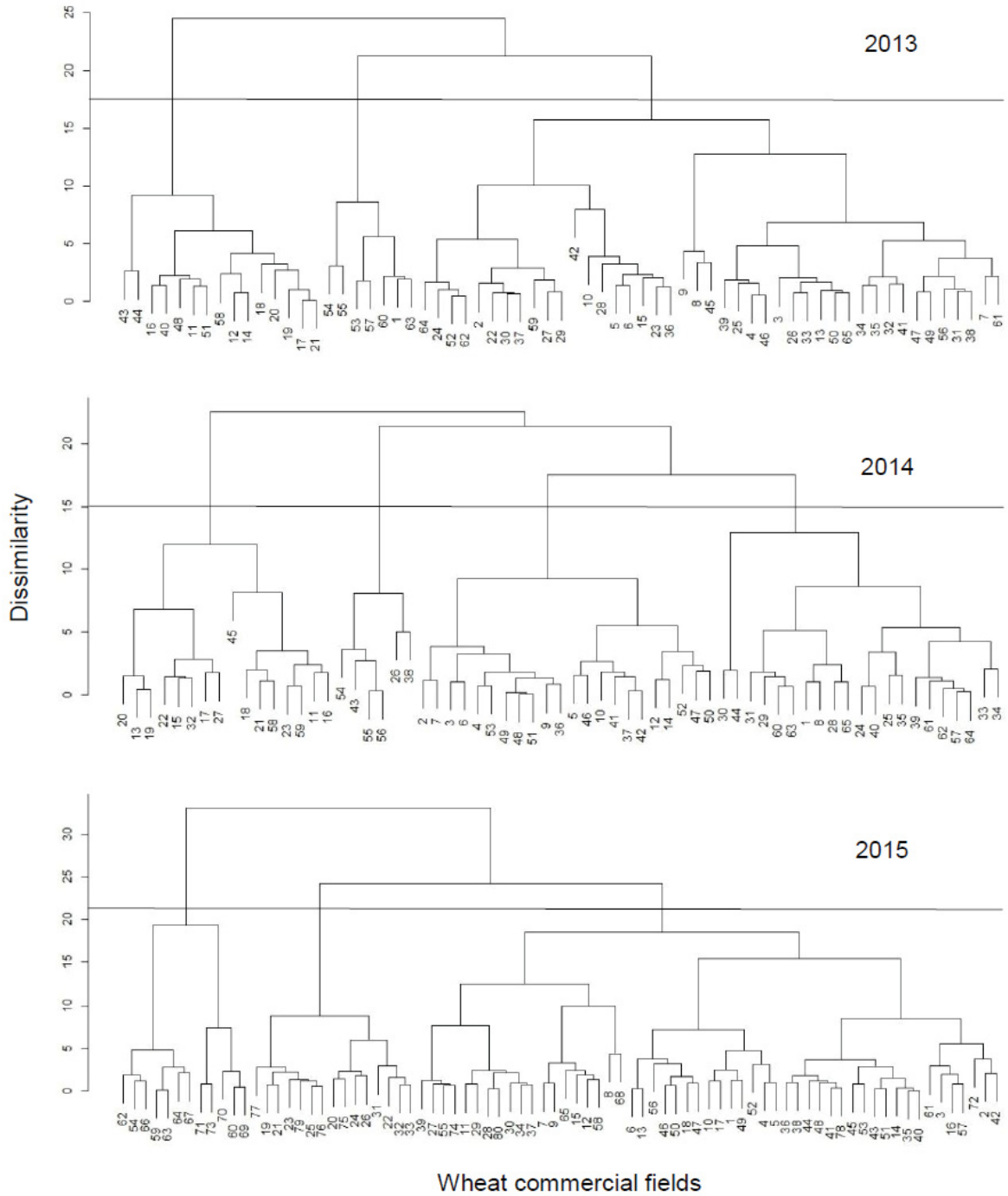
\*Significant at 5% probability. ns: non-significant.

**Table 3.** Characterization of wheat commercial field groups according to management variables and grain yield in 2013, 2014 and 2015.

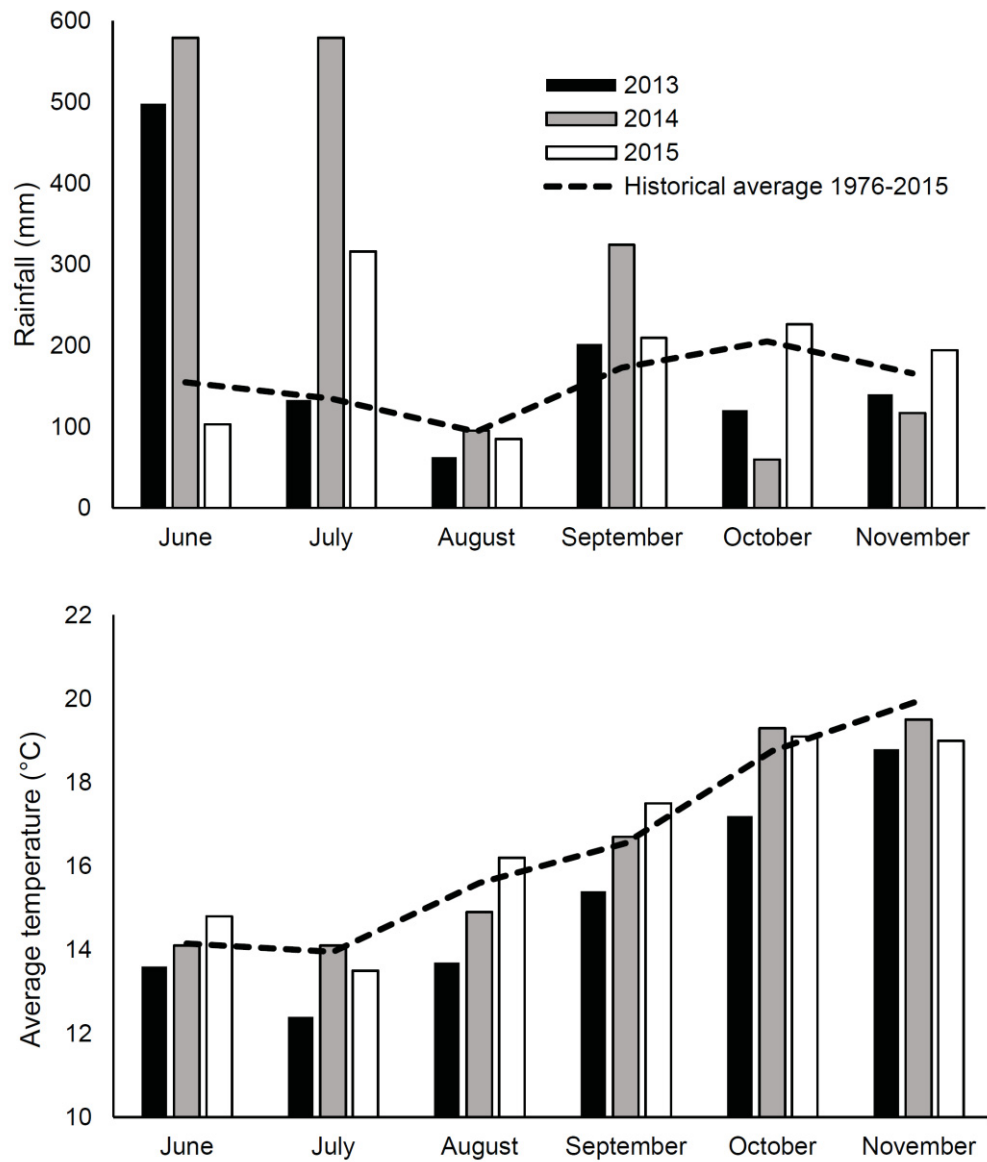
2013				
Variable	Group 1	Group 2	Group 3	
Starter nitrogen fertilization dose (kg ha <sup>-1</sup> )	32	51	36	
Starter phosphorus fertilization dose (kg ha <sup>-1</sup> )	105	155	106	
Starter potassium fertilization dose (kg ha <sup>-1</sup> )	77	101	62	
Nitrogen side dressing (kg ha <sup>-1</sup> )	48	51	64	
Nitrogen total (kg ha <sup>-1</sup> )	80	101	101	
Sowing density (seeds m <sup>-2</sup> )	363	346	388	
Use of plant growth regulator <sup>(1)(4)</sup>	1	1	1	
Previous winter crop <sup>(2)(4)</sup>	3	3	2	
Previous summer crop <sup>(3)(4)</sup>	2	2	1	
Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	4,047	4,450	4,461	
Number of commercial fields	43	7	15	
2014				
Variable	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Starter nitrogen fertilization dose (kg ha <sup>-1</sup> )	36	65	26	37
Starter phosphorus fertilization dose (kg ha <sup>-1</sup> )	113	173	91	102
Starter potassium fertilization dose (kg ha <sup>-1</sup> )	67	69	51	89
Nitrogen side dressing (kg ha <sup>-1</sup> )	60	49	59	48
Nitrogen total (kg ha <sup>-1</sup> )	96	115	86	84
Sowing density (seeds m <sup>-2</sup> )	344	351	383	380
Use of plant growth regulator <sup>(1)(4)</sup>	1	1	1	1
Previous winter crop <sup>(2)(4)</sup>	3	2	2	3
Previous summer crop <sup>(3)(4)</sup>	2	1/2 <sup>(5)</sup>	1	2
Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	3,797	4,207	3,661	4,094
Number of commercial fields	22	6	16	21
2015				
Variable	Group 1	Group 2	Group 3	
Starter nitrogen fertilization dose (kg ha <sup>-1</sup> )	38	23	35	
Starter phosphorus fertilization dose (kg ha <sup>-1</sup> )	153	89	116	
Starter potassium fertilization dose (kg ha <sup>-1</sup> )	17	36	81	
Nitrogen side dressing (kg ha <sup>-1</sup> )	72	54	52	
Nitrogen total (kg ha <sup>-1</sup> )	111	77	87	
Sowing density (seeds m <sup>-2</sup> )	388	359	333	
Use of plant growth regulator <sup>(1)(4)</sup>	1	1	1	
Previous winter crop <sup>(2)(4)</sup>	3	3	3	
Previous summer crop <sup>(3)(4)</sup>	2	2	2	
Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	2,229	2,311	2,868	
Number of commercial fields	12	15	53	

<sup>(1)</sup>1-no; 2-yes <sup>(2)</sup>1-wheat; 2-oat for cover soil; 3-barley; 4-oat; 5-oilseed. <sup>(3)</sup>1-corn; 2-soybean or bean.

<sup>(4)</sup>The number represents the category most frequently. <sup>(5)</sup> In this group, 50% of commercial fields adopted soybean or bean, and 50% corn.



**Figure 1.** Dendrogram of wheat commercial fields distribution according to management variables and grain yield in 2013, 2014 and 2015, using Euclidian distance and the Ward's method.



**Figure 2.** Rainfall (a) and average temperature (b) registered during the wheat cycle in 2013, 2014 and 2015, and historical average (1976-2015). Source: Simepar and Iapar.

## 5 CAPÍTULO II – FACTORS RELATED TO THE ECONOMIC PERFORMANCE OF WHEAT COMMERCIAL FIELDS IN THE SOUTHERN REGION OF PARANÁ STATE<sup>3</sup>

### 5.1 ABSTRACT

The variability of agronomic performance and of input use level of wheat commercial fields allows the identification of the factors with the greatest contribution to its economic performance. The objective of this work was to identify the main factors related to the variability of economic performance in wheat commercial fields in the Southern Region of Paraná State. The study was based on data from 65, 64 and 80 farms in 2013, 2014 and 2015, respectively. The evaluated variables were: fertilizer costs; herbicide costs; insecticide costs; fungicide costs; seed costs; grain yield; and simplified gross margin (SGM). Data were subjected to Principal Components Analysis followed by Cluster Analysis. The SGM variability found in 2013 was mainly related to grain yield, while in 2014 it was related to grain yield and fungicide costs, and in 2015 it was associated with seed costs and grain yield. A greater investment in fungicides can increase wheat economic performance in the Southern Region of Paraná State, while high seed expenses can turn it lower. The contribution of items of cost analyzed to the variability of economic performance may be different in each cropping season probably due to variations of the cost profile and grain yield.

Keywords: *Triticum aestivum* L.; production cost; gross margin; wheat grain yield.

### 5.2 INTRODUCTION

Wheat is the main winter crop in Southern Brazil with 1,7 million hectares planted, and the State of Paraná is the main wheat producer, responsible for about 50% of Brazilian production in the last decade (Conab, 2017). Wheat can compose different crop systems in this region, but the succession with soybean is the most important of them (Pires *et al.*, 2016). Wheat cultivation has many technical and economic advantages for cropping systems as it provides a rational and efficient use of soil, resulting in less soil erosion (Canziani & Guimarães, 2009), summer crop

---

<sup>3</sup> O capítulo apresenta estrutura e parte da formatação exigida pela Revista Ceres.

weed control (Nichols *et al.*, 2015), and a strategy to reduce farm operating costs (Baumgratz *et al.*, 2017).

Regardless these advantages, in the last decade the wheat cultivated area in the South Region varied from one year to another between an increase of 19% and a decrease of 18% (Conab, 2017). The inherent risk for wheat farming is one cause of these variations, which is mainly related to oscillations of price and grain yield (Pereira *et al.*, 2007). Excluding the price factor, the climatic conditions are one of the most important elements for wheat economic return, since they can significantly affect grain yield and influence costs and, consequently, determine the farm income. This factor, linked with the high cost of inputs, places Brazil among the countries with the highest wheat production expenditure. In addition, wheat cultivation is unattractive because of the unsatisfactory insurance instruments, decapitalization or low investment capability, and unstable market (De Mori & Ignaczak, 2011).

Due to this high-risk scenario, the economic return of wheat farming depends on the management crop planning in order to reduce costs and ensure grain yield (Baumgratz *et al.*, 2017). Few studies about this topic show that is possible to combine these conditions by adjusting inputs use level and management practices. The best economic performance has been obtained by farmers throughout an intermediate use of inputs (Nave *et al.*, 2013). Furthermore, sowing date and cultivar selection are important strategies to maximize an economic gain, and a pesticide reduction could be possible without reducing farmers' income (Neto *et al.*, 2009; Jacquet *et al.*, 2011).

The identification and hierarchization of limiting factors associated to a technical and economic performance are fundamental to fit strategies to increase economic return (Ribeiro *et al.*, 2013). Nevertheless, this information is scarce for wheat production in Brazil and it would contribute to an increase of farmers' income and make wheat a continually attractive option to crop systems in Southern Brazil. The variability of agronomic performance and of the input use level of wheat commercial fields allows the identification of the factors with the greatest contribution to its economic performance. The objective of this study was to identify the main factors related to the variability of economic performance in wheat commercial fields.



### 5.3 MATERIAL AND METHODS

The study was based on data from wheat commercial fields owned by farmers who are associated with a cooperative situated in the Southern Region of Paraná State, whose area of activity comprises 115.000 hectares covering 14 cities. This region is composed by high yielding environments for winter crops due to both climate and edaphic potential and high technology use, reaching one of the highest rainfed wheat yields in Brazil. The climate of the region is classified as Cfb, in accordance with the Koeppen classification, and the predominant soil classes are Nitosols and Oxisol (Haplohumox) (Fontoura et al., 2015).

The farmer population considered in this study was of 151, 172, and 181, both individual farmers and family groups, in 2013, 2014 and 2015, respectively. The family groups corresponded to farmers members of the same family that share land, machinery, and labor. Stratified proportional sampling procedures were used according to strata defined based on grain yield obtained in each cropping season. The determination of strata was based on value variation around average using grain yield standard deviation in each cropping season (Attachment 1). The determined strata were Superior Strata (SS), Inferior Strata (IS) and Medium Strata (MS). SS corresponded to wheat fields with grain yield superior to average added one standard deviation, while IS referred to wheat fields with grain yield inferior to average minus one standard deviation. MS corresponds to wheat fields with yield grains situated between average plus or minus one standard deviation. Sample size considered a margin of error of 10%, a confidence level of 95%, and a population heterogeneity of 50%. In 2013, 2014, and 2015 there were 65, 64, and 80 wheat commercial fields analyzed, respectively.

The data was obtained from the technical department of the cooperative and from its research foundation. Data about input costs and simplified gross margin (SGM) were gotten from the cooperative database and the grain yield data from annual Reports of the cooperative. Meteorological information was taken from Simepar's Forecast Station at Entre Rios-Guarapuava. The term SGM was adopted because the gross margin was calculated considering only part of the variable cost: seeds, fertilizers, and plant protection input.

The evaluated variables were: fertilizer (starter fertilization and nitrogen side dressing) costs; herbicide costs; insecticide costs; fungicide costs; seed costs; grain

yield; and SGM. The costs with fertilizer, herbicide, insecticide, fungicide, and seeds correspond to the value per hectare paid by farmers for each item to the cooperative, and its sum was called field establishment and plant protection costs (FEPPC). SGM correspond to the difference between gross income, which considered wheat price and grain yield obtained, and FEPPC. The wheat price was the same for all commercial fields in each year. All values were corrected by IGP-M from January of each year to January 2018 (FGVDados, 2018).

Descriptive statistics were used to summarize the data of each variable. Subsequently, the data were standardized using Z-score (Hair *et al.*, 2009), and the multivariate analysis was performed in two stages, adapted from Ribeiro *et al.* (2013). First, the data were subjected to the Principal Component Analysis (PCA), considering costs variables and grain yield as active ones to extract components, and SGM as a supplementary variable. The selection of the principal components (PC) considered the minimum cumulative explained variance of 70%. In a second stage, all variables were used for commercial field classification using agglomerative hierarchical clustering, considering the Euclidian distance as a measure of distance between two points and the Ward's method as classification algorithm. The R Program was used to process the analysis, using FactoMineR package for PCA, and the Cluster package for clustering analysis.

#### 5.4 RESULTS AND DISCUSSION

In the three regarded cropping seasons, the fertilizers cost corresponded to 50% of FEPPC, while seed cost represented 22%, followed by fungicide cost (17%), herbicide (6%), and insecticide cost (2%) (Table 4). The FEPPC was similar between years, and the highest SGM was obtained in 2013, while the highest grain yields were reached in 2013 and 2014. Other relevant aspect was the price received for wheat in 2013, R\$820,00 per ton, 29% higher than the average price obtained in 2014 and 2015.

All items of cost analyzed were similar between years and stood out the high variability of insecticide costs (Table 4). The expense with fungicide in 2015 represented 20% of FEPPC, while in 2014 these costs reached 16%, and in 2013 it was 14%. Seed costs corresponded to 26% of FEPPC in 2014.

**Table 4:** Means and standard deviations (SD) of field establishment and plant protection costs (FEPPC), simplified gross margin (SGM) and grain yield in wheat commercial fields, and yield potential in 2013, 2014, and 2015.

Variable	2013		2014		2015	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Fertilizer costs <sup>1</sup>	926.27	255.36	862.62	202.84	988.31	240.86
Herbicide costs <sup>1</sup>	99.98	56.80	107.48	71.13	109.56	57.48
Insecticide costs <sup>1</sup>	28.17	19.40	39.16	23.71	44.17	32.48
Fungicide costs <sup>1</sup>	243.72	81.10	312.67	110.43	402.08	144.41
Seed costs <sup>1</sup>	350.72	71.18	482.25	84.02	390.76	108.40
FEPPC <sup>1</sup>	1,687.08	363.80	1,862.76	301.25	2,014.58	418.05
SGM <sup>1,2</sup>	2,926.37	663.67	904.75	376.87	297.12	501.82
Grain yield <sup>3</sup>	4,186	637	3,898	487	2,668	586
Yield potential <sup>4</sup>	7,068		4,864		3,681	

<sup>1</sup>R\$ ha<sup>-1</sup>. Values were corrected by IGP-M (FGVDados) from January of each year to January 2018.

<sup>2</sup>Wheat price (R\$ t<sup>-1</sup>) considered in SGM calculation: 2013 – R\$820,00; 2014 – R\$575,50; 2015 – R\$696,44. <sup>3</sup>kg ha<sup>-1</sup>. <sup>4</sup>Grain yield (kg ha<sup>-1</sup>) obtained in experimental conditions. Results correspond to average of three sites, two sowing dates and 20 (2013), 16 (2014) e 18 (2015) cultivars. Source: Cooperative research foundation.

Considering the variance of 70%, three PC were selected in each year (Table 5). In 2013, the first PC explained 37% of the variance and showed significant positive correlation with all variables related to costs. However, this component did not show correlation with SGM, indicating that costs were not linked with economic return. The second PC showed a high positive correlation with grain yield (0.91) and SGM (0.82). The third PC did not show correlation with SGM. Thus, part of the variability of economic performance was associated mainly with grain yield in 2013.

In 2014, the first PC explained 32% of the variance, with positive correlation with fertilizer, herbicide, insecticide, and fungicide costs (0.84), grain yield (0.72), and SGM (0.33). The second and the third PC did not show correlation with SGM, and they presented the highest correlation values with seed costs. Thereby, part of SGM variation was explained mainly by grain yield and fungicide costs, indicating that commercial fields with higher grain yield and higher fungicide cost reached the highest SGM.

In 2015, the first PC explained 32% of the variance, with positive correlation with grain yield and with all variables related to costs, with the fungicide costs correlation of 0.75 standing out, but without correlation with SGM. On the other hand, the second and the third PC showed significant correlation with SGM. The second presented negative correlation with SGM (-0.31) and high positive correlation with

seed costs (0.77), while the third showed positive correlation with SGM (0.61) and with grain yield (0.72). Thus, in 2015, part of the SGM variability was explained mainly by seed costs and grain yield.

**Table 5:** Correlation coefficients between variables – field establishment and plant protection costs, simplified gross margin (SGM), and wheat grain yield – and principal components (PC) in 2013, 2014, and 2015.

Variable	PC 1	PC 2	PC 3
2013			
Fertilizer costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.77 *	0.23	-0.07
Herbicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.61 *	-0.39 *	-0.44 *
Insecticide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.68 *	0.33 *	-0.43 *
Fungicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.65 *	0.04	0.42
Seed costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.59 *	-0.16	0.60
Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	-0.11	0.91 *	0.08
<b>SGM (R\$ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>-0.18</b>	<b>0.82 *</b>	<b>0.03</b>
Cumulative explained variance (%)	37	56	72
2014			
Fertilizer costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.39 *	0.63 *	-0.37 *
Herbicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.52 *	-0.49 *	-0.14
Insecticide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.51 *	-0.45 *	0.56 *
Fungicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.84 *	-0.13	-0.24
Seed costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.24	0.68 *	0.58 *
Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	0.72 *	0.26 *	-0.002
<b>SGM (R\$ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>0.33 *</b>	<b>-0.02</b>	<b>0.07</b>
Cumulative explained variance (%)	32	55	70
2015			
Fertilizer costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.53 *	0.50 *	-0.21
Herbicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.62 *	-0.07	-0.46 *
Insecticide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.60 *	-0.58 *	0.22
Fungicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.75 *	-0.12	-0.27 *
Seed costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	0.32 *	0.77 *	0.29 *
Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	0.52 *	-0.08	0.72 *
<b>SGM (R\$ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>-0.07</b>	<b>-0.31 *</b>	<b>0.61 *</b>
Cumulative explained variance (%)	32	53	70

\*Significant at 5% probability.

In 2013, the commercial fields were clustered into two groups (Table 6). Group 1 was formed by 48% of them and was characterized by grain yield of 3,777 kg ha<sup>-1</sup> and SGM of R\$2,443.57, while group 2 reached a grain yield of 4,636 kg ha<sup>-1</sup> and SGM of R\$3,455.88. Besides the high grain yield obtained in 2013, the price paid for wheat was high (R\$820.00), which contribute to high economic return. Also,

the results did not show a relationship between input cost and grain yield, but commercial fields with high grain yields obtained a better economic performance, according to PCA.

In 2014, commercial fields were clustered into four groups. Group 1, which comprised 50% of these fields, reached a grain yield of 4,211 kg ha<sup>-1</sup>. The SGM was R\$1,185.17, being 97% superior to average of Groups 2, 3, and 4, and fungicide cost stood out, with an expense of R\$352.76. Group 2, composed of 22% of fields, achieved a grain yield of 3,903 kg ha<sup>-1</sup> and SGM of R\$719.72. These fields were characterized by high fertilizers and seeds cost, with an investment of R\$1,574.17 on these items. Group 3, formed by only seven fields, had grain yield of 3,544 kg ha<sup>-1</sup> and SGM of R\$498.98. The herbicide cost stood out in these group (R\$229.58), being 114% superior in relation to the average of sample analyzed (Table 4). Group 4, representing 17% of fields, had grain yield of 3,173 kg ha<sup>-1</sup> and SGM of R\$582.67. This group adopted low input investment, standing out the fungicide and fertilizers costs, with an expense of R\$224.73 and R\$ 773.03, respectively. Part of these results agree with PCA that indicated grain yield and fungicide cost as the main factors related with SGM.

In 2015, three groups were formed with great differences in SGM, varying between R\$25.45 to R\$832.09. Group 1, representing 60% of fields, obtained a grain yield of 2,318 kg ha<sup>-1</sup> and SGM of R\$110.29, while Group 2, which corresponded to 27% of fields, reached a grain yield of 3,310 kg ha<sup>-1</sup> and SGM of R\$832.09. Group 3, formed by 13% of fields, adopted a high investment in all items, standing out fungicide cost, with expense of R\$645.63. The grain yield was 2,876 kg ha<sup>-1</sup> and SGM of R\$25.45 on these fields, indicating that most of the fields obtained negative SGM.

Wheat grain yield explained part of SGM variability in the three cropping seasons analyzed, similar to results found for sunflower economic performance in Paraná using the same methodology (Ribeiro *et al.*, 2013). Grain yield and price are decisive in determining gross income. Considering the impossibility of price control, grain yield is a key component to increase wheat economic performance. In addition to this, results did not show an association between commercial fields investment in FEPPC and grain yield only with some cost items, especially fungicide cost. These results are close to those obtained by Nave *et al.* (2013), where farmers with intermediate input levels got the highest gross margin. Our findings are also in

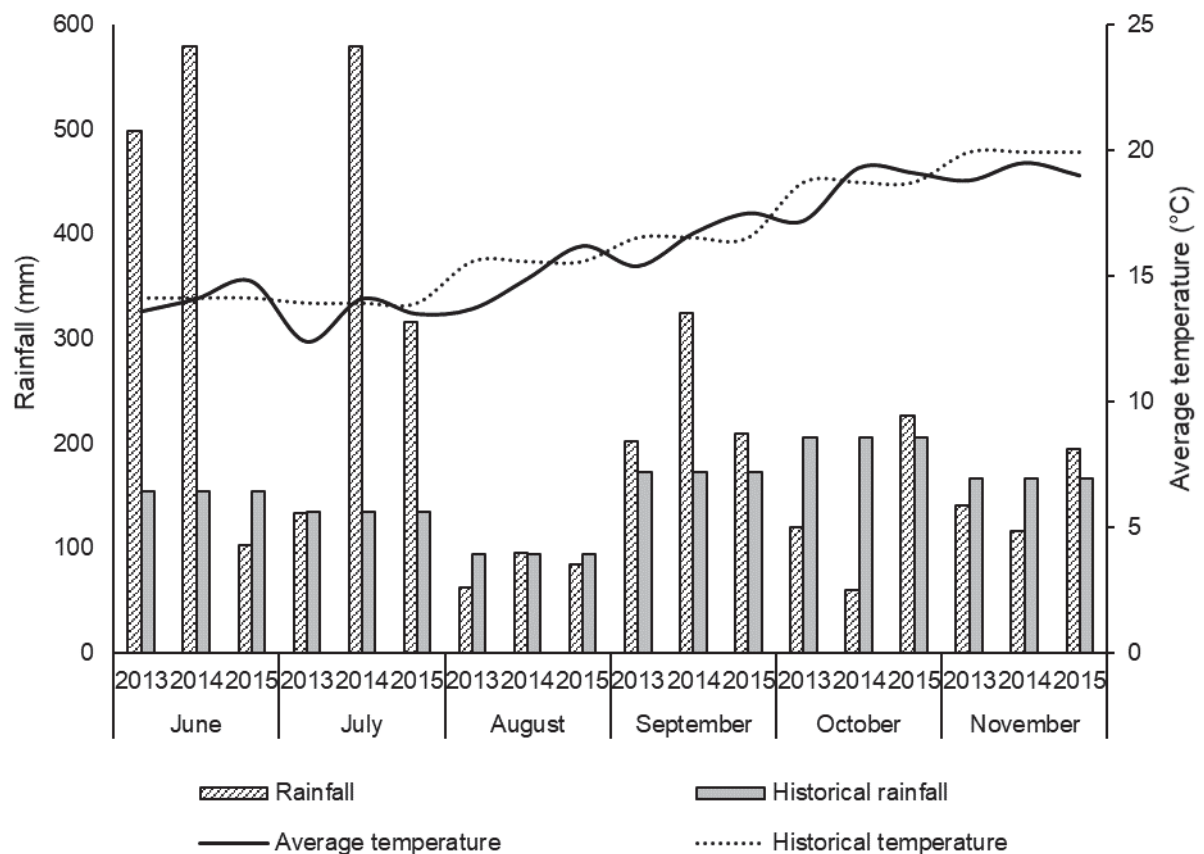
agreement with other authors like Silva Neto *et al.* (2009), who used decision support models to different input levels in wheat crops, and Jacquet *et al.* (2011), who concluded that farmer's income could remain unchanged with pesticide reduction by 30%. Therefore, the results indicate that intensive crop management did not ensure high economic return.

**Table 6:** Characterization of wheat commercial field groups according to field establishment and plant protection costs, simplified gross margin (SGM) and grain yield in 2013, 2014 and 2015.

Variable	Group				
	2013				
		1		2	
Fertilizer costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )*		991.48		854.76	
Herbicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )		119.41		78.68	
Insecticide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )		30.28		25.84	
Fungicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )		273.03		211.59	
Seed costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )		368.51		331.22	
SGM (R\$ ha <sup>-1</sup> )		2,443.57		3,455.88	
Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )		3,777		4,636	
Number of commercial fields		31		34	
	2014				
		1	2	3	4
Fertilizer costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	821.42	1,004.22	908.60	773.03	
Herbicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	112.46	81.04	229.58	48.95	
Insecticide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	40.69	43.68	40.32	29.93	
Fungicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	352.76	304.01	284.91	224.73	
Seed costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )	467.63	574.95	451.37	426.46	
SGM (R\$ ha <sup>-1</sup> )	1,185.17	719.72	498.98	582.67	
Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	4,211	3,903	3,544	3,173	
Number of commercial fields	32	14	7	11	
	2015				
		1	2	3	
Fertilizer costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )		949.87	932.71	1,263.80	
Herbicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )		90.47	108.25	193.78	
Insecticide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )		33.59	53.31	71.13	
Fungicide costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )		368.42	352.24	645.63	
Seed costs (R\$ ha <sup>-1</sup> )		394.03	373.65	410.96	
SGM (R\$ ha <sup>-1</sup> )		110.29	832.09	25.45	
Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )		2,318	3,310	2,876	
Number of commercial fields		48	22	11	

\*Values were corrected by IGP-M (FGVDados) from January of each year to January 2018.

The most important cost components related with field establishment and plant protection for SGM variability were different in each mentioned year. This result might be associated with environmental variation between years that can determine part of the management applied and, consequently, the costs. The grain yield of wheat commercial fields in 2013 and 2014 agree with the favorable environmental conditions in the region of Guarapuava in those years (Figure 3), especially 2013, with an average of 4,186 and 3,898 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. In 2015, the wheat crop performance was inferior (2,668 kg ha<sup>-1</sup>), concurring with the occurrence of El Niño phenomenon, with rainfall above average in September, October and November (Figure 3, Attachment 4). The yield potential in that period, estimated by experimental grain yield in the same region, indicates how severe the environmental limitation was (Table 4).



**Figure 1:** Rainfall and average temperature during the wheat cycle in 2013, 2014, and 2015, and historical average (1976-2015). Source: Simepar and Iapar.

The correlations between El Niño and yield are consistently negative for wheat in the south of Brazil (Anderson *et al.*, 2016). The high precipitation during wheat flowering seasons leads to a higher probability of Fusarium Head Blight (FHB) (*Fusarium graminearum*) occurrence, a fungal disease that attacks spikes and can cause severe losses on yield (Del Ponte *et al.*, 2009). This situation may imply a rise in fungicide applications, increasing the fungicide cost and total cost, and decreasing the economic performance (Tables 3 and 6). Thus, under this condition, there are two sources with potential to decrease the economic performance, low yield potential and high plant protection costs.

The El Niño did not occur in 2014, nevertheless the rainfall was above average in September (Figure 3, Attachment 3) and favored FHB occurrence in the region, achieving 62% of severity and 48% of incidence (Santana *et al.*, 2016). Under field conditions, fungicide efficiency can be variable and often insufficient for controlling FHB, mainly because of the timing of fungicide application, since favorable weather for FHB infection frequently coincides with unfavorable conditions for spraying, and low spike coverage (Mesterházy *et al.*, 2011; Shah *et al.*, 2018). The short period with rainfall above average in 2014 could have favored fungicide efficiency to protect the yield potential.

The seed cost was the second principal one and it was important to SGM variability in 2015, probably because of the increase in sowing density or the adoption of cultivars of high seed price. In addition to direct effect on economic performance, the use of high sowing may indirectly reduce income as a result of grain yield decrease caused by intraspecific competition and lodging (Fioreze & Rodrigues, 2014).

The results indicated that grain yield is an important element for the wheat economic performance, reinforcing the importance of using practices of crop integrated management to power grain yield at a low cost. Considering the field establishment and plant protection costs, the adjustment of plant density to crop conditions and adoption of cultivars with good cost-benefit ratio could contribute to reduce seed cost. The use of integrated management practices is an important strategy to decrease the use of chemical control and reduce costs as well. In the case of FHB disease, sowing date scheduling and selection of cultivars with the best reaction to this disease are fundamental. Improvements in application timing and spraying technology can contribute to the product efficient use and the reduction of



costs; using a disease model can help on the decision-making process. The consideration of these aspects has potential to increase the economic return of wheat fields contributing to maintain this crop on production systems in the Southern Region of Paraná State.

## 5.5 CONCLUSIONS

A greater investment in fungicides can increase wheat economic performance in the Southern Region of Paraná State, while high seed expenses can turn it lower.

It must be considered that the contribution of costs related with field establishment and plant protection to the variability of economic performance may be different in each cropping season probably due to variations of the cost profile and grain yield.

## 5.6 REFERENCES

ANDERSON W, SEAGER R, BAETHGEN W & CANE M (2016) Life cycles of agriculturally relevant ENSO teleconnections in North and South America. *International Journal of Climatology*, 37: 3297-3524.

BAUMGRATZ EI, MERA CMPD, FIORIN JE, CASTRO NLMD & CASTRO, RD (2017) Produção de trigo A decisão por análise econômico-financeira. *Revista de Política Agrícola*, 26:8-21.

CANZIANI JR & GUIMARÃES VDA (2009) O trigo no Brasil e no mundo: cadeia de produção, transformação e comercialização. In: CUNHA GRD (Ed.) *Oficina sobre trigo no Brasil: bases para a construção de uma nova triticultura brasileira*. Passo Fundo: Embrapa Trigo. p.29-72.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2017) Acompanhamento da safra brasileira grãos V.5-safra 2017/18-N.3-terceiro levantamento, dezembro 2017. Available at: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18\\_01\\_11\\_14\\_14\\_35\\_dezembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_11_14_14_35_dezembro.pdf)>. Accessed on: February 12, 2018.

DE MORI C & IGNACZAK C (2011) Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. In: PIRES JLF, VARGAS L & CUNHA GRD (Eds) *Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável*. Passo Fundo, Embrapa Trigo. p.41-76.

DEL PONTE EM, FERNANDES JMC, PAVAN W & BAETHGEN WE (2009) A Model-based Assessment of the Impacts of Climate Variability on Fusarium Head Blight Seasonal Risk in Southern Brazil. *Journal of Phytopathology*, 157:675-681.

FGVDADOS. Índices gerais de preços – IGP. Available at: <http://www14.fgv.br/fgvdados20/Consulta.aspx>. Accessed on: November 18, 2018.

FIGREZE S L, RODRIGUES J D (2014) Tillering affected by sowing density and growth regulators in wheat. *Semina: Ciências Agrárias*, 35:589-604.

FONTOURA, SMV, VIEIRA RCB, BAYER C, VIERO F, ANGHINONI I, MORAES RPDE (2015) Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto no Centro-Sul do Paraná. 1ª ed. Guarapuava, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 146p.

HAIR JR JF, BLACK WC, BABIN BJ, ANDERSON RE & TATHAM RL (2009) Análise multivariada de dados. 6ª ed. Porto Alegre, Bookman. 688p.

JACQUET F, BUTAULT JP & GUICHARD L (2011) An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops. *Ecological Economics*, 70:1638-1648.

MESTERHÁZY Á, TÓTH B, VARGA M, BARTÓK T, SZABÓ-HEVÉR Á, FARÁDY L & LEHOCZKI-KRSJAK S (2011) Role of Fungicides, Application of Nozzle Types, and the Resistance Level of Wheat Varieties in the Control of Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol. *Toxins*, 3:1453-1483.

NAVE S, JACQUET F & JEUFFROY MH (2013) Why wheat farmers could reduce chemicals inputs: evidence from social, economic, and agronomic analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 33:795-807.

NETO BS, OLIVEIRA, AD & LORENZONI J (2009) Modelos de ajuda à decisão para a definição da época de semeadura e do padrão tecnológico da cultura do trigo. *Ciência Rural*, 39:1005-1011.

NICHOLS V, VERHULST N, COX R & GOVAERTS B (2015) Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crops Research*, 183:56–68.

PEREIRA MWG, ARÊDES AFD & TEIXEIRA EC (2007) Avaliação econômica do cultivo de trigo dos estados do Rio Grande do Sul e Paraná. *Revista de Economia e Agronegócio*, 5:591-610.

PIRES JLF, STRIEDER ML, JUNIOR ALM, PEREIRA PRVDS, COSTAMILAN LM, MACIEL JLN, DE MORI C, CAIERÃO E, GUARIENTI EM, CARRÃO-PANIZZI MC, DALMAGO GA, SANTOS HPD, FAE GS, JUNIOR JPDS, SANTI A, CUNHA GRD, VARGAS L & PASINATO A (2016) Estratégias de sucessão trigo/aveia preta/soja para sistemas de produção de grãos no Planalto Médio do Rio Grande do Sul (2016) Available at: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1047280/1/ID436672016CTO30.pdf>. Accessed on: 10 Octo. 2018.

RIBEIRO MFS & RAIHER AP (2013) Desempenho econômico da cultura do girassol em sistemas de agricultura familiar do sudeste paranaense. *Ciência Rural*, 43:786-791.

SANTANA FM, LAU D, SBALCHIERO CC, SCHIPANSKI CA, SEIXAS CDS, FEKSA H, FLOSS LG, GUTERRES CW & VENÂNCIO WS (2016) Eficiência de fungicidas para controle de *Giberella zeae* em trigo: resultados dos ensaios cooperativos Safra 2014. Available at: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151686/1/ID43847-2016CTO364.pdf>. Accessed on: 17 Nov. 2018.

SHAH L, ALI A, YAHYA M, ZHU Y, WANG S, SI H, RAHMAN H & MA C (2018) Integrated control of fusarium head blight and deoxynivalenol mycotoxin in wheat. *Plant Pathology*, 67:532–548.

#### **ACKNOWLEDGEMENT AND FULL DISCLOSURE**

The authors would like to thank to the cooperative, its research foundation, as well as their employees and associates for the given willingness to provide data for the present study. There is no any conflict of interests in taking the present research and publishing the manuscript.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

A variabilidade do rendimento de grãos em lavouras de trigo no Centro-Sul do Paraná está potencialmente associada a adubação na semeadura, a adubação nitrogenada e a densidade de semeadura.

Os fatores de manejo da cultura do trigo correlacionados com a variabilidade da produtividade podem ser diferentes entre anos, e provavelmente estão associados às condições ambientais vigentes.

O maior investimento em fungicidas pode aumentar o desempenho econômico de lavouras de trigo no Centro-Sul do Paraná, enquanto o maior custo com sementes pode diminuí-lo.

A contribuição de cada um dos itens de custo analisados para variabilidade do desempenho econômico pode ser diferente em cada safra, provavelmente devido as variações do perfil de custos e da produtividade.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estimativas das lacunas de rendimento e estudos focados em suas causas, assim como análises de desempenho econômico das culturas são incipientes no Brasil, especialmente trabalhos baseados em informações de lavouras. Esse trabalho colabora para o incremento de resultados com essa abordagem de pesquisa.

Deve-se destacar que a Cooperativa Agrária Agroindustrial conta com uma equipe de técnicos altamente qualificados, e com uma fundação de pesquisa dedicada para solução dos problemas dos sistemas de produção com que trabalha. Além disso, conta com diversas ferramentas de monitoramento para otimizar o uso das tecnologias e do manejo adotados, as quais contribuem para posicionar a região de atuação da cooperativa dentre as que atingem os melhores desempenhos técnico e econômico no Sul do país.

A análise de dados de três safras distintas em termos de condições ambientais e, conseqüentemente, de potencial de rendimento da cultura, permitiu identificar fatores importantes relacionados aos desempenhos agrônômico e econômico do trigo no Centro-Sul do Paraná. No entanto, essa variação também reforçou que a cada safra, tanto os fatores como sua contribuição podem ser diferentes, provavelmente em decorrência de alterações do manejo realizadas ao longo da estação de crescimento, e do rendimento de grãos obtido.

Os resultados de manejo indicam que há espaço para ajustes nas adubações de base e nitrogenada para obtenção de incrementos no rendimento de grãos. Embora a região seja caracterizada pelo elevado uso de insumos para aproveitamento do seu potencial edafoclimático, essa é uma estratégia a ser considerada para minimizar as lacunas de rendimento do trigo em algumas propriedades. Esse ajuste passa pela análise das condições físicas e químicas do solo, dos sistemas de rotação e sucessão de culturas e de adubação, e da disponibilidade de recursos financeiros e de mão-de-obra de cada propriedade.

O uso de alta densidade de semeadura pode trazer prejuízos a produtividade e a renda do produtor. Portanto, a adequação dessa prática de manejo em função da cultivar e de outras condições de cultivo também pode contribuir para reduzir as lacunas de rendimento.

A ausência de relação dos custos da maioria dos insumos analisados com o rendimento de grãos e com o desempenho econômico do trigo reforça que tão importante quanto adoção de determinada tecnologia ou prática de manejo é a sua aplicação adequada, que permite explorar suas potencialidades.

A produtividade destacou-se como ponto chave na determinação do desempenho econômico, aliada ao uso racional dos insumos analisados. Portanto, para que o retorno econômico seja satisfatório, o incremento do rendimento de grãos deve ser associado ao aumento da eficiência técnica das lavouras. Para isso, é estratégica a adoção de diferentes práticas de manejo que potencializem o desempenho da cultura com menor custo possível. Como por exemplo, o caso da importância do custo com fungicidas para o retorno econômico da cultura do trigo, especialmente em anos com condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de doenças. Essa informação indica a necessidade de atenção especial na prática dessa ferramenta de manejo para que o investimento na proteção do potencial de rendimento da cultura não ultrapasse os benefícios que ela pode proporcionar. Na prática, a obtenção de equilíbrio entre esses fatores é bastante complexa, e muitas vezes não é alcançada.

Os avanços propostos a partir desse trabalho consideram a inclusão de outras variáveis relacionadas ao manejo da cultura, tais como incidência e severidade de doenças, competição com plantas daninhas, data de semeadura, cultivares, momento ou condição de execução de práticas de manejo e características físico-químicas do solo. A inclusão de variáveis que expressem as condições ambientais em estádios críticos de desenvolvimento pode colaborar para compreensão das relações dos aspectos ambientais com as práticas de manejo na composição do rendimento de grãos nas lavouras.

O estudo econômico trabalhou com uma simplificação da margem bruta, já que não considerou todos os custos variáveis relacionados ao cultivo do trigo, sendo relevante incluir os demais em estudos futuros.

Com ajustes e incrementos o método utilizado tem potencial de aplicação em outras regiões tritícolas, contribuindo para o conjunto de informações que embasa a tomada de decisão sobre o manejo a ser adotado nas lavouras e sobre o gerenciamento do uso de insumos, além da possibilidade de encaminhar ações de pesquisa para atender as possíveis limitações identificadas.

## REFERÊNCIAS

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Computational Statistics**, v. 2, p. 433–459, 2010.
- ABELEDI, L. G.; SAVIN, R.; SLAFER, G. A. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 541–550, 2008.
- ABITRIGO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO. **Brasil - Exportação de trigo 2018 (por país)**. Disponível em: <[http://abitrito.com.br/associados/arquivos/5.TRIGO\\_EXPORT\\_2018.pdf](http://abitrito.com.br/associados/arquivos/5.TRIGO_EXPORT_2018.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- ACEVEDO, E.; SILVA, P.; SILVA, H. Wheat Growth and Physiology. In: CURTIS, B. C.; RAJARAM, S.; MACPHERSON, H. (Ed.). **Bread wheat Improvement and Production**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002.
- AFFHOLDER, F. et al. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modelling. **Field Crops Research**, v. 143, p. 106–118, 1 mar. 2013.
- ALBRECHT, J. C. et al. **Trigo BRS 394 - nova cultivar para o cerrado**. Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 10., 2016, Londrina. **Anais...**Londrina: Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2016. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158174/1/ID44011-2016RCBPTTJULIO55-.pdf>>. Acesso em 14 dez.2018.
- ALMEIDA, J. L. DE; FOSTIN, M. L. . **Ensaio de épocas de semeadura de trigo em 2016**. Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 11., 2017, Cascavel. **Anais...**Cascavel: Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2017. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164856/1/ID44123-2017PCReuniaoTrigoResumosExpandidos.pdf>>. Acesso em 14 dez.2018.
- ANDERSON, W. K. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. **Field Crops Research**, v. 116, n. 1–2, p. 14–22, 2010.
- ANDERSON, W. et al. Life cycles of agriculturally relevant ENSO teleconnections in North and South America. **International Journal of Climatology**, v.37, p.3297-3524,2016.
- ARAMBURU MERLOS, F. et al. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. **Field Crops Research**, v. 184, p. 145–154, 1 dez. 2015.
- BATTISTI, R. et al. Soybean Yield Gap in the Areas of Yield Contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 12, n. 3, p. 159–168, 7 set. 2018.

BAUMGRATZ, E. I. et al. Produção de trigo A decisão por análise econômico-financeira. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 8–21, 2017.

BECHE, E. et al. Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20th century. **European Journal of Agronomy**, v. 61, p. 49–59, 2014.

BEZA, E. et al. Review of yield gap explaining factors and opportunities for alternative data collection approaches. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 206–222, 2017.

BRISSON, N. et al. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. **Field Crops Research**, v. 119, n. 1, p. 201–212, 9 out. 2010.

BRYAN, B. A.; KING, D.; ZHAO, G. Influence of management and environment on Australian wheat: Information for sustainable intensification and closing yield gaps. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 4, 2014.

BYERLEE, D.; TRIOMPHE, B.; SEBILLOTTE, M. Integrating Agronomic and Economic Perspectives into the Diagnostic Stage of On-farm Research. **Experimental Agriculture**, v. 27, n. 02, p. 95, 3 abr. 1991.

CALVIÑO, P.; SADRAS, V. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. **Field Crops Research**, v. 74, n. 1, p. 1–11, 2002.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, V.5 - SAFRA 2017/18, - N. 3 – Terceiro levantamento, DEZEMBRO 2017**. Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18\\_01\\_11\\_14\\_14\\_35\\_dezembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_11_14_14_35_dezembro.pdf)>. Acesso em: 12 Fev. 2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras - Trigo**. Brasília: Conab, 2018. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/22904\\_87f7ed9b7ae653aafc45bca39f5e754c](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/22904_87f7ed9b7ae653aafc45bca39f5e754c)>. Acesso em: 25 nov. 2018a.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira Grãos V. 6 - SAFRA 2018/19, - N. 2 - Segundo levantamento NOVEMBRO 2018**. Brasília: Conab, 2018. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/23679\\_041c465fb71e41cf382825c6b8c43623](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/23679_041c465fb71e41cf382825c6b8c43623)>. Acesso em: 16 dez. 2018b.

CANZIANI, J. R.; GUIMARÃES, V. D. A. **O trigo no Brasil e no mundo: cadeia de produção, transformação e comercialização**. In: CUNHA G. R. D (Ed.) Oficina sobre trigo no Brasil: bases para a construção de uma nova triticultura brasileira. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 2009. p.29-72.

COOPERATIVA AGRÁRIA, A. **Relatório Anual de 2017**. Guarapuava. Disponível



em: <[http://www.agraria.com.br/arquivos/relatorio\\_anual\\_2017-v2.pdf](http://www.agraria.com.br/arquivos/relatorio_anual_2017-v2.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2018.

CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; VARGAS, L. Bases para produção competitiva e sustentável de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Ed.) **Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 19-26.

DE MORI, C. et al. **Wheat cropping system and its costs in Brazil (2003-2004)**. INTERNATIONAL WHEAT CONFERENCE, 7., 2005, Mar del Plata. Poster presentations... **Anais...** Mar del Plata: SAGPyA/INTA, 2005.

DE MORI, C. et al. **Uso de tecnologias em lavouras de trigo tecnicamente assistidas no Paraná – Safra 2014**. Embrapa Trigo: Passo Fundo, 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147667/1/ID43753-2016DO160.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2018.

DE MORI, C.; IGNACSAK, J. C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. DA. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 41–76.

DEL PONTE, E. M. et al. A Model-based Assessment of the Impacts of Climate Variability on Fusarium Head Blight Seasonal Risk in Southern Brazil. **Journal of Phytopathology**, v.157, p.675-681, 2009.

DEL POZO, A. et al. Agronomic and physiological traits associated with breeding advances of wheat under high-productive Mediterranean conditions. The case of Chile. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, p. 180–189, 1 jul. 2014.

DELMOTTE, S. et al. On farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate. **European Journal of Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 223–236, 2011.

DERAL - DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. **Comparativo de área produção e rendimento**. Curitiba: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>>. Acesso em: 22 dez. 2018.

DORÉ, T. et al. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 28, n. 1, p. 151–161, mar. 2008.

DUARTE, J. B. **INTRODUÇÃO À ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (Com Aplicação do SAS® - Statistical Analysis System)**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1998. Disponível em: <<https://www.agro.ufg.br/up/396/o/ACP.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Trigo: o**

**produtor pergunta, a Embrapa responde.** 1. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2016.

EVANS, L. T.; FISCHER, R. A. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. **Crop Science - CROP SCI**, v. 39, p. 1544–1551, 1999.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Yield gap analysis of field crops, Methods and case studies. FAO Water Reports.** Rome: FAO, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4695e.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2016.

FARIAS, A. R. et al. **Dinâmica Espacial da Cultura do Trigo no Brasil no período de 1990 a 2014.** Campinas: Embrapa Gestão Territorial, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1082781/dinamica-espacial-da-cultura-do-trigo-no-brasil-no-periodo-de-1990-a-2014>>. Acesso em: 2 dez. 2018.

FGVDADOS. **Índices gerais de preços – IGP.** Disponível em: <http://www14.fgv.br/fgvdados20/Consulta.aspx>. Acesso em: 18 Nov. 2018.

FIGOZZE, S. L.; RODRIGUES, J. D. Tillering affected by sowing density and growth regulators in wheat. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 589–604, 2014.

FISCHER, R. A. Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. **Field Crops Research**, v. 182, p. 9–18, 2015.

FISCHER, R. A. Understanding the physiological basis of yield potential in wheat. **Journal of Agricultural Science**, v. 145, p. 99–113, 2007.

FISCHER, R. A. Wheat physiology: a review of recent developments. **Crop & Pasture Science**, v. 62, p. 95–114, 2011.

FONTOURA, S. M. V. et al. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto no Centro-Sul do Paraná.** 1. ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015.

GILLER, K. E.; ROWE, E. C.; DE RIDDER, N. Resource use dynamics and interactions in the tropics: Scaling up in space and time. **Agricultural Systems**, v. 88, n. 1, p. 8–27, 1 abr. 2006.

GOSWAMI, R.; CHATTERJEE, S.; PRASAD, B. Farm types and their economic characterization in complex agro-ecosystems for informed extension intervention: study from coastal West Bengal, India. **Agricultural and Food Economics**, v. 2, n. 1, 2014.

GRASSINI, P. et al. High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt: I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices. **Field Crops Research**, v. 120, n. 1, p. 142–150, jan. 2011.

GRASSINI, P. et al. Soybean yield gaps and water productivity in the western U.S. Corn Belt. **Field Crops Research**, v. 179, p. 150–163, 2015.

GRASSINI, P.; ESKRIDGE, K. M.; CASSMAN, K. G. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. **Nature Communications**, v. 4, n. 1, p. 2918, 17 dez. 2013.

GRDC - GRAINS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION. **Farm Gross Margin and Enterprise Planning Guide**. Canberra: GRDC, 2018. Disponível em: <[https://grdc.com.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0038/294959/Farm-Gross-Margin-and-Enterprise-Planning-Guide-2018.pdf?utm\\_source=website&utm\\_medium=download\\_button&utm\\_campaign=pdf\\_download&utm\\_term=National;+South&utm\\_content=Farm+Gross+Margin+and+Enterprise+Planning+Guide+2018](https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0038/294959/Farm-Gross-Margin-and-Enterprise-Planning-Guide-2018.pdf?utm_source=website&utm_medium=download_button&utm_campaign=pdf_download&utm_term=National;+South&utm_content=Farm+Gross+Margin+and+Enterprise+Planning+Guide+2018)>. Acesso em: 31 dez. 2018

GUILPART, N. et al. Estimating yield gaps at the cropping system level. **Field Crops Research**, v. 206, p. 21–32, 2017.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAN, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAJJARPOOR, A. et al. Using boundary line analysis to assess the on-farm crop yield gap of wheat. **Field Crops Research**, v. 225, p. 64–73, 1 ago. 2018.

HIRAKURI, M. H. **Avaliação econômica da produção de trigo no estado do Paraná, para a safra 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94188/1/Avaliacao-economica-da-producao-de-trigo-no-Estado-do-Parana-para-a-safra-2013.pdf>>. Acesso em 07 dez. 2018.

HOCHMAN, Z. et al. **Yield Gap Analysis : quantifying the gap between farmers ' wheat yields and water limited yield potential**. Australian Agronomy Conference, 16., 2012. **Anais...**Armidale: Australian Society of Agronomy, 2012. Disponível em: <[http://www.regional.org.au/au/asa/2012/soil-water-management/8040\\_hochmanz.htm#TopOfPage](http://www.regional.org.au/au/asa/2012/soil-water-management/8040_hochmanz.htm#TopOfPage)>. Acesso em: 26 dez. 2018.

HOCHMAN, Z.; GOBBETT, D. L.; HORAN, H. Climate trends account for stalled wheat yields in Australia since 1990. **Global Change Biology**, v. 23, n. 5, p. 2071–2081, maio 2017.

HOCHMAN, Z.; HOLZWORTH, D.; HUNT, J. R. Potential to improve on-farm wheat yield and WUE in Australia. **Crop and Pasture Science**, v. 60, n. 8, p. 708, 26 ago. 2009.

HOFFMANN, M. P. et al. How does inter-annual variability of attainable yield affect the magnitude of yield gaps for wheat and maize? An analysis at ten sites. **Agricultural Systems**, v. 159, n. September 2016, p. 199–208, 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017 - Resultados preliminares**. Rio de Janeiro: Ibge, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo->

agropecuario.html?=&t=resultados>. Acesso em: 2 dez. 2018.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Base de Dados do Estado - BDEweb**. Curitiba: IparDES, 2017. Disponível em: <[http://www.ipardes.gov.br/imp/imp.php?page=consulta&action=ano\\_save](http://www.ipardes.gov.br/imp/imp.php?page=consulta&action=ano_save)>. Acesso em: 29 Jan. 2017.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Base de Dados do Estado - BDEweb**. Curitiba: IparDES, 2018. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/imp/index.php>>. Acesso em: 24 dez. 2018b.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Relação dos municípios do estado ordenados segundo as mesorregiões e as microrregiões geográficas do IBGE - Paraná - 2012**. Curitiba: IparDES, 2018. Disponível em: <[http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base\\_fisica/relacao\\_mun\\_micros\\_mesos\\_para\\_na.pdf](http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/relacao_mun_micros_mesos_para_na.pdf)>. Acesso em: 24 dez. 2018a.

JACQUET, F.; BUTAULT, J. P.; GUICHARD, L. An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops. **Ecological Economics**, v. 70, n. 9, p. 1638–1648, 2011.

KÖBRICH, C.; REHMAN, T.; KHAN, M. Typification of farming systems for constructing representative farm models: Two illustrations of the application of multivariate analyses in Chile and Pakistan. **Agricultural Systems**, v. 76, n. 1, p. 141–157, 2003.

KOSTOV, P.; DAVIDOVA, S. A Quantile Regression Analysis of the Effect of Farmers' Attitudes and Perceptions on Market Participation. **Journal of Agricultural Economics**, v. 64, n. 1, p. 112–132, 1 fev. 2013.

KRUPNIK, T. J. et al. Untangling crop management and environmental influences on wheat yield variability in Bangladesh: An application of non-parametric approaches. **Agricultural Systems**, v. 139, p. 166–179, 2015.

LAUER, J. **Conducting Meaningful On-Farm Research and Demonstrations**. Trabalho apresentado no Wisconsin Crop Management Conference, Madison, 2009. Disponível em: <<http://corn.agronomy.wisc.edu>>. Acesso em: 1 jan. 2019.

LI, K. et al. Low yield gap of winter wheat in the North China Plain. **European Journal of Agronomy**, v. 59, p. 1–12, 2014.

LICKER, R. et al. Mind the gap: How do climate and agricultural management explain the “yield gap” of croplands around the world? **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 6, p. 769–782, 2010.

LIU, Z. et al. Maize yield gaps caused by non-controllable, agronomic, and socioeconomic factors in a changing climate of Northeast China. **Science of the Total Environment**, v. 541, p. 756–764, 2016.

LLANILLO, R. F. **Indicadores de sustentabilidade da produção familiar**

**mecanizada de grãos em modalidade de plantio direto no norte do Paraná, Brasil.** 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

LOBELL, D. B. et al. Combining field surveys, remote sensing, and regression trees to understand yield variations in an irrigated wheat landscape. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 1, p. 241–249, 2005.

LOBELL, D. B. The use of satellite data for crop yield gap analysis. **Field Crops Research**, v. 143, p. 56–64, 2013.

LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 34, n. 1, p. 179–204, 2009.

LOBELL, D. B.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I. Regional importance of crop yield constraints: Linking simulation models and geostatistics to interpret spatial patterns. **Ecological Modelling**, v. 196, n. 1–2, p. 173–182, 2006.

LOLLATO, R. P. et al. Agronomic Practices for Reducing Wheat Yield Gaps: A Quantitative Appraisal of Progressive Producers. **Crop Science**, v. 0, n. 0, p. 0, 7 out. 2018.

LOLLATO, R. P.; EDWARDS, J. T.; OCHSNER, T. E. Meteorological limits to winter wheat productivity in the U.S. southern Great Plains. **Field Crops Research**, v. 203, p. 212–226, 2017.

LOOMIS, R.; CONNOR, D. **Ecología de cultivos.** Productividad y manejo em sistemas agrarios. In: Madri: Mundi-iPrensa, 2002. p. 3–34.

MAZILLI, S. R. et al. Yield losses on wheat crops associated to the previous winter crop: Impact of agronomic practices based on on-farm analysis. **European Journal of Agronomy**, v.75, p.99–104, 2016.

MENG, Q. et al. Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. **Field Crops Research**, v. 143, p. 91–97, 2013.

MESTERHÁZY, Á. et al. Role of Fungicides, Application of Nozzle Types, and the Resistance Level of Wheat Varieties in the Control of Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol. **Toxins**, v.3; p.1453-1483, 2011.

NAVE, S.; JACQUET, F.; JEUFFROY, M. H. Why wheat farmers could reduce chemical inputs: Evidence from social, economic, and agronomic analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 4, p. 795–807, 2013.

NETO, B.S.; OLIVEIRA, A.D.; LORENZONI, J. Modelos de ajuda à decisão para a definição da época de semeadura e do padrão tecnológico da cultura do trigo. **Ciência Rural**, v.39, p.1005-1011, 2009.

NICHOLS, V. et al. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. **Field Crops Research**, v.183, p.56–68, 2015.

NUNES, P. A.; PARRÉ, J. L.; DE MELO, C. O. Estrutura produtiva da região da microrregião de Guarapuava e do município de Laranjeiras do Sul-PR: Comparações entre os indicadores econômicos. **Revista Faz Ciência**, v. 16, n. 24, p. 71–97, 2014.

PEREIRA, M. W. G.; ARÊDES, A. F. DE; TEIXEIRA, E. C. Avaliação econômica do cultivo de trigo dos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 5, n. 4, p. 591–610, 2007.

PINGALI, P.L.; RAJARAM, S. Global wheat research in a changing world: options and sustaining growth in wheat productivity. In: PINGALI, P. L. (Ed.). **WORLD WHEAT FACTS AND TRENDS Global Wheat Research in a Changing World: Challenges and Achievements**. Mexico, DF: CIMMYT, 1999. p. 8–25.

PIRES, J. L. F. et al. Integração de práticas de manejo nos sistemas de produção de trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. D. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 77–115.

PIRES, J. L. F. et al. **Avaliação de cultivares de trigo em diferentes níveis de manejo na região do Planalto do Rio Grande do Sul** 1. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp74.pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp74.pdf)>. Acesso em 25 ago. 2018.

PIRES, J. L. F. et al. **Estratégias de sucessão trigo/aveia preta- soja para sistemas de produção de grãos no Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144792/1/ID43667-2016CTO30.pdf>>. Acesso em 25 ago. 2018.

PRADHAN, P. et al. Closing yield gaps: How sustainable can we be? **PLOS ONE**, v. 10, n. 6, p. 1–18, 2015.

RATTALINO EDREIRA, J. I. et al. Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 247, p. 170–180, 15 dez. 2017.

RAY, D. K. et al. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, v. 6, p. 1–9, 2015.

RIBEIRO, M. DE F. S. et al. Desempenho agronômico da cultura do girassol em diferentes condições edafoclimáticas do sudeste paranaense. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 550–560, 2011.

RIBEIRO, M. DE F. S.; RAIHER, A. P. Desempenho econômico da cultura do girassol em sistemas de agricultura familiar do sudeste paranaense. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 786–791, 9 abr. 2013.

RODRIGUES, O. et al. Ecofisiologia do trigo: bases para elevado rendimento de grãos. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. DA; (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 115–134.

RODRIGUES, O. et al. Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 817–825, 2007.

ROEL, A.; FIRPO, H.; PLANT, R. E. Why do some farmers get higher yields? Multivariate analysis of a group of Uruguayan rice farmers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 58, n. 1, p. 78–92, 2007.

SADRAS, V.; ROGET, D.; O'LEARY, G. On-farm assessment of environmental and management factors influencing wheat grain quality in the Mallee. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 53, n. 7, p. 811–820, 2002.

SADRAS, V.; CALDERINI, D. Crop physiology: applications for breeding and agronomy. In: SADRAS, V.; CALDERINI, D. **Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy**. 2. ed. Academic Press, 2009. cap. 1, p. 1–20.

SALDANHA, A. N. K. **Evolução e determinantes da margem bruta em estabelecimentos agropecuários familiares no Norte do Paraná, de 1998 a 2003**. 204 f. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

SANTANA, F.M. et al. **Eficiência de fungicidas para controle de *Giberella zeae* em trigo: resultados dos ensaios cooperativos Safra 2014**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151686/1/ID43847-2016CTO364.pdf>. Acesso em: 17 Nov. 2018.

SANTANA, F.M. et al. **Eficiência de fungicidas para controle de *Giberella zeae* em trigo: resultados dos ensaios cooperativos Safra 2015**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158569/1/ID44025-2016CTO368.pdf>. Acesso em: 17 Nov. 2018.

SCHIERHORN, F. et al. Quantifying yield gaps in wheat production in Russia. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 8, 2014.

SCHILS, R. et al. Cereal yield gaps across Europe. **European Journal of Agronomy**, v. 101, p. 109–120, 1 nov. 2018.

SHAH, L. et al. Integrated control of fusarium head blight and deoxynivalenol mycotoxin in wheat. **Plant Pathology**, v.67, p.532–548, 2018.

SILVA NETO, B.; OLIVEIRA, A. DE; LORENZONI, J. Modelos de ajuda à decisão para a definição da época de semeadura e do padrão tecnológico da cultura do trigo.

**Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p. 1005–1011, 2009.

TITTONELL, P. et al. Unravelling the effects of soil and crop management on maize productivity in smallholder agricultural systems of western Kenya-An application of classification and regression tree analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 123, n. 1–3, p. 137–150, 2008.

VAN DIJK, M. et al. Disentangling agronomic and economic yield gaps: An integrated framework and application. **Agricultural Systems**, v. 154, n. March, p. 90–99, 2017.

VAN ITTERSUM, M. K. et al. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4–17, 2013.

VAN ITTERSUM, M. K.; CASSMAN, K. G. Yield gap analysis-Rationale, methods and applications-Introduction to the Special Issue. **Field Crops Research**, v. 143, p. 1–3, 2013.

VAN ITTERSUM, M. K.; RABBINGE, R. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. **Field Crops Research**, v. 52, n. 3, p. 197–208, 1 jun. 1997.

VAN OORT, P. A. J. et al. Can yield gap analysis be used to inform R&D prioritisation? **Global Food Security**, v. 12, n. September 2016, p. 109–118, 2017.

VAN WART, J. et al. Estimating crop yield potential at regional to national scales. **Field Crops Research**, v. 143, p. 34–43, 2013.

VILLAMIL, M. B.; DAVIS, V. M.; NAFZIGER, E. D. Estimating Factor Contributions to Soybean Yield from Farm Field Data. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 4, p. 881, 2012.

WU, D. et al. Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. **European Journal of Agronomy**, v. 24, n. 3, p. 226–235, 1 abr. 2006.

ZHANG, W. et al. Closing yield gaps in China by empowering smallholder farmers. **Nature**, v. 537, n. 7622, p. 671–674, 2016.

ZHAO, Y.; CHEN, X.; LOBELL, D. B. An approach to understanding persistent yield variation—A case study in North China Plain. **European Journal of Agronomy**, v. 77, p. 10–19, 2016.

ZHENG, H. et al. Classification and regression tree (CART) for analysis of soybean yield variability among fields in Northeast China: The importance of phosphorus application rates under drought conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, n. 1–2, p. 98–105, 2009.



**ANEXO 1 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO RENDIMENTO DE GRÃOS DE TRIGO DA POPULAÇÃO E DA AMOSTRA DE LAVOURAS NAS SAFRAS 2013, 2014 E 2015, E DEFINIÇÃO DOS LIMITES DOS ESTRATOS DE LAVOURAS.**

	2013		2014		2015	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
	kg ha <sup>-1</sup>					
População	4.114	699	3.770	509	2.698	566
Amostra	4.186	637	3.898	487	2.668	586

Estrato superior: grupo de lavouras com rendimento de grãos superior à média mais um desvio padrão

$$2013: 4.114 + 699 = 4.813 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$2014: 3.770 + 509 = 4.279 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$2015: 2.698 + 566 = 3.264 \text{ kg ha}^{-1}$$

Estrato inferior: grupo de lavouras com rendimento de grãos inferior à média menos um desvio padrão

$$2013: 4.114 - 699 = 3.415 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$2014: 3.770 - 509 = 3.261 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$2015: 2.698 - 566 = 2.132 \text{ kg ha}^{-1}$$

Estrato médio: grupo de lavouras com rendimento de grãos entre a média mais ou menos um desvio padrão

$$2013: \text{entre } 3.415 \text{ e } 4.813 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$2014: \text{entre } 3.261 \text{ e } 4.279 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$2015: \text{entre } 2.132 \text{ e } 3.264 \text{ kg ha}^{-1}$$

**ANEXO 2 - TEMPERATURA MÉDIA – TM (°C) E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL – PP (MM) OCORRIDAS DURANTE JUNHO E NOVEMBRO DE 2013 EM GUARAPUAVA, PR.**

Dia	Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro	
	PP	TM	PP	TM	PP	TM	PP	TM	PP	TM	PP	TM
1	36	16	0	12	0	18	0	18	1	17	0	18
2	20	14	0	10	0	19	4	15	4	18	0	18
3	0	13	0	14	0	19	0	15	23	17	20	18
4	0	12	0	16	12	15	5	15	0	16	0	19
5	0	13	0	16	0	16	0	14	0	14	0	17
6	0	14	0	16	2	16	0	14	0	15	0	14
7	0	14	0	16	0	18	0	16	0	13	0	15
8	0	14	0	17	0	19	0	17	0	13	0	17
9	0	15	0	13	0	19	0	20	0	14	0	21
10	1	15	0	14	4	9	0	19	0	16	0	24
11	18	15	0	14	0	7	0	19	0	18	2	24
12	0	15	0	13	0	11	0	19	2	18	16	18
13	0	13	0	14	1	16	0	20	0	18	0	18
14	0	14	0	14	2	6	0	21	0	20	0	19
15	8	12	0	13	0	6	0	21	0	19	2	21
16	13	13	0	11	0	9	65	15	22	15	6	20
17	0	13	0	12	0	10	3	11	0	17	0	16
18	0	15	1	16	0	11	0	10	0	16	2	18
19	53	15	6	16	0	12	0	14	0	17	0	22
20	106	14	57	16	0	14	7	19	0	19	18	19
21	89		25	12	0	16	27	20	36	19	29	18
22	0	7	30	5	0	19	68	14	0	19	0	18
23	15	11	4	0	1	18	0	13	0	22	0	16
24	72	12	9	2	0	18	0	8	10	19	0	17
25	4		0	5	1	16	0	10	0	17	0	19
26	5	14	0	8	40	10	0	11	17	19	0	20
27	23	14	0	11	0	4	0	13	5	19	0	21
28	3	15	0	13	0	7	8	12	0	17	0	23
29	28	16	0	16	0	13	1	14	0	16	43	18
30	3	16	0	15	0	17	14	16	0	19	0	20
31			0	16	0	18			0	18		

Fonte: Simepar, Estação Meteorológica de Entre Rios.

**ANEXO 3 - TEMPERATURA MÉDIA – TM (°C) E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL – PP (MM) OCORRIDAS DURANTE JUNHO E NOVEMBRO DE 2014 EM GUARAPUAVA, PR.**

Dia	Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro	
	PP	TM	PP	TM	PP	TM	PP	TM	PP	TM	PP	TM
1	0	14	0	14	0	17	1	17	0	18	0	22
2	0	8	0	8	0	17	5	19	0	16	1	20
3	0	9	0	9	0	18	0	18	0	13	0	22
4	0	13	0	13	0	17	0	13	0	13	0	20
5	36	17	36	17	0	14	0	13	0	14	0	21
6	60	17	60	17	0	14	4	16	0	14	19	20
7	238	16	238	16	0	17	3	16	0	17	63	16
8	131	16	131	16	0	17	0	18	0	19	0	19
9	0	13	0	13	0	15	0	19	0	20	0	20
10	0	13	0	13	0	15	0	21	0	22	0	20
11	0	14	0	14	0	17	0	21	0	24	1	20
12	0	16	0	16	24	18	0	20	0	24	0	20
13	0	18	0	18	0	11	0	20	0	25	0	20
14	20	16	20	16	0	7	0	21	0	24	0	15
15	0	17	0	17	0	11	2	16	0	22	0	16
16	0	17	0	17	4	13	0	15	0	23	0	18
17	0	17	0	17	0	16	0	17	0	22	0	18
18	7	14	7	14	0	16	12	15	3	21	0	18
19	0	11	0	11	0	16	37	14	13	18	9	19
20	0	11	0	11	0	14	2	16	0	17	0	19
21	0	10	0	10	0	16	0	14	0	15	1	20
22	0	13	0	13	0	19	0	14	0	16	11	19
23	0	16	0	16	0	18	0	17	0	19	0	20
24	0	17	0	17	0	19	37	16	0	18	0	21
25	0	17	0	17	32	17	62	16	0	20	10	19
26	22	17	22	17	0	9	22	16	0	20	0	21
27	37	17	37	17	0	8	17	16	0	20	0	21
28	26	14	26	14	0	12	37	15	0	21	0	21
29	2	10	2	10	0	13	54	16	0	22	0	20
30	0	8	0	8	0	17	30	19	38	21	0	21
31					33	15			0	21		

Fonte: Simepar, Estação Meteorológica de Entre Rios.

**ANEXO 4 - TEMPERATURA MÉDIA – TM (°C) E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL – PP (MM) OCORRIDAS DURANTE JUNHO E NOVEMBRO DE 2015 EM GUARAPUAVA, PR.**

Dia	Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro	
	PP	TM	PP	TM	PP	TM	PP	TM	PP	TM	PP	TM
1	0	14	0	14	0	17	0	20	0	18	0	18
2	0	14	14	13	0	17	1	15	8	20	19	15
3	0	15	36	14	0	17	0	16	3	17	4	16
4	0	17	0	9	0	17	6	16	0	19	17	18
5	0	18	0	8	0	18	0	15	0	19	7	18
6	0	18	3	12	0	18	0	14	0	19	0	18
7	0	19	34	15	0	19	15	17	0	22	0	18
8	0	19	19	13	0	19	24	14	44	23	26	15
9	0	19	1	11	0	17	0	15	51	17	0	21
10	0	20	26	11	0	18	3	15	18	18	10	21
11	10	19	12	14	0	17	1	11	30	16	0	22
12	13	16	41	13	0	17	0	8	7	13	0	23
13	5	19	0	19	0	16	0	10	4	14	7	21
14	26	18	24	17	0	16	0	13	0	22	0	21
15	4	9	29	15	0	17	0	17	0	24	6	21
16	0	9	24	15	0	17	1	23	3	22	3	20
17	0	17	14	14	0	18	0	24	0	22	11	18
18	30	14	0	16	11	17	0	24	0	16	6	19
19	0	8	0	16	0	12	1	21	0	20	15	20
20	0	11	22	17	0	12	0	22	7	23	2	18
21	5	15	5	12	0	14	0	22	0	24	0	18
22	0	16	0	11	0	16	0	23	26	19	23	18
23	0	15	0	12	32	14	0	23	0	19	1	20
24	0	12	12	13	4	14	0	24	0	18	1	19
25	0	11	0	11	0	14	60	18	1	16	0	21
26	0	12	0	12	10	17	5	18	6	17	5	20
27	0	12	0	12	28	14	56	17	0	19	13	19
28	0	12	0	13	0	14	0	16	0	20	15	18
29	0	14	0	16	0	16	0	17	0	19	0	20
30	9	14	0	16	0	19	37	16	0	20	1	16
31			0	17	0	19			17	20		

Fonte: Simepar, Estação Meteorológica de Entre Rios.

**ANEXO 5 - MÉDIAS MENSAIS DA TEMPERATURA MÉDIA E DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL OCORRIDAS DE JUNHO A NOVEMBRO NAS SAFRAS DE 2013, DE 2014 E DE 2015, E MÉDIAS HISTÓRICAS (1976 A 2015) EM GUARAPUAVA, PR.**

	Precipitação (mm)	Média histórica (mm)	Temperatura média (°C)	Média histórica (°C)
2013				
Junho	498	155	14	14
Julho	133	135	12	14
Agosto	62	94	14	16
Setembro	202	173	15	17
Outubro	120	205	17	19
Novembro	140	166	19	20
2014				
Junho	579	155	14	14
Julho	579	135	14	14
Agosto	95	94	15	16
Setembro	324	173	17	17
Outubro	60	205	19	19
Novembro	117	166	20	20
2015				
Junho	103	155	15	14
Julho	316	135	14	14
Agosto	85	94	16	16
Setembro	210	173	18	17
Outubro	226	205	19	19
Novembro	194	166	19	20

Fonte: Simepar, Estação Meteorológica de Entre Rios, e Iapar.

**ANEXO 6 - DENDROGRAMA DO AGRUPAMENTO DAS LAVOURAS DE TRIGO DE ACORDO COM OS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E DE PROTEÇÃO DE PLANTAS, MARGEM BRUTA SIMPLIFICADA E RENDIMENTO DE GRÃOS EM 2013, 2014 E 2015, BASEADO NA DISTÂNCIA EUCLIDIANA E MÉTODO DE WARD.**

