

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

WILSON HENRIQUE TATTO

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS  
PARA UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM SISTEMA  
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA**

TESE

PATO BRANCO

2021

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**WILSON HENRIQUE TATTO**

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS PARA  
UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM SISTEMA DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA**

**TESE**

**PATO BRANCO**

**2021**

**WILSON HENRIQUE TATTO**

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS PARA  
UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM SISTEMA DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA**

**System-level fertilization: sustainable strategies for the use of  
nitrogen and potassium in integrate crop-livestock system**

Tese apresentada como requisito parcial à  
obtenção do título de Doutor em Agronomia -  
Área de Concentração: Produção Vegetal da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Orientadora: Tangriani Simioni Assmann

Coorientador: André Brugnara Soares

**PATO BRANCO**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Pato Branco  
Ministério da Educação**



WILSON HENRIQUE TATTO

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS PARA  
UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO  
LAVOURA - PECUÁRIA**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).Área de concentração: Produção Vegetal.

DATA DE APROVAÇÃO: 30 DE MARÇO DE 2021

Prof.a Tangriani Simioni Assmann, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Angela Bernardon, Doutorado - Fundação Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc)

Prof.a Betania Brum De Bortolli, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Marcieli Maccari, Doutorado - Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc)

Prof Marcos Antonio De Bortolli, Doutorado – Autônomo

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 30/03/2021.

Dedico essa Tese ao meu amigo Adriano Pastro (in memoriam), que nos deixou no ano de 2020 precocemente (42 anos de idade) vítima de câncer no pulmão. Deus estava precisando de anjos no céu e ele foi chamado ao encontro dele, para cuidar de todos nós. Fique em Paz meu amigo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, sabedoria, saúde, força e fé para concluir esta grande etapa da minha vida.

A minha orientadora e amiga Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tangriani Simioni Assmann e coorientador e amigo Prof. Dr. André Brugnara Soares, obrigado por compartilharem comigo um pouco de seus riquíssimos conhecimentos, pela confiança e orientações.

À Agropecuária Pacheco, em especial ao proprietário José Caetano Munhoz da Rocha Pacheco, por disponibilizar a área experimental e a infraestrutura para a realização deste trabalho e pela amizade construída ao decorrer desse período.

Aos colegas Felipe Deifeld, Flávia Lewinsk Huf, Talyta Zortea, Acir Felipe Grolli Carvalho, Anderson Claiton Rhoden, Ricardo Aiolfi, Luryan Tairini Kagmura e Rodrigo Tonet, obrigado pelo companheirismo e troca de experiências e os bons momentos vividos.

A todos os integrantes e companheiros do grupo GISPA, sem o trabalho em equipe a realização do experimento não seria possível, em especial: Maurício Lazzarri, Lucas Candioto, Angélica Carolina Zatta, Leonardo Belfin Bertoldo, Juliane Marchetti, Gustavo Ferronato, Felipe Candioto, Cleiton Rafael Zanella, Ângela Boaretto, Anderson Camargo de Lima, Jéssica Niemirski, João Galvão, Marcelo Fetzer, Márcia Mensor, Bruno Alcides Schmalz, Rui Picolotto e Rafaela Rintzel obrigado por todo apoio e dedicação incondicional para concluirmos juntos esse trabalho.

A minha amiga Ângela Bernardon pelo auxílio nas análises e discussões dessa tese.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAG), pela oportunidade de realização do doutorado com ensino gratuito e de qualidade.

A todos os professores e técnicos da UTFPR e do PPGAG que contribuíram para a minha formação no Doutorado.

Aos pesquisadores e professores da banca examinadora pela atenção

e contribuição dedicadas a este estudo, e a todos que de alguma forma estiveram comigo e me auxiliaram no meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus pais, Wilson Tatto e Eunice Ortolan Tatto, pela educação e incentivo que me concederam, pela compreensão e apoio incondicional. Aos meus irmãos Júlio Henrique Tatto e Ezequiel Tatto pelo companheirismo.

E por fim, porém de uma forma muito especial, aos meus amigos Pablo Antônio Beltran Barriga e Rosângela Correa de Lima por todo o apoio moral, carinho e compreensão nesta importante fase da minha carreira. Obrigado por todos os momentos juntos vividos. Muito mais que conhecimento técnico, aprendi com vocês lições que levarei por toda a minha vida.

Muito obrigado a todos!!!

Deus e a natureza não fazem nada inutilmente (Aristóteles)



## RESUMO

TATTO, Wilson Henrique. Adubação de sistemas: estratégias sustentáveis para a utilização de nitrogênio e potássio em sistema de integração lavoura-pecuária/. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

O sucesso da produção agrícola em sistemas integrados de produção agropecuária está fundamentado no uso adequado de estratégias de manejo adotadas na fase pastagem. No sul do Brasil, muitos estudos têm confirmado o efeito residual de adubação de pastagens de inverno para as culturas de grãos cultivadas em sequência, inclusive com a possibilidade de omissão da fertilização na fase lavoura. Neste contexto o objetivo deste trabalho foi determinar a melhor estratégia de recomendação de adubação nitrogenada e potássica que permita obter altas produtividades de forragem e de grãos em sistema integrado de produção agropecuária. Os dados experimentais utilizados nas análises são provenientes de um experimento de longa duração de um sistema integrado de produção agropecuária localizado no município de Abelardo Luz – SC. As épocas e culturas avaliadas foram: Verão 2013/14 (milho); inverno 2017 (pastagem de aveia preta) e verão 2017/18 (milho). Durante o período experimental foram avaliados a análise do estado nutricional dos nutrientes N, P e K da pastagem e lavoura, o rendimento total de grãos de milho em  $\text{kg ha}^{-1}$  e a relação de causa e efeito da adubação nitrogenada realizada na fase pastagem sobre os componentes de produção do milho em sucessão. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com três repetições. Nas subparcelas foram alocadas aleatoriamente quatro doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho (0-0, 100-50, 200-100, 300-150  $\text{kg N-K}_2\text{O ha}^{-1}$ ). Constatou-se efeito residual de N da pastagem de inverno fertilizada com N-K forneceu N adequado durante todos os estágios da safra de milho subsequente. A nutrição de P no milho foi ótima em todas as fases de desenvolvimento do milho independentemente da fertilização ou não na pastagem anterior. O diagnóstico preciso do estado nutricional do N durante os estágios iniciais do desenvolvimento da pastagem e do milho pode fornecer suporte para melhores recomendações de fertilização com N, mostrando que o uso das curvas de diluição pode ser uma forma inovadora de manejo do N. As relações entre os componentes de rendimento e o rendimento de grãos em milho cultivado em sistema integrado de produção agropecuária são dependentes do sistema de adubação utilizado. Com os resultados encontrados nesse trabalho, conclui-se que a adubação nitrogenada e potássica em cobertura realizada durante a fase pastagem é capaz de aumentar a produção de forragem e sustentar a produção de milho na fase sucessora em sistemas integrados de produção agropecuária.

**Palavras-chave:** Análise do estado nutricional. Curvas de diluição. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

TATTO, Wilson Henrique. System-level fertilization: sustainable strategies for the use of nitrogen and potassium in the crop-livestock system. 147 f. (Ph.D. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2021.

The success of agricultural production in integrated crop-livestock systems is based on the appropriate use of management strategies adopted in the pasture phase. In southern Brazil, many studies have confirmed the residual effect of fertilizing cool season pastures for grain crops grown in sequence, including the possibility of omitting during cash-crop season. In this context, based on the theoretical literature of the system-level fertilization the objective of this work is to determine the best strategy of recommendation of nitrogen and potassium fertilization that allows to obtain high forages and grains productivity in integrated crop-livestock system. The experimental data used in the analyzes came a long-duration experiment of integrated crop-livestock system located in the town of Abelardo Luz – SC. The agricultural season's used were: Summer 2013/14 (corn); winter 2017 (black oat pasture) and summer 2017/18 (corn). During the experimental period, was analyzed of the nutritional status of nutrients N, P and K of the pasture and crops, the grains yield of corn in kg ha<sup>-1</sup> and the cause and effect relationship of nitrogen fertilization realized in the pasture phase over the components of maize production in succession. The experimental design in corn phase was a randomized complete block using a split-split plot with three replications. On each of the 12 experimental plots (two pasture N-K fertilization rates × six replications), four N-K corn fertilization rates (0 – 0, 100 – 50, 200 – 100 and 300 – 150 kg of N- K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> applied in same moment). It was found carryover effect of N from the cool-season pasture grazed and fertilized with N-K provided adequate N during all stages of a subsequent corn crop. The P nutrition in corn was excellent at all stages of maize development independently of fertilization or not in the previous pasture. Precision diagnosis of the nutritional status of N during the early stages of pasture and corn development can provide support for better N fertilization recommendations, showing that the use of dilution curves can be an innovative way of managing N. The relationship between the yield components and the grain yield in maize grown in a crop-livestock system are dependent on the fertilization system used. With the results found in this work, it is concluded that the nitrogen and potassium fertilization in broadcast during the pasture phase is able to increase the forage production and sustain the yield of corn in the successor in integrated crop-livestock system.

**Keywords:** Analysis of nutritional status. Dilution curves. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figure 1 – Average monthly minimum and maximum temperatures, and rainfall during the experiment in Abelardo Luz. Source: National Institute of Meteorology (INMET, 2018).....	29
Figure 2 – Pasture (Black Oat) shoot dry matter accumulation as a function of N-K fertilization time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization), and days after seeding.....	34
Figure 3 – N uptake as a function of N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and days after seeding. Non-overlapping bars indicate significant difference according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).....	39
Figure 4 – Forage N concentration in relation to forage accumulated by black oat 'Common' as affected by N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and as compared with the N dilution curve proposed by Lemaire (1997).....	40
Figure 5 – P uptake as a function of N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and Days after seeding. Non-overlapping bars indicate significant difference according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).....	43
Figure 6 – Forage P concentration in relation to forage accumulated by black oat 'Common' as affected by N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and as compared with the P dilution linear equation proposed by Duru and Th��lier-Huch��, (1997).....	44
Figure 7 – K uptake as a function of N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and Days after seeding. Non-overlapping bars indicate significant difference according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).....	46
Figure 8 – Forage K concentration in relation to forage accumulated by black oat 'Common' as affected by N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and as compared with the K dilution linear equation proposed by Salette and Huch��, (1991). .....	48
Figure 9 – Average monthly minimum and maximum temperatures, and rainfall during the experiment in Abelardo Luz. Source: National Institute of Meteorology (INMET, 2018).....	56
Figure 10 – Corn shoot biomass accumulation as a function of N-K Fertilization Time (Pasture N-K fertilization and N-K Corn), days after seeding (DAS) and N-K fertilization rates on corn (0-0; 100-50; 200-100 and 300-150 kg N-K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> ). Vertical error bars correspond to the standard error of the mean. Non-overlapping bars indicate significant differences according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).....	61
Figure 11 – Corn yield as affected by previous pasture N fertilization and sidedress N application rate in corn. Vertical error bars correspond to the standard error of the mean. Non-overlapping bars indicate significant differences according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).....	64
Figure 12 – N uptake as a function of N-K Fertilization Time (Pasture N-K fertilization and Corn N-K fertilization) and days after seeding. Non-overlapping bars indicate significant difference according to an LSD test ( $P < 0.05$ ). Vertical error bars correspond to the standard error of the mean. Non-overlapping bars indicate significant differences according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).....	66
Figure 13 – Corn N concentration in relation to corn dry mass accumulated by corn 'AG 9025 VT	

PRO3' as affected by N-K Fertilization Time (Pasture N-K fertilization and N-K Corn) and as compared with the N dilution curve proposed by Plenét and Lemaire (1999).....	67
Figure 14 – Shoot P concentration of corn as a function of shoot N concentration, as determined for limiting N and for nonlimiting N.....	70
Figure 15 – Shoot K concentration of corn as a function of shoot N concentration, as determined for limiting N and for non limiting N.....	73
Figura 16 – Localização e levantamento planialtimétrico do experimento de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....	81
Figura 17 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental (2013/14), Abelardo Luz –SC.....	82
Figura 18 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental (2017/18), Abelardo Luz –SC.....	83
Figura 19 – Croqui experimental com a disposição dos tratamentos nas subparcelas do cultivo de milho em Abelardo Luz –SC, 2013/14 e 2017/18.....	85
Figura 20 – Área experimental – Detalhe das parcelas e subparcelas do cultivo de milho em Abelardo Luz –SC, 2017/18. Doses crescentes de nitrogênio: 0, 100, 200 e 300 kg N ha <sup>-1</sup> .....	89
Figura 21 – Adubação nas subparcelas – Detalhe de aplicação de Uréia e Cloreto de Potássio, cultivo de milho em Abelardo Luz –SC, 2017/18.....	90
Figura 22 – Avaliação dos componentes de rendimento milho safra 2017/2018, experimento de longa duração em ILP, Abelardo Luz –SC, 2017/18.....	92

## LISTA DE TABELAS

Table 1 – Crops from 2012 until 2017 in an ICL system. Abelardo Luz - SC, 2018.....	28
Table 2 – Chemical properties of the 0 – 0.2 m layer of soil, all experimental seasons, Abelardo Luz Santa Catarina, Brazil.....	29
Table 3 – Dates of fertilizations to experimental treatments in the 2016 and 2017 agricultural year (pasture and corn phase).....	31
Table 4 – Analysis of variance of N-K fertilization time and Days after seeding on forage dry matter (DM) production ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), forage N, P and K concentrations ( $\text{g kg}^{-1}$ ).....	34
Table 5 – Forage nitrogen (N), potassium (K) and phosphorous (P) concentrations ( $\text{g kg}^{-1}$ ) of black oat 'Common' as affected by N-K fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and days after pasture seeding (sampling dates).....	36
Table 6 – Crops previous this season search, from 2012 (start ICLS) until 2017/18. Pato Branco -PR, 2018.....	55
Table 7 – Chemical properties of the 0 - 0.2 m layer of soil, all experimental seasons, Abelardo Luz Santa Catarina, Brazil.....	56
Tabela 8 – Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da semeadura de milho. Abelardo Luz - SC, 2013/14 e 2017/18.....	83
Tabela 9 – Histórico de cultivos da área experimental desde a implantação em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Pato Branco -PR, 2018.....	84
Tabela 10 – Média aritmética, Limite superior e inferior do intervalo de confiança da média – 95%, mínimo, máximo, coeficiente de variação – CV e desvio padrão – DP) das variáveis rendimento de grãos (REND, em $\text{kg ha}^{-1}$ ), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE) e peso de mil grãos (PMG, em gramas) na cultura do milho submetida a quatro doses de N (0, 100, 200 e $300 \text{ kg ha}^{-1}$ ), em dois sistemas de manejo da adubação da cultura de inverno antecessora, pastagem de aveia: sem aplicação de nitrogênio e com aplicação de nitrogênio ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Abelardo Luz – SC, 2013/2014 e 2017/2018.....	94
Tabela 11 – Coeficientes de Correlação linear simples de Pearson entre os componentes de rendimento (NFE – número de fileiras por espiga, NGF – número de grãos por fileira, NGE – número de grãos por espiga e PMG - peso de mil grãos) e o rendimento de grãos (RG, em $\text{kg ha}^{-1}$ ) na cultura do milho (n=24 plantas) submetida a quatro doses de N (0, 100, 200 e $300 \text{ kg ha}^{-1}$ ), em dois sistemas de manejo da adubação da cultura de inverno antecessora, pastagem de aveia: sem aplicação de nitrogênio e com aplicação de nitrogênio ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Abelardo Luz – SC, 2013/14 e 2017/2018.....	97
Tabela 12 – Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis NGF (número de grãos por fileira), NGE (número de grãos por espiga) e PMG (peso de mil grãos) sobre o RG na cultura do milho, submetido a quatro doses de N (0, 100, 200 e $300 \text{ kg ha}^{-1}$ ), em dois sistemas de manejo da adubação da cultura de inverno antecessora, pastagem de aveia: sem aplicação de nitrogênio e com aplicação de nitrogênio ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Abelardo Luz – SC, 2013/2014 e 2017/2018.....	101

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AIC	Akaike Information Criterion
AG	Agroceres
BMR	Sorgo Silageiro – PGW sementes
BRS	Embrapa
CQFS	Comissão de Química e Fertilidade do Solo
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
ILP	Integração Lavoura – Pecuária
ICLS	Integration Crop Livestock System
MF	Massey Ferguson
PR	Paraná
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SIPA	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária
USDA	United States Department of Agriculture
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VIP3	Agrisure Viptera 3 – Transgênico Syngenta
VTPRO3	Transgênico Monsanto

## LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Aluminum
AD	Accumulate Day
C.V.	Coeficiente de Variação
Ca	Calcium
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de Cálcio
CEC	Cation Exchange Capacity
Cfb	Clima subtropical úmido mesotérmico
C.M	Caetano Munhoz
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
cv.	Cultivar
DAS	Days after sowing
DP	Desvio Padrão
DM	Dry matter
et al.	Entre outros
GL	Graus de Liberdade
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfurico
ha	Hectare
IC	Intervalo de confiança
Jr.	Júnior
K	Potassium
KCl	Cloreto de Potássio
MAP	Fosfato monoamônico
Mg	Magnesium
Mn	Manganese
MSR	Matéria Seca Remanescente
MS	Massa Seca
N	Nitrogen
N <sub>act</sub>	Nitrogen any field condition
N <sub>crit</sub>	Nitrogen critical
NFE	Número de Fileiras por Espiga
NG	Nitrogênio Grãos
NGE	Número de Grãos por Espiga
NGF	Número de Grãos por Fileira
N-K	Nitrogen - Potassium
N-KF	Nitrogen – Potassium Fertilization
NNI	Nitrogen Nutrition Index
NP	Nitrogênio Pastagem
ns	Não significativo
OM	Organic Matter
P	Phosphorus
P <sub>act</sub>	Phosphorus any field condition
P <sub>crit</sub>	Phosphorus critical
Pf	Peso final

Pi	Peso inicial
PMG	Peso de Mil Grãos
PNI	Phosphorous Nutrition Index
PTD	Populational Tiller Density
R3	Grão leitoso
REND	Rendimento de grãos
S	South
SC	Santa Catarina
SB	Soma de Bases
Uf	Umidade final
Ui	Umidade inicial
V4	Corn – 4 leaves totaling developed
V5	Corn – 5 leaves totaling developed
W	West



## LISTA DE SÍMBOLOS

'	Minutes
''	Seconds
%	Percentage
% of N	Percentage of nitrogen
@	at
<	less
>	more
-	until
®	Marca registrada
Al <sup>3+</sup>	Aluminum
C3	Plants with C3 metabolism
C4	Plants with C4 metabolism
cm	centimeter
cm <sup>2</sup>	Square centimeter
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cent mol of charge per cubic decimeter
CO <sub>2</sub>	Carbon gas
d	day
dm <sup>-3</sup>	per cubic decimeter
DM ha <sup>-1</sup>	Dry matter per hectare
g	gram
g dm <sup>-3</sup>	gram per cubic decimeter
H + Al	Hydrogen + Aluminum
ha <sup>-1</sup>	per hectare
i.e.	Isto é
K g kg <sup>-1</sup>	Potassium gram per kilogram
K <sub>2</sub> O	Dioxide of Potassium
kg	Kilogram
kg of DM ha <sup>-1</sup>	Kilogram of Dry Matter per hectare
kg of DM ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	Kilogram of Dry Matter per hectare per day
kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	Kilogram of K <sub>2</sub> O per hectare
kg of N ha <sup>-1</sup>	Kilogram of Nitrogen per hectare
kg ha <sup>-1</sup>	Kilogram per hectare
L ha <sup>-1</sup>	Liter per hectare
m	meter
m <sup>2</sup>	Square meters
m ha <sup>-1</sup>	meter per hectare
mg	milligram
Mg	Mega gram
mg dm <sup>-3</sup>	milligram per cubic decimeter
mm	millimeter
mm <sup>2</sup>	millimeter quadrant

n°	Number
N g kg <sup>-1</sup>	Nitrogen gram per kilogram
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrate
°	Degrees
°C	Celsius degrees
P g kg <sup>-1</sup>	Phosphorus gram per kilogram
P>0,05	Less than 5 % of significance
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentoxide of phosphorus
pH	Hydrogenic potential
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
V%	Base saturation
X	per/versus
Σ	Summation

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>20</b>
<b>2. CARRYOVER OF N FERTILIZATION FROM BEANS CROP TO PASTURE IN AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1 INTRODUCTION.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2 MATERIAL AND METHODS.....</b>	<b>28</b>
2.2.1 Location of experimental phases.....	28
2.2.2 Treatments, experimental design and experimental conduction.....	29
2.2.3 Sampling procedures.....	31
2.2.4 Pasture nutritional status (nitrogen, phosphorus and potassium).....	32
2.2.5 Uptake of N, P, and K.....	33
2.2.6 Statistical analysis.....	33
<b>2.3 RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>34</b>
2.3.1 Forage dry matter accumulation.....	34
2.3.2 Forage shoot nitrogen, phosphorous and potassium concentrations.....	36
2.3.3 Forage Nitrogen uptake.....	39
2.3.4 Pasture nutritional status evaluation: Nitrogen dilution curve.....	40
2.3.5 Forage Phosphorus uptake.....	42
2.3.6 Pasture nutritional status evaluation: Phosphorus nutrition index.....	44
2.3.7 Forage Potassium uptake.....	45
2.3.8 Pasture nutritional status evaluation: Potassium dilution curve.....	47
<b>2.4 CONCLUSIONS.....</b>	<b>50</b>
<b>3. Carryover effects of winter-pasture N and K fertilization on corn mineral nutrition within a crop-livestock system.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1 INTRODUCTION.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2 MATERIAL AND METHODS.....</b>	<b>55</b>
3.2.1 Location of experimental phase.....	55
3.2.2 Treatments, experimental design and experimental conduction.....	56
3.2.3 Grain Yield.....	57
3.2.4 Sampling procedures.....	58
3.2.4.1 Corn shoot biomass.....	58
3.2.5 Corn nutritional status (nitrogen, phosphorus and potassium).....	58
3.2.6 Uptake N, P and K.....	60

3.2.7 Statistical analysis.....	60
<b>3.3 RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>61</b>
3.3.1 Shoot Corn dry matter accumulation.....	61
3.3.2 Grain Yield.....	63
3.3.3 Corn Nitrogen uptake.....	65
3.3.4 Evaluation of the nutritional status of corn: Nitrogen dilution curve.....	67
3.3.5 Evaluation of the Phosphorus status of corn: N-P relation for nonlimiting nitrogen and limiting conditions.....	69
3.3.6 Evaluation of K nutritional status of corn.....	72
<b>3.4 CONCLUSION.....</b>	<b>76</b>
<b>4. Adubação de sistemas: Relação de causa e efeito da adubação nitrogenada realizada na fase pastagem com efeito na produção de milho em sucessão em SIPA.....</b>	<b>77</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>79</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>81</b>
4.2.1 Caracterização da área de estudo.....	81
4.2.2 Períodos experimentais e caracterização.....	82
4.2.3 Descrição dos experimentos.....	83
4.2.3.1 Desenho experimental.....	84
4.2.4. Condução do experimento.....	85
4.2.4.1 Fase pastagem anual de Aveia Preta ( <i>Avena strigosa</i> ) inverno de 2013.....	85
4.2.4.2 Fase pastagem anual de Aveia Preta ( <i>Avena strigosa</i> ) inverno de 2017.....	86
4.2.4.3 Fase lavoura de Milho – safra 2013/14.....	87
4.2.4.4 Fase lavoura de Milho – safra 2017/18.....	88
4.2.5 Variáveis avaliadas.....	91
4.2.5.1 Avaliação de produtividade.....	91
4.2.5.2 Avaliação dos componentes de rendimento.....	91
4.2.6 Análise Estatística dos dados.....	92
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>94</b>
<b>4.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>104</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>107</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Incrementos de rendimento na produção agrícola e na pecuária são alvo de discussões ambientais do mundo contemporâneo (MORAES et al., 2018). Expansão de áreas agrícolas não é a maneira mais inteligente do homem aumentar a produção, visto que existem vários ecossistemas sensíveis e ameaçados de extinção (TILMAN et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2017).

Dessa maneira, a alternativa sustentável é atingir metas de produtividade sem comprometer conquistas sociais e ecológicas (MORAES et al., 2018), de forma intensiva e sustentável (FAO, 2010) com práticas de manejo conservacionista nas propriedades agrícolas utilizando de recursos disponíveis nos agrossistemas (BONAUDO et al., 2014), a fim de reduzir o consumo de insumos e gerar maior renda por área.

Desde as discussões que ocorreram na Conferência Rio+20 em junho de 2012, até as recentes, foram apontadas as principais linhas de atuação para a agricultura, a fim de produzir mais, porém de uma forma sustentável, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa (VERMEULEN et al., 2012; FAO, 2016), degradação do solo (LAL, 2009), a contaminação ambiental com nutrientes desacoplados (VERHOEVEN et al., 2006) e a dependência de insumos externos (nutrientes) de reposição (LEMAIRE, 2015). Entre elas, os especialistas apontam que uma das soluções é a adoção de sistemas integrados de produção agropecuária (CARVALHO et al., 2014), que envolvem a rotação entre culturas e pastagem na mesma área (FRANZLUEBBERS et al., 2014).

Desta forma, cabe ao campo da ciência encontrar um manejo capaz de intensificar a produção animal e vegetal aproveitando as relações sinérgicas existentes entre as duas fases do sistema (CARVALHO; NUNES; ANGHINONI, 2018).

Os sistemas integrados de produção agropecuária (CARVALHO et al., 2014) são sistemas planejados para explorar efeitos sinérgicos das relações e interações entre os compartimentos solo-planta-animal-atmosfera em áreas que integram simultaneamente atividades agrícolas multifuncionais (ex. grãos, madeira, produção de carne) em diferentes escalas espaço-temporais (MORAES et al., 2014; CARVALHO et al., 2018).

Esse tipo de produção tem como pilares o uso de uma agricultura

conservacionista (semeadura direta, cobertura permanente do solo, rotação e diversificação de cultivos) e a presença de animais em pastejo (ciclagem de nutrientes, desfolha e deposição de dejetos animais), que interagem e conferem novas propriedades ao sistema (ANGHINONI, et al., 2013).

A adubação de sistemas em inglês (system-level fertilization) (BERNARDON et al., 2020), tem como base a ciclagem de nutrientes entre as fases de um sistema em rotação, buscando a maximização no uso dos nutrientes, reduzindo entradas, evitando perdas e contaminações ambientais, e mantendo a fertilidade do solo em um longo prazo (ASSMANN et al., 2018).

Esse conceito quebra um paradigma de que a fertilização deve ser feita especificamente para a cultura, que na maioria das vezes é grãos. A adubação de sistemas considera todas as culturas do sistema de rotação (pastagens e culturas agrícolas), em um esquema de transferência de nutrientes entre os cultivos, sendo essas de forma diretamente de forma inorgânica ou indiretamente de forma orgânica via ciclagem de nutrientes e mineralização (ASSMANN et al., 2017).

No sul do Brasil, muitos estudos têm confirmado o efeito residual de adubação de pastagens de inverno para as culturas de grãos cultivadas em sequência, inclusive com a possibilidade de omissão de adubação nitrogenada para a cultura de grãos sucessora (ASSMANN et al., 2003; SANDINI et al., 2011; SARTOR et al., 2014; ASSMANN et al., 2017; SARTOR et al., 2018).

O nitrogênio (N) é o nutriente envolvido diretamente com o crescimento vegetativo das plantas. Relações lineares têm sido apontadas pela literatura entre a taxa de crescimento das culturas e a concentração desse elemento na planta (INGESTAD; ÅGREN, 1992; VERKROOST; VASSEN, 2005) sendo essas, a base teórica para os conceitos sobre a eficiência de uso do N. Decorre dessa teoria a ideia de uma concentração crítica nas plantas, necessária para maximizar o crescimento e a produtividade (LEMAIRE, 1997).

Dessa maneira, o manejo ideal do N é aquele capaz de ajustar as doses de adubação de acordo com a produção de matéria seca da cultura nas diferentes épocas e fases do seu ciclo de crescimento e desenvolvimento (FOGAÇA et al., 2008). Dentre os métodos de diagnóstico da nutrição nitrogenada das culturas agrícolas, destaca-se a curva crítica de diluição (LEMAIRE et al., 1997).

Usando os índices nutricionais nitrogenados obtidos a partir das curvas críticas de diluição de nitrogênio é possível para cada estágio do cultivo durante a

fase vegetativa determinar o Índice Nutricional Nitrogenado (INN), obtido pelo quociente entre o  $N_c$  (Nitrogênio crítico) e a concentração da amostra (LEMAIRE et al., 1997). Dessa maneira, o INN é utilizado para o diagnóstico do estado nutricional de cultivos agrícolas e orientar o produtor rural no manejo de adubação nitrogenada de cobertura (NEUHAUS & SADRAS, 2018).

Além disso o INN tem mostrado com um bom preditor de produção de espécies forrageiras e pastagens (GASTAL et al., 2014), milho (PLÉNET & CRUZ 1997; ZIADI et al., 2008), trigo (JUSTES et al., 1997; ZIADI et al., 2010; HOOGMOED et al., 2018), cevada e arroz (ZHAO et al., 2014; TAHIR ATA-UL-KARIM et al., 2016), colza (COLNENNE et al., 1998), girassol (DEBAEKE et al., 2012), e tubérculos de batata (BÉLANGER et al., 2001), sendo assim uma ferramenta forense para aferir o rendimento real da colheita (HOOGMOED et al. 2018).

Além do nitrogênio, os minerais fósforo e potássio, também podem ser verificados através de modelos matemáticos que propõe níveis limites de nutrientes para a planta com a técnica da curva de suficiência (LEMAIRE and SALLTE, 1984; GREENWOOD et al., 1990; SALETTE and HUCHÉ, 1991; DURU and DUCROCQ, 1996; DURU and THÉLIER-HUCHÉ, 1997; PLÉNET and LEMAIER, 1999; BÉLANGER and RICHARDS, 1999; ZIADI et al., 2007; CADOT et al., 2018). Essa técnica já é muito utilizada em alguns países da Europa e dados de pesquisas brasileiras mostram que a mesma também pode ser utilizada no Brasil, em forma complementar a tradicional análise de solos. Nesse sentido novas ferramentas ajudaram a expansão da produtividade em níveis nacionais.

A partir da avaliação dos componentes de desempenho e produção de milho é possível determinar a produtividade (PINHEIRO et al., 2021). Dessa forma é possível discutir como esses atributos são influenciados pela interação dos fatores no sistema de cultivo (PINHO et al., 2008). Uma das ferramentas desenvolvidas para se trabalhar com essas e muitas outras variáveis é a análise de trilha (Path analysis) (CRUZ et al., 2013). Sendo assim, no manejo de adubação de sistemas é possível determinar qual são os efeitos diretos e indiretos nas variáveis de produção.

Nesse sentido o grupo de pesquisa Interação Solo-Planta-Animal (GISPA) da UTFPR Campus Pato Branco – PR, conduziram uma pesquisa de longa duração que iniciou em 2012 e finalizou em 2018, cujo o qual está englobado a presente tese de doutorado (uma das 10 teses e das 5 dissertações produzidas

nesse experimento), na Fazenda Pacheco localizada no município de Abelardo Luz – SC (RISSI, 2015; BORTOLLI, 2016; MACCARI, 2016; BERNARDON, 2016; TATTO, 2017; LIMA, 2018; HUF, 2018; AIOLFI, 2018; CARVALHO, 2018; BARRIGA, 2019; RHODEN, 2019). Essa tese abordará o ano agrícola de 2017/18, com pastagem de aveia preta no inverno de 2017 e milho no verão de 2017/18.

Neste contexto, baseado na hipótese que exista um efeito de transferência de nutrientes entre as culturas do sistema em rotação (fase pastagem e lavoura) através do manejo de adubação de sistemas, o objetivo deste trabalho é determinar a melhor estratégia de recomendação de adubação nitrogenada e potássica que permita obter altas produtividades de forragem e de grãos em sistema integrado de produção agropecuária.



## 2. CARRYOVER OF N FERTILIZATION FROM BEANS CROP TO PASTURE IN AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM

### RESUMO

TATTO, Wilson Henrique. Efeito residual da adubação nitrogenada realizada no feijão para a pastagem sucessora em sistema de integração lavoura-pecuária. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

No sul do Brasil, diversos estudos confirmaram um efeito residual de transferência do nitrogênio (N) aplicado na pastagem durante o inverno para a safra de milho subsequente. No entanto, pouco se sabe sobre um efeito residual da adubação nitrogenada de uma leguminosa cultivada no verão, como o feijão, para a pastagem em sucessão. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação nitrogenada em um sistema lavoura-pecuária (feijão-pastagem) na produção de forragem e avaliação do estado nutricional de N, P e K na pastagem. O experimento foi realizado em Abelardo Luz – SC em um sistema de integração lavoura-pecuária de longa duração. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram duas épocas de adubação nitrogenada: N Feijão ( $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ) e N-K Pastagem ( $200 - 50 \text{ kg de N - K}_2\text{O ha}^{-1}$ ), sendo que foi adubado apenas uma das fases do sistema no tratamento correspondente (lavoura ou pastagem). O efeito residual do N aplicado no feijão não foi suficiente para atender às necessidades de N da pastagem, resultando em deficiência de N e menor acúmulo de forragem. Os resultados sugerem que os agricultores devem considerar uma fertilização em nível de sistema de perspectiva alternativa: um sistema de adubação para otimizar a produção de pastagem/gado no inverno e a produção de grãos no verão. É importante caracterizar a disponibilidade de nutrientes em ambas as fases e como os nutrientes circulam entre as fases. Por meio das curvas de suficiência, foi possível verificar que o N era insuficiente quando a pastagem não era fertilizada e o K era suficiente.

**Palavras-chave:** Adubação de sistemas. Curvas de suficiência. Produção de forragem.

## ABSTRACT

TATTO, Wilson Henrique. Carryover of nitrogen fertilization from beans crop to pasture in an integrated crop-livestock system. 147 f. Thesis (Doctors in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2021.

In southern Brazil, several studies confirmed a carryover effect of nitrogen (N) applied in the pasture during the winter to the subsequent corn cash-crop. However, little is known about a residual effect of nitrogen fertilization of a legume grown in the summer, such as beans, for pasture in succession. In this context, this work aimed to evaluate the carryover effect of nitrogen fertilization in a crop-livestock system (beans-pasture) on forage production and evaluation of the nutritional status of N, P and K in the pasture. The experiment was carried out in Abelardo Luz – SC in a long-term crop-livestock integration system. The experimental design was in randomized complete block design with three replications. The treatments were two nitrogen fertilization times: N Beans (100 kg of N ha<sup>-1</sup>) and N-K Pasture (200 – 50 kg of N – K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), and only one of the phases of the system was fertilized in the corresponding treatment (crop or pasture). The carryover effect of N applied to a previous crop bean was not enough to meet the N requirements of the pasture, resulting in N deficiency and lower forage accumulation. These results suggest that farmers should consider an alternative perspective system-level fertilization – one of system fertilization to optimize both cool-season pasture/cattle production and summer grain crop production. Characterizing nutrient availability in both phases and how nutrients cycle between phases will be important. The strategy of not splitting N fertilization and applying all of the N during forage tillering, before animal access to the pasture, provided an N nutrition status that was adequate until the end of pasture use. Through the sufficiency curves, it was possible to verify that the N was insufficient when the pasture was not fertilized and the K was sufficient.

**Keywords:** Forage production. Sufficiency curves. System-level fertilization.

## 2.1 INTRODUCTION

System-level fertilization is a concept that relies on biological nutrient cycling between phases of rotations to achieve nutrient-use efficiency, thereby reduce mineral nutrient input requirements, avoid losses, and maintain long-term soil fertility. This concept considers all crops involved in rotation (pastures, tree component and agricultural crops) in the scheme of nutrient transfer between crops (ASSMANN et al., 2018).

The nutrient cycling can improve the following crop yield, demonstrating that this technique (system-level fertilization) is not restrictive to one crop (SARTOR et al., 2018). In this sense, the proper use of management strategies, such as nitrogen fertilization in system-level fertilization model, are key issue for the implementation of a successful integrated crop-livestock.

In general, this approach contrasts with the recommendations for fertilizing agricultural areas carried out in the traditional model, with specific fertilization in the crop to be implanted, in which most of the time it is grain. In this fertilization model, only the isolated effect of a nutrient determinant is evaluated, rarely analyzing the residual effect of these fertilization's, as well as, the modifications caused in the soil-plant-animal system.

In southern Brazil, several studies have confirmed a carryover effect of N applied to continuously grazed winter grass pastures to a subsequent cash crop (ASSMANN et al., 2003; BALBINOT JR et al., 2011; SANDINI et al., 2011, SARTOR, 2012; TATTO, 2017; ASSMANN et al., 2017; LEVINSKI-HUF, 2018; RHODEN, 2019) (corn, soybean and bean). However, the carryover effect from cash-crop to subsequent pasture is not observed. Bernardon et al. (2020), found low carryover effect from N fertilization on corn in summer season to black oat plus rye-grass pasture on winter.

Studies that evaluated the carryover effect of nitrogen from cash-crop to pasture phase, are summarized in grasses such as corn. This way, it is necessary realize studies with legume plants, which exports less nutrients in the grains harvested and makes the nitrogen fixation naturally such as bean. In this sense, it is possible to found different and positive answer to nutrients transfer from bean to pasture.

According to this context and given the importance of nutrient cycling in

the crop-livestock systems, this study aimed to evaluate the effect of nitrogen fertilization management (applied on bean-crop in summer or pasture in winter) on forage production and evaluate N, P, and K nutritional status of the pasture phase in a crop-livestock system.

## 2.2 MATERIAL AND METHODS

### 2.2.1 Location of experimental phases

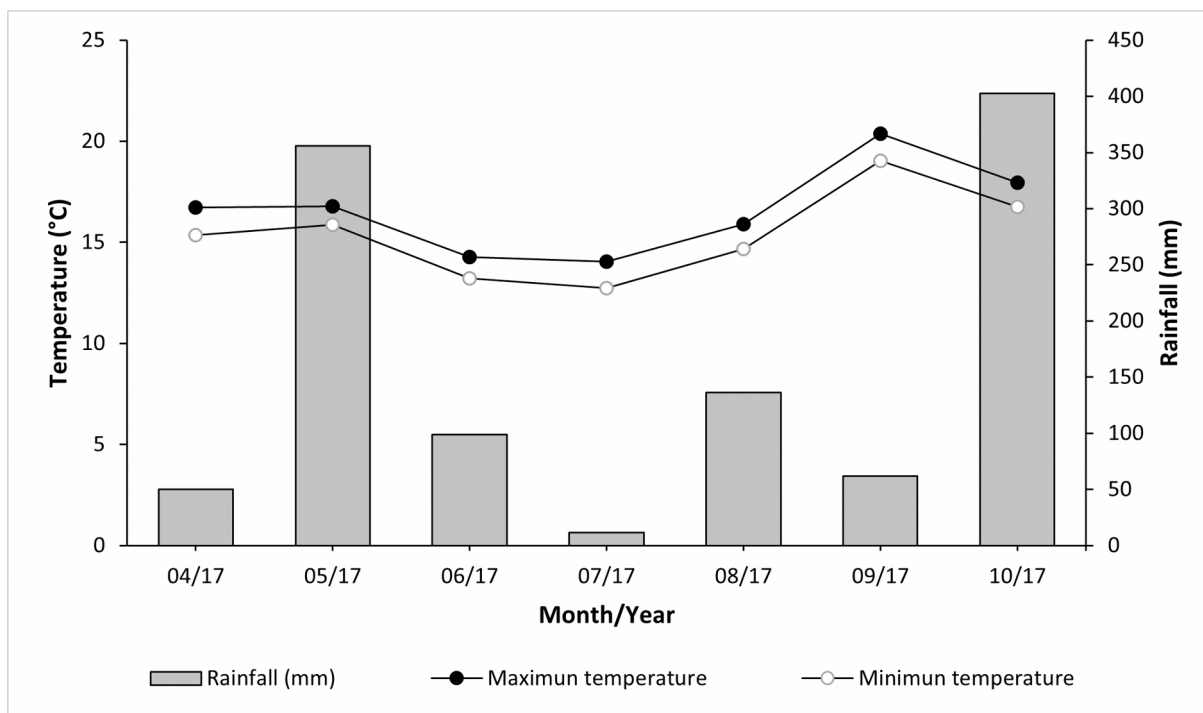
The study was conducted at Abelardo Luz, in the state of Santa Catarina, southern Brazil (26° 31' S, 51° 35' W, at an altitude of 850 m) in a 20-ha field that had been part of an ICLS experiment using no-till that started in 2012. This study assessed the pasture phase of the winter of 2017 in an ICLS. The first experimental phase occurred in the summer of 2016/2017 with Beans as the crop, while the second phase occurred in the winter/spring of 2017 with pasture (Table 1). This agricultural year started when the beans 'IPR Tuiuiú' was sown on 01 December 2016, in a no-till system with a row drill spacing of 0.45 linear meter and with plants density of the 311 thousand plants ha<sup>-1</sup>.

**Table 1** – Crops from 2012 until 2017 in an ICL system. Abelardo Luz - SC, 2018.

Season	Crops	Phase
Summer 2012/2013	Sudan grass ( <i>Sorghum bicolor</i> ) cv. BMR – ADV 2800	Pasture
Winter 2013	Black Oat ( <i>Avena strigosa</i> ) cv. Common	Pasture
Summer 2013/2014	Corn Grain ( <i>Zea mays</i> ) Hybrid: Máximus - Syngenta	Crop
Winter 2014	Black Oat ( <i>Avena strigosa</i> ) + Ryegrass ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. BRS 139 + Barjumbo	Pasture
Summer 2014/2015	Soybean ( <i>Glycine max</i> ) cv. NS 5909	Crop
Winter 2015	Ryegrass ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. Common	Pasture
Summer 2015/2016	Corn Silage ( <i>Zea mays</i> L.) Hybrid: AG8780 VT-PRO	Crop
Summer 2016	Bean second season ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) – cv. IAC Milênio	Crop
Winter 2016	Ryegrass ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. Winter Star	Pasture
Summer 2016/2017	Bean ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cv. Tuiuiú	Crop
Winter 2017	Black Oat ( <i>Avena strigosa</i> ) cv. Common	Pasture

Source: RISSI, 2015; BORTOLLI, 2016; MACARRI, 2016; BERNARDON, 2016; TATTO, 2017; LIMA, 2018; HUF, 2018; AIOLFI, 2018; CARVALHO, 2018; BARRIGA, 2019.

The soil was an Oxisol with clayey texture (EMBRAPA, 2013) and gently wavy relief (7% of declivity). The climate was Cfb, humid subtropical, according to Köppen's Classification (ALVARES et al., 2013). Meteorological data during the experimental period are shown in Figure 1.



**Figure 1** – Average monthly minimum and maximum temperatures, and rainfall during the experiment in Abelardo Luz. Source: National Institute of Meteorology (INMET, 2018).

The soil chemical properties for the 0-0.20 m soil layer during all experimental of long-duration project is describe below:

**Table 2** – Chemical properties of the 0 – 0.2 m layer of soil, all experimental seasons, Abelardo Luz Santa Catarina, Brazil.

Year	pH	OM	P	K	Ca	Mg	CEC	V
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%
<b>2012</b>	5.20	45.10	4.09	86.20	3.70	2.60	11.52	52.80
<b>2014</b>	4.94	36.30	4.57	87.87	3.85	1.97	10.41	55.95
<b>2015</b>	4.89	39.84	4.95	89.70	4.42	2.75	12.62	58.56
<b>2016</b>	4.70	51.71	14.37	171.60	4.36	2.24	14.23	49.50
<b>2017</b>	5.10	54.95	14.20	187.20	5.80	1.50	13.76	56.54

Laboratory of soil analysis UTFPR/IAPAR. Methodologies: OM by humid digestion; P and K extracted with Mehlich<sup>-1</sup> solution; pH in CaCl<sub>2</sub> 1:2,5; Ca and Mg exchangeable with KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

In winter 2017 in the pasture phase, the available P and K were classified as very high according to the Brazilian Commission for Chemical and Soil Fertility (CQFS/RS-SC, 2016).

## 2.2.2 Treatments, experimental design and experimental conduction

Until summer 2016/17 this experimental protocol just worked with

system-level N fertilization. As from winter pasture 2017 started also K fertilization.

The experimental setup was a randomized complete block design, with three replications. The size of the plots varied from 1.1 to 1.3 ha according to each treatment.

The treatments were **N-K Fertilization Time** which represents the system-level fertilization, which in ICLS, consists of the application of nitrogen and potassium fertilizer during only one crop phase, in other words, N and K fertilization is applied only once in an agricultural year of a crop-pasture rotation system.

Therefore, in this study, the N-K Fertilization Time, consisted of two levels: **Bean N fertilization** or **Pasture N-K fertilization**. During the first experimental phase (Bean) at the sowing the total area was fertilized with 72 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, and 40 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> using the formulated N-P-K (00-18-18) with rate of 400 kg ha<sup>-1</sup> in 01 December, 2016.

When the beans were in stage V3 on 05 January, 2017, 100 kg N ha<sup>-1</sup> was applied in sidedress in the Bean N fertilization treatments, and was not realized N fertilization in the treatments Pasture N-K fertilization, however both treatments (Bean N and Pasture N-K) received 40 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, once the potassium fertilization was not yet a treatment at this stage and, therefore, it was applied in the whole experiment. After the bean harvest, the field was desiccated using a 1.33 L ha<sup>-1</sup> application of glyphosate on 15 March 2017.

A forage black oat 'common' was sown on 28 April 2017, using a no-tillage system, with a drill spacing row of 0.17 m. The sowing density was 110 kg ha<sup>-1</sup> seeds. During sowing, the field was fertilized with 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, in a formulated simple super phosphate, according to soil analyses and recommendation of the Brazilian Commission for Chemical and Soil Fertility (CQFS/RS-SC, 2016) (Table 3).

Conversely, during the second experimental phase the plots designated as Pasture N-K fertilization received 200 kg N ha<sup>-1</sup> and 50 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, while the Bean N fertilization plots did not receive nitrogen fertilization neither potassium fertilization (Table 3).

**Table 3** – Dates of fertilizations to experimental treatments in the 2016 and 2017 agricultural year (pasture and corn phase).

Fertilization Time	N-K Fertilization Time			
	Bean N fertilization plots		Pasture N-K fertilization plots	
	N (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )
Summer 2016/17	100	40	0	40
Winter 2017	0	0	200	50

Experimental field, Abelardo Luz- SC.

Nitrogen fertilization (200 kg N ha<sup>-1</sup>) of the Pasture N-K fertilization plots was conducted at the beginning of the pasture tillering stage in broadcast (27 days after the pasture was sown) on 25 May 2017. Fertilization N application, for both times, was applied as a single dose of urea (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>; 45%N). Potassium fertilization (50 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), applied as treatment only on Pasture N-K fertilization plots, on the second experimental phase, were applied, at the pasture tillering stage in broadcast (17 days after the pasture was sown) on 15 May 2017, using KCl (60% K<sub>2</sub>O).

In final of experiment period, the black oat residues were desiccated with 2.0 L ha<sup>-1</sup> of Gramoxone (Paraquat + Diuron) plus aquamax (adjuvant) in 29 August, 2017 following cattle removal.

### 2.2.3 Sampling procedures

Grazing was conducted with continuous stocking of Nelore/Charolais steers using a put-and-take method (MOOT; LUCAS, 1952; ALLEN et al., 2011), to maintain the intended sward height throughout the grazing season. Grazing started on 13 June 2017 (46 days after sowing), when the average sward height was 20 cm, and lasted 76 days, until 27 August, 2017. Forage dry matter (DM) accumulation was assessed every 28 days using the technique described by Campbell (1966), with three grazing exclusion cages per plot. Forage DM accumulation rate (kg DM ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) was obtained by subtracting the DM at the beginning of the evaluation period from that at the end and dividing this difference by the number of days elapsed (i.e., 28 days). Pasture evaluations started on 28 April, 2017, 45 days after the pasture was sown. Subsequent evaluations were made every 28 days until 28 August 2017, 121 days after sowing (DAS).



#### 2.2.4 Pasture nutritional status (nitrogen, phosphorus and potassium)

Forage samples from inside the grazing exclusion cages were dried in a forced-air oven at 55°C until they attained a constant weight. Dried samples were weighed, ground in a Wiley mill (1 mm), and their N, P and K concentrations analyzed (TEDESCO et al., 1995).

Lemaire and Salette (1984) demonstrated a decline in plant N concentration relative to DM accumulation in grasses and lucerne, regardless of climatic conditions, species or genotypes. This decline in N concentration was described by a negative power function called the “dilution curve” (LEMAIRE et al., 2008). This curve describes a decline in the optimum N concentration as forage DM accumulates in temperate pastures (C3 species) according to the equation (LEMAIRE, 1997):

$$N \text{ (g kg}^{-1}\text{)} = 4.8 W^{-0.32} \quad (1)$$

Where: N is the percentage of N in accumulated biomass; the coefficient 4.8 characterizes the maximum percentage of N at low DM; W is dry matter production level (Mg ha<sup>-1</sup>), and the coefficient –0.32 characterizes the temporal N dilution behavior during pasture growth.

Based on this model, any N concentration lower than the N dilution curve would limit plant growth. Nitrogen nutritional status of the pasture was evaluated from the forage DM accumulation and the N concentration fitted independently to the same nonlinear model:

$$N = \alpha W^{-\beta} \quad (2)$$

In this sense the data were compared with N dilution curve proposed by Lemaire (1997).

The nitrogen concentration of plant biomass controls the concentrations of other nutrients, since plant concentrations of phosphorus (P) and potassium (K) are associated with the N concentration.

For evaluation of P nutrition pasture status, we assumed linear relationships between N and P concentrations as previously reported (DURU and THÉLIER-HUCHÉ, 1997):

$$\text{Shoot P} = 0.15 + 0.065 \times \text{N} \quad (3)$$

When P availability is non-limiting for growth, the relationship between N and P depends solely on N nutrition status (SALETTE and HUCHÉ, 1991; DURU et al., 1992), i.e. the higher the N nutrition level the higher the P concentration.

For evaluation of nutritional K status (pasture), we assumed a linear relation between N and K concentrations, i.e. (SALETTE and HUCHÉ, 1991).

$$\text{K} = 1.6 + 0.525 \times \text{N} \text{ (g kg}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

#### 2.2.5 Uptake of N, P, and K

Uptake of N, P, and K by black oat pasture plants was calculated by multiplying DM accumulation by nutrient concentration and adding the accumulated of periods until last sampling date (121 days after pasture seeding).

#### 2.2.6 Statistical analysis

Data were analyzed using the statistic software Statgraphics. N-K Fertilization Times, sampling dates, and the interaction (N-K Fertilization Times × sampling dates) was considered as fixed effects, and blocks as the random effect. The sampling dates (days after sowing – DAS) were treated as a repeated measure. Means were compared using the LSD test with significance at  $p \leq 0.05$ . The graphic representation regarding the N, P and K curves of dilution were done utilizing the computational software SigmaPlot® Version 12.0 (Systat Software, San Jose, CA).

## 2.3 RESULTS AND DISCUSSION

### 2.3.1 Forage dry matter accumulation

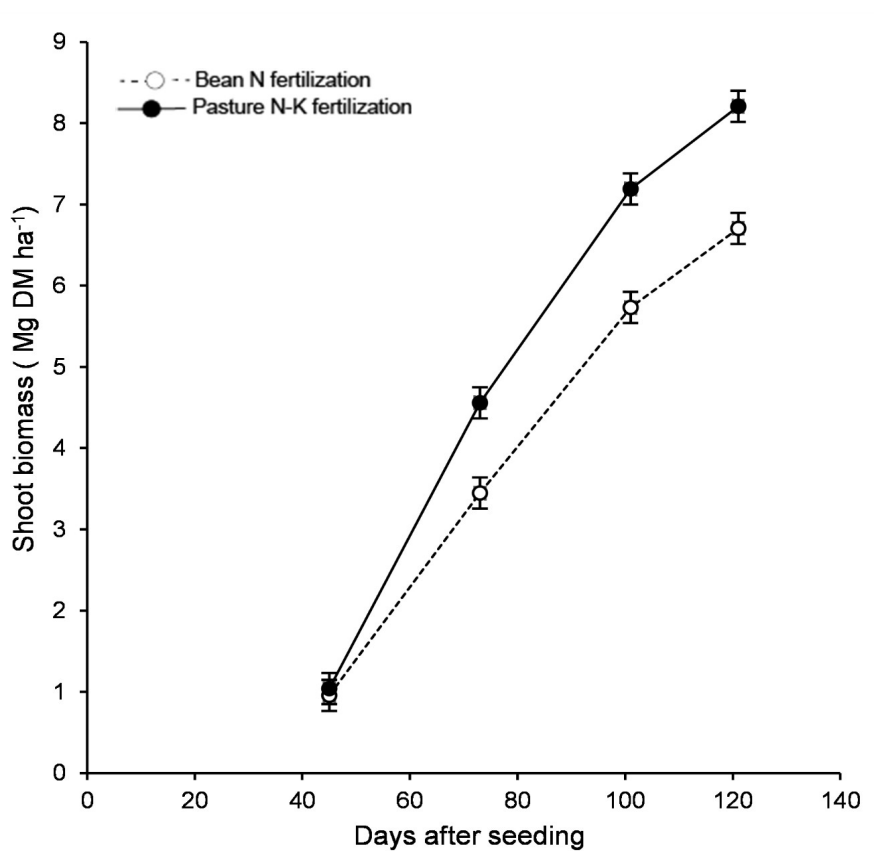
It was observed influence of N-K Fertilization X Days after seeding on shoot DM accumulation ( $P < 0.001$ ) (Table 4).

**Table 4** – Analysis of variance of N-K fertilization time and Days after seeding on forage dry matter (DM) production ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), forage N, P and K concentrations ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

Pr > F				
Source	Forage DM Accumulation	N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	P ( $\text{g kg}^{-1}$ )	K ( $\text{g kg}^{-1}$ )
N-K Fertilization	<0.001*	<0.001*	0.1735	0.0883
Days after Seeding (DS)	<0.001*	<0.001*	<0.001*	0.0008*
N-K Fertilization x DS	0.0003*	<0.001*	0.1654	0.2985

\*LSD=Least Significant Difference ( $P < 0.05$ ).

From 80 to 121 days after seeding, the shoot DM accumulation was higher in the treatment Pasture N-K fertilization than Bean N fertilization (Figure 2).



**Figure 2** – Pasture (Black Oat) shoot dry matter accumulation as a function of N-K fertilization time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization), and days after seeding.

These results show that the pasture responded positively to the cover fertilization, indicating that there was no carryover effect of the previous bean cultivation. Bernardon et al. (2020), showed that there was no carryover effect of fertilization on corn for pasture in succession. In this regard, despite the predecessor crop being a legume that received 100 kg ha<sup>-1</sup> of N, the transfer of nutrients to the pasture was low. This way, the cash-crops in ICLS have a low capacity of transfer nutrients, that is, a low carryover effect for pasture in sequence (ASSMANN et al., 2014) concluding that pasture is the best phase to manage the system-level fertilization.

The greatest final yield shoot dry matter forage was 8.2 Mg DM ha<sup>-1</sup> in the Pasture N-K fertilization treatment and 6.7 Mg DM ha<sup>-1</sup> when was not supply N and K fertilizer in pasture (Bean N fertilization). Total DM accumulated (121 days after sowing) was 1,5 Mg DM ha<sup>-1</sup> higher in the Pasture N-K fertilization than in the pasture not fertilized (Bean N fertilization) an 18% increase in productivity. These results can have been obtained by improved soil fertility from fertilization N and K in the pasture phase and as well as by improve of biological modifications caused by grazing.

Even with a lower production of forage in treatments Bean N fertilization, in relation to the Pasture N-K fertilization, the yield of forage was above of the expectation to black oat in south of Brazil being 5 Mg DM ha<sup>-1</sup> (PRIMAVESI et al., 2000). This is a result of the good soil fertility built over years, since, this work has been conducted in ILCS since 2012 (5 years). In the beginning of experiment (2012) the nutrients in soil was: Organic Matter (OM) = 45,10 g dm<sup>-3</sup>, P<sub>available</sub> = 4.09 mg dm<sup>-3</sup>, and K = 86,20 mg dm<sup>-3</sup>. At end of experimentation (2017) the soil showed a very high level of P (P<sub>available</sub> = 14.20 mg dm<sup>-3</sup>, very high to soil with argil > 400 g kg<sup>-1</sup>), high level of Organic Matter (OM) (54.95 g dm<sup>-3</sup>) and very high K 187,20 mg dm<sup>-3</sup> (CQFS/RS-SC, 2016).

According to Mantai et al. (2015), there is the growth trend on biomass rate in oat with increment of the N rates in crop systems. Oliveira et al. (2003), found increase at production of the biomass forages plants fertilized with K regarding no-fertilized.

In fact the pasture is more efficient then cash-crop in cycle nutrients, but only the grazing itself, is not responsible for the highest DM production, and yes the nitrogen fertilization, which activates the mechanisms of the absorption and forage

production. In this sense, there is not use for grazing if the plant not have sufficiency in nutrients (principally the N) to cycling.

The grazing is catalyst (MOARAES et al., 2018), but the nitrogen that is the activator of the cycling process. Through these process, the uptake of nutrients by plants increases, cycling by dung and urine, improvement of the residual plants quality, increase of decomposition rate (less relationship C:N) (ASSMANN et al., 2018), improvement and increase of the middle fauna and microbial and improvement of the soil fertility, causing the N applied in forage phase have a residual transfer effect reaching up to the successor grain cash-crop.

### 2.3.2 Forage shoot nitrogen, phosphorous and potassium concentrations

It was observed influence of N-K Fertilization X Days after seeding on shoot N concentration ( $P < 0.001$ ) (Table 5). The average among days after seeding to shoot N concentration following the Pasture N-K fertilization ( $35.3 \text{ g N kg}^{-1}$ ) was greater than following the Bean N fertilization ( $26.5 \text{ g N kg}^{-1}$ ) (Table 5).

**Table 5** – Forage nitrogen (N), potassium (K) and phosphorous (P) concentrations ( $\text{g kg}^{-1}$ ) of black oat 'Common' as affected by N-K fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and days after pasture seeding (sampling dates).

N-K Fertilization Time	Days after seeding				Average
	45	73	101	121	
<b>Forage N Concentration (<math>\text{g kg}^{-1}</math>)</b>					
Bean N fertilization	33.36 a	38.06 a	18.06 a	16.50 a	26.57
Pasture N-K fertilization	57.83 b	38.86 a	28.60 b	15.80 a	35.27
Average	45.60	38.46	23.33	16.15	
<b>Forage P Concentration (<math>\text{g kg}^{-1}</math>)</b>					
Bean N fertilization	5.67	3.32	3.20	2.78	3.74 A
Pasture N-K fertilization	5.08	3.15	3.12	2.97	3.58 A
Average	5.37 a	3.23 b	3.15 b	2.87 b	
<b>Forage K Concentration (<math>\text{g kg}^{-1}</math>)</b>					
Bean N fertilization	60.65	44.03	37.50	40.62	45.70 B
Pasture N-K fertilization	57.96	55.53	40.11	49.00	50.65 A
Average	59.31 a	49.78 b	38.81 c	44.81 c	

Means followed by the same letter, upper-case within columns and lower-case within rows, do not differ significantly according to LSD test ( $P \leq 0.05$ ).

The lower forage shoot N in the treatment Bean N fertilization can be associated to low N carryover from cash-crops (ASSMANN et al., 2003; ASSMANN et al., 2017). Bernardon et al. (2020), not found carryover effect from corn N fertilization to pasture in succession. These authors attributed N pasture fertilization with key of success in integrated crop-livestock system.

Biomass residues are also part of the nutrient cycling of the rotation system. The C:N relation, species and management adopted, influence the speed of decomposition and the rate of release of nutrients to the soil solution (BORTOLLI, 2016; ASSMANN et al., 2018), and these can be used to the development of the successor crop.

Thus, even though the previous crop to the pasture has been a legume plant (lower C:N ratio than corn), the quantity of residual N provided by the previous crop litter may still not have been enough to sustain high forage production, as has been shown in other studies with soybean (ASSMANN et al., 2015). In this study the residues of bean had on average 27 g N kg<sup>-1</sup> (RODHEN, 2019).

Comparing with results found by Assmann et al. (2015): a) soybean not receive N in sidedress. The bean in this work received 100 kg ha<sup>-1</sup> of N in sidedress; b) the nutrients exportation by grains of bean is lower in relation to soybean. To each 1 Mg of beans grains produced an average 35.5 kg of N, 4.0 kg of P, 15.3 kg of K are exported by grains (ROSOLEM and MARUBAYASHI, 1994). Already to soybean, to each 1 Mg of grains produced an average 51.0 kg of N, 5.0 kg of P, 17.0 kg of K are exported grains (BOKERT et al., 1994) and yet, was observed a little carryover effect to pasture.

In this sense, reinforcing what was said above, even though the beans are a legume that receives nitrogen fertilization and that exports less nutrients in the grains harvest, the carryover effect of the beans for pasture was expected, a fact that did not happen.

The greatest forage N concentration occurred for the first evaluation date (45 days after sowing), while the lowest concentration occurred for the last evaluation date (121 days after sowing), showing a dilution effect (LEMAIRE, 1997). The shoot biomass N concentration dilution occurs with shoot biomass accumulation throughout the pasture use period (LEMAIRE and SALETTE, 1984). With time, structural tissue accumulates due to inter-node elongation on pasture. Maturation

results in a progressively lower leaf: stem ratio and a decline in the forage N concentration (BERNARDON et al., 2020).

Pasture P concentration was influenced by isolated effect of days after seeding (Table 5). The greatest forage P concentration occurred for the first evaluation date (45 days after sowing).

The results show that there was not effect by previous fertilization on bean phase ( $P > 0.05$ ). Different results were found by Bernardon et al., (2020), where the values to forage P concentration that varied as a function of the N fertilization timing and days after pasture sowing, to 46 days after seedling, shoot P concentration following the N Pasture ( $32 \text{ g P kg}^{-1}$ ) was lower than following the N Corn ( $37 \text{ g P kg}^{-1}$ ) being this period the greatest forage P concentration, however to 214 days after sowing (the lowest values for forage P concentration) the values were  $27 \text{ g P kg}^{-1}$  in N Pasture treatments and  $3.8 \text{ g P kg}^{-1}$  N Corn treatments. Comparing with Bernardon et al. (2020), the values found in this work, were greater and more appropriated.

Although the P concentration values of the forage in this work are higher to those found by Bernardon et al., (2020) the P fertilization of  $70 \text{ kg P}_2\text{O}_5$  and the P available from the soil ( $8.4 \text{ mg dm}^{-3}$ ) in their work may not have been enough to supply the greater P demand of the higher forage accumulation in the N-Pasture plots. Already in this study, the soil showed a very high level of P ( $P_{\text{available}} = 14.20 \text{ mg dm}^{-3}$ , very high to soil with argil  $> 400 \text{ g kg}^{-1}$ ), sufficiently supply the 76 days of grazing.

This way, when soil P availability is non-limiting to growth, forage P concentration is relatively independent of the N nutritional status (SALETTE and HUCHÉ, 1991).

Pasture K concentration was influenced by isolated effect of N-K Fertilization Time ( $P = 0.0015$ ) and days after seeding ( $P = 0.0002$ ). The pasture K concentration was greater was greater in the Pasture N-K fertilization ( $50.6 \text{ g N kg}^{-1}$ ) than the Bean N fertilization ( $45.7 \text{ g N kg}^{-1}$ ).

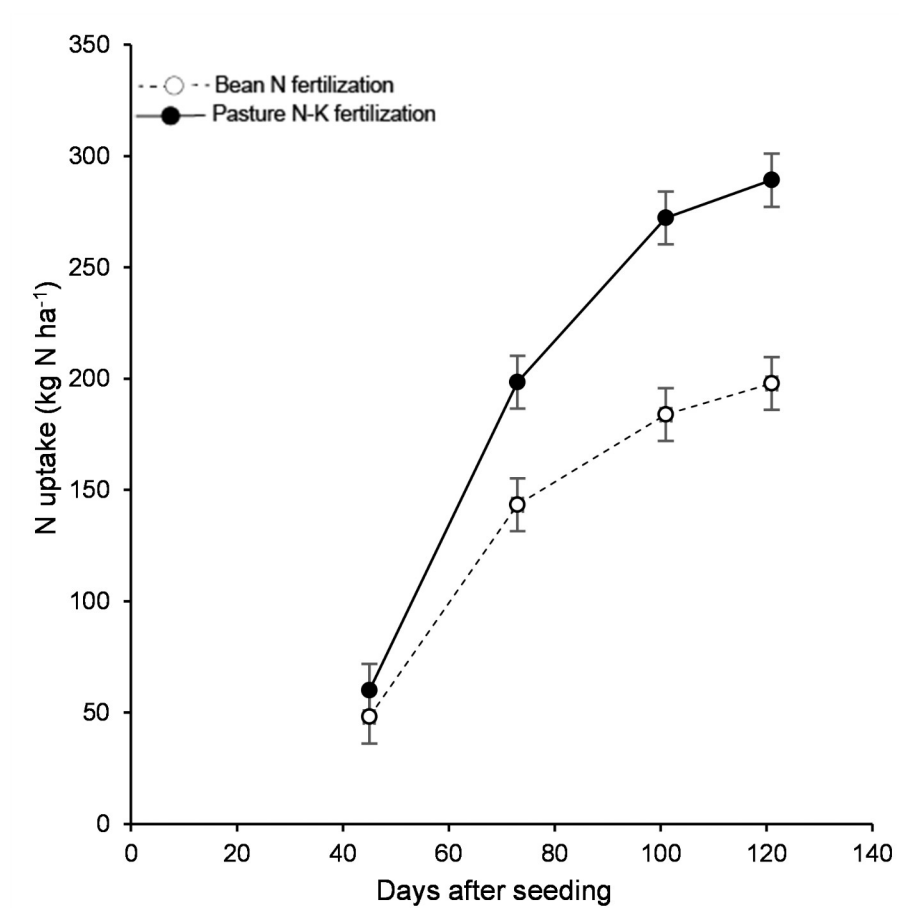
The nitrogen fertilization increase the forage production (ASSMANN et al., 2018). The increase of produced mass, increases the absorption and level of K on the plant (BERNARDON et al., 2020). This way, the N it control the K concentration on the plant.

These results can be explained due the fact of N concentration also be

greater in Pasture N-K fertilization than Bean N fertilization. Working with N system-level fertilization Bernardon et al., (2020) said that forage K concentration increased with increasing forage N concentration, being the results less than found in this work, 44.2 g N kg<sup>-1</sup> to N pasture and 36.2 g N kg<sup>-1</sup> to N crop.

### 2.3.3 Forage Nitrogen uptake

It was observed influence of N-K Fertilization X Days after seeding on pasture shoot N uptake ( $P=0.0010$ ) (Figure 3).



**Figure 3** – N uptake as a function of N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and days after seeding. Non-overlapping bars indicate significant difference according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).

To Bean N fertilization, the total N uptake at 121 days after seeding (DAS) was 198 kg N ha<sup>-1</sup>. Already, in Pasture N-K fertilization treatment the total N uptake at 121 DAS was 289 kg N ha<sup>-1</sup>. Thus, it is understood that the 200 kg N ha<sup>-1</sup> that was applied on pasture were uptake, showing that not have losses in fertilization.

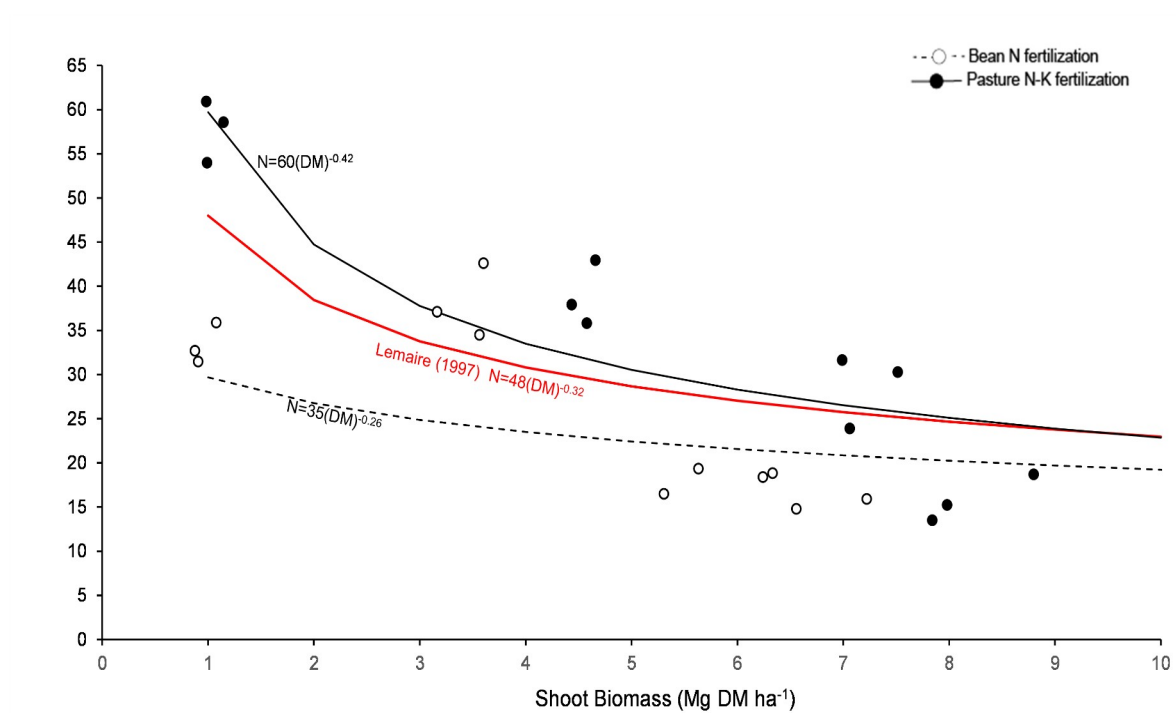


The total of N extracted, also is cycling into the system (soil-plant-animal), thought of cattle grazing, causing the same N atom return in the system several times (BERNARDON et al., 2020), improving the forage production.

In south of Brazil, under similar conditions to this study, Bernardon et al. (2020) reported pasture (mixer between rye-grass and black oat) production of 13.9 Mg DM ha<sup>-1</sup> from 10 until 25 cm height of manage, with N uptake of 444 kg N ha<sup>-1</sup> in 25 cm height and 495 kg N ha<sup>-1</sup> in 10 cm height, being applied 200 kg N ha<sup>-1</sup> in pasture broadcast. The values found by Bernardon et al. (2020), were greater than this work, because the time of grazing also was larger (175 days).

#### 2.3.4 Pasture nutritional status evaluation: Nitrogen dilution curve

The results show that when the pasture has not been fertilized (Bean N fertilization) the N dilution curve stayed bellow the curve proposed by Lemaire (1997) indicating that there was not carryover effect from bean to pasture (Figure 4).



**Figure 4** – Forage N concentration in relation to forage accumulated by black oat ‘Common’ as affected by N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and as compared with the N dilution curve proposed by Lemaire (1997).

Comparing Pasture N-K fertilization with Bean N fertilization, the nitrogen fertilization made in bean not showed to be sufficient to sustain the forage

productivity in succession.

The bean residues presented on average 24.7 g N kg<sup>-1</sup> at 93 DAS, with no statistically significant difference between the treatments N Pasture (rye grass – previous Bean) and N Bean (RODHEN, 2019). Thus, the expectation was that the Bean N fertilization treatment had a higher concentration of N in the final residues. As the concentration of N in the bean residues was the same for both treatments, the oats responded to nitrogen fertilization, in other words, even though the beans were a legume and were fertilized with N, it was not able to cycling to the pasture in succession.

In the initial forage development, Pasture N-K fertilization plots had an adequate level of N with concentration of 60.36 g N g DM<sup>-1</sup> and of general form the levels stay adequate until finish of pasture phase. Already, to the Bean N fertilization treatments N levels were insufficient for an adequate pasture development.

The cash-crop residues deposited on the soil in no-tillering (one of precepts of ICL system) in general are rich in nitrogen (ASSMANN et al., 2018), however the plant residues present high C/N relation. That way, bean residues present for 41% of the total N accumulated by the crop, 28% of which are provide in the leaves that are accumulated during its growth cycle and between 13% (CHAGAS et al., 2007) to 15% (ARAÚJO and TEIXEIRA, 2003) after the bean harvest.

It is known that the bean aborts the leaves in the pre-harvest period, thus the cultural residues that are deposited on the soil by the machine during the harvest, correspond mostly to the stems and straw of pods that have a high C: N relation (CHAGAS et al., 2007) and present a slower decomposition (TIAN et al., 1992) and the nutrients from the leaves are available in periods that are not ideal for absorption of the successor crop.

Thus, although the bean is a legume plant, the quantity of carbon present at the residues, high content of lignin and polyphenols, N exportation by grains (CHAGAS et al., 2007; ALVES et al., 2019) and lower temperatures during the pasture growing season (winter), limit decomposition and the nutrient release N rate (GUNTIÑAS et al., 2012), doing with that N become temporarily immobilized, making the N availability more late. These limitations on N availability, results in a low pasture production and limit nutrient cycling in the soil-plant-animal system (ANGHINONI et al. 2013) making it like that, the carryover of N applied during the crop phase (bean) not enough to sustain high forage production.

Already, the forage residues are more easily decomposable (BORTOLLI, 2016), speeding up the liberation of N to soil (CARVALHO et al., 2010) and positive return of nutrients cycling in the systems (SEMMARTIN et al., 2008). Therefore, the N fertilization of the pasture appears essential for a more productive environment (ASSMANN, et al., 2018) and making viable the system-level fertilization.

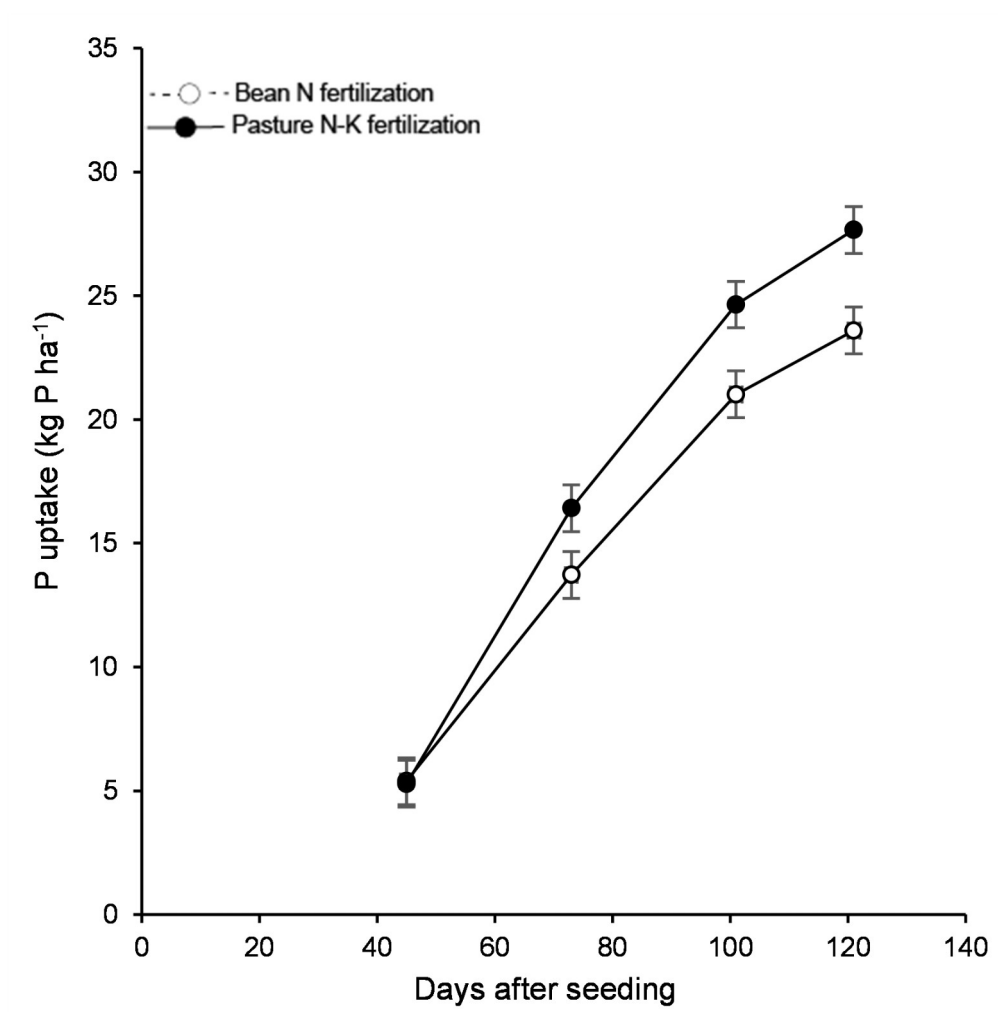
About the N dilution curve, according to Lemaire (1997), when shoot N concentration matches the dilution curve calculated for a particular species, the plant is well nourished with N. When the shoot N concentration is greater than the dilution curve, plants may be experiencing 'luxury' N consumption. When the shoot N concentration is below the curve, plants are N deficient and N is considered limiting to plant growth.

The pasture fertilized directly with N had a forage N concentration above the standard curve (Figure 4), indicating potentially luxury N consumption (LEMAIRE, 1997). These results show that 200 kg ha<sup>-1</sup> applied at the beginning of pasture tillering (without splitting) was more than enough to supply the N requirements of the pasture during the whole pasture cycle, since the forage N concentration always remained greater than the standard curve.

### 2.3.5 Forage Phosphorus uptake

It was observed influence of N-K Fertilization X Days after seeding on pasture shoot P uptake ( $P=0.0198$ ).

In the Bean N fertilization treatment, total P uptake at 121 days after seeding (DAS) was 23.6 kg P ha<sup>-1</sup>. Already, in the Pasture N-K fertilization treatment, the total N uptake at 121 DAS was 27.7 kg P ha<sup>-1</sup> (Figure 5).



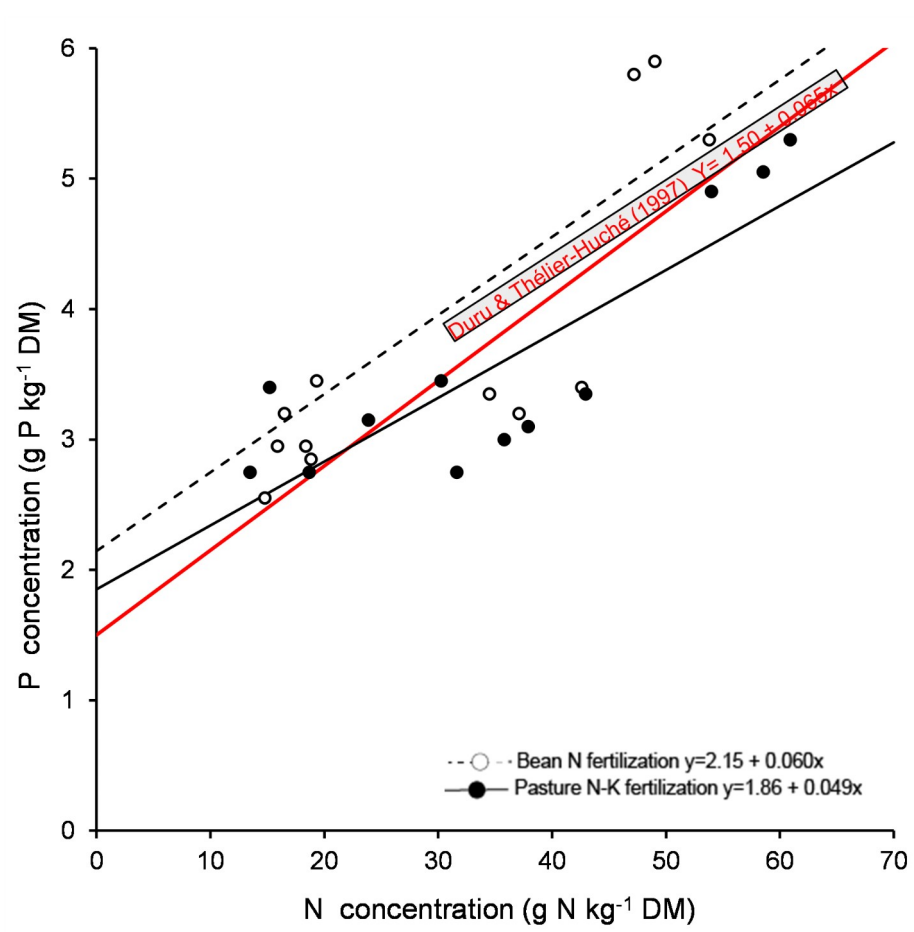
**Figure 5** – P uptake as a function of N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and Days after seeding. Non-overlapping bars indicate significant difference according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).

The results showed a direct effect of N-K Fertilization Time on plant P concentration, since pasture N-K fertilization stimulated plant growth (Figure 2) and altered the P uptake by forage. The pasture fertilized directly with N-K increased the P uptake in 13 %. In that same sense, in pasture fertilized directly with N Bernardon et al., (2020), found 45% the increase in P uptake and total of 33 kg P ha<sup>-1</sup>, with 175 (99 day more than this work) of cattle grazing and two years of the implementation in ICL system.

This study show the improvement of the soil fertility in the system compared with Bernardon et al. (2020) research, in previous season, where the level P fertility was 8.4 mg dm<sup>-3</sup>. When soil P availability is non-limiting to growth, forage P concentration is relatively independent of the N nutritional status (SALETTE and HUCHÉ, 1991).

### 2.3.6 Pasture nutritional status evaluation: Phosphorus nutrition index

Forage P concentration in the both treatments (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) increased linearly with an increase in forage N concentration. Despite of the four points for the pasture fertilized directly with N-K (Pasture N-K fertilization plots) were below the linear equation proposed by Duru and Th  lier-Huch   (1997), the results indicate P sufficiency in this treatment (Figure 6).



**Figure 6** – Forage P concentration in relation to forage accumulated by black oat ‘Common’ as affected by N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and as compared with the P dilution linear equation proposed by Duru and Th  lier-Huch  , (1997).

The P fertilization of 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> at sowing and level P in soil (P<sub>available</sub> = 14.20 mg dm<sup>-3</sup>) showed enough to supply the P demand of the forage accumulation in the Pasture N-K fertilization and Bean N fertilization plots, showing that P wasn’t the limiting nutrient by forage production. The P release from plant tissue depends on soil microbial activity, since this nutrient is associated with structural components in plants (HAWKESFORD et al., 2012).

Once the relationship presented here takes into account Pasture N fertilization and sampling dates, it reflects the dilution of both elements with increasing shoot biomass, the role of soil N availability and crop N status on P absorption by plants (BERNARDON et al., 2020).

The soil P availability also was sufficient to maintain adequate herbage P status (DURU and DUCROCQ, 1996) ( $P_{\text{available}} = 14.20 \text{ mg dm}^{-3}$ , very high to soil with argil  $> 400 \text{ g kg}^{-1}$ ).

In this sense, as comparative results report of this same study Bernardon et al. (2020), robust growth of N-fertilized winter pasture appeared to have had an indirect effect on available P. Even with P fertilization of  $70 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  applied on pasture, and P available from the soil were not enough to supply the greater P demand of the higher forage accumulation in the pasture fertilized with  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

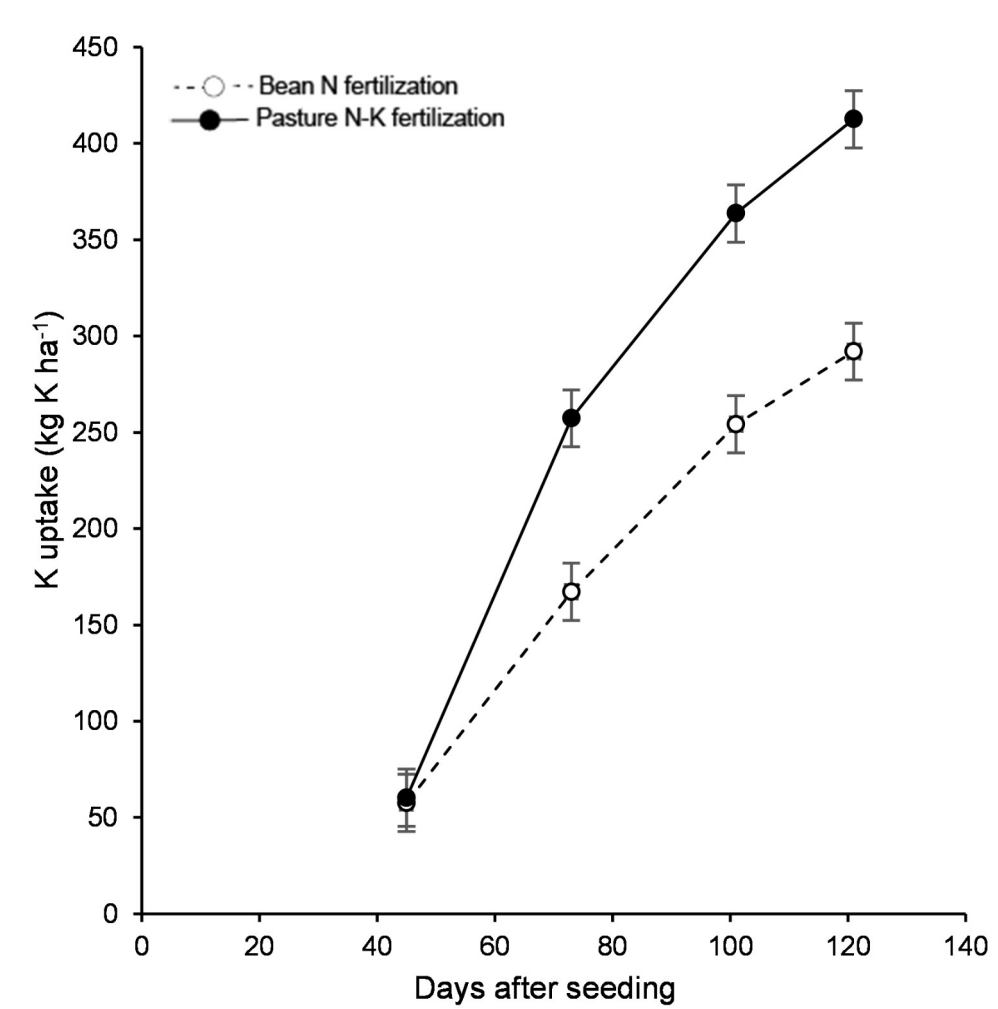
The pasture fertilized directly with N may have needed greater P uptake to achieve P sufficiency. In contrast, when soil P availability is non-limiting to growth, forage P concentration is relatively independent of the N nutritional status (SALETTE and HUCHÉ, 1991) and the growth may have depleted available soil P, despite fertilization of pasture with  $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ .

When soil P availability is high, adequate N supply can have a leading effect on P uptake (SALETTE and HUCHÉ 1991; DURU et al., 1992). High N nutrition level simultaneously triggered higher N and P concentration (DURU and DUCROCQ, 1996). Several studies have reported positive associations between N and P, resulting in greater P absorption and higher crop yields.

The P fertilizer was applied to both phases (pasture and crops) of the experiment. In treatment Bean N fertilization it was enough to compensate for the high specific phosphate adsorption present in this highly weathered Brazilian soil. In Pasture N-K fertilization treatments also was enough, despite of the four points were below the linear equation proposed by Duru and Théliier-Huché (1997) (maybe this equation is not the more appropriate for P). In this sense, the results showed that P reached sufficiency after five years in ICL system conduction.

### 2.3.7 Forage Potassium uptake

It was observed influence of N-K Fertilization X Days after seeding on pasture shoot K uptake ( $P=0.0001$ ). To the treatment Bean N fertilization, total N uptake at 121 days after seeding (DAS) was 292 kg K ha<sup>-1</sup>. Already, in Pasture N-K fertilization treatments the total N uptake at 121 DAS was 412 kg N ha<sup>-1</sup> (Figure 7).



**Figure 7** – K uptake as a function of N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and Days after seeding. Non-overlapping bars indicate significant difference according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).

Initial Mehlich-I K was 187.7 mg dm<sup>-3</sup>, which would correspond to 375 kg K ha<sup>-1</sup> in the 0 – 0.2 m layer of soil. Additional, 50 kg of K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> just in plots Pasture N-K fertilization. Uptake of K was same than extractable K in the soil, indicating either: K uptake also was obtained from deeper soil layers (0.2 m – 0.4 m layer) and the level of soil fertility it is sufficiently to sustain the forage production, not justifying a K fertilization. High pasture K uptake have avoided leaching and increasing nutrient use efficiency.

Potassium is easily available from surface residues, since this mineral

is not found in plant structural components, thus the K release has little dependence on soil microbial activity (HAWKESFORD et al., 2012). Assmann et al. (2017), found an amount of K ( $130 - 180 \text{ kg ha}^{-1}$ ) cycled in a complete soybean-beef cattle integrated system. These authors explain that current K fertilization in ICLS may be too high when based only on crop production, since K efficiently recycled.

In this study, we found values almost three times higher of K cycling in the system when compared with the study of Assmann et al (2017). The greater the diversity of species in the arrangement in the ICL system, the greater the synergistic effects between the compartments of the system (ANGHINONI et al., 2013). In this sense, the study conducted by Assmann et al (2017), was a succession between grass cultivation as pasture in the winter, and soybean as cultivation in the summer. However in this study, the conduction was a rotation of different species, increasing biodiversity and improving the interactions of the soil-plant-animal-atmosphere components.

The amount of potassium (K) cycled through animals and plants in these systems varies with herbage intake and residue decomposition rate, but quantities can and must be considered for altering fertilizer recommendations (ASSMANN et al., 2014; ASSMANN et al., 2017). In addition to the effect of grazing livestock on nutrient cycling through dung and urine deposition, livestock can impact plant dynamics and soil functioning, which can alter plant communities and eventually affect animal production (DEISS et al., 2019).

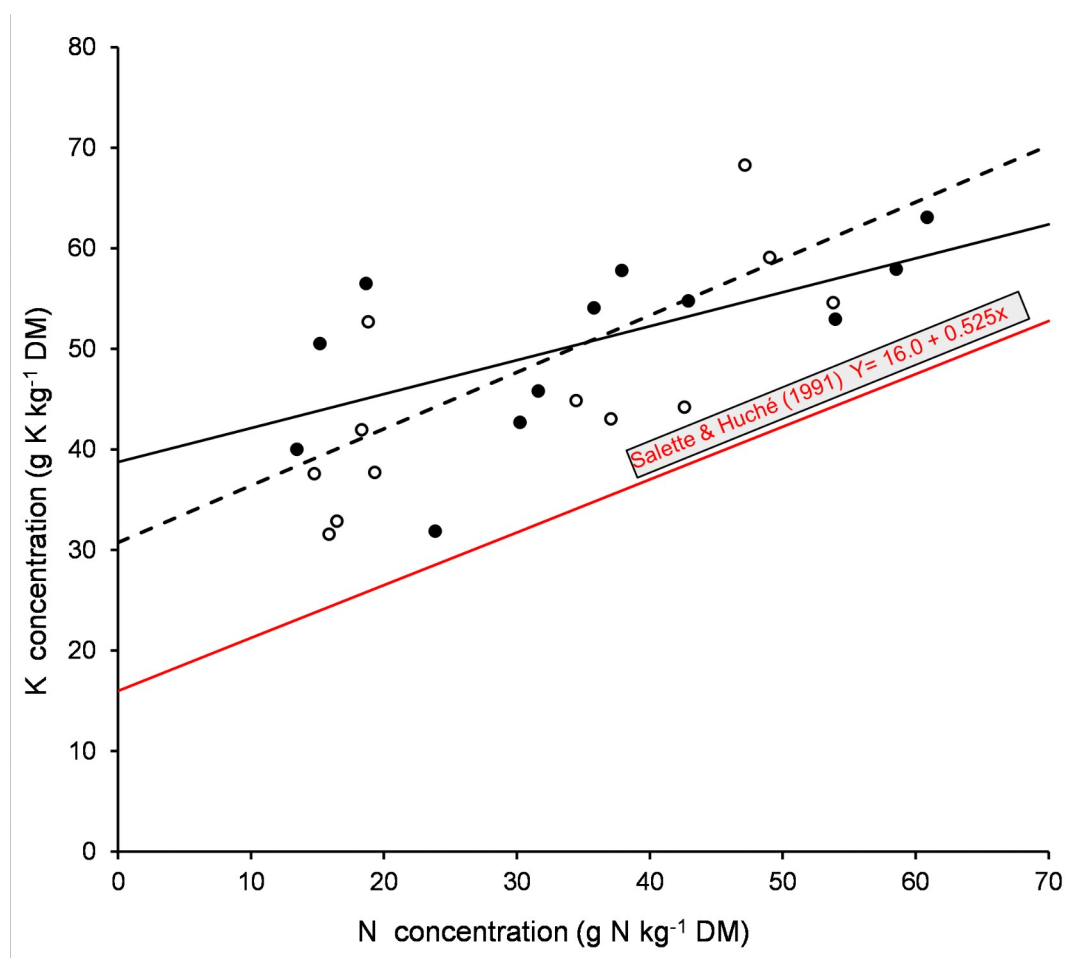
Similar effect was found by Bernardon et al. (2020), where along with the greater N uptake in the pasture fertilized directly with N, compared with pasture receiving N from carryover of the previous corn crop, uptake of K was also greater, being  $606 \text{ kg K ha}^{-1}$  in N-Pasture and  $313 \text{ kg K ha}^{-1}$  in N-crop (corn). In this study the total biomass production in N-K Pasture treatments was  $8.2 \text{ Mg DM ha}^{-1}$  already to Bernardon et al (2020) work in N Pasture was  $13.9 \text{ Mg DM ha}^{-1}$ , reason why the K extraction was greater.

With complement, uptake of N and K are closely related, as K is the most extracted element by many crops and contributes to N uptake (SANTOS et al., 2015).

#### 2.3.8 Pasture nutritional status evaluation: Potassium dilution curve



Forage K concentration increased with increasing forage N concentration in the Pasture N-K fertilization treatment and in those that received N from carryover from the previous bean crop. All the points were above the linear equation proposed by Salette and Huché (1991), independent of the treatment (Bean N fertilization or Pasture N-K fertilization) (Figure 5). Therefore, limitation of pasture growth was due to N availability, since the plants were well nourished with K.



**Figure 8** – Forage K concentration in relation to forage accumulated by black oat 'Common' as affected by N-K Fertilization Time (Bean N fertilization and Pasture N-K fertilization) and as compared with the K dilution linear equation proposed by Salette and Huché, (1991).

With the utilization of this mathematics model, it is possible to check if exist a necessity of K fertilization, decreasing the costs and environment contamination with fertilizer and unnecessary fertilization, being that in this work, the potassium fertilization was unnecessary, because the K nutrition in all pasture development in both treatments was above of necessary (SALETTE and HUCHÉ, 1991).

The supply of K was adequate for meeting the pasture's demand

development in all treatments, because the values are above the dilution linear equation of K, being K forage concentrations were during all pasture development period can be classified as luxury K consumption (SALETTE and HUCHÉ, 1991).

The luxury K consumption, followed by translocation and reutilization, could be an important process in plant regrowth. The results findings concur with Assmann et al. (2017), who explain that current K fertilization in ICLS may be too high when based only on crop production, since K it is efficiently recycled.

The exportation of K during pasture development is very low, compare than cash-crop phase in Integrated crop-livestock systems (ANGHNONI et al., 2013), reason this, that the K output in pasture phase is low, making with that the pasture stay in adequate nutrition in all your cycle of development.

Differently of nitrogen, the potassium is not connected to none tissues organic component of the animals and plants. This way, the potassium is liberate still in initial phases of the development of crop in succession (ASSMANN et al., 2017). In this sense, to sow the crop immediately after the harvest or removing animals area is a key to better utilization of the K. How the management of this work was “harvest and sow system – Pouzio Zero” (SOARES, et al., 2018), there was a greater use of potassium.

The greatest nutrients requirements in pasture occur during the initial plant development, (SILVA et al., 2015; PEREIRA et al., 2015; BERNARDON et al., 2020). In this sense, probability, the fast liberation of K to system occurred in initial phase of pasture development, attribute to low production in Bean N fertilizations for the deficiency of N and not K.

## 2.4 CONCLUSIONS

The carryover effect of N applied to a previous crop of bean was not enough to meet the N requirements of the pasture, resulting in N deficiency and lower forage DM accumulation. The results show that the low forage production was caused by the deficiency of N and not of K.

After five years of conducting crop rotation in the ICL system, was accomplished the fertility sufficiency of P.

Through the sufficiency curves, it was possible to verify that the N was insufficient to growth pasture development when the pasture was not fertilized and the K was sufficient.

The level of K showed that the system has no deficiency with this nutrient, being able omit the K fertilization.

### 3. Carryover effects of winter-pasture N and K fertilization on corn mineral nutrition within a crop-livestock system

#### RESUMO

TATTO, Wilson Henrique. Efeitos da transferência de nutrientes de uma pastagem fertilizada com nitrogênio e potássio para o milho em sucessão em sistema de integração lavoura-pecuária. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

O conceito de adubação de sistemas tem como base a ciclagem de nutrientes entre as fases de um sistema de rotação de culturas. Entre as vantagens da adubação de sistemas podemos destacar o aumento da eficiência do uso dos nutrientes, a menor dependência de insumos externos e a redução das perdas de nutrientes. O objetivo desta pesquisa foi determinar se a pastagem de aveia fertilizada com N e K pode fornecer a nutrição adequada em N, P e K para uma safra de milho seguinte. O experimento consistiu de uma pastagem de inverno seguida pela cultura do milho cultivada no verão. Os dados experimentais utilizados nas análises foram um experimento de longa duração do sistema de integração lavoura-pecuária localizado no município de Abelardo Luz – SC. O delineamento experimental na fase milho foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas com três repetições. Em cada uma das 12 parcelas experimentais (duas fases de fertilização N-K: N-K Pastagem e N-K Milho × três repetições), quatro doses crescentes de N-K no milho (0 – 0, 100 – 50, 200 – 100 e 300 – 150 kg de N – K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aplicadas no mesmo momento). O transporte de N da pastagem de inverno pastejada e fertilizada com N-K forneceu N adequado durante todos os estágios de uma safra de milho subsequente, conforme verificado por uma ferramenta de diagnóstico baseada em plantas com base na curva crítica de diluição de N. A nutrição de P no milho foi adequada em todas as fases de desenvolvimento do milho independentemente da fertilização ou não na pastagem, sendo a absorção e a demanda de P maiores quando em condições limitantes de N. O diagnóstico preciso do estado nutricional do N durante os estágios iniciais do desenvolvimento do milho pode fornecer suporte para melhores recomendações de fertilização com N, mostrando que o uso das curvas de diluição é uma forma inovadora de manejo do N. As plantas de milho foram bem nutridas com K e podem ter experimentado consumo de luxo, não sendo necessária a fertilização com K devido às concentrações excessivas. O conceito de concentração crítica de N e P serve como uma referência útil para avaliar o estado da nutrição de N e P durante o crescimento da cultura. O uso da curva de diluição para o manejo da fertilização em sistema de integração lavoura pecuária foi útil para determinar se a fase anterior da pastagem com fertilização com N poderia fornecer nutrição adequada para uma safra de milho seguinte, mostrando que isso é possível.

**Palavras-chave:** Adubação de Sistemas. Abordagem Alométrica. Curva Crítica de Diluição.

## ABSTRACT

TATTO, Wilson Henrique. Carryover effects of winter-pasture N and K fertilization on corn mineral nutrition within a crop-livestock system. 147 f. Thesis (Doctor in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2021.

The concept of system-level fertilization have with base the nutrients cycling between phases of a rotation system, to obtain maximum efficiency on use of nutrients, reducing inputs, avoid loses and keeping the fertility in long time. The objectives of this research were to evaluate N, P, and K nutritional status of corn, determine whether previous pasture phase with N-K fertilization could supply adequate nutrition for a succeeding corn crop, and determine whether associated effects of previous pasture N management carried over onto P and K nutrition of corn as well. The experimental data used in the analyzes came a long-duration experiment of integrated crop-livestock system located in the town of Abelardo Luz – SC. The experimental design in corn phase was a randomized complete block using a split-split plot with three replications. On each of the 12 experimental plots (two N-K Fertilization Time: Pasture N-K fertilization and N-K Corn × three replications), four N-K corn fertilization rates (0 – 0, 100 – 50, 200 – 100 and 300 – 150 kg of N – K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> applied in same moment). Carryover of N from a grazed and N-K fertilized cool-season pasture provided adequate N during the all stages of a subsequent corn crop, as verified by a plant-based diagnosis tool based on critical N dilution curve. Corn P nutrition was optimal when N was applied and not applied during the pasture phase, being uptake and demand for P was greater when in limiting N conditions. Precise diagnosis of N nutrition status during early stages of corn development could provide support for better N fertilization recommendations, showing that use of the dilution curves can be an innovative form of N management. Corn plants were well nourished with K and may have experienced luxury consumption, not being necessary the K fertilization due excessive concentrations. The concept of a critical N and P concentration serves as a useful reference to assess the status of N and P nutrition during crop growth. The use of the dilution curve (allometric approach) for managing fertilization at the whole cropping system level was useful to determine whether the previous pasture phase with N fertilization could supply adequate nutrition for a succeeding corn crop, showing that it is possible.

**Keywords:** Allometric Approach. Critical Dilution Curve. System-level Fertilization.

### 3.1 INTRODUCTION

The concept of system-level fertilization has with base the nutrients cycling between phases of a rotation system (BERNARDON et al., 2020), to obtain maximum efficiency on use of nutrients, reducing inputs, lower loses and keeping the fertility in long time (ASSMANN et al., 2018). In Integrated crop-livestock systems (ICLS) this management method is very promising, because the synergistic effects from systems fertilization bring benefits of chemical (SARTOR et al., 2018; BERNARDON et al., 2020), physic (ARAUJO-JUNIOR and BONETTI, 2018) and biologic order (PAULA, et al., 2014; BATISTA et al., 2018).

According to Vendramini et al. (2014), nutrient cycling represents an important source of fertility in ICLS, and reliance upon it can improve nutrient use efficiency.

Diverse studies of ICLS have indicated that N fertilization of the preceding pasture phase might lead to significant carryover effects on N nutrition of the following grain crop (bean, soybean, corn) (ASSMANN et al. 2003; BALBINOT JR et al. 2011; SANDINI et al. 2011, SARTOR, 2012; TATTO, 2017; ASSMANN et al., 2017; LEVINSKI-HUF, 2018; RHODEN, 2019).

The cattle graze cover crops, nutrient cycling may be accelerated through consumption of forage and deposition of nutrient-enriched dung and urine (ASSMANN et al., 2017), as well as, the graze improve the of N (BERNARDON et al., 2020), P (DEISS et al., 2016) and K (BERTOLAZI et al., 2017) content in soil. This way, fertilizing the pasture, greater will be the biomass production, can be able increase the animal stocking rate (BARRIGA, 2019), consequently greater will be the deposition of animals excrement, increasing the nutrients cycle.

Some works point that after several crops successions it is possible to reduce the fertilizer rates and in some cases omit (ASSMANN et al., 2017; ASSMANN et al., 2018). Whereas the system become self-sustaining as time passes (SCHUSTER et al., 2016).

Therefore, the science needs to know more about how interactions among components of winter pasture and summer cropping phases can be managed to provide greater production and nutrient use efficiency. So, it is essential to develop management techniques to increase nutrient use efficiency (SADRAS and LEMAIRE, 2014).

Plant N uptake is co-regulated by both soil N mineral availability and potential growth rate (GREENWOOD et al., 1990; GASTAL and LEMAIRE 2002; DEVIENNE-BARRET et al., 2000). This co-regulation has been described with an allometric relationship between N uptake and crop mass accumulation (GREENWOOD et al., 1990). This relationship can also be expressed as critical N dilution curve representing the decline in plant N concentration with crop increase mass.

Considering these relationships, Lemaire et al. (1997) proposed to define the critical N concentration as the minimum that allows growth rate unimpeded by N supply. After, Plénet and Lemaire (1999) did a critical N dilution curve to corn.

This N dilution curve could be used as a standard for estimating corn N status under a range of conditions. Moreover, using the same conceptual approach, P nutrition followed a similar dilution curve as N (LEMAIRE et al., 2019) as well as, with K (SALETTE and HUCHÉ, 1991).

Several studies have determined N status for various crops and cropping systems (LEMAIRE and GASTAL, 1997; SHEEHY et al., 1998; PLÉNET and LEMAIRE, 2000; HERMANN and TAUBE, 2004; ZIADI et al., 2010; BÉLANGER et al., 2015; CADOT et al., 2018).

However, few studies have reported on the N status of maize in an ICLS with previous pasture phase N and K fertilization, being necessary, obtain better information to quantify carryover effects of previous management on crop N, P, and K nutrition of subsequent crops.

Nutrient uncoupling in real time determines the efficiency of nutrient resource use. The hypothesis this work is that N availability from previous fertilization of cover pasture will be reflected in greater N status of subsequent crops (corn).

The objectives of this research were to evaluate N, P, and K nutritional status of corn, determine whether previous pasture phase with N-K fertilization could supply adequate nutrition for a succeeding corn crop, and determine whether associated effects of previous pasture N management carried over P and K nutrition of corn as well.

## 3.2 MATERIAL AND METHODS

### 3.2.1 Location of experimental phase

The study was conducted in Abelardo Luz, state of Santa Catarina, southern Brazil (26° 31 ' S, 51° 35 ' W, 850 m altitude), on a 20-ha field that had been in an ICLS experiment with no-tillage management since 2012 and finalized in season 2017/18. This study assessed the corn phase of the 2017/2018 agricultural year in an ICLS. The first experimental phase occurred in the winter/spring of 2017 with pasture black oat grazing, while the second phase occurred in the summer with Corn as the crop. This agricultural year started when the pasture black oat 'Common' was sown in April 2017, in a no-till system.

The crops previous this work were (Table 6):

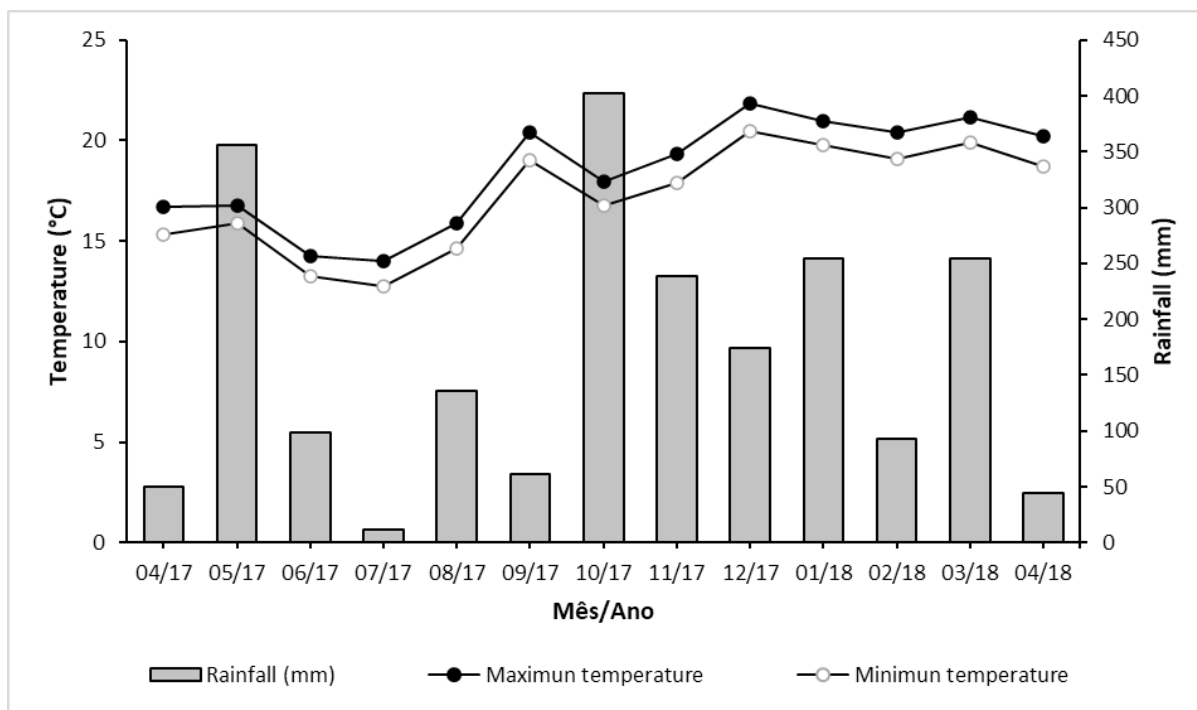
**Table 6** – Crops previous this season search, from 2012 (start ICLS) until 2017/18. Pato Branco -PR, 2018.

Season	Crops	Phase
Summer 2012/2013	Sudan grass ( <i>Sorghum bicolor</i> ) cv. BMR – ADV 2800	Pasture
Winter 2013	Black Oat ( <i>Avena strigosa</i> ) cv. Common	Pasture
Summer 2013/2014	Corn Grain ( <i>Zea mays</i> ) Hybrid: Máximus - Syngenta	Crop
Winter 2014	Black Oat ( <i>Avena strigosa</i> ) + Ryegrass ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. BRS 139 + Barjumbo	Pasture
Summer 2014/2015	Soybean ( <i>Glycine max</i> ) cv. NS 5909	Crop
Winter 2015	Ryegrass ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. Common	Pasture
Summer 2015/2016	Corn Silage ( <i>Zea mays</i> L.) Hybrid: AG8780 VT-PRO	Crop
Summer 2016	Bean second season ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) – cv. IAC Milênio	Crop
Winter 2016	Ryegrass ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. Winter Star	Pasture
Summer 2016/2017	Bean ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cv. Tuiuiú	Crop
Winter 2017	Black Oat ( <i>Avena strigosa</i> ) cv. Common	Pasture
Summer 2017/2018	Corn grain ( <i>Zea mays</i> ) Hybrid: AG 9025 VT PRO 3	Crop

Source: RISSI, 2015; BORTOLLI, 2016; MACCARI, 2016; BERNARDON, 2016; TATTO, 2017; LIMA, 2018; HUF, 2018; AIOLFI, 2018; CARVALHO, 2018; BARRIGA, 2019.

The soil was an Oxisol with clayey texture (EMBRAPA, 2013) and gently wavy relief (7% of declivity). The climate was Cfb, humid subtropical, according to Köppen's Classification (ALVARES et al., 2013). Meteorological data during the experimental period are shown in Figure 9.





**Figure 9** – Average monthly minimum and maximum temperatures, and rainfall during the experiment in Abelardo Luz. Source: National Institute of Meteorology (INMET, 2018).

The soil chemical properties for the 0-0.20 m soil layer during all experimental of long-duration project is describe below:

**Table 7** – Chemical properties of the 0 - 0.2 m layer of soil, all experimental seasons, Abelardo Luz Santa Catarina, Brazil.

Year	pH	OM	P	K	Ca	Mg	CEC	V
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%
<b>2012</b>	5.20	45.10	4.09	86.20	3.70	2.60	11.52	52.80
<b>2014</b>	4.94	36.30	4.57	87.87	3.85	1.97	10.41	55.95
<b>2015</b>	4.89	39.84	4.95	89.70	4.42	2.75	12.62	58.56
<b>2016</b>	4.70	51.71	14.37	171.60	4.36	2.24	14.23	49.50
<b>2017</b>	5.10	54.95	14.20	187.20	5.80	1.50	13.76	56.54

Laboratory of soil analysis UTFPR/IAPAR. Methodologies: OM by humid digestion; P and K extracted with Mehlich<sup>-1</sup> solution; pH in CaCl<sub>2</sub> 1:2,5; Ca and Mg exchangeable with KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

In summer 2017/18 in the corn phase, the available P and K were classified as very high according to the Brazilian Commission for Chemical and Soil Fertility (CQFS/RS-SC, 2016).

### 3.2.2 Treatments, experimental design and experimental conduction

The experiment was set as a randomized complete block with split-plot

restriction and three replications, with two N-K fertilization time as main plot and four corn sidedress N and K application rates as subplots. The experiment consisted in two phases of the crop-livestock rotation (winter pasture and corn in summer).

In the first experimental phase with winter pasture (grazed black oat), treatments were: N-K Fertilization Time, being: **Pasture N-K fertilization** with rate of 200 kg N ha<sup>-1</sup> and 50 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Black oat was seeded no-till on 28 April 2017 at rate of 110 kg ha<sup>-1</sup> and drill spacing was 0.17 m. Fertilization rates of 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> were applied at seeding according to soil analyses and recommendations of the Brazilian Commission for Chemical and Soil Fertility (CQFS/RS-SC, 2016).

The K in treatment Pasture N-K fertilization was applied broadcast on 15 May 2017 using KCl (60% K<sub>2</sub>O) and the N in treatment Pasture N-K fertilization was applied broadcast on 25 May 2017 using urea (46% of N). Grazing began on 13 June 2017 when the pasture was approximately 20 cm high. The stocking was continuous with a variable number of weaned Nelore/Charolais steers to maintain a canopy height of 20 cm until 27 August 2017.

The second experimental phase started by desiccating of the black oat pasture residues with 2.0 L ha<sup>-1</sup> of Gramoxone (Paraquat + Diuron) plus aquamax (adjuvant) on 29 August, 2017 following cattle removal. The pasture DM remaining to N-pasture was 1,27 Mg DM ha<sup>-1</sup> and to N-crop was 1 Mg DM ha<sup>-1</sup>. The corn hybrid "AG 9025 VT PRO 3" was sown on 04 October 2017 using a no-tillage system at 0.45 m row spacing. The whole experimental area was fertilized with 13.2 kg N ha<sup>-1</sup> and 70.5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> of formulated MAP (Monoammonium Phosphate), according to soil analyses and recommendation of the Brazilian Commission for Chemical and Soil Fertility (CQFS/RS-SC, 2016).

On each of the 12 experimental plots (two N-K fertilization time x six replications), four N-K fertilization rates (**0-0, 100-50, 200-100, and 300-150 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>**) were applied to maize at V6 stage of development on 11 November 2017 (39 days after sowing) using a split plot design with an area of 135 m<sup>2</sup> for each subplot.

### 3.2.3 Grain Yield

Corn grain was harvested on 10 March 2018 from an area of 9.0 m<sup>2</sup> on

each sub-plot. Grain moisture was corrected to 13% (CROMARTY et al., 1985).

$$W_f = W_i \times (100 - M_i) / (100 - M_f) \quad (5)$$

where:

$W_f$  is the weight final (kg);

$W_i$  is the weight initial (kg);

$M_i$  is the moisture initial (%);

$M_f$  is the moisture final (13%).

### 3.2.4 Sampling procedures

#### 3.2.4.1 Corn shoot biomass

Above-ground DM accumulation of corn was evaluated by cutting 2.0 linear meter row lengths or 0.9 m<sup>2</sup> each line of corn from each sub-plot starting when the plants reached 1 Mg DM ha<sup>-1</sup> at 39 (before N-K fertilization), 53, 60, 67, 81, 95 and 130 (after N-K fertilization) days after corn sowing on 11 November 2017; 18 November 2017; 25 November 2017; 02 December 2017; 09 December 2017; 23 December 2017; 06 January 2018 and 10 February 2018, being: 46, 53, 60, 67, 95 and 130 days after seeding (DAS).

#### 3.2.5 Corn nutritional status (nitrogen, phosphorus and potassium)

The samples of corn DM accumulation were dried at 55 °C to constant weight. Each sample was ground to pass through a 1 mm sieve. Total N, P and K concentration was determined using the method of Tedesco et al. (1995).

Critical N concentration of corn was determined from data of shoot biomass ( $W$ ) and N concentration (%N) using the following allometric equation:

$$\%N = \alpha W^{-\beta} \quad (6)$$

Where:  $W$  is expressed in Mg DM ha<sup>-1</sup>; %N is N concentration of whole

plants,  $\alpha$  represents plant N concentration at 1 Mg ha<sup>-1</sup> of crop DM, and  $\beta$  is a dimensionless coefficient (LEMAIRE and SALETTE 1984). Coefficients  $\alpha$  and  $\beta$  of the N dilution curves (i.e., nonlinear regressions) were determined for each combination of N fertilization of the corn.

Were compared the critical N concentration points collected with the N dilution curve proposed by Plénet and Lemaire (1999).

The equation to N dilution curve for C4 metabolism plants are described below:

$$\%N = 3.4 W^{-3.7} \quad (7)$$

For evaluation of P nutrition Corn status, we assumed linear relationships between N and P concentrations as previously reported (ZIADI et al., 2007):

$$\text{Shoot P} = 1.0 + 0.094 \times N \quad (8)$$

When P availability is nonlimiting for growth, the relationship between N and P depends solely on N nutrition status (SALETTE and HUCHÉ, 1991; DURU, 1992), i.e., the higher the N nutrition level the higher the P concentration.

The relationship between P and N concentrations is reportedly different for limiting and nonlimiting N conditions (DURU and DUCROCQ, 1996; BÉLANGER and RICHARDS, 1999; ZIADI et al., 2007). To determine these two contrasting N conditions, we used the Nitrogen Nutrition Index (NNI). Based on this, we selected N fertilization treatments with NNI >0.90 to determine the relationship between P and N concentrations under nonlimiting N conditions. For limiting N conditions, we used treatments with NNI <0.90. The NNI was calculated using the following equation:

$$NNI = N_{act}/N_{crit} \quad (9)$$

Where  $N_{act}$  is the actual value of N concentration observed in any field condition, and  $N_{crit}$  is determined by Equation 6 (PLÉNET and LEMAIRES, 1999).

Linear equations between N and P concentrations were estimated for limiting and nonlimiting N conditions. Thus, these two linear models ( $Y = a + bx$ ) were

submitted to test for parallelism (SEBER, 1976), which compared the Y-intercept values (coefficient a) and slopes (coefficient b) of the linear models. The relationship between K and N was also estimated for limiting and nonlimiting N conditions, and the equations were also compared using the test of parallelism.

### 3.2.6 Uptake N, P and K

Uptake of N, P, and K by corn plants was calculated by multiplying DM accumulation by nutrient concentration on the last sampling date (130 days after corn seeding).

### 3.2.7 Statistical analysis

Data were analyzed using a mixed model. The covariance matrix was selected using Akaike Information Criterion (AIC) (WOLFINGER, 1993). Pasture N-K fertilization (0-0 and 200-50 kg of N and  $K_2O$  ha<sup>-1</sup>), N-K Corn fertilization rates (0-0, 100-50, 200-100 and 300-150 kg of N-  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> applied in same moment), sampling dates (days after corn sowing).

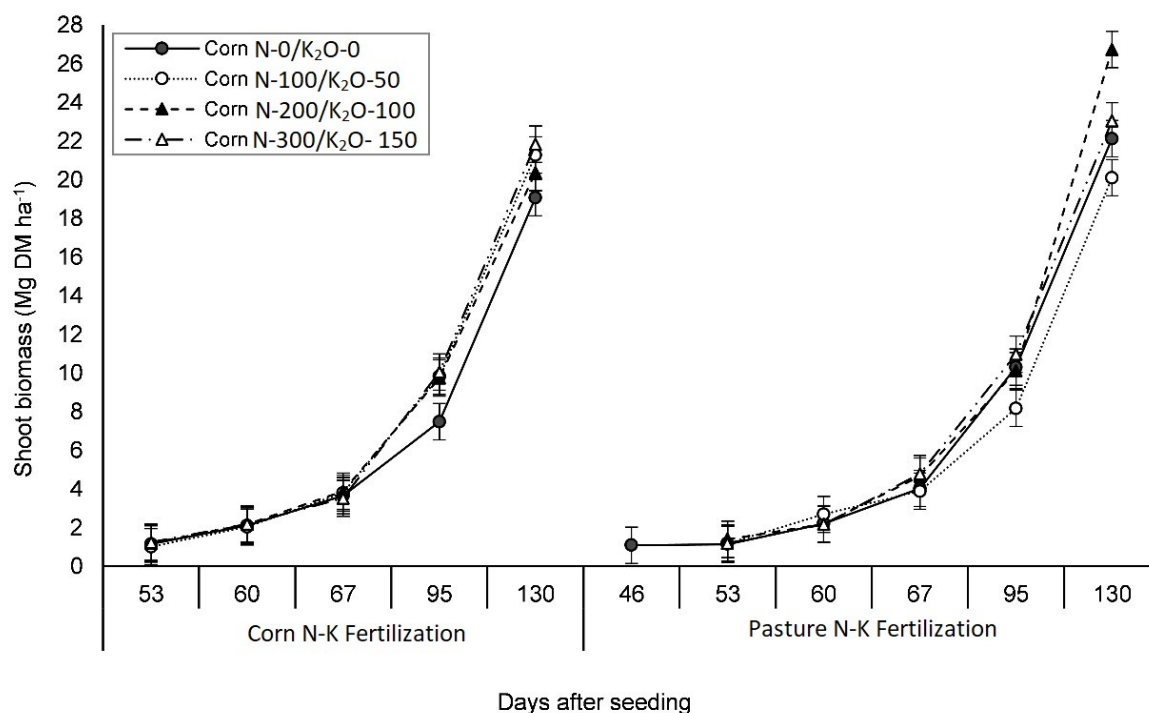
Means of qualitative factors (pasture N-K fertilization and days after sowing) were compared using the LSD test at  $P = 0.05$ . Plant parameters were regressed on N-K fertilizer levels with linear and/or quadratic components, depending on significance ( $P \leq 0.05$ ).

### 3.3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.3.1 Shoot Corn dry matter accumulation

Corn shoot biomass from 53, 60 and 67 days after seeding was affected by the significant ( $P < 0.05$ ) interaction of N-K Fertilization Time, corn N fertilization rate, and sampling date.

The effect of N-K fertilization rates on corn shoot biomass was observed clearly at 95 days after seeding (DAS) in the N-K Corn treatments. When the previous pasture phase did not receive N-K fertilization 0-0 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> the shoot biomass was 8.90 Mg DM ha<sup>-1</sup> differing statistically from the other rates (9.82 Mg DM ha<sup>-1</sup> of average) (Figure 10).



**Figure 10** – Corn shoot biomass accumulation as a function of N-K Fertilization Time (Pasture N-K fertilization and N-K Corn), days after seeding (DAS) and N-K fertilization rates on corn (0-0; 100-50; 200-100 and 300-150 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). Vertical error bars correspond to the standard error of the mean. Non-overlapping bars indicate significant differences according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).

Greatest shoot biomass accumulation at 95 DAS (10.05 Mg DM ha<sup>-1</sup>) was obtained with 300-150 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, being statistically equal at N-K fertilization rates on corn 100-50 and 200-100 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> and different of 0-0 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (average of 7.49 Mg DM ha<sup>-1</sup>). When the previous pasture phase received N-K

fertilizer, corn shoot biomass accumulation was significantly affected by the sidedress N-K fertilization rate 100-50 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (8.17 Mg DM ha<sup>-1</sup>).

At 130 days after corn seeding, shoot biomass accumulation was lowest in N-K Corn fertilization than Pasture N-K fertilization (19.08 Mg DM ha<sup>-1</sup>) on rate 0-0 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. On previous pasture that received N-K fertilization, corn shoot biomass accumulation was similar when sidedress N application was 0-0 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (22.05 Mg DM ha<sup>-1</sup>) and 300-150 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (23.06 Mg DM ha<sup>-1</sup>) and statistic different of the rate 100-50 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (20.10 Mg DM ha<sup>-1</sup>) and 200-100 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (26.74 Mg DM ha<sup>-1</sup>) this being, the greatest shoot biomass accumulation.

Across sidedress N-K fertilization rates on corn, the corn shoot biomass accumulation following the Pasture N-K fertilization (23.01 Mg DM ha<sup>-1</sup>) was greater than following the unfertilized pasture (20.65 Mg DM ha<sup>-1</sup>). Carryover of N from the previous pasture may have had a direct effect on shoot biomass accumulation (ACOSTA-MARTÍNEZ et al., 2010 a; ACOSTA-MARTÍNEZ et al., 2010 b) of corn.

Pan et al. (2017), showed increase at production DM values of the corn, where there is input of N in management in-season. Menezes et al. (2013), observed a yield of 19.98 Mg DM ha<sup>-1</sup> for corn when 240 kg N ha<sup>-1</sup> was applied.

Just like N, the K also is required with increase of DM production, since the fertilization stimulate plant growth and modify the K uptake by plants (BERNARDON et al., 2020). Woodruff and Parks, (1980) said that more intensive production practices and higher yield goals may increase requirements for and frequency of response to K fertilizer.

Further, when use fertilization in pasture phase, nutrients as N and K, were already available in the early stages of development of the crop, increasing the growth of the plants and dry matter accumulation, due to the fact that the animals in grazing modify the relationship biological of the soil. Cattle dung input resulting from grazing animals in the pasture phase improved plant P and K nutrition (SILVA et al., 2014).

The dry matter production is higher when the forages are moderately grazed and when are fertilized (system-level fertilization), by increasing of nutrient cycle (KUNRATH et al., 2014). As a result, greater fluxes of energy and matter leads to changes in nutrient cycling.

Grazing of forages stimulates thin roots that grow deep into the soil, extracting nutrients from deep layers and increasing nutrient availability

(ANGHINONI; CARVALHO and COSTA, 2013) with answer, greater of shoot dry matter accumulate.

The pasture N-K fertilization the curve started to be accounted at 46 days after seeding (DAS) and in N-K Corn, the curve started to be accounted at 53 DAS. This signify, that when the pasture was received N-K fertilization previous, the corn successor reached 1 Mg ha<sup>-1</sup> of shoot dry matter production before. These results, can to be explained by the fact that when the pasture is fertilized with N in system-level fertilization, the same, becomes available already initial stages of the cash-crop in succession (ASSMANN et al., 2003; SANDINI et al., 2011, BORTOLLI, 2016; MACCARI et al., 2021 (*in preparation*)), staying more readily available to plants uptake (HAYNES and WILLIAMS, 1993) and increasing the shoot dry matter production in initial levels of the development.

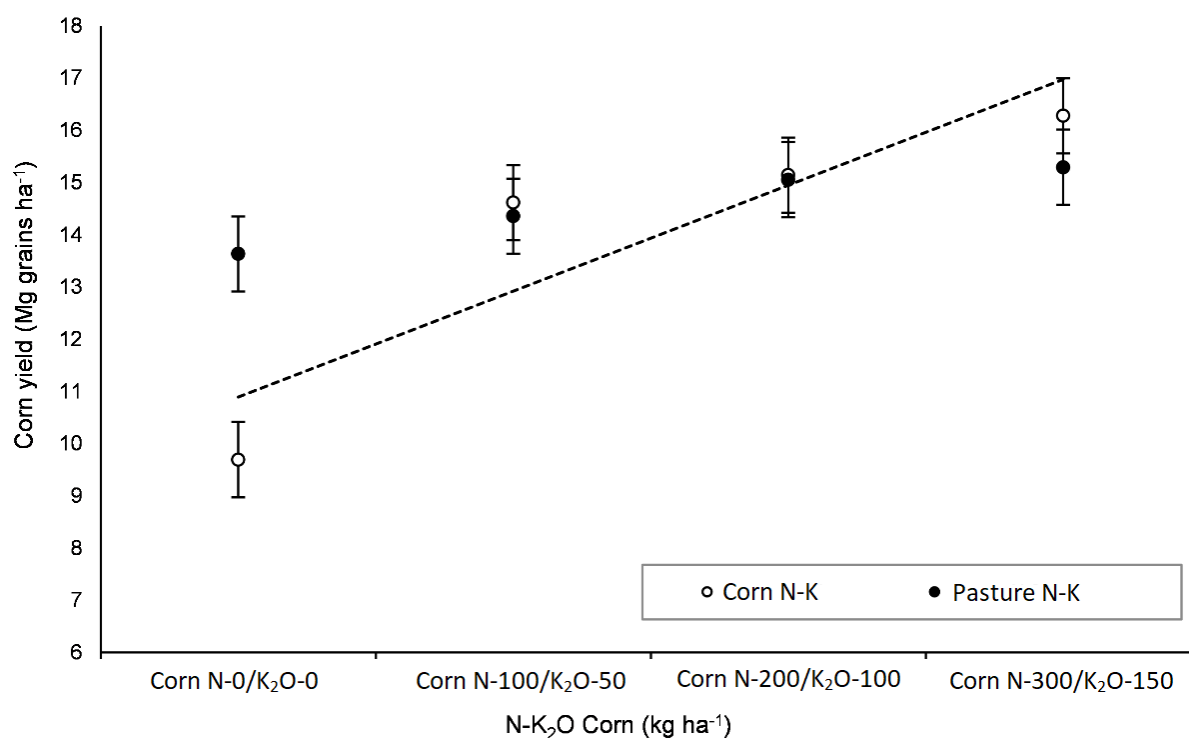
No-tiller needs to maintain in its process a minimal amount of 2000 kg DM ha<sup>-1</sup> of residues on the soil at the moment of seeding (EMBRAPA, 2012) or 8000 kg DM year<sup>-1</sup> (LOVATO et al., 2004; NICOLOSO et al., 2006). But in ILCS with system-level fertilization this quantity may be less, due to the fact that the residues left by the system to present a better quality. This way, the research must find answers about the quality of the cash-crop residues provided by the previous crop and the potential carryover effects of nutrients to the next crop.

Other point is that the forage is more efficient in use of mineral nitrogen fertilizer than cash-crops, being 77% in forage and 31% in grains crop production (THOMASON, 1998). The condition of greater N availability, due to the presence of carryover effect of previous fertilization's, will reflect positively the nutritional status of grains-crop in succession and the plants begin their development on an environment without N restrictions (ASSMANN et al., 2018), in this case the maize.

### 3.3.2 Grain Yield

Corn grain yield had low answer to sidedress N and K application when the previous pasture was N-K fertilized, with production of 13,63 Mg ha<sup>-1</sup> with 0-0 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> and without statistic significative difference with the others sidedress N-K fertilization rates on corn (Figure 11).





**Figure 11** – Corn yield as affected by previous pasture N fertilization and sidedress N application rate in corn. Vertical error bars correspond to the standard error of the mean. Non-overlapping bars indicate significant differences according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).

When no N-K was applied to corn following N-fertilized pasture, corn grain yield was 29% greater than when no N-K application in corn or previous pasture phase. An application to corn of at least 100 kg N ha<sup>-1</sup> and 50 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> was required when the previous pasture phase was unfertilized to achieve a similar grain yield to that observed on previously N-fertilized pasture. Similar results were found by Maccari et al. (2021 *in preparation*), where to achieve a similar grain yield to that observed on previously N-fertilized pasture the corn necessitated 100 kg N ha<sup>-1</sup> in sidedress in V4 stage.

The greatest grain yield was 14,61 Mg ha<sup>-1</sup> in 300-150 kg N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> in N-K Corn but without significant statistic difference with Pasture N-K fertilization. Already, when corn not received N-K fertilization in previous phase (pasture) and also in sidedress, the grain production was 9,69 Mg ha<sup>-1</sup>.

This low production in corn rate 0-0 kg of N-K ha<sup>-1</sup> can be explicated through nutrition insufficiently after the stages of production components definition (PLÉNET and LEMAIRE, 1999).

The high production in Pasture N-K fertilization treatments, even in 0-0 kg N-K ha<sup>-1</sup> corn rate, can be sustained, due the fact that the pasture phase in

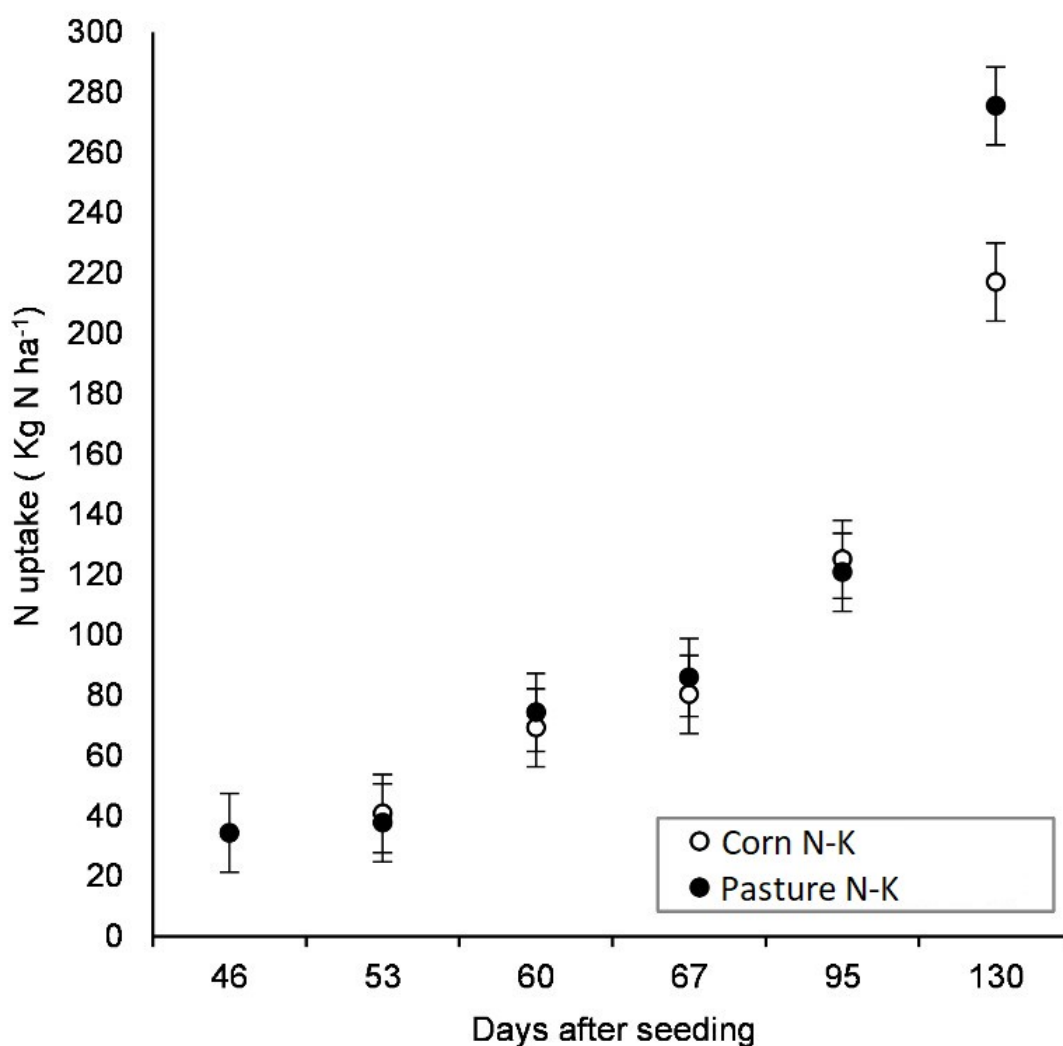
integrate crop-livestock system that use system-level fertilization of management, promotes nutrient cycling and accelerates the process of nutrient availability to plants (HOLLAND and DETLING, 1990; DUTTA and AGRAWAL 2001; DUBEUX et al., 2006), making available the nutrients in stages where are define the production components of corn. In this sense, carryover effect can be observed from pasture to corn. Similar answer were found by Maccari et al. (2021 *in preparation*), where the N fertilization realized in pasture phase, promoted carryover effect to corn in sequence.

When previous pasture was fertilized whit N and K fertilization rates on corn in succession did not respond to side-dressed N. Results similar were found by Assmann et al. (2003) and Sandini et al. (2011) found that corn did not respond to top-dressed N following a grazed cool-season pasture fertilized with 300 kg N ha<sup>-1</sup>. Lang et al. (2011) also found greater unfertilized corn grain production when a previous pasture was fertilized with N and grazed.

These results show the synergism effect provided of rotation between pasture grazing and cash-crop (MORAES et al., 2014; CARVALHO et al., 2018) with system-level fertilization (ANGHINONI et al., 2013; BERNARDON et al., 2020) that cause interactions soil-plant-animal-atmosphere, which when added, are superior the individual contributions of each compartment of the system (ANGHINONI et al., 2013; CARVALHO et al., 2018), being soil with memory of system (ANGHINONI et al., 2013) and animal with catalyst agent (CARVALHO et al., 2018).

### 3.3.3 Corn Nitrogen uptake

Total N uptake was significantly affected by pasture N-K fertilization time and days after seedling ( $P=0.0487$ ). Total N uptake by corn was 21% (58 kg N ha<sup>-1</sup>) greater when N was carried over from pasture fertilization than when the pasture was not fertilized (Figure 12).



**Figure 12** – N uptake as a function of N-K Fertilization Time (Pasture N-K fertilization and Corn N-K fertilization) and days after seeding. Non-overlapping bars indicate significant difference according to an LSD test ( $P < 0.05$ ). Vertical error bars correspond to the standard error of the mean. Non-overlapping bars indicate significant differences according to an LSD test ( $P < 0.05$ ).

To the treatment N-K Corn, the total N uptake at 130 days after seeding was 217 kg N ha<sup>-1</sup>. Already to Pasture N-K fertilization the total N up take was 275 kg N ha<sup>-1</sup>. In this sense the results showed that N-K treatments utilized better the N fertilization.

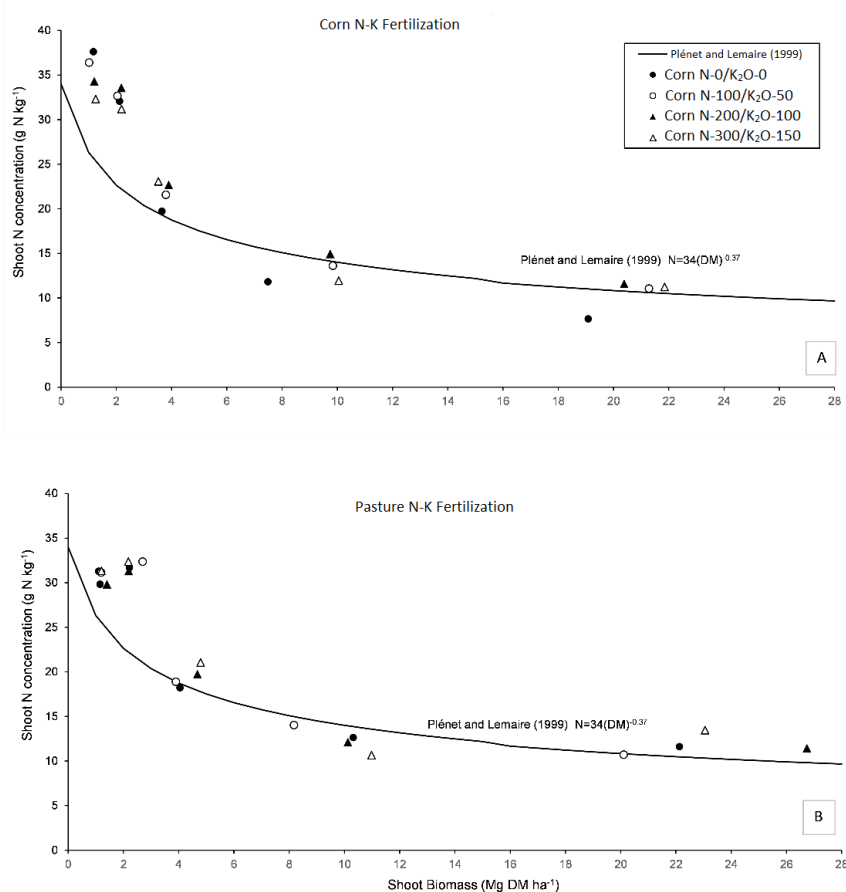
Of the total uptake N by above-ground corn, 70 to 77% is trans-located to grains (COELHO, 2006), and in small quantities the remainder returns with inputs for the systems. This way, the cash-crops in ICL system have a low capacity of the transfer the nutrients to uptake on pasture (ASSMANN et al., 2014), justifying the N system-level fertilization in pasture phase.

Under similar conditions this study, Ueno et al. (2013) reported corn

nitrogen uptake of  $241 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Soil nutrient uptake depends directly on biomass production (BERNARDON et al., 2020), availability of nutrients in the soil (DEISS et al., 2019), genetic (SILVA et al., 2018) and climatic factors (DAS and SINGH, 2016).

### 3.3.4 Evaluation of the nutritional status of corn: Nitrogen dilution curve

As expected, shoot N concentration decreased with increasing shoot biomass for all treatments Pasture and Corn N-K fertilization rates. Due to the construction of soil fertility in 5 years of conduction in ILC system, all the treatments stayed above of sufficiency level to N, despite that in the  $0-0 \text{ kg N-K}_2\text{O ha}^{-1}$  rate on corn sidedress was limiting to plant growth until  $6 \text{ Mg DM ha}^{-1}$  (Figure 13).



**Figure 13** – Corn N concentration in relation to corn dry mass accumulated by corn 'AG 9025 VT PRO3' as affected by N-K Fertilization Time (Pasture N-K fertilization and N-K Corn) and as compared with the N dilution curve proposed by Plénet and Lemaire (1999).

Application of N-K fertilization (independently of rate) directly to corn was sufficient to ensure an adequate N nutrition status in initial stage of development, showing the carryover effect of long time experimentation in ICLS. In that same

context, carryover effect was observed from N pasture fertilization to corn in succession in initial development, because the Pasture N-K fertilization treatments presented the points above of the curve proposed by Plenét and Lemaire (1999).

The first sampling dry matter corn production was realized 39 days after seeding, being a few time before N-K fertilization rates on corn. Therefore, until this moment, the development of corn counted with: a) N present in dry matter and soil solution; b) 13.2 kg N ha<sup>-1</sup> coming from basal fertilization in the moment of corn seeding; c) soil biological activity and diversity; d) carryover effect from previous crops of system. Thus, the soil acts with the system memory, capturing the positive effects of system-level fertilization (ANGHINONI et al., 2013).

Application of N to the pasture may have contributed to accelerated decomposition of organic matter and enhanced nutrient availability to corn (SARTOR et al., 2011), and this provides with that, the nutrients are available in soil solution in initials stages of developments to corn. These data suggest that sidedress N application to corn could be eliminated when the previous winter pasture was fertilized with N after 5 years of conduction ICL system.

According to Lemaire (1997), when shoot N concentrations are at or above the dilution curve calculated for a particular species, the plant is well nourished with N and may be experiencing “luxury” N consumption. However, if shoot N concentrations are below the curve, then the plant will have N deficiency and these concentrations are considered limiting to plant growth.

In treatments Pasture N-K fertilization the rates on corn in succession did not respond to side-dressed N in grain yield, as seem in the item 3.3.2. However, in N-K corn, in some moments, there was luxury N consumption. If that consume were in all development of corn probability the N-K fertilization rates on corn also would not show effect, probability the fertilization showed effect to grain yield in this treatment.

In this way, the carryover effect of pasture N fertilization on corn growth appears more important at the end of the growth cycle than in the early stages, similar effect also found by Maccari et al. (2021 *in preparation*).

On the initial growing phase, the plant nutrients requirements are greatest, especially for N, because this nutrient it takes part of a great number of enzymes and chlorophyll, which are essentials to the growing vegetative and roots development (WEISMANN, 2008).

In addition that, the previous pasture fertilization increase the forage production (BERNARDON, et al., 2020), being able of increase the variable stocking rate (BARRIGA, 2019) and to prolong the grazing period in a temporal scale (CARVALHO; NUNES and ANGHINONI, 2018). Whereas, a greater quantity of nutrients will be cycled (ASSMANN et al., 2017). Knowing that in average 80% of the absorbed nutrients are cycle in crop system (ASSMANN et al., 2018) returning through cattle excrement's (HAYNES and WILLIAMS, 1993), being that 90% of the N is contained at urine in organic forms (ROCHETTE et al., 2014) which will be mineralized, and will return available to plants and microorganisms of the soil (ASSMANN et al., 2018).

Additionally, the grazing change the structure of pasture, as well as, the composition and N concentration in plant tissues (BORTOLLI, 2016). Therewith, tend to increase availability of inorganic N through improving biomass quality (ASSMANN et al., 2018), it speeds the decomposition rate of the residues at the end of the grazing period (CARVALHO et al., 2010) making N accessible already in the early stages of corn development.

As expected, shoot N concentration decreased with increasing shoot biomass for all corn N fertilization rates under both N fertilization treatments of the previous pasture.

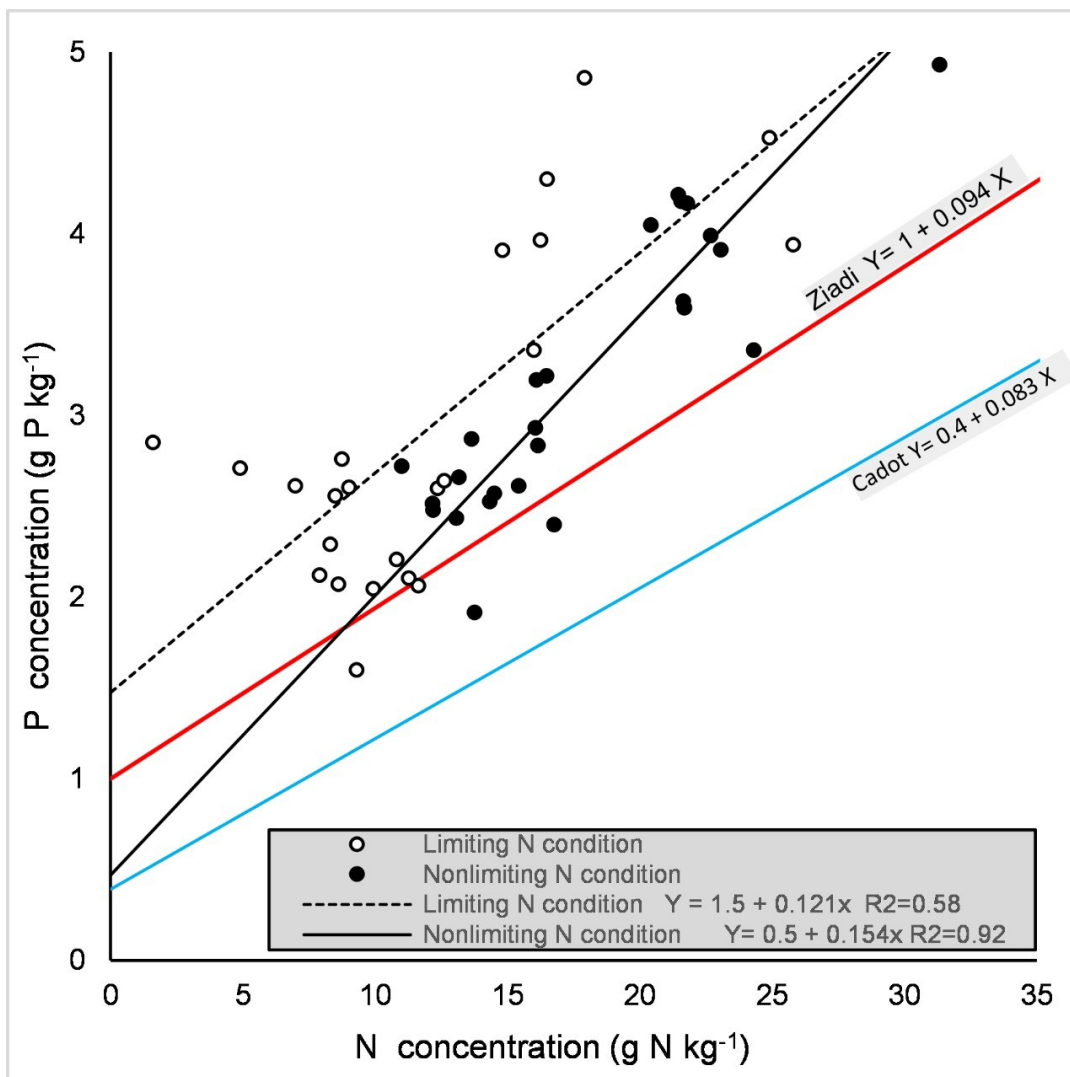
Decline in N concentration with advancing maturity was reported by Lemaire and Gastal (1997). This decline in N concentration with time, or increasing biomass, is mainly attributed, due the fact of the self-shading of leaves that causes non-uniform N concentration between the top canopy layers with high N concentration and the shaded layers with low N concentration (PONS and PEARCY, 1994) and the increasing proportion of plant structural and storage tissues with lower N concentration (CALOIN and YU, 1984).

### 3.3.5 Evaluation of the Phosphorus status of corn: N-P relation for nonlimiting nitrogen and limiting conditions

The critical P concentration ( $P_{crit}$ ) for growing plants is affected by N nutrition level regarding equation by ZIADI et al. 2007 and not affected by CADOT et al., 2018 equation. To relate these two contrasting N conditions, was used the NNI.

Corn shoot P concentration increased with increasing corn shoot N concentration. The relationship between P and N concentrations under **nonlimiting N conditions** ( $NNI \geq 0.90$ ) can be described by the following linear relationships:

$$P_{\text{crit}} = 0.5 + 0.154 \times N \quad (R^2 = 0.92; P < 0.0001; n = 41)$$



**Figure 14** – Shoot P concentration of corn as a function of shoot N concentration, as determined for limiting N and for nonlimiting N.

In which both concentrations are expressed in  $\text{g kg}^{-1}$ . Under nonlimiting N conditions, P concentration ranged from 1.26 to  $3.41 \text{ g P kg}^{-1}$  DM.

The relationship between P and N concentrations under **limiting N conditions** ( $NNI < 0.90$ ) can be described by the following linear relationships (Figure 14):

$$P_{\text{crit}} = 1.5 + 0.121 \times N \quad (R^2 = 0.58; P < 0.0001; n = 24)$$

The results show that practically all the points are in levels of P

sufficiency to corn comparing the both the curves proposed by the authors Ziadi et al. (2007) and Cadot et al. (2018).

The critical P curves depend highly on the N supply. Phosphorous uptake dynamics are not only determined by the quantity of above-ground biomass accumulated by the crop, but they also depend on the N nutrition status of the crop as influenced by the N fertilizer supply (BRIAT et al., 2020).

Under nonlimiting N conditions, P concentration ranged from 0.45 to 6.64 g P kg<sup>-1</sup> DM. For a given N concentration (< 10 g N kg<sup>-1</sup>), the P concentration was low under limiting N conditions than under nonlimiting conditions, however, both curves are above the P<sub>crit</sub> curve proposed by Ziadi et al. (2007) for non-limiting N conditions and above the P<sub>crit</sub> curve proposed by Cadot et al. (2018), due to a possible occurrence of luxury P consumption, showing an evolution of phosphorus nutrition when used ICL systems at long time. Of course, that evolution of high fertility presents in this work, are results of several seasons of crop in ICL and fertilization systems, showing one effect of enrichment of nutrition with over the years.

However, the production grains maize observed on Cadot et al. (2018) is relatively low (7,7 Mg ha<sup>-1</sup> on average), when compare in this study, with production until 16 Mg ha<sup>-1</sup>. In relation P up take in this study was 56.8 kg P ha<sup>-1</sup> at final of corn development, low when compared with the extraction of 97 kg P ha<sup>-1</sup> described by Ueno et al. (2013).

When the linear regressions are comparing there are not statistically differences among the slopes, therefore the dilution of N and P occurred in the different intensity for different conditions, limiting and non-limiting N, however, for a given N concentration, the P concentration was higher under limiting N concentration.

Several studies have reported positive interactions between N and P, which resulted in greater P absorption and higher corn grains yield (ZIADI et al., 2007; CADOT et al., 2018) and other crops (ZIADI et al., 2008; BÉLANGER et al., 2015). The P is influenced by crop rotation system and applied N rate (MA et al., 2016), this is means, that the management of nitrogen fertilization in system, will influence of positive or negative size the absorption by plants, showing the relation between these two elements.

In this study the P availability in soil was high, this is means, that are an adequate N supply can have an absorbing effect on P uptake (SALETTE and HUCHÉ 1991; DURU et al., 1992), and P absorbed by plants be high enough to



maintain adequate herbage P status, whereas, the P in soil was in a good levels of nutrition. High N nutrition level simultaneously triggered higher N and P concentration (DURU and DUCROCQ, 1996). Additionally, the P fertilizer was applied to both pasture and corn phases of the experiment, where, the same was sufficiently to corn and it was enough to compensate for the high specific phosphate adsorption present in this highly weathered Brazilian soil.

Already Bernardon et al. (2020), showed with P fertilization of 70 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> applied on pasture, and P available from the soil were not enough to supply the greater P demand of the higher forage accumulation in the pasture fertilized with 200 kg N ha<sup>-1</sup>, but this study, the ICL systems had just two cycle of crops (initial stage of implementation), showing one effect of enrichment of nutrition with over the years. The fact of the levels of P fertility presents in this work are high, are results of several seasons of crop in ICL and fertilization systems. Differently of Bernardon et al. (2020) that had only two cycle crops, this work is an accumulation of several crops in fertilization systems.

### 3.3.6 Evaluation of K nutritional status of corn

There is no description of N K relationship for corn, the separated the relationship for nonlimiting and limiting N conditions similarly to N P relationship presented. However, N K relationship fitted better with first order polynomial model equations, for nonlimiting and limiting N conditions.

The relationship between K and N concentrations under **non-limiting N conditions** (NNI $\geq$ 0.90) can be described by the following a linear model equation:

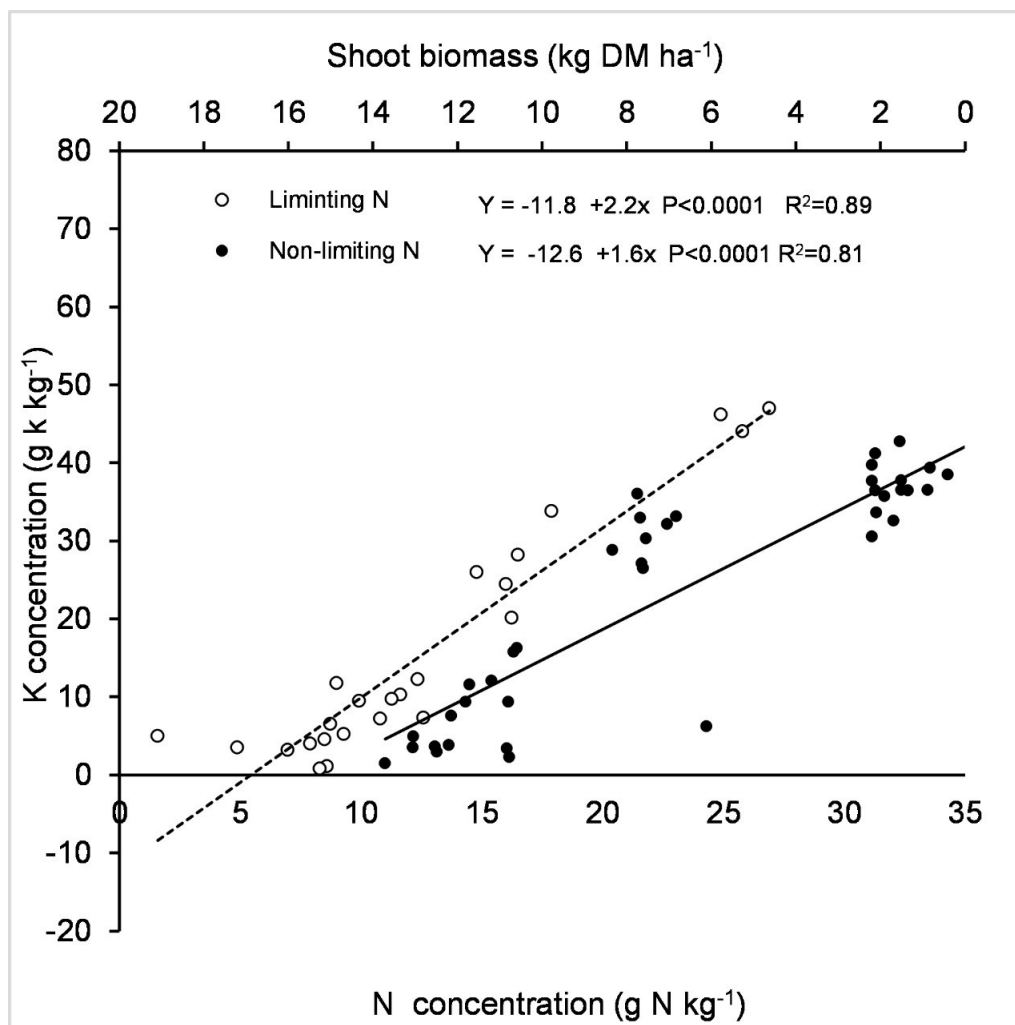
$$K = -12.6541 + 1.56248 \times N \quad (R^2=0.81; P<0.0001)$$

In which both concentrations are expressed in g kg<sup>-1</sup> (Figure 21). Under nonlimiting N conditions, K concentration ranged from 1.1 to 47.7 g K kg<sup>-1</sup> DM.

The relationship between K and N concentrations under **limiting N conditions** (NNI < 0.90) can be described by the following a linear relationship (Figure 15):

$$K = -11.8459 + 2.1745 \times N \quad (R^2=0.89; P<0.0001)$$

Under limiting N conditions, K concentration ranged from 1.5 to 42.7 g K kg<sup>-1</sup> DM. When the N limiting there was a greater concentration of K.



**Figure 15** – Shoot K concentration of corn as a function of shoot N concentration, as determined for limiting N and for non limiting N.

When the linear equation are comparing there are not statistically differences among the b slope ( $P=0.1661$ ), therefore the dilution of N and K occurred in the same intensity for both conditions, limiting and non-limiting N, however, for a given N concentration, the K concentration was higher under limiting N concentration.

As in the case of P, K concentration of corn plants increased with shoot N concentration (Figure 16). In both N-K fertilization (Pasture N-K fertilization and N-K Corn) nitrogen and potassium was sufficient in all the vegetative cycle of corn.

Greatest K concentration in corn plants was observed at the beginning of the vegetative cycle representing a luxury consumption, similarly, the study done by Salette and Huché (1991). When the plant opens in the flowering period, the nutrient reserves are translocated to the reproductive organ until they reach levels below sufficiency in the maturity phase of the crop. In this study, K concentration was

greater than the predicted value by the proposed equation and the K consumption was needed to meet crop demand until the end of the vegetative cycle. Apparently, in these conditions, the K supply was optimum, being, the K absorption co-regulated, probably by the N-uptake.

In relation the corn shoot K concentration, there was not significant interactions among the factors and just simple effects by DAS (days after sowing) ( $P < 0,05$ ), where the general average was  $26.01 \text{ g K kg}^{-1}$  DM produced. Across treatments, the concentration of K on shoot biomass was  $34.27 \text{ g K kg}^{-1}$  at 67 days after seeding and at 130 days the K concentration was  $3.57 \text{ g K kg}^{-1}$ . Heavy rainfall (347.2 mm) occurred in this interval, could have washed the K plant tissue. This strong reduction in K concentration can be attributed to a small half-life of K release from plant residue (SANTOS et al., 2014).

The potassium is not bound to any organic component, in plant tissues, this way, it has a very high initial liberation rate (ASSMANN, et al., 2018), whereas the decomposition start in the appearance of the first senescent leaves (HODGSON, 1981), still while the corn plants are vegetating. Assmann et al. (2017), concluded that in soybeans residues 50% of the K was released on 17 days.

Uptake of N and K are closely related, as K is the most extracted element by many crops and contributes to N uptake. When is realized N and K fertilization exist a significant effect on the production, having a greater extraction of N and K per DM production (SANTOS et al., 2015).

Suitable nutritional conditions for the production of corn were assured by sufficient N-K fertilization of the previous cool-season annual pasture. Similar effect (from N-fertilized) also observed by Lemaire et al. (2008).

The results show that there was not effect to the increasing doses of potassium in corn, either by applying it on the previous pasture or covering the crop. This happens because the K concentration was greater than the predicted value by the proposed equation and the K consumption was needed to meet crop demand until the end of the vegetative cycle. Thus, it would not be necessary had applied K in both situations (pasture and corn crop) (Figure 16).

The pasture phase in ICL systems, increase the nutrients cycling, considered it is, a viable strategy to reduce N-K application to corn without jeopardizing crop productivity and soil fertility. This is due to the fact of, the carryover of N-K within a readily mineralogical organic substrate of plant residues, animal dung

and urine, and soil organic matter, promoted by cattle grazing and previous N-K fertilization. This management allows forage during the previous winter phase to be highly productive and contributing to greater animal productivity, while subsequently improving N use efficiency during the corn grain production phase (SOARES et al., 2020).

Also, the previous N fertilization and animal presence on pasture influenced the nutrient dynamic process in the soil through interactions with microbial communities in the rhizosphere and in the urine and feces patch. Soil microbiome drives also nutrient availability either as providing nutrients or as competing for nutrients with plants through mineralization and immobilization process (BRIAT et al. 2020).

So far there is not still equations of K sufficiency to C4 (ex: corn) plants, just to C3 plants (SALETTE and HUCHÉ, 1991). This way, studies like this, serve as theoretical base to construct one possible K critical curve in near future. This way, it cannot be said that K is or is not in a sufficient level, because do not have specific methodology, but the fact is with increase N absorption, also increase K absorption.

### 3.4 CONCLUSION

Carryover of N from a grazed and N-K fertilized cool-season pasture provided adequate N during the all stages of a subsequent corn crop, as verified by a plant-based diagnosis tool based on critical N dilution curve.

Corn P nutrition was optimal when N was applied and not applied during the pasture phase, being uptake and demand for P was greater when in limiting N conditions.

Precise diagnosis of N nutrition status during early stages of corn development could provide support for better N fertilization recommendations, showing that use of the dilution curves can be an innovative form of N management.

Corn plants were well nourished with K and may have experienced “luxury” consumption, not being necessary the K fertilization due excessive concentrations.

The use of the dilution curve (allometric approach) for managing fertilization at the whole cropping system level was useful to determine whether the previous pasture phase with N fertilization could supply adequate nutrition for a succeeding corn crop, showing that it is possible.

#### **4. Adubação de sistemas: Relação de causa e efeito da adubação nitrogenada realizada na fase pastagem com efeito na produção de milho em sucessão em SIPA**

##### **RESUMO**

TATTO, Wilson Henrique. Adubação de sistemas: Relação de causa e efeito da adubação nitrogenada realizada na fase pastagem com efeito na produção de milho em sucessão em SIPA. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

A adubação de sistemas considera todas as culturas envolvidas na rotação em um esquema de transferência de nutrientes entre os cultivos. Seu manejo pode influenciar a relação entre os componentes de rendimento de milho. O objetivo deste trabalho foi identificar as relações de causa e efeito entre os componentes de rendimento de grãos de milho manejado em diferentes sistemas de adubação nitrogenada. Os dados experimentais utilizados nas análises são provenientes de um experimento de longa duração de um sistema integrado de produção agropecuária localizado no município de Abelardo Luz – SC. As variáveis observadas foram número de grãos por espiga; número de grãos por fileira; número de fileiras por espiga; massa de mil grãos e rendimento total de grãos em  $\text{kg ha}^{-1}$ . O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com três repetições, sendo que, na parcela principal foram alocados dois sistemas de manejo da adubação da cultura de inverno antecessora, pastagem de aveia preta (1 – sem aplicação de nitrogênio na aveia, ou seja, aplicação somente na cultura de grãos; e, 2 – com aplicação de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  nitrogênio na aveia). Nas subparcelas foram alocadas aleatoriamente quatro doses de adubação nitrogenada em cobertura na cultura de grãos (0, 100, 200,  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Foram obtidas as estatísticas descritivas e as estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson entre os componentes de rendimento. Posteriormente, foi feita a verificação da multicolinearidade na matriz de correlações, na qual foi excluída a variável número de fileiras por espigas, por causar multicolinearidade severa com peso de mil grãos. Em cada um dos sistemas de adubação foram desdobrados em efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre o rendimento de grãos. As relações entre os componentes de rendimento e o rendimento de grãos em milho cultivado em sistema de integração lavoura pecuária são dependentes do sistema de adubação utilizado. A variável explicativa que tem maior contribuição para o rendimento é o peso de mil grãos, independente do sistema de adubação utilizado. Somente a adubação nitrogenada de cobertura realizada durante o período de pastejo é capaz de sustentar a produção de milho na fase sucessora em SIPA.

**Palavras-chave:** Análise de trilha. Potencial produtivo. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária.

## ABSTRACT

TATTO, Wilson Henrique. Fertilizing systems: Cause and effect relationship of nitrogen fertilization carried out in the pasture phase with effect on corn yield in succession in ICL system. 147 f. Thesis (Doctor in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2021.

Fertilization of systems considers all the crops involved in the rotation in a scheme of transfer of nutrients between the cultures. Its management can influence the relationships between the yield components of corn. The objective of this work was to identify the main yield component of corn managed in different nitrogen fertilization systems and to verify the residual effect of applications anticipated of nitrogen in pastures to successor crop. The experimental data used in the analyzes came from a long-duration experiment of integrated crop-livestock system located in the town of Abelardo Luz – SC. The data points were number of grains/ear; number of grains/row; number of rows/ear; 1000-grains weight and total grain yield in  $\text{kg ha}^{-1}$ . The experimental design used was randomized complete block using a split-split plot with six replications, being that the main plot was allocated two systems of nitrogen fertilization previous winter pasture – black oats (1 – No application) not nitrogen in oats, that is, application only in grain crop; and, (2 – with application of  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  nitrogen in oats). In the subplots, four doses of nitrogen fertilizer covering the grain culture (0, 100, 200,  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) were randomly allocated. Pearson's linear correlation coefficients between yield components were obtained. Subsequently, multicollinearity diagnostics was checked in the correlation matrix, in which the variable number of rows/ear was excluded, because it caused severe multicollinearity with a 1000-grains weight. In each of the fertilization systems, they were divided into direct and indirect effects of the explanatory variables. The relationship between yield components and grain production in maize grown in an integrated crop-livestock system is dependent on the fertilization model used. The explanatory variable that has the greatest contribution to yield is the 1000-grains weight, regardless of the fertilization model used. Only the nitrogen in covering fertilization carried out during the grazing period is able to sustain corn yield in the successor phase in ICL.

**Keywords:** Integrated crop-livestock systems. Path analysis. Potential of production.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A adubação de sistemas tem como base a ciclagem de nutrientes e considera todas as culturas envolvidas na rotação (pastagens, adubos verdes e culturas agrícolas) no esquema de transferência de nutrientes entre os cultivos (ASSMANN et al., 2018). Pesquisas contemporâneas estudam os efeitos sinérgicos entre os compartimentos solo-planta-animal-atmosfera em diferentes escalas espaço-temporais (ANGHINONI et al., 2013; MORAES et al., 2014; CARVALHO et al., 2018) e o efeito da adubação de sistemas (BERNARDON et al., 2020) em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária – SIPA (CARVALHO et al., 2014).

Apesar de todas as vantagens oriundas da adubação de sistemas, devido à simplificação excessiva de interpretação dos sistemas e a complexidade e diversidade de organismos que vivem no solo, a recomendação de adubação, quase que em 99% dos casos, é feita mediante interpretação de conceitos de química mineral (ASSMANN, et al., 2018).

Pesquisas realizadas no Subtópico brasileiro, mostram uma maior produtividade de lavouras (soja, milho e feijão) em sucessão a pastagens adubadas e com adequada taxa de lotação animal (CASSOL, 2003; NICOLOSO et al., 2006; FERREIRA et al., 2009; ANDREOLA, 2010; SANDINI et al., 2011; CONTE, 2011; PITTA et al., 2011; BALBINOT JR. et al 2011; BALBINOT et al., 2012; SILVA et al., 2012; BORTOLLI, 2016; MACCARI, 2016; ASSMANN et al., 2017; TATTO, 2017; SARTOR et al., 2018; BERNARDON et al., 2020; KUNRATH et al., 2020).

Diversas vantagens podem ser apontadas em se aplicar nitrogênio na pastagem em comparação à aplicação feita sobre a cultura de grãos. Dentre elas estão o menor custo devido a baixa demanda do insumo nessa época, clima mais favorável pois proporciona melhores condições de temperatura e umidade reduzindo possíveis perdas de N por volatilização, maior população e distribuição do dossel de plantas tendo como consequência maior capacidade de absorção do nutriente em menor tempo (BORTOLLI, 2016).

A configuração do ambiente em que o milho é produzido tem relação com as características agronômicas de produtividade (GOMES et al., 2007). Dessa maneira, é de extrema importância conhecer as relações entre ambiente vs componentes de produção, e as correlações entre eles (RIBEIRO et al., 2014) para



manejar o sistema de uma forma mais produtiva e sustentável.

O conhecimento do inter-relacionamento entre os componentes de produção é de grande importância na correlação entre os caracteres, a partir dos quais pode-se avaliar o quanto da alteração de um caráter pode afetar os demais caracteres (SILVA et al., 2009). Na cultura do milho, a produtividade de grãos é um caráter complexo resultante da expressão e associação de diferentes componentes, sendo, portanto, afetada por quase os demais caracteres da planta (SOUZA et al., 2014). Dessa maneira o manejo de adubação pode influenciar a relação entre os diferentes componentes de rendimento de milho.

Segundo Lopes et al., (2007) e Ribeiro (2012), existe uma hierarquia na influência dos caracteres do milho na sua produtividade. O número de grãos por espiga (NGE) e o peso de 1000 grãos (PMG) são os caracteres que estão diretamente associados à produtividade de grãos. Contudo, a análise da correlação entre caracteres de milho têm sido tema de estudo em diversos trabalhos objetivando encontrar caracteres que sejam mais relacionados com a produtividade de grãos.

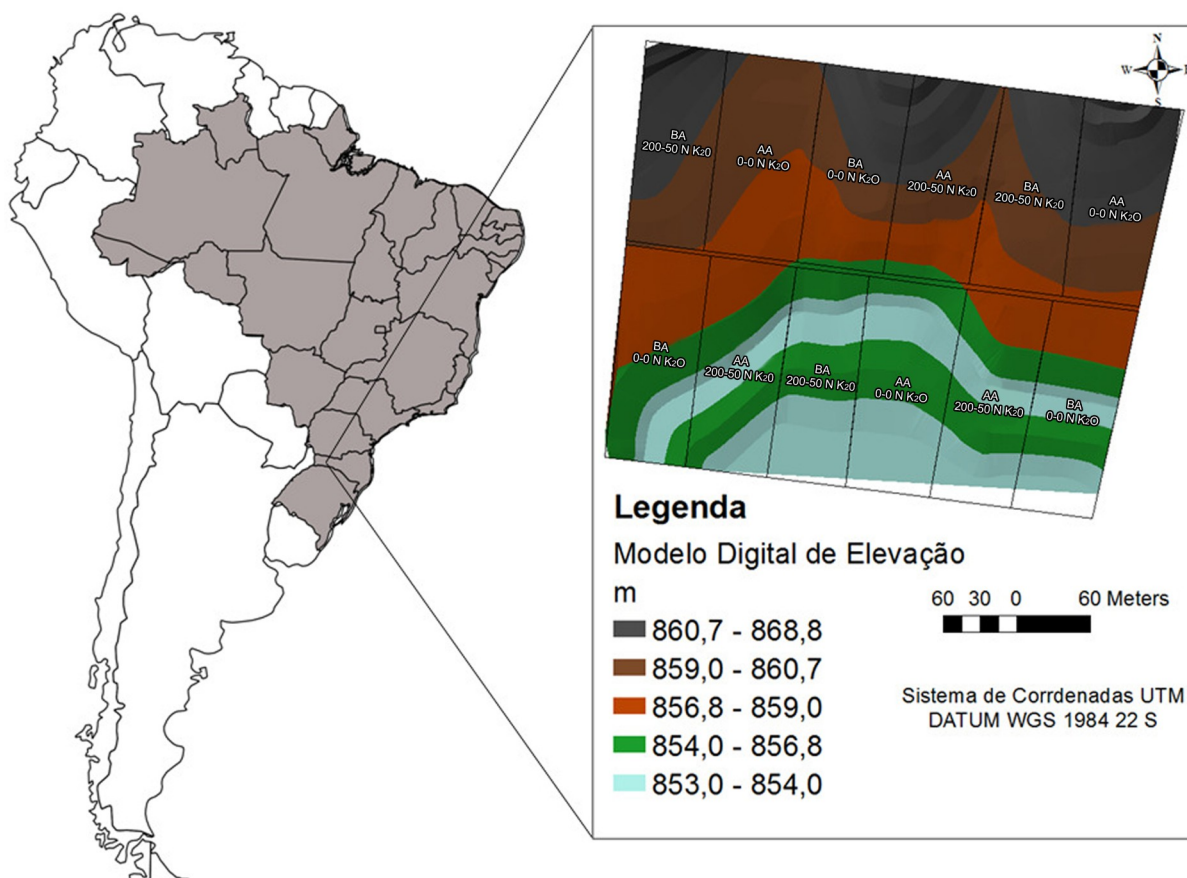
Esse conhecimento das relações entre as variáveis, e o desdobramento das correlações, em efeito diretos e indiretos podem ser realizados utilizando a análise de trilha (WRIGHT, 1921). Através da utilização dessa técnica é possível avaliar se o ambiente produtivo interfere na inter-relação dos caracteres (BARILI et al., 2011) que definem a produtividade de milho.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi identificar as relações de causa e efeito entre os componentes de rendimento e o rendimento de grãos de milho manejado em diferentes sistemas de adubação nitrogenada.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi conduzido na fazenda C.M. Pacheco, localizada no município de Abelardo Luz. A região encontra-se dentro da serra geral, pertencente ao grupo geológico denominado São Bento, constituído basicamente por rochas vulcânicas basálticas, possui relevo forte ondulado com terra roxa estruturada. A bacia hidrográfica do Município é formada por dois rios denominados Chapecó e Chapecozinho. A área possui uma altitude de 850 m, latitude de 26° 31' 29,67" Sul e longitude de 53° 04" Oeste (Figura 16).



**Figura 16** – Localização e levantamento planialtimétrico do experimento de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.  
Fonte: TATTO, 2017.

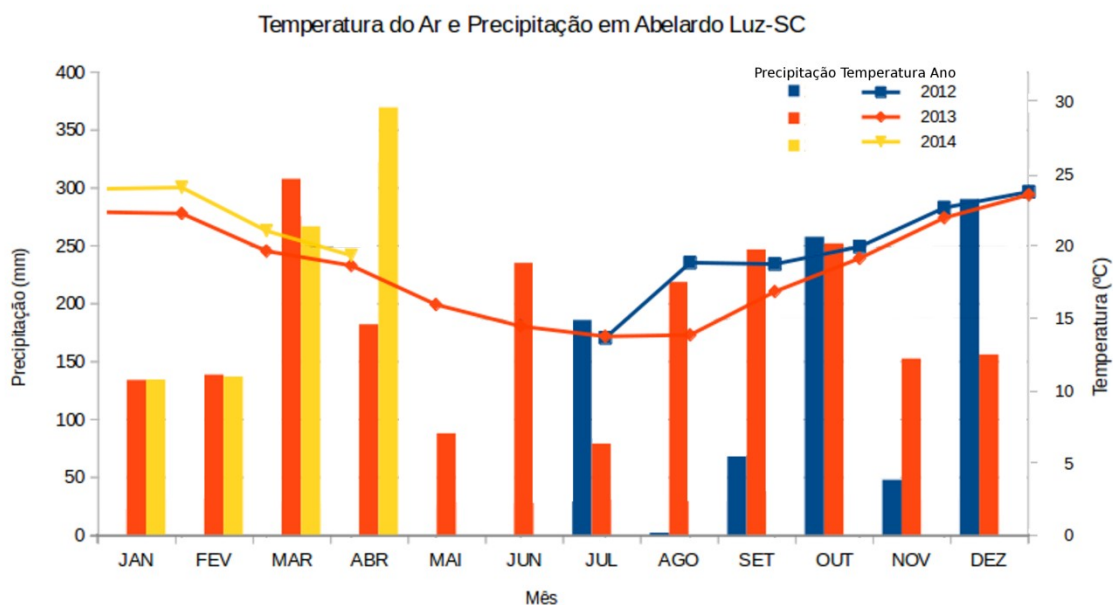
O solo do experimento foi classificado como LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, textura muito argilosa com horizonte A proeminente e horizonte B

latossólico, os teores de argila ficam > 69% até 40 cm de profundidade e relevo suavemente ondulado (7% de declividade). A análise granulométrica do perfil do solo apresenta teores de argila maiores que  $690 \text{ g kg}^{-1}$  até 40 cm de profundidade, aumentando pouco ao longo do perfil do solo, caracterizando o Latossolo (EMBRAPA, 2013).

#### 4.2.2 Períodos experimentais e caracterização

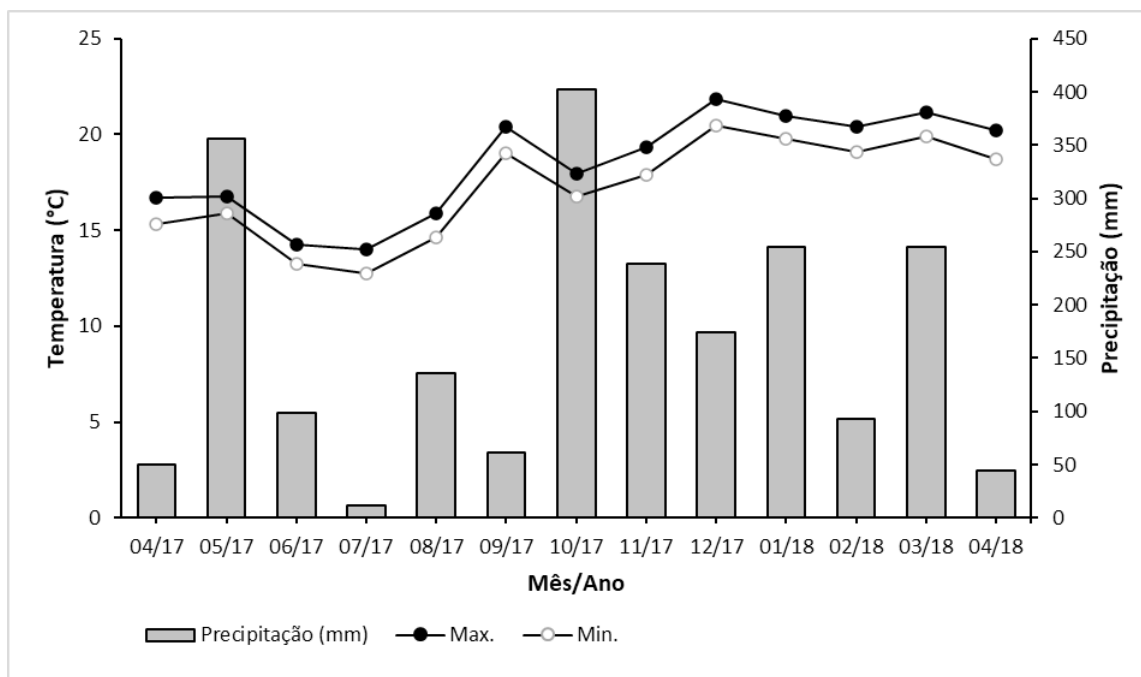
Os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas de 2013/2014 e 2017/18.

O clima predominante na região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfb), segundo a classificação de Koppen (ALVARES et al., 2013) com verões amenos e invernos frios com geadas frequentes e severas, sem estação seca definida e precipitação média anual entre 1100 e 2000 mm. Os dados meteorológicos do período experimental de 2013/14 são apresentados na Figura 17 e os de 2017/18 na figura 18.



**Figura 17** – Dados meteorológicos observados durante o período experimental (2013/14), Abelardo Luz –SC.

Fonte: BORTOLLI, 2016. Instituto Nacional de Meteorologia, (2013); Agência Nacional de Águas, (2013).



**Figura 18** – Dados meteorológicos observados durante o período experimental (2017/18), Abelardo Luz -SC.

Fonte: INMET, Clevelândia-PR, (2018).

Em toda a área experimental foi efetuada amostragem de solo de 0 a 20 cm para recomendação de adubação e calagem, conforme recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS/RS-SC, 2004; CQFS/RS-SC, 2016). A análise de solo de rotina para safra 2013/14 e 2017/18 estão apresentadas na tabela 8.

**Tabela 8** – Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da semeadura de milho. Abelardo Luz - SC, 2013/14 e 2017/18.

	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	V
Safra	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
2013/14	4,94	36,30	4,57	0,22	3,85	1,97	0,00	3,93	6,04	10,41	55,95
2017/18	5,10	54,95	14,20	0,48	5,80	1,50	0,00	5,98	7,78	13,76	56,54

Laboratório de análises de solos UTFPR/IAPAR. Metodologias: M.O. por digestão úmida; P e K extraídos com solução de Mehlich<sup>-1</sup>; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

#### 4.2.3 Descrição dos experimentos

A área da propriedade rural destinada ao experimento era manejada no sistema de cultivo mínimo, com gradagem para semeadura de cereais de inverno e

plântio de culturas de verão. A partir do verão de 2012 passou a ser utilizada para fins de experimentação com Integração Lavoura Pecuária (ILP) sob plântio direto. Os ciclos de cultivo durante os sete anos de experimentação estão detalhados na tabela 9.

**Tabela 9** – Histórico de cultivos da área experimental desde a implantação em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Pato Branco -PR, 2018.

<b>Safra</b>	<b>Cultivos</b>	<b>Fase</b>
Verão 2012/2013	Sorgo forrageiro ( <i>Sorghum bicolor</i> ) cv. BMR – ADV 2800	Pastagem
<b>Inverno 2013</b>	<b>Aveia Preta (<i>Avena strigosa</i>) cv. Comum</b>	<b>Pastagem</b>
<b>Verão 2013/2014</b>	<b>Milho (<i>Zea mays</i>) Híbrido: Máximus VIP3</b>	<b>Lavoura</b>
Inverno 2014	Aveia Preta ( <i>Avena strigosa</i> ) + Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. BRS 139 + Barjumbo	Pastagem
Verão 2014/2015	Soja ( <i>Glycine max</i> ) cv. NS 5909	Lavoura
Inverno 2015	Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. Comum	Pastagem
Verão 2015/2016	Milho silagem ( <i>Zea mays</i> L.) Híbrido: AG8780 VT-PRO	Lavoura
Verão 2016	Feijão safrinha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) – cv. IAC Milênio	Lavoura
Inverno 2016	Azevém Tetraplóide ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. Winter Star	Pastagem
Verão 2016/2017	Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cv. Tuiuiú	Lavoura
<b>Inverno 2017</b>	<b>Aveia (<i>Avena strigosa</i>) cv. Comum</b>	<b>Pastagem</b>
<b>Verão 2017/2018</b>	<b>Milho (<i>Zea mays</i>) Híbrido: AG 9025 VT PRO 3</b>	<b>Lavoura</b>

Source: RISSI, 2015; BORTOLLI, 2016; MACARRI, 2016; BERNARDON, 2016; TATTO, 2017; LIMA, 2018; HUF, 2018; AIOLFI, 2018; CARVALHO, 2018; BARRIGA, 2019.

Os experimentos objetos desta pesquisa ocorreram durante o inverno de 2013 e 2017 com a implantação da cultura da aveia preta cv. ‘comum’ para pastejo, e no verão, safra 2013/14 e 2017/2018, com a cultura de milho, cujo os híbridos foram: Maximus VIP3 e AG 9025 VTPRO3 para produção de grãos, respectivamente.

#### 4.2.3.1 Desenho experimental

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com três repetições, sendo que, na parcela principal foram alocados dois sistemas de manejo da adubação da cultura de inverno antecessora, pastagem de aveia preta (1 – sem aplicação de nitrogênio na aveia, ou seja, aplicação somente na cultura de grãos; e, 2 – com aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> nitrogênio na aveia).

Nas subparcelas foram alocadas aleatoriamente quatro doses de adubação nitrogenada em cobertura na cultura de grãos (0, 100, 200, 300 kg N ha<sup>-1</sup>). Nesse caso, isolou-se uma área de 135 m<sup>2</sup>, sem a fertilização aplicadas nas

parcelas principais. O mesmo desenho experimental foi realizado em ambas as safras (2013/14 e 2017/18).

O experimento teve um total de 12 parcelas de aproximadamente 14 ha (Figura 3) e, adjacente a esta, uma área de cerca de 10 ha para manutenção dos animais reguladores. O dimensionamento do tamanho das parcelas foi realizado de modo a permitir a manutenção de no mínimo três animais denominados *testers*, os quais estiveram sobre avaliação acompanhado de a pastagem. A área das parcelas foi determinada de acordo com os tratamentos, variando de 10.727,2 a 12.973,55 m<sup>2</sup>, principalmente, devido ao manejo adotado no uso do nitrogênio (N) e na altura da pastagem. As subparcelas, consistiram de uma área isolada em cada uma das 12 parcelas principais, contendo 135 m<sup>2</sup> cada, divididas em quatro áreas de 33,75 m<sup>2</sup> que compunham as doses crescentes de N.



**Figura 19** – Croqui experimental com a disposição dos tratamentos nas subparcelas do cultivo de milho em Abelardo Luz –SC, 2013/14 e 2017/18.

#### 4.2.4. Condução do experimento

##### 4.2.4.1 Fase pastagem anual de Aveia Preta (*Avena strigosa*) inverno de 2013

Após a retirada dos animais da pastagem de sorgo este foi dessecado no dia 25/04/2013 utilizando herbicida (Glyphosate) na dosagem de 900 g de ingrediente ativo por hectare. A semeadura da aveia preta foi realizada no dia

22/05/2013 em sistema plantio direto, utilizando uma semeadora adubadora e 100 kg de sementes ha<sup>-1</sup> com espaçamento entre linhas de 0,17 m.

No momento da semeadura, foi realizada a adubação de base, com 75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 75 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, conforme recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS/RS-SC, 2004). No dia 15/06/2013, foi realizada a aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> em cobertura, usando uréia (46% de N) de acordo com os tratamentos avaliados.

Os animais iniciaram o pastejo no dia 09/07/2013 quando o pasto estava com aproximadamente 40 cm de altura. No momento da entrada dos animais (09/07/2013) foram colocados aproximadamente quatro animais por piquete que foram dimensionados de tamanhos diferentes conforme a capacidade de suporte estimada para cada tratamento, para manter um mínimo de três animais testers.

O método de pastejo foi o de lotação contínua com taxa de lotação variável (MOTT; LUCAS, 1952) usando novilhos cruzados entre as raças nelore e charolês e peso vivo de aproximadamente 280 kg com desvio padrão de aproximadamente 43 kg. A entrada e saída dos animais reguladores da pastagem eram dependentes da distância entre o valor real de altura do dossel e o valor preconizado para cada altura.

#### 4.2.4.2 Fase pastagem anual de Aveia Preta (*Avena strigosa*) inverno de 2017

A semeadura ocorreu no dia 28/04/2017. Foram utilizadas 110 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de aveia preta, utilizando uma semeadora de grãos miúdos SDM 2227/29 versatili com 29 linhas, com espaçamento entrelinhas de 0,17 m. A adubação de base foi 330 kg ha<sup>-1</sup> de Super Simplex (equivalente a 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). A germinação das plântulas iniciou no dia 05 de maio de 2017.

No dia 09/05/2017 foi realizado o controle de plantas daninhas (Nabiça) na pastagem utilizando: 2,4D 740 mL ha<sup>-1</sup> + Aquamax® (adjuvante) 37 mL ha<sup>-1</sup> + Ally® 5,9 g ha<sup>-1</sup>.

No dia 25 de maio de 2017 (27 dias após a semeadura) foi realizada a adubação nitrogenada na aveia que já estava em fase de perfilhamento, para implementar os tratamentos N adubação pastagem. Para isso, utilizou-se a fonte de N uréia (46% de N) na dosagem de 200 kg N ha<sup>-1</sup>, aplicadas com um distribuidor a

lanço.

O pastejo dos animais teve início no dia 13 de junho de 2017, 46 dias após a semeadura da aveia, quando a mesma apresentava altura média de 20 cm, foram utilizados novilhos cruzados (Nelore x Charolês), de aproximadamente dois anos de idades previamente desverminados, conforme aquisição do proprietário da fazenda. O método de pastejo foi o contínuo, com taxa de lotação variável (MOOT; LUCAS, 1952), mesmo utilizado no inverno de 2013. Os animais permaneceram na área até o dia 27 de agosto 2017, totalizando 76 dias de pastejo.

A dessecação da área total foi realizada em 29 de agosto 2017 utilizando o herbicida Gramocil® (Paraquat + Diuron) na dose de 2 L ha<sup>-1</sup> + 50 ml ha<sup>-1</sup> de aquamax® (adjuvante).

#### 4.2.4.3 Fase lavoura de Milho – safra 2013/14

Após a retirada dos animais da pastagem de aveia preta (06/09/2013) foi realizada a dessecação da área no dia 02/10/2013 com o herbicida glifosate na dosagem de 900 g de ingrediente ativo por hectare. O híbrido de milho utilizado foi o Máximus VIP3 da Syngenta. O milho foi semeado em plantio direto no dia 10/10/2013, após 31 dias da remoção dos animais da pastagem, com espaçamento de 0,7 m entre linhas, totalizando 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>, conforme recomendação da empresa melhoradora.

A adubação de base no sulco de semeadura foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> do formulado N-P-K 08-20-15, correspondendo a 32 kg de N ha<sup>-1</sup>, 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 80 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>.

No estágio V4 das plantas de milho, foi aplicado o herbicida PrimaTop® (Atrazina + Simazina) na dose de 8 L ha<sup>-1</sup> para o controle de plântulas de Papuã (*Urocloa plantaginea*) e o milhã (*Digitaria horizontalis*), que estavam se desenvolvendo bem como algumas outras ervas daninhas presentes na área.

No dia 13/11/2013 (34 dias após a semeadura) foi efetuada a adubação nitrogenada de cobertura nas parcelas que não receberam N na pastagem, conforme indicado pelos tratamentos (N fertilização grãos), com 200 kg N ha<sup>-1</sup> em uma única aplicação, a exceção da área reservada para aplicação de N nas subparcelas, onde nesta mesma data foram aplicados os tratamentos já descritos



acima e ilustrados na figura 19.

#### 4.2.4.4 Fase lavoura de Milho – safra 2017/18

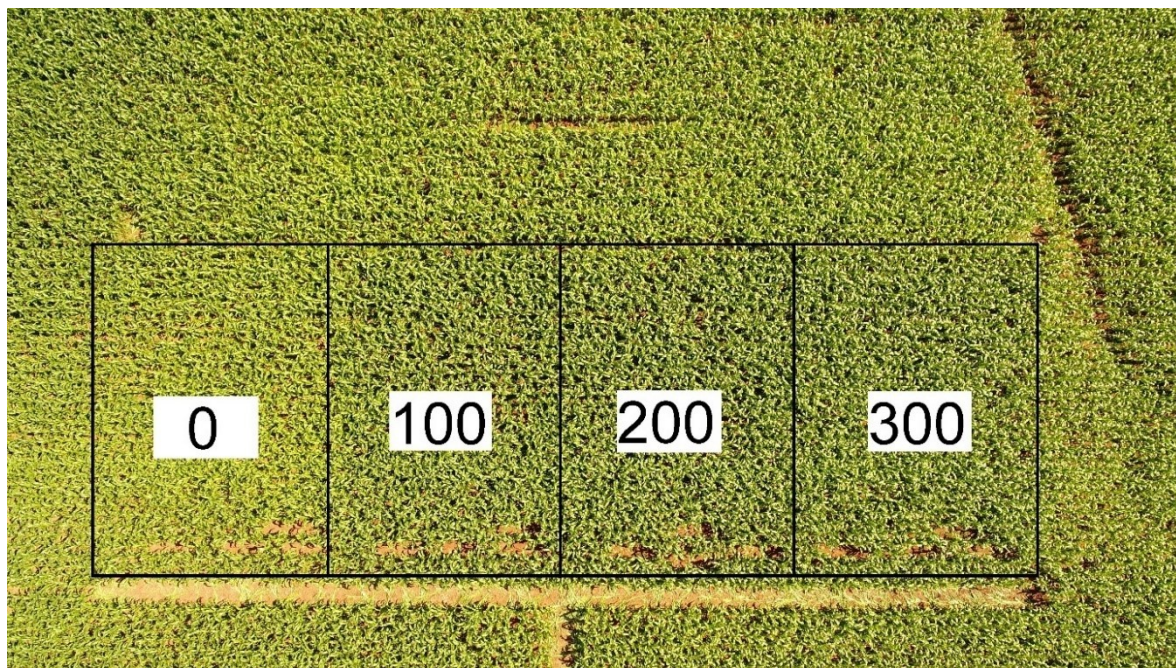
A semeadura de milho ocorreu em 04 de outubro de 2017. O híbrido utilizado foi o AG 9025 VT PRO3, com o espaçamento entre linhas de 0,45 m, e entre plantas de 3,2 plantas  $m^{-1}$  linear (população de 70.000 plantas  $ha^{-1}$ ). Para semeadura utilizou-se uma semeadora de grãos graúdos MF 513 M 45 com haste sulcadora. As sementes continham tratamento industrial para o controle de lagartas e percevejos para as fases iniciais de desenvolvimento do milho. A adubação de base utilizada foi 08:40:00 (Fosfato – Monoamônio – MAP) na dose de 147 kg  $ha^{-1}$ .

A aplicação nas subparcelas de doses crescentes de nitrogênio foi realizada no dia 11 de novembro de 2017 (39 dias após a semeadura), quando o milho estava em estágio de desenvolvimento V5. No mesmo dia, foi realizada a aplicação de KCl simultaneamente. A aplicação das diferentes doses ocorreu em uma área isolada de cada piquete, a qual foi dividida em quatro partes de tamanho igual, onde cada uma delas recebeu uma dose distinta da combinação de N-K<sub>2</sub>O distribuída de forma aleatória entre os piquetes. Foram utilizados como fonte de nitrogênio o N uréia (46% N) e cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O).

O manejo fitossanitário e de plantas daninhas foi efetuado a rigor durante o ciclo da cultura. No dia 03 de novembro de 2017 foi efetuada a primeira aplicação de herbicida e inseticida, com os seguintes produtos: Basfoliar H Plus® (Adjuvante) 60 mL  $ha^{-1}$  + Prima Top® (Atrazina + Simazina) 7 L  $ha^{-1}$  + Callisto® 130 mL  $ha^{-1}$  + Orobor® 60 mL  $ha^{-1}$ .

A segunda aplicação fitossanitária foi realizada no dia 09 de dezembro de 2017 utilizando os seguintes produtos: Basfoliar H Plus® (Adjuvante) 60 mL  $ha^{-1}$  + Solist® (Fungicida) 500 mL  $ha^{-1}$  + Engeo Pleno® (Inseticida) 300 mL  $ha^{-1}$ , Hkaphos® (Base foliar 07.12.40) 3 kg  $ha^{-1}$  + Glifosato Zapp QI (herbicida) 1,5 L  $ha^{-1}$ .

Nas áreas isoladas onde se encontravam as subparcelas, a adubação não seguiu o protocolo tradicional e sim as doses crescentes de N, cujo a qual foi realizada na mesma fase em que se realizou a aplicação na área total (externa as subparcelas) Figura 20.



**Figura 20** – Área experimental – Detalhe das parcelas e subparcelas do cultivo de milho em Abelardo Luz –SC, 2017/18. Doses crescentes de nitrogênio: 0, 100, 200 e 300 kg N ha<sup>-1</sup>.

Fonte: Mauricio Lazzarri – foto com Drone.

A adubação foi realizada de forma manual, calculando-se a quantidade total em hectares (de cada dose), convertida para área de subparcela. Cada dose foi devidamente pesada e a quantidade de cada elemento foi posta em um recipiente de 20 L e de forma manual lançada na área respectiva de cada dose que compunha cada subparcela (Figura 21).





**Figura 21** – Adubação nas subparcelas – Detalhe de aplicação de Uréia e Cloreto de Potássio, cultivo de milho em Abelardo Luz –SC, 2017/18.

A colheita foi realizada no dia 10 de março de 2018 coletando quatro linhas de cinco metros lineares, ou seja, com uma área útil de 9 m<sup>2</sup> em cada subparcela que compunha cada unidade experimental.

#### 4.2.5 Variáveis avaliadas

##### 4.2.5.1 Avaliação de produtividade

A colheita foi realizada de forma manual em uma parcela útil de 10,5 m<sup>2</sup> – 3 fileiras de milho com espaçamento de 0,7 m X 5 m na safra 2013/14 e quatro linhas de cinco metros lineares (9 m<sup>2</sup>) em cada subparcela que compunha cada unidade experimental na safra 2017/2018.

As espigas foram acondicionadas em sacos de rafia devidamente identificados (um para cada subparcela). Posteriormente a isso, retirou-se 10 espigas para avaliação de componentes de rendimento de cada saco, que posteriormente foi somado ao cálculo de produtividade total com o restante das

demais espigas. As espigas foram trilhadas em um batedor e os grãos foram pesados em uma balança semi-analítica. A massa dos grãos foi ajustada para a umidade de 13 % conforme o cálculo a seguir (CROMARTY et al., 1985):

$$Pf = Pi \times (100 - Ui) / (100 - Uf) \quad (11)$$

Onde:

Pf = Peso final (kg);

Pi = Peso inicial (kg);

Ui = Umidade inicial (%);

Uf = Umidade final (13%).

Por fim as amostras experimentais foram extrapoladas para a produção de grãos em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

#### 4.2.5.2 Avaliação dos componentes de rendimento

Para avaliação de componentes de rendimento retirou-se 10 espigas aleatoriamente de cada saco de rafia em cada subparcelas.



**Figura 22** – Avaliação dos componentes de rendimento milho safra 2017/2018, experimento de longa duração em ILP, Abelardo Luz –SC, 2017/18.

Em bancada determinou-se as seguintes variáveis: Número de

fileiras/espiga (NFE); Número de grãos/fileira (NGF); Número de grãos/espiga (NGE); Massa de 1000 grãos (PMG em g).

O número de fileiras/espiga e o número de grãos por fileiras foi avaliado realizando-se a contagem numérica em cada espiga.

O número de grãos/espiga foi determinado multiplicando-se o número de fileiras/espiga pôr o número de grãos/fileira.

A massa de 1000 grãos foi determinada retirando-se amostras em triplicata das 10 espigas que compunham cada subparcela devidamente debulhadas. Posteriormente pesou-se a massa em uma balança semi-analítica e fez-se uma média aritmética das três repetições.

Em cada amostragem foi determinado a umidade para posterior conversão para 13% utilizando-se o medidor digital Gehaka G800.

#### 4.2.6 Análise Estatística dos dados

Os dados foram separados em quatro sistemas de adubação em ILP: 1) Sem nitrogênio na pastagem e sem nitrogênio no milho; 2) com nitrogênio na pastagem e sem nitrogênio no milho; 3) sem nitrogênio na pastagem, com nitrogênio no milho; e, 4) com nitrogênio na pastagem e com nitrogênio no milho.

Em cada uma das quatro situações de adubação estudadas foram testados e atendidos os pressupostos de normalidade e independência dos resíduos e as variáveis foram caracterizadas quanto às estatísticas: média, intervalo de confiança para a média (95%), valor mínimo, valor máximo, coeficiente de variação e desvio padrão.

A seguir foram obtidas as estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson entre os componentes de rendimento: número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE) e peso de mil grãos (PMG, em gramas); e destes com o rendimento de grãos.

Posteriormente, foi feita a verificação da multicolinearidade na matriz de correlações pelo método do número de condição (MONTGOMERY; PECK, 1981), no qual foi excluída a variável número de fileiras por espigas – NFE, por causar multicolinearidade severa com peso de mil grãos – PMG.

Por fim, os coeficientes de correlação linear de Pearson, em cada um

dos sistemas de adubação foram desdobrados em efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas: número de grãos por fileira – NGF, número de grãos por espiga – NGE e peso de mil grãos – PMG, sobre a variável principal rendimento de grãos – REND.

Todas as análises estatísticas foram feitas no aplicativo computacional estatístico GENES (CRUZ, 2013).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Não houve diferença entre os limites superior e inferior dos intervalos de confiança 95% para as médias de rendimento de grãos de milho (REND) entre os sistemas de adubação utilizados (Tabela 10). No entanto, esta foi a variável que apresentou maior variabilidade, dentre todas.

Observa-se que os valores médios de rendimento de grãos são semelhantes nos sistemas em que o nitrogênio não foi aplicado na pastagem, mas foi aplicado no milho (10.176,59 kg ha<sup>-1</sup>) e quando foi aplicado em ambas as fases pastagem e milho (10.062,17 kg ha<sup>-1</sup>).

**Tabela 10** – Média aritmética, Limite superior e inferior do intervalo de confiança da média – 95%, mínimo, máximo, coeficiente de variação – CV e desvio padrão – DP) das variáveis rendimento de grãos (REND, em kg ha<sup>-1</sup>), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE) e peso de mil grãos (PMG, em gramas) na cultura do milho submetida a quatro doses de N (0, 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup>), em dois sistemas de manejo da adubação da cultura de inverno antecessora, pastagem de aveia: sem aplicação de nitrogênio e com aplicação de nitrogênio (200 kg ha<sup>-1</sup>). Abelardo Luz – SC, 2013/2014 e 2017/2018.

<b>SEM nitrogênio na cultura anterior - pastagem= NG COM nitrogênio na cultura anterior - pastagem=NP</b>										
	<b>Sem nitrogênio no milho= Dose 0<sup>1</sup></b>					<b>Sem nitrogênio no milho= Dose 0<sup>1</sup></b>				
<b>Estatística</b>	<b>REND</b>	<b>NFE</b>	<b>NGF</b>	<b>NGE</b>	<b>PMG</b>	<b>REND</b>	<b>NFE</b>	<b>NGF</b>	<b>NGE</b>	<b>PMG</b>
Média	6.784,18	15,57	31,24	482,26	335,00	9.733,42	15,53	33,08	509,11	351,30
IC(95%)-LI	4.203,82	14,53	28,06	437,86	254,01	6.884,95	14,64	29,47	467,53	263,65
IC(95%)-LS	9.029,85	16,47	34,01	520,89	405,49	12.212,42	16,31	36,21	545,29	427,57
Mínimo	2.971,43	13,40	22,00	369,60	209,47	5.142,86	13,60	23,40	393,12	200,41
Máximo	14.886,53	17,20	36,40	598,56	505,00	14.603,12	17,60	38,70	587,60	550,00
CV	55,13	9,67	14,78	13,34	35,04	42,42	8,35	15,78	11,84	36,16
DP	3.740,02	1,51	4,62	64,34	117,40	4.128,61	1,30	5,22	60,26	127,03
	<b>Com nitrogênio no milho= Demais doses<sup>1</sup></b>					<b>Com nitrogênio no milho= Demais doses<sup>1</sup></b>				
Média	10.176,59	16,13	35,63	569,67	378,79	10.062,17	15,87	34,27	538,59	375,73
IC(95%)-LI	8.244,59	15,50	34,59	558,88	321,48	8.613,62	15,37	32,97	524,26	331,06
IC(95%)-LS	11.949,06	16,72	36,58	579,58	431,38	11.409,65	16,33	35,48	551,91	417,28
Mínimo	4.028,57	13,40	31,60	509,80	178,04	3.314,29	13,60	23,40	393,12	200,41
Máximo	17.181,46	18,40	40,50	637,20	570,00	16.669,10	18,40	41,40	625,60	570,00
CV	52,25	10,84	8,00	5,22	41,64	46,39	10,12	12,26	8,57	38,31
DP	5.317,43	1,75	2,85	29,72	157,75	4.667,83	1,61	4,20	46,15	143,93

<sup>1</sup>n= 12; <sup>2</sup>n= 36.

O menor rendimento médio de grãos de milho ocorreu quando não foi aplicado N na pastagem e nem no milho (6.784, 18 kg ha<sup>-1</sup>) e representa uma redução média de 30,30% em relação ao sistema em que o N foi aplicado somente na pastagem, mas não no milho (9.733,42 kg ha<sup>-1</sup>).

Esse resultado mostra que ao deixar de adubar a pastagem o produtor perde 2.949,24 kg ha<sup>-1</sup> de milho, o que significa seguindo a média nacional de

preços em um período de 10 anos (2011 até 2020) segundo o indicador Cepea (R\$ 35,22 saca<sup>-1</sup>) R\$ 1.725,78 a menos por hectare.

No Sul do Brasil, diversos estudos mostram o efeito residual de adubação de pastagens de inverno para a cultura de grãos cultivadas em sequência, sendo possível a omissão de adubação nitrogenada para o milho (ASSMANN et al., 2018).

Sandini et al. (2011), não encontraram aumento no rendimento de grãos de milho (média de 13.000 kg ha<sup>-1</sup>) resultantes da aplicação de N em cobertura, quando este foi cultivado em sequência de uma pastagem de aveia + azevém que havia recebido 225 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Assmann et al. (2003) relataram, rendimento de grãos de milho de 10.000 kg ha<sup>-1</sup> com toda a adubação nitrogenada realizada na fase pastagem (300 kg N ha<sup>-1</sup>), ou seja, sem adubação de base e cobertura no milho. Esses mesmos autores, concluíram que para obter rendimento de grãos semelhantes a 10.000 kg ha<sup>-1</sup> de grão de milho, onde o mesmo foi cultivado em resíduos vegetais de uma pastagem não fertilizada com N, seria necessário realizar uma aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Huf (2018) afirmou que é possível a adubação nitrogenada realizada na fase pastagem em SIPA durante o período de pastejo (inverno) sustentar a produtividade de grãos de milho e feijão nas safras posteriores.

Bortolli (2016) trabalhando com antecipação de nitrogênio na fase pastagem para a cultura do milho observou maiores rendimentos (> 14,7 %) nos tratamentos que o sistema foi adubado na pastagem em relação a adubação feita na lavoura.

Os resultados podem ser explicados, devido ao fato que a dinâmica de nutrientes em SIPA, difere dos sistemas tradicionais de produção (ASSMANN et al., 2018). Os animais atuam agentes catalisadores e dinâmicos no sistema (CARVALHO et al., 2018), sendo capazes de potencializar a ciclagem de nutrientes (N, P e K) (ASSMANN et al., 2017) através da desfolha e distribuição de dejetos (CARVALHO et al., 2018).

Nesse sentido, antes da semeadura do milho, a fase pastagem em SIPA, é capaz de deixar um ambiente agrícola chamado de “memória de pastejo” (MORAES et al., 2018), mais rico em fertilidade através da distribuição de dejetos (ROCHETTE et al., 2014; BÉLANGER et al., 2015), reciclagem de nutrientes



(SEMMARTIN et al., 2008; ASSMANN et al., 2018), aumento de matéria orgânica no solo (SOUZA et al., 2010; BONETTI et al., 2015; SOUZA et al., 2019) e de uma palhada mais facilmente decomponível (BORTOLLI, 2016; CARVALHO et al., 2010) e mais mineralizável (ASSMANN et al., 2017), fazendo com que o milho em sucessão consiga absorver os nutrientes disponibilizados pelo sistema nos seus estádios de definição de componentes de rendimento.

Embora não seja observada diferença significativa entre os ICS<sub>.95%</sub> para a média de rendimento de grãos, considerando os dois sistemas em que não há adubação no milho, a aplicação de nitrogênio na pastagem também favorece o acréscimo nos componentes de rendimento em relação ao cultivo de pastagem sem adubação.

O efeito da adubação nitrogenada na pastagem provoca aumentos significativos de produção de matéria seca e melhoria de qualidade de forragem (ASSMANN et al., 2018), conseqüentemente melhorando os índices zootécnicos (ALVES et al., 2015; CARMONA et al., 2016; SARTOR et al., 2018; BERNARDON et al., 2020) e a produção animal (BELTRAN, 2019).

Sartor et al., (2014) constataram que a aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> resultou em um aumento de 31,13 % (19.834 kg de MS ha<sup>-1</sup>) de papuã (*Urochloa plantaginea*) em relação a pastagem não adubada (13.659 kg de MS ha<sup>-1</sup>).

A variável que apresentou maior variabilidade percentual em torno da média (CV) foi o rendimento de grãos. Os valores foram semelhantes entre os sistemas de adubação estudados, variando de 42,49% a 55,13%. O número de grãos por fileira (NGF), de fileira por espiga (NFE) e de grãos por espiga (NGE) apresentaram variabilidade baixa, variando de 5,22% a 15,78%. Isso é explicado pelo fato de que o NGF e NFE são variáveis definidas logo no início do ciclo da cultura (estágios V3 a V6) e, uma vez determinados, estes não se alteram com as condições ambientais no decorrer do seu ciclo. Já o rendimento de grãos é determinado também pelo peso de mil grãos (SANTOS et al., 2010; SANTOS et al., 2011), o qual é definido no estágio R3 (período de maior ganho de peso nos grãos de milho) (GALVÃO; BORÉM; PIMENTEL, 2015), ou seja, as plantas permanecem maior tempo no campo sob influência de fatores ambientais, os quais provocam incremento de variabilidade nesta variável.

Bortolli, (2016) afirmou que o milho é fortemente afetado pelas condições de temperatura e de umidade durante a fase de enchimento de grãos e

maturação.

As relações lineares entre os componentes de rendimento e o rendimento de grãos são complexas (Tabela 11), uma vez que a maioria (78%; 31 de 40 coeficientes) dos coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis podem ser classificados como fortes (CARVALHO et al., 2004).

**Tabela 11** – Coeficientes de Correlação linear simples de Pearson entre os componentes de rendimento (NFE – número de fileiras por espiga, NGF – número de grãos por fileira, NGE – número de grãos por espiga e PMG - peso de mil grãos) e o rendimento de grãos (RG, em kg ha<sup>-1</sup>) na cultura do milho (n=24 plantas) submetida a quatro doses de N (0, 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup>), em dois sistemas de manejo da adubação da cultura de inverno antecessora, pastagem de aveia: sem aplicação de nitrogênio e com aplicação de nitrogênio (100 kg ha<sup>-1</sup>). Abelardo Luz – SC, 2013/14 e 2017/2018.

SEM aplicação de nitrogênio na cultura antecessora (pastagem)=NG					COM aplicação de nitrogênio na cultura antecessora – (pastagem)=NP						
Sem nitrogênio no milho= Dose 0					Sem nitrogênio no milho= Dose 0						
	REND	NFE	NGF	NGE	PMG		REND	NFE	NGF	NGE	PMG
REND	1.00					REND	1.00				
NFE	-0.71*	1.00				NFE	-0.74*	1.00			
NGF	0.72*	-0.52*	1.00			NGF	0.89*	-0.69*	1.00		
NGE	0.25 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.75*	1.00		NGE	0.67*	-0.22 <sup>ns</sup>	0.86*	1.00	
PMG	0.85*	-0.79*	0.75*	0.24 <sup>ns</sup>	1.00	PMG	0.90*	-0.75*	0.86*	0.62*	1.00
Com nitrogênio no milho= Demais doses					Com nitrogênio no milho= Demais doses						
REND	1.00					REND	1.00				
NFE	-0.95*	1.00				NFE	-0.87*	1.00			
NGF	0.91*	-0.90*	1.00			NGF	0.90*	-0.72*	1.00		
NGE	-0.61*	0.73*	-0.37*	1.00		NGE	0.23 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.56*	1.00	
PMG	0.99*	-0.95*	0.91*	-0.62*	1.00	PMG	0.95*	-0.87*	0.86*	0.19 <sup>ns</sup>	1.00
SEM aplicação de nitrogênio na cultura antecessora (pastagem)=NG					COM aplicação de nitrogênio na cultura antecessora – (pastagem)=NP						
Sem nitrogênio no milho= Dose 0					Sem nitrogênio no milho= Dose 0						
	REND	NFE	NGF	NGE	PMG		REND	NFE	NGF	NGE	PMG
REND	1.00					REND	1.00				
NFE	-0.71*	1.00				NFE	-0.74*	1.00			
NGF	0.72*	-0.52*	1.00			NGF	0.89*	-0.69*	1.00		
NGE	0.25 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.75*	1.00		NGE	0.67*	-0.22 <sup>ns</sup>	0.86*	1.00	
PMG	0.85*	-0.79*	0.75*	0.24 <sup>ns</sup>	1.00	PMG	0.90*	-0.75*	0.86*	0.62*	1.00
Com nitrogênio no milho= Demais doses					Com nitrogênio no milho= Demais doses						
REND	1.00					REND	1.00				
NFE	-0.95*	1.00				NFE	-0.87*	1.00			
NGF	0.91*	-0.90*	1.00			NGF	0.90*	-0.72*	1.00		
NGE	-0.61*	0.73*	-0.37*	1.00		NGE	0.23 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.56*	1.00	
PMG	0.99*	-0.95*	0.91*	-0.62*	1.00	PMG	0.95*	-0.87*	0.86*	0.19 <sup>ns</sup>	1.00

\* Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup> Não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro.

Avaliando os dois sistemas com ausência de N em cobertura no milho, nos quais em um não há aplicação de nitrogênio na cultura antecessora; e, no outro

há aplicação de N na cultura antecessora (aveia preta) verifica-se (Tabela 12) que há incremento nos valores de coeficientes de correlação entre os componentes de rendimento e o rendimento de grãos de milho quando é aplicado nitrogênio na cultura antecessora (pastagem de aveia preta) e em ausência de adubação nitrogenada no milho.

No entanto, observando-se os quatro sistemas estudados, as relações lineares (tanto positivas quanto negativas) dos componentes de rendimento com o rendimento de grãos, se intensificam quando não há aplicação de N na pastagem associada à aplicação de N em cobertura no milho.

Verificou-se que as variáveis explicativas utilizadas explicam conjuntamente de 75,5% a 97,3% da variação no rendimento de grãos por planta (Tabela 13). O menor poder de explicação da análise de trilha é na dose zero (ausência de adubação nitrogenada na pastagem e na cultura de grãos) o que indica que na ausência de nitrogênio em cobertura em plantas de milho, existem outras variáveis que também são responsáveis pelo rendimento de grãos.

Em ausência de adubação nitrogenada na pastagem e na cultura de grãos foi observada a menor relação entre número de grãos por fileira e rendimento ( $r = 0,72$ ), a qual é devida tanto ao efeito direto de número de grãos por fileira (0,610) quanto indireto positivo de peso de mil grãos (0,352) e indireto negativo de número de grãos por espiga (-0,246) sobre o rendimento. Isso mostra claramente que o milho cultivado nas parcelas em que a pastagem foi adubada com N encontram um melhor ambiente em relação ao N, o que conseqüentemente resulta em melhor desempenho dos componentes de rendimento de definição mais precoce.

A falta de nitrogênio no início do ciclo da cultura, causa decréscimo no número de folhas e no número de grãos por espiga, uma vez que, este importante componente de rendimento de grãos é definido entres os estádios V3 e V4 (três e quatro folhas completamente desenvolvidas), o qual ocorre aproximadamente duas semanas após a semeadura da cultura (NEL; SMIT, 1978; HANAWAY, 1982; FANCELLI, 1986).

Por outro lado, quando a pastagem recebeu N no inverno, o principal responsável pela correlação elevada entre rendimento e número de grãos por fileira, em ausência de adubação nitrogenada em cobertura no milho ( $r = 0,89$ ) foi o efeito direto de número de grãos por fileira sobre o rendimento (0,720) e em menor magnitude o efeito indireto positivo de peso de mil grãos (0,345) e negativo de

número de grãos por espiga (-0,171). Ao adicionar N na cultura antecessora os componentes de rendimento (número de grãos por fileira e peso de mil grãos) aumentam sua importância na definição do rendimento de grãos de milho, enquanto reduz-se a magnitude do efeito contrário de número de grãos por espiga.

Em variedades de polinização aberta de milho Balbinot Jr e Fleck (2005), concluíram que o número de grãos por fileira foi a variável mais associada ao rendimento de grãos, uma vez que foi a que apresentou maior coeficiente de correlação (0,586) e efeito direto (0,579) com o rendimento de grãos, seguida da variável massa do grão.

Em genótipos superiores comerciais de milho Guimarães et al. (2019), observaram que o número de grãos por fileira (NGF) que foi o componente de contribuição que apresentou a maior correlação total com a produtividade (0,71). Já Mohammadi et al. (2003), Ribeiro et al., (2014), constataram, que a massa e o número de grãos de milho por espiga (NGE) foram os componentes mais importantes na predição da produtividade de grãos.

Lopes et al. (2007) e Souza et al. (2014) afirmaram que o peso de 1000 grãos (PMG) foi um dos componentes primários que apresentou maior efeito sobre a produtividade de grãos de milho. A divergência entre resultados dos diferentes estudos é decorrente de características morfofisiológicas distintas de diferentes genótipos, e além disso, diferenças edafoclimáticas, a qual tem relação com a produtividade (GUIMARÃES et al., 2019).

Esse resultado evidencia a importância do efeito residual do nitrogênio aplicado na pastagem sobre o desenvolvimento inicial e incremento do rendimento de grãos em milho, uma vez que o número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e número de grãos por espiga são definidos no período que se inicia em V6 (seis folhas completamente expandidas) e até o início do período reprodutivo (R1-embonecamento e polinização) (NEL; SMIT, 1978; HANAWAY, 1982; FANCELLI, 1986). Esses componentes de rendimento são afetados pelo potencial genético da cultura e pelos fatores ambientais (SANGOI et al., 2010, 2011b; RAMBO et al., 2011; FUMAGALLI et al., 2017). Portanto, este período do ciclo é crítico para a definição da produtividade e os produtores devem estar atentos ao manejo adequado de nutrientes (ASSMANN et al., 2018), principalmente o nitrogênio que tem efeito desde o desenvolvimento inicial da planta até atingir demanda máxima no pendoamento.

Acréscimos na disponibilidade de nitrogênio em milho resultaram em

aumento do índice de área foliar durante o ciclo vegetativo da cultura, o qual, por sua vez afetou a interceptação da radiação solar e assimilação de carbono pela cultura proporcionando maior acúmulo de massa seca de parte aérea, maior absorção de N e maior rendimento de grãos de milho (FRANÇA et al., 2011).

Quando o N foi adicionado na pastagem e também em cobertura no milho a magnitude da relação entre número de grãos por fileira e rendimento ( $r=0,90$ ) é muito próxima da situação anterior (pastagem com N e milho sem N). Porém, nessa situação há queda do efeito direto de número de grãos por fileira sobre o rendimento (0,527) e acréscimo do efeito indireto de peso de mil grãos sobre rendimento via número de grãos por fileira (0,457). Isso mostra claramente que a adição de N tanto na pastagem quanto em cobertura no milho beneficia de maneira semelhante tanto o número de grãos por fileira quanto o peso de mil grãos, pois há N disponível em níveis adequados durante todo ciclo da cultura, afetando de forma positiva a produtividade.

Esse resultado corrobora com a afirmação de Assmann et al. (2018), de que a adubação de sistemas considera todas as culturas envolvidas na rotação (pastagens e lavouras) fazendo com que haja um esquema de transferência de fertilização entre os cultivos, sendo que nesse caso, a pastagem “fertilizou” de forma antecipada a cultura do milho.

Apesar da semelhança de comportamento entre os sistemas quanto à definição de rendimento de grãos há que se considerar que nos dois sistemas em que há a aplicação de nitrogênio na pastagem (sistema com N na pastagem + dose zero no milho em cobertura; e, sistema com N na pastagem + aplicação de N no milho em cobertura) ocorre o favorecimento no crescimento inicial e desenvolvimento da cultura de milho devido à presença de N remanescente no solo (ASSMANN et al., 2017), nutrientes prontamente disponíveis para absorção nas fases iniciais do milho (CARVALHO et al., 2018), resiliência química (BERTOLAZI et al., 2017), dinâmica de nutrientes (ASSMANN et al., 2018), maior eficiência de uso dos nutrientes (MARTINS et al., 2014; MACCARI, 2016; BERNARDON et al., 2020) e melhor liberação de nutrientes mineralizados pelos restos culturais (BORTOLLI, 2016, ASSMANN et al., 2017).

Com as plantas bem estruturadas (durante os estádios de desenvolvimentos vegetativos) as mesmas definirão os componentes Número de Grãos por Espiga (NGE) = (Número de Grãos por Fileira NGF x Número de Fileiras

por Espiga NFE) e Peso de Mil Grãos (PMG), de forma mais produtiva, aumentando assim o rendimento final de grãos.

Em pastagem não adubada com N e milho com adubação nitrogenada em cobertura a elevada correlação entre número de grãos por fileira e rendimento ( $r=0,91$ ) é explicada, principalmente, pelo efeito indireto de número de grãos por fileira sobre o rendimento (0,770) via peso de mil grãos e um efeito menor direto (0,125), confirmando mais uma vez que quando o milho só recebe N em cobertura (sem efeito residual da pastagem) os acréscimos no rendimento de grãos da cultura são devidos ao peso de mil grãos (Tabela 12).

**Tabela 12** – Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis NGF (número de grãos por fileira), NGE (número de grãos por espiga) e PMG (peso de mil grãos) sobre o RG na cultura do milho, submetido a quatro doses de N (0, 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup>), em dois sistemas de manejo da adubação da cultura de inverno antecedente, pastagem de aveia: sem aplicação de nitrogênio e com aplicação de nitrogênio (100 kg ha<sup>-1</sup>). Abelardo Luz – SC, 2013/2014 e 2017/2018.

Variável	SEM nitrogênio na cultura antecedente (pastagem)=NG		COM nitrogênio na cultura antecedente (pastagem)=NP	
	Sem nitrogênio no milho= Dose 0	Com nitrogênio no milho= Demais doses	Sem nitrogênio no milho=Dose 0	Com nitrogênio no milho=Demais doses
<b>NGF</b>	<b>Estimativa dos coeficientes de trilha</b>			
Efeito direto sobre REND	0.610	0.125	0.720	0.527
Efeito indireto via NGE	-0.246	0.013	-0.171	-0.089
Efeito indireto via PMG	0.352	0.770	0.345	0.457
<b>r</b>	<b>0.72*</b>	<b>0.91*</b>	<b>0.89*</b>	<b>0.90*</b>
<b>NGE</b>				
Efeito direto sobre REND	-0.327	-0.035	-0.199	-0.160
Efeito indireto via NGF	0.459	-0.046	0.619	0.294
Efeito indireto via PMG	0.114	-0.527	0.246	0.099
<b>r</b>	<b>0.25<sup>ns</sup></b>	<b>-0.61*</b>	<b>0.67*</b>	<b>0.23<sup>ns</sup></b>
<b>PMG</b>				
Efeito direto sobre REND	0.470	0.850	0.400	0.530
Efeito indireto via NGF	0.458	0.113	0.621	0.455
Efeito indireto via NGE	-0.079	0.021	-0.123	-0.030
<b>r</b>	<b>0.85*</b>	<b>0.99*</b>	<b>0.90*</b>	<b>0.96*</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.755</b>	<b>0.973</b>	<b>0.870</b>	<b>0.940</b>
<b>Efeito da variável residual</b>	<b>0.495</b>	<b>0.165</b>	<b>0.361</b>	<b>0.244</b>

\* Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup> Não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro.

A variável número de grãos por espiga apresenta coeficiente de correlação não significativo e de baixa magnitude com o rendimento ( $r= 0,25$ , em ausência de N na pastagem e no milho; e,  $0,23$  em presença de N na pastagem e no milho).

Por outro lado, em ausência de N na pastagem e presença de N no milho o número de grãos por espiga possui correlação forte negativa com o rendimento ( $r= -0,61$ ), a qual é explicada, principalmente, pelo efeito indireto negativo de peso de mil grãos ( $-0,527$ ) e de NGF ( $-0,046$ ), ou seja, plantas com maior número de grãos por espiga possuem menor peso de mil grãos e resultam em menor rendimento.

Quando houve aplicação de N na pastagem, mas não em cobertura no milho o número de grãos por espiga possui relação linear forte e positiva com o rendimento ( $0,67$ ), a qual se deve ao efeito indireto via número e grãos por fileira ( $0,619$ ) e via peso de mil grãos ( $0,246$ ). Nessa situação, o efeito direto do número de grãos por espiga sobre o rendimento é negativo ( $-0,199$ ). Isso se deve ao fato de que o N residual da pastagem supre as necessidades de N do milho no início do ciclo e provoca incremento em número de grãos por fileira e também em peso de mil grãos.

A variável explicativa que tem maior contribuição para o rendimento é o peso de mil grãos, independente do sistema de adubação utilizada, pois apresenta valores de coeficientes de correlação mais elevados e também os maiores efeitos diretos com o rendimento, variando de  $0,85$  a  $0,99$ .

Em ausência de adubação nitrogenada na pastagem e na cultura do milho, a relação entre peso de mil grãos e rendimento ( $r= 0,85$ ) se deve tanto ao seu efeito direto ( $0,470$ ) sobre rendimento, quanto ao efeito indireto via número de grãos por fileira ( $0,458$ ). Esse mesmo comportamento foi observado quando não foi aplicado N na pastagem, mas foi aplicado em cobertura no milho. Nessa situação, o coeficiente de correlação foi fortíssimo positivo ( $r= 0,99$ ), sendo a causa dessa correlação o efeito direto positivo de peso de mil grãos sobre rendimento ( $0,850$ ) e indireto positivo via número de grãos por fileira. Esse resultado evidencia que a magnitude das relações lineares entre peso de mil grãos e rendimento e também seu efeito direto é reduzido pela ausência de N na cultura antecessora, indicando que também o peso de mil grãos diminui sua importância na definição do rendimento quando falta N nos estágios iniciais e no restante do ciclo da cultura do milho. Por

outro lado, quando o N não foi aplicado na pastagem, mas foi aplicado no milho, este componente de rendimento (peso de mil sementes) não foi afetado de forma significativa pela ausência de N na cultura antecessora, uma vez que o mesmo é definido no estágio R3 (GALVÃO; BORÉM; PIMENTEL, 2015).

No sistema em que se aplicou N na pastagem, mas não se aplicou em cobertura no milho, verifica-se que são, principalmente o efeito indireto positivo de peso de mil grãos via número de grãos por fileira (0,621) e o efeito direto positivo de peso de mil grãos sobre rendimento (0,400) e indireto negativo via número de grãos por espiga (-0,123) que explicam a elevada correlação entre peso de mil grãos e rendimento ( $r= 0,90$ ).

Ainda com aplicação de N na pastagem e em cobertura no milho o coeficiente de correlação entre rendimento e peso de mil grãos é fortíssimo e positivo ( $r= 0,96$ ). No entanto, nessa situação esta relação se deve, principalmente ao efeito direto de peso de mil grãos (0,530) sobre o rendimento, embora o efeito indireto via número de grãos por fileira também contribua de maneira significativa (0,455).

Nos dois sistemas que foi aplicado N na pastagem verifica-se que o número de grãos por fileira e o peso de mil grãos são beneficiados, embora na primeira situação (sem N em cobertura no milho) confirma-se maior peso da variável número de grãos por fileira, enquanto que, na situação em que também foi aplicado N em cobertura no milho o peso de mil grãos tem maior peso na determinação do rendimento de grãos de milho.

Portanto, visando incrementar tanto o número de grãos por fileira quanto o peso de mil grãos, principais responsáveis pelo rendimento de grãos da cultura do milho e também como forma de viabilizar a lucratividade da lavoura em sistema de integração lavoura pecuária recomenda-se ao produtor adotar o sistema com adubação nitrogenada na pastagem.

O produtor que optar por não adubar a pastagem e adubar somente o milho em cobertura deve estar atento a probabilidade de ocorrência de secas no período de definição do peso de mil grãos, uma vez que este é o principal responsável pelo rendimento quando não há N residual no solo no início do ciclo da cultura.



#### 4.4 CONCLUSÕES

As relações entre os componentes de rendimento e o rendimento de grãos em milho cultivado em sistema de integração lavoura pecuária são dependentes do sistema de adubação utilizado.

A variável explicativa que tem maior contribuição para o rendimento é o peso de mil grãos, independente do sistema de adubação utilizado.

Somente a adubação nitrogenada de cobertura realizada durante o período de pastejo é capaz de sustentar a produção de milho na fase sucessora em SIPA.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa tese fez parte de um projeto do grupo de pesquisa Interação Solo-Planta-Animal (GISPA) sediado na UTFPR Campus Pato Branco – PR sob a orientação dos professores Dr. André Brugnara Soares e Dra. Tangriani Simioni Assmann em conjunto com seus orientados de pós-graduação *stricto sensu* nível mestrado e doutorado. O experimento iniciou em 2012 e finalizou em 2018, com rotações entre pastagens (aveia, azevém e sorgo) e culturas agrícolas (milho, soja e feijão). Durante o período experimental foram produzidas 10 teses de doutorado e das 6 dissertações de mestrado.

Nesses seis anos de experimentação várias variáveis respostas foram estudadas, tais como: estado nutricional de plantas, qualidade física, química e biológica do solo, produtividade de grãos, produção animal, quantidade e qualidade de palhada, plantabilidade das lavouras, mobilização de solo, espessura de gordura de carcaça bovina, produção de forragem, decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos vegetais, macrofauna do solo, volatilização de amônia, produção e qualidade nutricional de silagem de milho, etc.

Está tese estudou o período experimental compreendido nos períodos:

- Verão de 2013/14;
- Inverno de 2017;
- Verão safra 2017/18.

Este trabalho teve por objetivo verificar o efeito da adubação de sistemas e o manejo da pastagem sobre comportamento de nutrientes no solo, a nutrição e a produção das plantas (pastagem e lavoura) cultivadas no sistema de rotação.

Desse modo, é visto diversos efeitos e interações do cultivo antecessor sobre a cultura em foco e suas inter-relações no sistema solo-planta-animal-atmosfera, especificamente em relação ao comportamento dos nutrientes do solo. É nítido que o efeito residual do nitrogênio provindo da pastagem sobre a cultura sucessora (lavoura), proporcionam em conjunto um ambiente de maior nutrição para as plantas e microrganismos no solo, potencializando a produção da lavoura em sucessão. Também observa-se que o efeito residual da lavoura sobre a pastagem não tem a mesma proporção.

Os sistemas integrados de produção agropecuária de longa duração

promovem o aporte de resíduos vegetais e plantas vegetando durante todo o ano. Com o uso da adubação de sistemas e a presença constante dos animais favorecem a entrada de carbono e de N e contribuem para maior atividade biológica, potencializando a ciclagem dos nutrientes e reduzindo potenciais perdas.

Experimentos de longa duração e com animais em pastejo são fundamentais para um melhor entendimento da ciclagem de nutrientes e dos benefícios que a presença do animal pode acarretar no sistema integrado de produção agropecuária, dependendo do manejo correto das fases pastagem e lavoura.

Após todo o período experimental (6 anos) percebe-se como o sistema evoluiu em termos de produtividade dos componentes e fertilidade do solo. Dessa maneira, essa complexidade e diversidade dos sistemas integrados de produção, proporcionaram efeitos sinérgicos que foram convertidos em produtividade.

A relação solo-planta-animal-atmosfera proporciona propriedades emergentes que não são vistas quando se maneja as culturas de forma isolada. Dessa maneira a soma entre a utilização de sistemas integrados de produção, sendo o animal o catalisador do sistema, mais, a técnica de adubação de sistemas tornam o ambiente produtivo com maior reação a adversidades, melhores resposta a utilização de insumos, aumento de produção (ambas as fases pastagem e lavoura), melhoria da qualidade de resíduos vegetais (palhada) e independência externa em outras palavras: sustentável.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; BELL, C. W.; MORRIS, B. E. L.; ZAK, J.; ALLEN, V. G. Long-term soil microbial community and enzyme activity responses to an integrated cropping-livestock system in a semi-arid region. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 137, n. 3-4, p. 231-240, 2010. a

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; DOWD, S. E.; SUN, Y.; WESTER, D.; ALLEN, V. Pyrosequencing analysis for characterization of soil bacterial populations as affected by an integrated livestock-cotton production system. **Applied Soil Ecology**, v. 45, n. 1, p. 13-25, 2010. b

AIOLFI, R. B. **Intensidade de pastejo e épocas de adubação nitrogenada em sistemas integrados de produção agropecuária**. 2018. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

ALLEN, V. G.; BATELLO, C.; BERRETTA, E. J.; HODGSON, J.; KOTHMANN, M.; LI, X.; MCLVOR, J.; MILNE, J.; MORRIS, C.; PEETERS, A.; SANDERSON, M. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**. v. 66, n. 1, p. 2, 2011.

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

ALVES, L. A.; OLIVEIRA DENARDIN, L. G.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DE FACCI CARVALHO, P. C.; TIECHER, T. Soil acidification and P, K, Ca and Mg budget as affected by sheep grazing and crop rotation in a long-term integrated crop-livestock system in southern Brazil. **Geoderma**, v. 351, p. 197-208, 2019.

ALVES, R. C.; BREMM, C.; NUNES, C. L. R.; BARRO, R. S.; NETO, A. B.; SCHONS, R. M. T.; CAETANO, L. A. M.; CARVALHO, P. C. de F. Suprimento de nitrogênio para culturas de verão pela aplicação antecipada em azevém pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.1406-1415, 2015.

ANDREOLLA, V. R. M. **Integração lavoura-pecuária: atributos físicos do solo e produtividade das culturas do feijão e milho**. 2010. 139f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.8, p.325-380, 2013.

ARAUJO-JUNIOR, C. F.; BONETTI, J. A. **Atributos físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária (Cap. 6)**. In: SOUZA, E. D. (Eds.). *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 91-106, 2018.

ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G. Nitrogen and phosphorus harvest indices of common bean N fertilization cultivars: Implications for yield quantity and quality. **Plant Soil**, 257:425-433, 2003.

ASSMANN, T. S.; MARTINICHEN, D.; LIMA, R. C.; LEVINSKI-HUF, F.; ZORTÉA, T.; ASSMANN, A.; MORAES, A.; ALVES, S. **Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária (Cap. 8)**. In: SOUZA, E. D. (Eds.). *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 123-144, 2018.

ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. de; NICHEL, G. de H.; COSTA, S. E. V. G de A.; SILVA, R. A. P E; BALERINI, F.; CARVALHO, P. C. de F.; FRANZLUEBBERS, A. J. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 2017. DOI: 10.1007/s10705-016-9818-6

ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A.; KUNRATH, T. R.; BAYER, C.; CARVALHO, P. C. F.; FRANZLUEBBERS, A. J. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybeanbeef cattle production system under different grazing intensities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 50(10), p. 967-978, 2015.

ASSMANN, T. S.; de BORTOLLI, M. A.; ASSMANN, A. L.; SOARES, A. B.; PITTA, C. S. R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; ASSMANN, J. M. Does cattle grazing of dual-purpose wheat accelerate the rate of stubble decomposition and nutrients released? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 37–42, jun. 2014.

ASSMANN, T. S.; RONZELLI, P. J.; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura – pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.675-683, 2003.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; VEIGA, M. D.; VOGT, G. A.; SPAGNOLLO, E. Atributos de solo e produtividade de feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno, no quinto ano de experimentação. **Ciência Rural**, v. 42, n. 3, p. 401-406, 2012.

BALBINOT JUNIOR, Antonio; MORAES, Aníbal de; PELISSARI, Adelino; VEIGA, Milton da; DIECKOW, Jeferson. Estratégias de uso do solo no inverno e seu efeito no milho cultivado em sucessão. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 1-4, p. 94–107, 2011.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Competitividade de dois genótipos de milho (*Zea mays*) com plantas daninhas sob diferentes espaçamentos entre fileiras. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 415-421, 2005.

BARILLI, Diandro Ricardo et al. 11724-Eficiência na inoculação do milho com *Azospirillum brasiliense* em diferentes períodos antes da semeadura. **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n. 2, 2011.

BARRIGA, P. A. B. **Produção de novilhos em pastagem de inverno com diferentes intensidades de pastejo e adubação nitrogenada em integração lavoura-pecuária**. 2019. 182 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

BATISTA, E. R.; ZANCHI, C. S.; FERREIRA, D. A.; SANTIAGO, F. L. A.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. V.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. **Atributos biológicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária (Cap. 5)**. In: SOUZA, E. D. (Eds.). *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 71-90, 2018.

BERNARDON, A.; SOARES, A. B.; ELEJALDE, D. A. G.; ASSMANN, T. S.; ZATTA, A. C.; CANDIOTTO, L. Does the residual effect of n-fertilization applied on corn phase maintain forage production of the following pasture phase in an integrated crop-livestock system?. **Bioscience Journal**, v. 36, 2020.

BERNARDON, A.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; FRANZLUEBBERS, A.; MACCARI, M.; BORTOLLI, M. A. Carryover of N-fertilization from corn to pasture in an integrated crop-livestock system. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1-16, 2020.

BERNARDON, A. **Altura do pasto e adubação nitrogenada sobre a produção de forragem e eficiência no uso de nutrientes em sistema de integração lavoura – pecuária**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

BÉLANGER, G.; ZIADI, N.; PAGEAU, D.; GRANT, C. A.; LAFOND, J.; NYIRANEZA, J. Shoot growth, phosphorus–nitrogen relationships, and yield of canola in response to mineral phosphorus fertilization. **Agronomy Journal**, v.107, p.1458–1464, 2015.

BÉLANGER, G.; WALSH, J. R.; RICHARDS, J. E.; MILBURN, P. H.; ZIADI, N. Predicting nitrogen fertilizer requirements of potatoes in Atlantic Canada with soil nitrate determinations. **Canadian Journal Soil Science**, v.81, p.535–544, 2001.

BÉLANGER, G.; RICHARDS, J. E. Relationship between P and N concentrations in timothy. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 79, n. 1, p. 65-70, 1999.

BOKERT, C. M.; YORINONI, J. T.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; SFREDO, G. J. Seja o doutor de sua soja. **Arquivo do Agrônomo**, Brasil, v. 66, n. 1, p.1-17, 1994.

BONAUDO, T.; BENDAHAN, A. B.; SABATIER, R.; RYSCHAWY, J.; BELLON, S.; LEGER, F.; MAGDA, D.; TICHIT, M. Agriecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 43-51, 2014.

BONETTI, J. D. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G. N. D. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.

BORTOLAZI, V. T.; INDA, A. V.; CANER, L.; MARTINS, A. P.; VAZ, M. A. B.; BONNET, M.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Impact of an integrated no-till soybean-beef cattle production system on Oxisol mineralogy in southern Brazil. **Applied Clay Science**, v. 149, p. 67-74, 2017.

BORTOLLI, de. M. A. **Adubação de sistemas: antecipação de adubação nitrogenada para a cultura do milho em integração lavoura – pecuária**. 2016. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

BRIAT, J. F.; GOJON, A.; PLASSARD, C.; ROUACHED, H.; LEMAIRE, G. Reappraisal of the central role of soil nutrient availability in nutrient management in light of recent advances in plant nutrition at crop and molecular levels. **European Journal of Agronomy**, v. 116, p. 126-169, 2020.

CADOT, S.; BÉLANGER, G.; ZIADI, N.; MOREL, C.; SINAJ, S. Critical plant and soil phosphorus for wheat, maize, and rapeseed after 44 years of P fertilization. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 112, n. 3, p. 417-433, 2018.

CALOIN, M.; YU, O. Analysis of the time course of change in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. **Annals of Botany**, v. 54, n. 1, p. 69-76, 1984.

CAMPBELL, A. G. Grazed pastures parameters; I. Pasture dry matter production and availability in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. **Journal Agriculture Science**. v. 67, p. 211-216, 1966.

CARMONA, F. D. C.; ANGHINONI, I.; MEZZARI, C. P.; MARTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. F. Effectiveness of current fertilizer recommendations for irrigated rice in integrated crop-livestock systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

CARVALHO, P. C. F.; NUNES, P. A. A.; ANGHINONI, I. **O processo de pastejo como gerador de propriedades emergentes em sistemas integrados de produção agropecuária (Cap. 3)**. In: SOUZA, E. D. (Eds.). *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 39-44, 2018.

CARVALHO, A. F. G. **Adubação nitrogenada de sistema e ofertas de forragem sobre a produtividade de um sistema de integração lavoura-pecuária**. 2018. 194 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

CARVALHO, P. C.; MORAES, A.; PONTES, L. S.; ANGHINONI, I.; SULC, R. M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**. v. 45, n. 5, p. 1040-1046, 2014.

CARVALHO, P. C.; SANTOS, D. T.; GONÇALVES, D. N.; MORAES, A.; NABINGER, C. **FORAGEIRAS DE CLIMA TEMPERADO**. Departamento de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, v. 2, p. 60, 2010.

CARVALHO, M. D.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p. 1141-1148, 2004.



CASSOL, L. C. **Relações solo – planta – animal num sistema de integração lavoura – pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 143 f. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CHAGAS, E.; ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G.; GUERRA, J. G. M. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Embrapa Agrobiologia-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.

COELHO, A. M. (2006) Nutrição e adubação do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo (**Circular Técnica, 78**). 2006.

COLNENNE, C.; MEYNARD, J. M.; REAU, R.; JUSTES, E.; MERRIEN, A. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. **Ann Botanic**. v.81, p.311–317, 1998.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de FACCIO.; LEVIEN, R.; WESP, C. de L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura – pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.b 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011.

CROMARTY, A. S.; ELLI S, R. H.; ROBERTS, E. H. Design of seed storage facilities for genetic conservation. Rome: **Internacional Board of Plant Genetic Resources**, 1985. 100p.

CQFS. Comissão de química e fertilidade do solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: [s.n.], 394 p., 2004.

CQFS. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 376 p., 2016.

CRUZ, C.D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DAS, A. K.; SINGH, V. Antioxidative free and bound phenolic constituents in botanical fractions of Indian specialty maize (*Zea mays* L.) genotypes. **Food chemistry**, v. 201, p. 298-306, 2016.

DEBAEKE, P.; VAN OOSTEROM, E. J.; JUSTES, E.; CHAMPOLOVIER, L.; MERRIEN, A.; AGUIZZERABAL, L. A. N.; GONZALEZ-DUGO, V.; MASSIGNAM, A.

M.; MONTEMORRO, F. A species-specific critical nitrogen dilution curve for sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Field Crop Research**. v.136, p.26–34, 2012.

DEISS, L.; KLEINA, G. B.; MORAES, A.; FRANZLUEBBERS, A. J.; MOTTA, A. C. V.; DIECKOW, J.; SANDINI, I. E.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Soil chemical properties under no-tillage as affected by agricultural trophic complexity. **European Journal of Soil Science**, v. 71, n. 6, p. 1090-1105, 2019.

DEISS, L.; MORAES, A. de; DIECKOW, J.; FRANZLUEBBERS, A. J.; COLPO, L.; CARVALHO, P. C. F. Soil phosphorus compounds in integrated crop-livestock systems of subtropical Brazil. **Geoderma**, v. 274, p. 88–96, 2016. DOI: 10.2136/sssaj2016.10.0326

DEVIENNE-BARRET, F.; JUSTES, E.; MACHET, J. M.; MARY, B. Integrated control of nitrate uptake by crop growth rate and soil nitrate availability under field conditions. **Annals of Botany**, v. 86, n. 5, p. 995-1005, 2000.

DUBEUX JR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E.; INTERRANTE, S. M.; VENDRAMINI, J. M. B.; STEWART JR, R. L. Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. **Crop Science**, v. 46, n. 3, p. 1305-1310, 2006.

DUTTA, R. K.; AGRAWAL, M. Litterfall, litter decomposition and nutrient release in five exotic plant species planted on coal mine spoils. **Pedobiologia**, v. 45, n. 4, p. 298-312, 2001.

DURU, M.; THÉLIER-HUCHÉ, L. N and P-K status of herbage: use for diagnosis of grasslands. In: **Colloque**. INRA, Paris, pp 125-138, 1997.

DURU, M.; DUCROCQ, H. A nitrogen and phosphorus herbage nutrient index as a tool for assessing the effect of N and P supply on the dry matter yield of permanent pastures. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 47, n. 1, p. 59-69, 1996.

DURU, M.; SOS, L.; VIARD, R. Diagnostic de la nutrition minérale de prairies permanentes au printemps. I. Etablissement de références. **Agronomie**, v. 12, n. 3, p. 219-233, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 306 p., 2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivo do Milho. **Embrapa Milho e Sorgo**, sistemas de produção, 2012.

FANCELLI, A. L. **Plantas alimentícias**: guia para aula, estudos e discussão. Piracicaba: ESALQ, 131 p, 1986.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016, **FAOSTAT Database**, FAO. ([www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat)), 2016.

FAO. An international consultation on integrated croplivestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. **Integrated Crop Management**, v. 13, 64p., 2010.

FERREIRA, E. V. D. O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. D. F.; COSTA, S. E. V. G. D. A.; CAO, E. G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidade de pastejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, p. 1675-1684, 2009.

FOGAÇA, M. A. D. F.; ANDRIOLO, J. L.; GODOI, R. D. S.; BARROS, C. A. P. D.; JANISCH, D. I.; VAZ, M. A. B. Curva crítica de diluição do nitrogênio para a cultura do melão. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 345-350, 2008.

FRANÇA, S.; MIELNICZUK, J.; ROSA, L. M. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. Nitrogênio disponível ao milho: Crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. Vol. 15, n. 11 (nov. 2011), p. 1143-1151, 2011.

FRANZLUEBBERS, A. J.; LEMAIRE, G.; CARVALHO, P. C. F.; SULC, R. M.; DEDIEU, B. Toward agricultural sustainability through integrated crop-livestock systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 29, p. 192 – 194, 2014.

FUMAGALLI, M., FIORINI, I. V. A., MACHADO, R. A. F., PEREIRA, H. D., PEREIRA, C. S., PIRES, L. P. M., & RESENDE, F. R. Desempenho produtivo do milho híbrido simples em função de espaçamentos entre fileiras e populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 426-439, 2017.

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita. Viçosa**: Ed. UFV, 2015.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DURAND, J-L.; LOUARN, G. Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. In: Sadras VO, Calderini DF (eds) *Crop Physiology, application for genetic improvement and agronomy*. **Academic Press**, Oxford, p. 161–206, 2014.

GASTAL, f.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of experimental botany**, v. 53, p. 789-799, 2002.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G. D.; ASSIS, R. L. D.; PIRES, F. R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.

GREENWOOD, D.J., LEMAIRE, G., GOSSE, G., CRUZ, P., DRAYCOTT, A., NEETESON, J.J., Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. **Ann. Bot.**, v. 66, p. 425–436, 1990.

GUIMARÃES, A. G.; OLIVEIRA, J. R.; SARAIVA, E. A.; SILVA, A. J. M.; MACEDO, L. A.; COSTA, R. A.; GUIMARÃES, M. R. D. C. Seleção de genótipos superiores de milho para cultivo no município Couto de Magalhães de Minas-MG. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 9, n. 2, p. 110-119, 2019.

GUNTIÑAS, M. E.; LEIRÓS, M. C.; TRASAR-CEPEDA, C.; GIL-SOTRES, F. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: a laboratory study. **European Journal Soil Biology**. v. 48, p. 73-80, 2012.

HANAWAY JR, William L. Anãhitã and Alexander. **Journal of the American Oriental Society**, p. 285-295, 1982.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: Marschner P (ed) Marschner's mineral nutrition of higher plants, 2 ed. **Elsevier**, New York, p. 135–189, 2012.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in agronomy**, v. 49, p. 119-199, 1993.

HERRMANN, A.; TAUBE, F. The range of the critical nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays* L.) can be extended until silage maturity. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 4, p. 1131-1138, 2004.

HODGSON, J.; JAMIESON, W. S. Variations in herbage mass and digestibility, and the grazing behaviour and herbage intake of adult cattle and weaned calves. **Grass and Forage Science**, v.36, n.1, p.39-48, 1981.

HOLLAND, E. A.; DETLING, J. K. Plant response to herbivory and belowground nitrogen cycling. **Ecology**, v. 71, n. 3, p. 1040-1049, 1990.

HOOGMOED, M.; NEUHAUS, A.; NOACK, S.; SADRAS, V. O. Benchmarking wheat yield against crop nitrogen status. **Field Crops Research**. v. 222, p.153– 163, 2018.

HUF, F. L. **Adubação de sistemas e comportamento dos nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2018. 193 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

INGESTAD, T.; ÅGREN, G.I. Theories and methods on plant nutrition and growth. **Physiologia Plantarum**, v.84, p.177-184, 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - **INMET**. 2018. Dados históricos. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>.

JUSTES, E.; JEUFFROY, M. H.; MARY, B. The nitrogen requirement of major agricultural crops. Wheat, barley and durum wheat. In: Lemaire G, Gastal F (eds) *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. **Springer**, New York, p. 73–89, 1997.

KUNRATH, T. R.; ALBUQUERQUE NUNES, P. A.; SOUZA FILHO, W.; CADENAZZI, M.; BREMM, C.; MARTINS, A. P.; FACCIO CARVALHO, P. C. Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. **Agricultural Systems**, v. 177, p. 102716, 2020.

KUNRATH, T. R.; CADENAZZI, M.; BRAMBILLA, D. M.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; BARRO, R. S.; FACCIO CARVALHO, P. C. Management targets for continuously stocked mixed oat × annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop–livestock system. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 57, p. 71– 76, 2014.

LAL, R. Soils and food sufficiency. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, p. 113-133, 2009.

LANG, C. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; SULC, R. M.; CARVALHO, P. C. de F.; LOPES, PEREIRA, E. C. Integração lavoura-pecuária: eficiência de uso do nitrogênio na cultura do milho. **Scientia Agraria**. Curitiba, v. 12, p. 53–60, 2011.

LEMAIRE, G.; SINCLAIR, T.; SADRAS, V.; BÉLANGER, G. Allometric approach to crop nutrition and implications for crop diagnosis and phenotyping. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 39, n. 2, p. 1-17, 2019.

LEMAIRE, G. Crop response to N deficiency. **Encyclopedia of Sustainability Science and Technology**, Springer Science, Business Media, New York, 2015.

LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M. H.; GASTAL, F. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. **European Journal of agronomy**, v. 28, n. 4, p. 614-624, 2008.

LEMAIRE, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer, 1997. 56 p.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997. p. 3-43.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélevement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. 1. Etude de l'effet du milieu. **Agronomie**, v.4, p.241-249, 1984.

LIMA, R. C. de. **Adubação de sistemas: volatilização de amônia em área de integração lavoura-pecuária em experimento de longa duração**. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2018.

LOPES, S. J.; STORCK, L.; PERIN DAMO, H.; BRUM, B.; DOS SANTOS, V. J. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p.1536-1542, 2007.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p.175-187, 2004.

MA, B. L.; ZHENG, Z. M.; MORRISON, M. J.; GREGORICH, E. G. Nitrogen and phosphorus nutrition and stoichiometry in the response of maize to various N rates under different rotation systems. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 104, n. 1, p. 93-105, 2016.

MACCARI, M. **A altura de dossel e a adubação nitrogenada da pastagem podem afetar a nutrição nitrogenada do milho, num sistema de integração lavoura pecuária?** 2016. 119p. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco – PR, 2016.

MANTAI, R. D.; DA SILVA, J. A.; SAUSEN, A. T.; COSTA, J. S.; FERNANDES, S. B.; UBESSI, C. A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 343-349, 2015.

MARTINS, A. P.; ANDRADE COSTA; S. E. V.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T. R.; BALERINI, F.; CECAGNO, D.; CARVALHO, P. C. D. F. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop–livestock system under different

grazing intensities. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 195, p. 18-28, 2014.

MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; ANDRADE COSTA, S. E. V.; CARLOS, F. S.; HOLANDA NICHEL, G.; SILVA, R. A. P.; CARVALHO, P. C. F. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. **Soil and Tillage Research**, v. 144, p. 141-149, 2014.

MENEZES, L. F. G., RONSANI, R., PAVINATO, P. S., BIESEK, R. R., da SILVA, C. E. K., MARTINELLO, C., da SILVEIRA, M. F. Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 1353-1361, 2013.

MOHAMMADI, S.A.; PRASANNA, B.M.; SINGH, N.N. Sequential path model for determining interrelationship among grain yield related characters in maize. **Crop Science**, v.43, n.5, p.690-1697, 2003.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York : J. Wiley, 1981. 504p.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In.: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952. **Proceedings...** Pensylvania: State College Press, p. 1380-1395, 1952.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; PELISSARI, A.; ANGHINONI, I.; LUTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; ASSMANN, T. S.; DEISS, L.; NUNES, P. A. A. **Sistemas integrados de produção agropecuária: Conceitos básicos e histórico no Brasil (Cap. 1)**. In: SOUZA, E. D. (Eds.). **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 13-28, 2018.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; BALBINO, L.; SOUZA, E. D. Sistemas de integração lavoura-pecuária. In: REIS, R.A. et al., **Eds. Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**. 1.ed. Jaboticabal, Gráfica Multipress, p.203-218, 2014.

NEUHAUS, A.; SADRAS, V. O. Relationship between rainfall-adjusted nitrogen nutrition index and yield of wheat in Western Australia. **Journal Plant Nutrition (in press)**. v. 41, p.2637–2643, 2018.

NEL, P. C.; SMIT, N. S. H. Growth and development stages in the growing maize plant. **Farming in South Africa**, p.1-7, 1978.

NICOLOSO, R. da. S, LANZANOVA, M. E.; LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura – pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.36, n.6, p. 1799-1805, 2006.

OLIVEIRA, T. E.; FREITAS, D. S.; GIANEZINI, M.; RUVIARO, C. F.; ZAGO, D.; MÉRCIO, T. Z.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. N.; BARCELLOS, J. O. J. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa biome: the reduction of natural grassland. **Land use Policy**, v. 63, p. 394-400, 2017.

OLIVEIRA, J. R. **Solo Planta Animal**. Centro Mesorregional de Excelência em Tecnologia do Leite – Sudoeste do Paraná. 2011. Disponível em: <https://cmetlsudoeste.wordpress.com/2014/07/21/interacoes-solo-planta-animal/solo-planta-animal-oliveira-j-r-2011/>

OLIVEIRA, P. P. A.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, W. S. Eficiência de fertilização nitrogenada com uréia (15N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 613-620, 2003.

PAN, J.; MENG, Q.; CHEN, R.; CUI, Z.; CHEN, X. In-season nitrogen management to increase grain yields in maize production. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 5, p. 2063-2071, 2017.

PAULA, F. S.; RODRIGUES, J. L.; ZHOU, J.; WU, L.; MUELLER, R. C.; MIRZA, B. S.; PELLIZARI, V. H. Land use change alters functional gene diversity, composition and abundance in Amazon forest soil microbial communities. **Molecular ecology**, v. 23, n. 12, p. 2988-2999, 2014.

PEREIRA, L. D. M.; PEREIRA, E. D. M.; REVOLTI, L. T. M.; ZINGARETTI, S. M.; MÔRO, G. V. Seed quality, chlorophyll content index and leaf nitrogen levels in maize inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 630-637, 2015.

PLÉNET, D.; LEMAIRE, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. **Plant Soil**, New York, v. 216, n.1, p. 65–82, 2000.



PLÉNET, D.; LEMAIRE, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. **Plant and soil**, v. 216, n. 1, p. 65-82, 1999.

PLÉNET, D.; CRUZ, P. The nitrogen requirement of major agricultural crops. Maize and sorghum. In: Lemaire G, Gastal F (eds) Diagnosis of the nitrogen status in crops. **Springer**, New York, p. 93–105, 1997.

PINHEIRO, L. S.; SILVA, R. C.; CONCEIÇÃO VIEIRA, R.; AGUIAR, R. O. Análise de trilha dos atributos físicos de milho (*Zea mays* L.) em sistema de cultivo convencional. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e8010110832-e8010110832, 2021.

PINHO, L.; PAES, M. C. D.; ALMEIDA, A. C.; COSTA, C. A. Características físicas e físico-químicas de cultivares de milho-verde produzidos em sistemas de cultivo orgânico e convencional. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27.; SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 3.; WORKSHOP SOBRE MANEJO E ETIOLOGIA DA MANCHA BRANCA DO MILHO, 2008, Londrina. Agroenergia, produção de alimentos e mudanças climáticas: desafios para milho e sorgo: trabalhos e palestras.[Londrina]: IAPAR;[Sete Lagoas]: Embrapa Milho e Sorgo, 2008., 2008.

PIONEER SEMENTES. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/milho/pioneer-responde/90/quais-os-estadios-fenologicos-do-milho>. Acesso em: 20 dez. 2020.

PITTA, C. S. R.; SOARES, A. B.; ASSMANN, T. S.; ADAMI, P. F.; SARTOR, L. R.; MIGLIORINI, F.; ASSMANN, A. L. Dual-purpose wheat grain and animal production under different grazing periods. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1385-1391, 2011.

PONS, T. L.; PEARCY, R. W. Nitrogen reallocation and photosynthetic acclimation in response to partial shading in soybean plants. **Physiologia Plantarum**, v. 92, n. 4, p. 636-644, 1994.

PRIMAVESI, A. C., ANDRADE RODRIGUES, A., GODOY, R. **Recomendagées técnicas para o cultivo de aveia**. 2000.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M L; SILVA, A. A.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M. Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.390-397, abr. 2011.

RIBEIRO, C.B.; RAMALHO, M.A.P.; PRADO, P.E.R. Contribuição dos caracteres vegetativos e reprodutivos da planta de milho para a heterose na produção de grãos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n. 1, p. 56, 2014.

RIBEIRO, C. B. **Caracteres que explicam a heterose na produtividade de grãos de milho**. 2012. 64 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

RISSI, B. F. **Produção animal em sistema de integração lavoura – pecuária em função de intensidade de pastejo e antecipação da adubação nitrogenada**. 2015. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

RHODEN, Anderson Clayton. **Adubação de sistemas: nitrogênio em pastagem hiberna e cultivo de feijão em integração lavoura-pecuária**. 2019. 167 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

ROCHETTE, P.; CHANTIGNY, M. H.; ZIADI, N.; ANGERS, D. A.; BÉLANGER, G.; CHARBONNEAU, É.; BERTRAND, N. Soil nitrous oxide emissions after deposition of dairy cow excreta in eastern Canada. **Journal of Environmental Quality**, v. 43, n. 3, p. 829-841, 2014.

ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Arquivo do Agrônomo**, Brasil, v. 68, n. 1, p.1-18, 1994.

SADRAS V. O.; LEMAIRE G. Quantifying crop nitrogen status for comparisons of agronomic practices and genotypes. **Field Crops Research**, v. 164, p. 54-64, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.05.006>

SALETTE, J.; HUCHÉ, L. Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par l'analyse du végétal: principes, mise en œuvre, exemples. **Fourrages**. v. 125 p. 3-18, 1991.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Florianópolis: Universidade do Estado de Santa Catarina, 84 p. 2010.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F.; SCHIMITT, A.; VARGAS, V. P.; CASA, R. T.; SOUZA, C. A. Perfilhamento, área foliar e produtividade de milho sob

diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 6, p. 609-616, 2011.

SANGOI, L.; VARGAS, V. P.; SCHIMITT, A.; PLESTSCH, A.; VIEIRA, J.; SIEGA, E.; CARNIEL, G.; MENGARDA, R.; PICOLI JÚNIOR, G. A disponibilidade de nitrogênio afeta a sobrevivência e a contribuição dos perfillhos ao rendimento de grãos de milho. **Revista de Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 183-191, 2011.

SANDINI, I. E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M. K.; NOVAKOWISKI, J. H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura – pecuária. **Ciência Rural**, v.41, p. 1315-1322, 2011.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; RESENDE, Á. V.; OLIVEIRA, A. C.; OLIVEIRA, M. S.; GOMES, T. C. Adubação nitrogenada e potássica na nutrição e na extração de macronutrientes pelo sorgo biomassa. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 10-22, 2015. Doi:10.18512/1980-6477

SANTOS, F. C. D.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. D.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. D. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1855-1861, 2014.

SANTOS, M. M., GALVÃO, J. C. C., DE MELO, A. V., ADRIANO, R. C., FIDELIS, R. R., & CORRÊA, M. L. P. Efeito da fonte de nitrogênio e da época de aplicação na cultura do milho, em plantio direto, com espaçamento reduzido. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 1, p. 29-37, 2011.

SANTOS, M. M.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R.; MIRANDA, G. V.; FINGER, F. L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15n) na planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 34, p. 1185-1194, 2010.

SARTOR, L. R.; SANDINI, I. E.; ADAMI, P. F.; NOVAKOWISKI, J. H.; RUTHES, B. E. S. Corn yield and grain nutritional status in a crop-livestock system with winter/summer nitrogen levels. **International Journal of Plant Production**, v. 12, n. 4, p. 309-314, 2018.

SARTOR, L. R.; ASSMAN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; ORTIZ, S. Assessment of the nutritional status of grassland: nitrogen nutrition index. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 35, p.449-456, 2014.

SARTOR, Laércio Ricardo. **Atributos químicos e biológicos do solo, rendimento**

**e valor nutritivo de grãos de milho em sistema de integração lavoura-pecuária em resposta ao nitrogênio.** 104 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, Curitiba, PR, 2012.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; PITTA, C. S. R. Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of an Alexandergrass pasture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 899–906, 2011.

SCHUSTER, M. Z.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; HARRISON, S. K.; SULC, R. M.; LUSTOSA, S. B.; CARVALHO, P. C. Grazing intensities affect weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop–livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 232, p. 232-239, 2016.

SEBER, G. A. F. **Linear regression analysis**. NewYork: John Wiley & Sons, 465 p., 1976.

SEMMARTIN, M.; GARIBALDI, L. A.; CHANETON, E. J. Grazing history effects on above- and below-ground litter decomposition and nutrient cycling in two co-occurring grasses. **Plant and Soil**, v. 303, n. 1–2, p. 177–189, 2008.

SHEEHY, J. E.; DIONORA, M. J. A.; MITCHELL, P. L.; PENG, S.; CASSMAN, K. G.; LEMAIRE, G.; WILLIAMS, R. L. Critical nitrogen concentrations: implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in the tropics. **Field Crops Research**, v. 59, n. 1, p. 31-41, 1998.

SILVA, A. B.; PATTO, M. C. V.; ROSÁRIO BRONZE, M. Relevance, structure and analysis of ferulic acid in maize cell walls. **Food Chemistry**, v. 246, p. 360-378, 2018.

SILVA, M. R., PELISSARI, A., MORAES, A. D., SANDINI, I. E., CASSOL, L. C., ASSMANN, T. S., & OLIVEIRA, E. B. Acumulação de nutrientes e produção forrageira de aveia e azevém em função da aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 346-356, 2015.

SILVA, F. D.; AMADO, T. J. C.; BREDEMEIER, C.; BREMM, C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop–livestock systems under no-till. **European journal of agronomy**, v. 57, p. 84-91, 2014. doi:10.1016/j.eja.2013.10.009

SILVA, H. A. D.; MORAES, A. D.; CARVALHO, P. C. F.; FONSECA, A. F. D.; DIAS, C. T. S. Maize and soybeans production in integrated system under no-tillage with different pasture combinations and animal categories. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. 757-765, 2012.

SILVA, M. A.; DA SILVA, D. S.; LOPES, W. B.; ANDRADE, L. A. Fatores que explicam o número de folhas em plantas de Feijão-Bravo (*Capparis Flexuosa* L.) no Cariri Paraibano. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 144-148, 2009.

SOARES, A. B.; SCHMITT, D.; MIGLIORINI, F.; ASSMANN, T. S.; ASSMANN, A. L. Alturas de manejo para pastos de papuã sob lotação contínua em sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 50, n. 1, 2020.

SOARES, A. B.; MISSIO, R. L.; SCHMITT, D.; AIOLFI, R. B.; DEIFELD, F. L. C. **Componente animal em sistemas integrados de produção agropecuária (Cap. 11)**. In: SOUZA, E. D. (Eds.). *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 187-210, 2018.

SOUZA, J. M. A. M.; ZANCHI, C. S.; PIRES, G. C.; MORETTI, C. F.; BARBOSA, M. V.; SILVA, A. O.; SOUZA, E. D. Arbuscular mycorrhizal fungi in integrated crop livestock systems with intercropping in the pasture phase in the Cerrado. **Rhizosphere**, v. 11, p. 100165, 2019.

SOUZA, T. V.; RIBEIRO, C.M.; SCALON, J.D.; GUEDES, F.L. Relações entre componentes de rendimento e características morfológicas de milho. **Magistra**, v.26, n.4, p. 495-506, 2014.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; OLIVEIRA, E. V. F.; MARTINS, A. P.; CAO, E.; ANDRIGHETTI, M. Soil aggregation in crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1365-1374, 2010.

TAHIR ATA-UL-KARIM, S.; LIU, X.; LU, Z.; YUAN, Z.; ZHU, Y.; CAO, W. Inseason estimation of rice grain yield using critical nitrogen dilution curve. **Field Crops Research**. v. 195, p 1–8, 2016.

TATTO, Wilson Henrique. **Altura de pasto e adubação nitrogenada afetam os atributos físicos do solo, plantabilidade e produtividade da soja no sistema de integração lavoura – pecuária?** 196 f.: Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2017.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS, 174p. 1995.

TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions – decomposition and nutrient release. **Soil Biological Biochemistry**, v. 24, p. 1051-1060, 1992.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W. H. SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting agriculturally driven global environmental change, **Science**, v. 292. p. 281-284, 2001.

THOMASON, E. E.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. Winter wheat fertilizer nitrogen use efficiency in grain and forage production systems. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, p. 1505-1516, 1998.

UENO, R. K.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; REINEHR, L. L.; POCZYNEK, M.; MICHALOVICZ, L. Export of soil macronutrients in area cultivated with maize to feeding feedlot steers. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3001-3018, 2013.

VENDRAMINI, J. M.; DUBEUX JR, J. C; SILVEIRA, M. L. Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 308-315, 2014.

VERHOEVEM, J. T. A.; ARHEIMER, B.; YIN, C.; HEFTING, M. M. Regional and global concerns over wetlands and water quality. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 21, p. 96-103, 2006.

VERKROOST, A. W. M.; WASSEN, M. J. A simple model for nitrogen-limited plant growth and nitrogen allocation. **Annals of Botany**, v.96, p.871-876, 2005.

VERMUELEN, S. J.; CAMPBELL, B. M.; INGRAM, J. S. I. Climate change and Food Systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 195-222, 2012.

WEISMANN, Martin. Fases de desenvolvimento da cultura do milho. In: **Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno**. Maracajú: Fundação MS para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias. cap. 4, p. 31 – 38, 2008.

WILKINSON, S.R.; LOWREY, R.W. Cycling of mineral nutrients in pastureecosystems. In: BUTLER, G.W.; BAILEY, R.W. (Eds.) **Chemistry andbiochemistry of herbage**. **New York: Academic Press**, v. 2., p. 247-315, 1973.

WOLFINGER R. Covariance structure selection in general mixed models. **Commun Stat Simul Comput**. v. 22, p. 1079–1106, 1993.

WOODRUFF, J. R.; PARKS, C. L. Topsoil and Subsoil Potassium Calibration with Leaf Potassium for Fertility Rating 1. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 2, p. 392-396, 1980.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal Agricultural Research**, Washington, v.20, p.557-585, 1921.

ZHAO, Z.; WANG, E.; WANG, Z.; ZANG, H.; LIU, Y.; ANGUS, J. F. A reappraisal of the critical nitrogen concentration of wheat and its implications on crop modeling. **Field Crops Research** v. 164, p. 65–73, 2014.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; CLAESSENS, A.; LEFEBVRE, L.; CAMBOURIS, A.N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M.C.; PARENT, L. É. Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Spring Wheat. **Agronomy Journal**, v.102, 2010.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; CAMBOURIS, A. N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M. C.; CLAESSENS, A. Relationship between phosphorus and nitrogen concentrations in spring wheat. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 1, p. 80-86, 2008.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; CAMBOURIS, A.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M. C.; CLAESSENS, A. Relationship between P and N concentration in corn. **Agronomy Journal**, v.99, p.833–841, 2007.

## ÍNDICE DE APÊNDICES E ANEXOS

<b>APÊNDICE A – Dados Originais: Produtividade de milho, 2018.....</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICE B – Dados Originais: Componentes de rendimento do milho, 2018. .....</b>	<b>131</b>
<b>APÊNDICE C – Análise da variância: Acumulo de matéria seca do pasto em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>132</b>
<b>APÊNDICE D – Análise da variância: Concentração de N na planta (g kg<sup>-1</sup>) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE E – Análise da variância: Índice Nutricional Nitrogenado (NNI) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE F – Análise da variância: N up-take (absorção) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE G – Análise da variância: Concentração de P na planta (g kg<sup>-1</sup>) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>134</b>
<b>APÊNDICE H – Análise da variância: P up-take (absorção) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>134</b>
<b>APÊNDICE I – Análise da variância: Concentração de K na planta (g kg<sup>-1</sup>) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>134</b>
<b>APÊNDICE J – Análise da variância: K up-take (absorção) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>135</b>
<b>APÊNDICE K – Análise da variância: Produtividade de milho em função época de adubação nitrogenada e potássica e doses crescentes de N e K (0 - 0, 100 - 50, 200 - 100 e 300 - 150 kg de N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aplicados simultaneamente), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>135</b>
<b>APÊNDICE L – Análise da variância: Acumulo de matéria seca do milho em função da época de adubação nitrogenada e potássica, doses crescentes de N e K (0 - 0, 100 - 50, 200 - 100 e 300 - 150 kg de N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aplicados simultaneamente) dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE M – Análise da variância: Concentração de N na planta (g kg<sup>-1</sup>) em função da época de adubação nitrogenada e potássica, doses crescentes de N e K (0 - 0, 100 - 50, 200 - 100 e 300 - 150 kg de N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aplicados simultaneamente) dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE N – Análise da variância: N up-take (absorção) em função da época de adubação nitrogenada e potássica, doses crescentes de N e K (0 - 0, 100 -</b>	



50, 200 - 100 e 300 - 150 kg de N-K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> aplicados simultaneamente) dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.....	137
<b>ANEXO A – Registro de geadas durante o período experimental fase pastagem (Temperaturas: média, máxima e mínima). Abelardo Luz - SC, 2018.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO B: Tabela 15 - Quadrados médios da análise de variância de um experimento trifatorial 2 x 2 x 4, em parcelas subdivididas (Fator A= Altura do pasto – Alta e baixa; Fator C= época de aplicação de nitrogênio – N no grão e N na pastagem; e, Fator D= doses de nitrogênio – 0, 100, 200, 300 kg N ha<sup>-1</sup>), no delineamento blocos ao acaso, com três repetições, para as variáveis da cultura de milho: PROD (Produtividade, em kg ha<sup>-1</sup>), PR (Produtividade Relativa, em %), FE (Fileiras espiga<sup>-1</sup>), GF (Grãos fileira<sup>-1</sup>), GE (Grãos espiga<sup>-1</sup>) e PMG (Peso de mil grãos, em g). Abelardo Luz – SC, 2013-2014.....</b>	<b>142</b>
<b>ANEXO C: Figura 14 - Produtividade de milho em Kg ha<sup>-1</sup> em função de doses de N aplicadas na cultura do milho e época de aplicação de N (NP = nitrogênio aplicado na pastagem e NG = nitrogênio aplicado na cultura de grãos) em um experimento conduzido no esquema trifatorial, 2 x 2 x 4, em parcelas subdivididas (Fator A= Altura do pasto – Alta e baixa; Fator C= época de aplicação de nitrogênio – N no grão e N na pastagem; e, Fator D= doses de N em cobertura na cultura do milho: 0; 100; 200 e 300 Kg ha<sup>-1</sup>), no delineamento blocos ao acaso, com três repetições. Abelardo Luz – SC. 2013-2014.....</b>	<b>143</b>
<b>ANEXO D – Ciclo de nutrientes minerais, simplificado para ecossistema de pastagem.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXO E – Fenologia do milho: estádios de desenvolvimento da cultura.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO F – A Tabela dos dados médios anuais do preço do milho em Reais por saca, segundo indicador Cepea, em valor nominal, entre 2011 e 2020.....</b>	<b>145</b>

## APÊNDICES

Análises estatísticas das variáveis respostas estudadas na presente tese de doutorado.

APÊNDICE A – Dados Originais: Produtividade de milho, 2018.

Fator Época de adubação	Doses crescentes de N-K	Bloco	Parcela	Produtividade kg ha <sup>-1</sup>
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	1	1	6736,24
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	1	1	15108,84
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	1	1	15348,25
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	1	1	15307,61
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	2	10	8912,24
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	2	10	13945,35
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	2	10	15993,67
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	2	10	16549,31
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	3	5	9090,62
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	3	5	14264,30
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	3	5	14835,13
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	3	5	16392,18
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	1	12	6957,87
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	1	12	13843,46
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	1	12	14192,62
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	1	12	15538,72
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	2	4	11569,51
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	2	4	14046,53
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	2	4	14221,29
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	2	4	16696,91
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	3	7	14886,53
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	3	7	16476,11
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	3	7	16244,03
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	3	7	17181,46
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	1	11	14603,12
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	1	11	14683,86
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	1	11	15305,74
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	1	11	15007,62
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	2	3	12965,03
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	2	3	14742,25
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	2	3	15498,71
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	2	3	15160,91
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	3	8	14429,60
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	3	8	14696,39
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	3	8	15310,53
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	3	8	16669,10
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	1	2	13459,23
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	1	2	13522,69

200-50 N K <sub>2</sub> O	200	1	2	14701,27
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	1	2	15227,23
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	2	9	13373,73
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	2	9	14133,78
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	2	9	14258,16
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	2	9	14976,60
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	3	6	12970,31
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	3	6	14358,09
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	3	6	15244,32
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	3	6	14714,30

Doses crescentes de N e K (kg ha<sup>-1</sup>); 200-50 N K<sub>2</sub>O= 200 kg ha<sup>-1</sup> de Nitrogênio e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na pastagem; 0-0 N K<sub>2</sub>O= 0 kg ha<sup>-1</sup> de Nitrogênio e 0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na pastagem; Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>).

#### APÊNDICE B – Dados Originais: Componentes de rendimento do milho, 2018.

Época de adubação N-K	Doses crescentes N-K	Bloco	Parcela	Nº Fileira	Nº Grãos/ fil.	Nº Grãos/ espiga	Peso 1000 grãos (g)
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	1	1	13,4	30,7	414,4	4144,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	1	1	14,2	37,3	529,4	5294,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	1	1	14,2	39,2	555,4	5554,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	1	1	14,6	39,7	579,4	5794,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	2	10	13,8	34,4	472,6	4726,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	2	10	14,2	38,4	545,8	5458,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	2	10	14,2	38,6	547,8	5478,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	2	10	15,6	38,1	593,4	5934,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	3	5	14,4	33,9	486,2	4862,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	3	5	14,6	37,6	547,8	5478,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	3	5	14	40,5	566,8	5668,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	3	5	13,4	38,2	509,8	5098,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	1	12	15	33,1	494	4940,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	1	12	14,8	39	574	5740,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	1	12	14,8	35,7	524,4	5244,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	1	12	14,4	38,2	548	5480,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	2	4	13,8	36,4	500,6	5006,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	2	4	14,4	38,3	549,4	5494,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	2	4	14,8	37,4	551	5510,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	2	4	14,6	38,1	556,2	5562,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	0	3	7	14,8	36,4	534,8	5348,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	100	3	7	14,4	36,8	527	5270,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	200	3	7	14	39,6	552,4	5524,0
0-0 N K <sub>2</sub> O	300	3	7	15,2	36,7	555,4	5554,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	1	11	14,8	37,7	557,2	5572,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	1	11	15,4	36,6	564,8	5648,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	1	11	14,2	39,4	559,2	5592,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	1	11	14	39,5	553,2	5532,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	2	3	14,8	36,6	542,6	5426,0

200-50 N K <sub>2</sub> O	100	2	3	14,2	38,1	538,4	5384,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	2	3	15,4	37,9	582,2	5822,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	2	3	14	39,1	546,4	5464,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	3	8	15,2	38,7	587,6	5876,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	3	8	14,4	38	546	5460,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	3	8	14,4	41,4	594,8	5948,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	3	8	14	38,4	531,8	5318,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	1	2	14	38,7	542,4	5424,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	1	2	14,2	37,2	528	5280,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	1	2	15,2	37,4	570	5700,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	1	2	14	37,7	527,2	5272,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	2	9	13,6	36,2	492,6	4926,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	2	9	14,6	38,5	561,2	5612,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	2	9	14,2	37,6	533	5330,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	2	9	14,2	39,6	560,4	5604,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	0	3	6	14,8	37,8	554,4	5544,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	100	3	6	14,6	36,5	531,4	5314,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	200	3	6	14,2	36	509,8	5098,0
200-50 N K <sub>2</sub> O	300	3	6	14,2	37	522,8	5228,0

Doses de adubação nitrogenada e potássica na pastagem: 1 = 0-0 kg ha<sup>-1</sup> de N e K<sub>2</sub>O; 2 = 200-50 kg ha<sup>-1</sup> de N e K<sub>2</sub>O; Nº Fileira = Número de fileiras/espiga; Nº Grãos/fil. = Número de grãos/fileira; Nº Grãos/espiga = Número de Grãos/espiga.

#### Fase pastagem inverno de 2017:

APÊNDICE C – Análise da variância: Acumulo de matéria seca do pasto em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Época de adubação N-K	6,50071	1	6,50071	126,29	0,0000*
B: DAS	149,309	3	49,7697	966,92	0,0000*
C: Bloco	1,03886	2	0,519431		
<b>Interação</b>					
AB	1,95994	3	0,653314	12,69	0,0003*
RESIDUAL	0,720617	14	0,0514726		
TOTAL (Corrigido)	159,529	23			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

APÊNDICE D – Análise da variância: Concentração de N na planta ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Época de adubação N-K	462,004	1	462,004	58,48	0,0000*
B: DAS	3288,96	3	1096,32	138,77	0,0000*
C: Bloco	45,91	2	22,955		
Interação					
AB	604,045	3	201,348	25,49	0,0000*
RESIDUAL	110,603	14	7,90024		
TOTAL (Corrigido)	4511,53	23			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

APÊNDICE E – Análise da variância: Índice Nutricional Nitrogenado (NNI) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Época de adubação N-K	4865,52	1	4865,52	30,56	0,0001*
B: DAS	17091,0	3	5697,0	35,79	0,0000*
C: Bloco	1532,26	2	766,128		
Interação					
AB	2774,5	3	924,833	5,81	0,0085*
RESIDUAL	2228,73	14	159,195		
TOTAL (Corrigido)	28492,0	23			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

APÊNDICE F – Análise da variância: N up-take (absorção) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Época de adubação N-K	22830,2	1	22830,2	121,52	0,0000*
B: DAS	132870,0	3	44290,0	235,74	0,0000*
C: Bloco	6345,83	2	3172,91		
Interação					
AB	6164,99	3	2055,0	10,94	0,0006*
RESIDUAL	2630,24	14	187,874		
TOTAL (Corrigido)	170841,0	23			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

APÊNDICE G – Análise da variância: Concentração de P na planta ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Época de adubação N-K	0,158438	1	0,158438	2,06	0,1735
B: DAS	23,947	3	7,98233	103,61	0,0000*
C: Bloco	0,0364583	2	0,0182292		
<b>Interação</b>					
AB	0,0454479	3	0,151493	1,97	0,1654
RESIDUAL	1,07854	14	0,0770387		
TOTAL (Corrigido)	25,6749	23			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

APÊNDICE H – Análise da variância: P up-take (absorção) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Época de adubação N-K	39,7122	1	39,7122	34,81	0,0000*
B: DAS	1488,05	3	496,016	434,81	0,0000*
C: Bloco	27,0216	2	13,5108		
<b>Interação</b>					
AB	15,7418	3	5,24728	4,60	0,0193*
RESIDUAL	15,9706	14	1,14076		
TOTAL (Corrigido)	1586,49	23			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

APÊNDICE I – Análise da variância: Concentração de K na planta ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Época de adubação N-K	147,263	1	147,263	3,36	0,0883
B: DAS	1353,64	3	451,213	10,29	0,0008*
C: Bloco	68,9165	2	34,4582		
<b>Interação</b>					
AB	177,604	3	59,2012	1,35	0,2985
RESIDUAL	614,062	14	43,8616		
TOTAL (Corrigido)	2361,48	23			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

APÊNDICE J – Análise da variância: K up-take (absorção) em função época de adubação nitrogenada e potássica e dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Época de adubação N-K	39110,7	1	39110,7	142,10	0,0000*
B: DAS	304318,0	3	101439,0	368,56	0,0000*
C: Bloco	7445,51	2	3722,76		
<b>Interação</b>					
AB	12886,3	3	4295,43	15,61	0,0001*
RESIDUAL	3853,22	14	275,23		
TOTAL (Corrigido)	367614,0	23			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

Fase lavoura (milho) verão safra 2017/18:

APÊNDICE K – Análise da variância: Produtividade de milho em função época de adubação nitrogenada e potássica e doses crescentes de N e K (0 - 0, 100 - 50, 200 - 100 e 300 - 150 kg de N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aplicados simultaneamente), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Época de adubação N-K	5,11808E6	1	5,11808E6	3,47	0,0702
B: Doses N-K	1,17854E8	3	3,92847E7	26,64	0,0000*
C: Bloco	1,04804E7	2	5,24021E6	3,55	0,0385*
<b>Interação</b>					
AB	4,46172E7	3	1,48724E7	10,09	0,0001*
RESIDUAL	5,60266E7	38	1,47438E6		
TOTAL (Corrigido)	2,34096E8	47			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.



APÊNDICE L – Análise da variância: Acumulo de matéria seca do milho em função da época de adubação nitrogenada e potássica, doses crescentes de N e K (0 - 0, 100 - 50, 200 - 100 e 300 - 150 kg de N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aplicados simultaneamente) dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Dias acumulados (DAS)	17701,7	6	2950,28	1058,6	0,0000*
B: Época de adubação N-K	31,8879	1	31,8879	11,44	0,0008*
C: Doses N-K	31,3609	3	10,4536	3,75	0,0115*
D: Bloco	0,464001	2	0,232	0,08	0,9201
<b>Interação</b>					
AB	46,4075	6	7,73459	2,78	0,0123*
AC	66,7051	18	3,70584	1,33	0,1681
BC	23,2438	3	7,74795	2,78	0,0414*
ABC	103,234	18	5,73521	2,06	0,0076*
RESIDUAL	774,775	278	2,7896		
TOTAL (Corrigido)	18779,7	335			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

APÊNDICE M – Análise da variância: Concentração de N na planta (g kg<sup>-1</sup>) em função da época de adubação nitrogenada e potássica, doses crescentes de N e K (0 - 0, 100 - 50, 200 - 100 e 300 - 150 kg de N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aplicados simultaneamente) dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Dias acumulados (DAS)	39108,7	6	6518,11	274,91	0,0000*
B: Época de adubação N-K	0,400476	1	0,400476	0,02	0,8967
C: Doses N-K	237,412	3	79,1375	3,34	0,0198*
D: Bloco	94,843	2	47,4215	2,00	0,1373
<b>Interação</b>					
AB	357,917	6	59,6529	2,52	0,0218*
AC	231,854	18	12,8808	0,54	0,9356
BC	37,1145	3	12,3715	0,52	0,6676
ABC	139,991	18	7,77727	0,33	0,9962
RESIDUAL	6591,43	278	23,7102		
TOTAL (Corrigido)	46799,6	335			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

APÊNDICE N – Análise da variância: N up-take (absorção) em função da época de adubação nitrogenada e potássica, doses crescentes de N e K (0 - 0, 100 - 50, 200 - 100 e 300 - 150 kg de N-K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aplicados simultaneamente) dias acumulados (DAS), Abelardo Luz – SC, 2018.

Efeitos Principais	SQ	GL	QM	F-Ratio	P-Value
A: Dias acumulados (DAS)	1,95421E6	6	325702,0	160,79	0,0000*
B: Época de adubação N-K	11124,5	1	11124,5	5,49	0,0198*
C: Doses N-K	19458,9	3	6486,3	3,20	0,0238*
D: Bloco	5487,32	2	2743,66	1,35	0,2598
<b>Interação</b>					
AB	32584,8	6	5430,8	2,68	0,0152*
AC	39157,7	18	2175,43	1,07	0,3784
BC	7433,65	3	2477,88	1,22	0,3015
ABC	31528,1	18	1751,56	0,86	0,6221
RESIDUAL	563135,0	278	2025,66		
TOTAL (Corrigido)	2,66412E6	335			

Pressuposto de homogeneidade de variâncias pelo teste Bartlett e normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk a 5%. \* Significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. <sup>ns</sup> Não significativo, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F.

**ANEXOS**

Registro de geadas durante o período experimental inverno de 2017.

ANEXO A – Registro de geadas durante o período experimental fase pastagem  
(Temperaturas: média, máxima e mínima). Abelardo Luz - SC, 2018.

Geadas durante o período experimental: 17/07/2017-22/07/2017						
Temp. Ar (°C)						
Ano	Mês	Dia	Hora	Média	Max.	Min.
2017	7	17	00:00	20,3	21,6	20,1
2017	7	17	01:00	19,2	20,3	19
2017	7	17	02:00	19	19,2	18,6
2017	7	17	03:00	13,7	19,2	13,7
2017	7	17	04:00	10,9	13,7	10,9
2017	7	17	05:00	9,7	10,9	9,6
2017	7	17	06:00	8,2	9,7	8,2
2017	7	17	07:00	6,6	8,2	6,5
2017	7	17	08:00	5	6,6	5
2017	7	17	09:00	4,8	5	4,7
2017	7	17	10:00	4,6	4,8	4,5
2017	7	17	11:00	3,9	4,6	3,8
2017	7	17	12:00	3,4	3,9	3,4
2017	7	17	13:00	3,4	3,4	3,3
2017	7	17	14:00	3,7	3,7	3,4
2017	7	17	15:00	3,2	3,7	3,1
2017	7	17	16:00	3,1	3,2	3
2017	7	17	17:00	3	3,2	3
2017	7	17	18:00	3	3,1	2,9
2017	7	17	19:00	3	3,1	2,9
2017	7	17	20:00	2,9	3,1	2,7
2017	7	17	21:00	2,7	3	2,7
2017	7	17	22:00	1,8	2,8	1,7
2017	7	17	23:00	1,9	2,1	1,8
2017	7	18	00:00	1,4	1,9	1,3
2017	7	18	01:00	1,2	1,5	1,2
2017	7	18	02:00	0,8	1,2	0,8
2017	7	18	03:00	0,7	0,8	0,7
2017	7	18	04:00	-0,4	0,7	-0,4
2017	7	18	05:00	-0,9	-0,4	-0,9
2017	7	18	06:00	-1,1	-0,8	-1,2
2017	7	18	07:00	-1,2	-1,1	-1,3
2017	7	18	08:00	-1,5	-1,2	-1,5
2017	7	18	09:00	-1,4	-1,4	-1,5
2017	7	18	10:00	-1,9	-1,4	-1,9
2017	7	18	11:00	-2,2	-1,9	-2,3
2017	7	18	12:00	-1,9	-1,9	-2,3
2017	7	18	13:00	-2,5	-1,9	-2,5
2017	7	18	14:00	-2,6	-2,5	-2,8
2017	7	18	15:00	-1,8	-1,8	-2,6
2017	7	18	16:00	-0,2	-0,2	-1,8
2017	7	18	17:00	2,7	2,7	-0,2
2017	7	18	18:00	4,2	4,5	2,1
2017	7	18	19:00	6	6,3	4,2
2017	7	18	20:00	7,4	7,7	5,7
2017	7	18	21:00	8	8,3	7,1
2017	7	18	22:00	8,2	8,5	7,8

2017	7	18	23:00	7	8,3	7
2017	7	19	00:00	4	7	3,9
2017	7	19	01:00	2,3	4	2,3
2017	7	19	02:00	1,6	2,4	1,6
2017	7	19	03:00	0,8	1,7	0,7
2017	7	19	04:00	0,7	1	0,6
2017	7	19	05:00	0,6	1,1	0,6
2017	7	19	06:00	0,5	0,7	0,4
2017	7	19	07:00	0,3	1	0,1
2017	7	19	08:00	0	0,4	-0,1
2017	7	19	09:00	1,4	1,4	-0,1
2017	7	19	10:00	0,9	1,7	0,5
2017	7	19	11:00	1	1,1	0,7
2017	7	19	12:00	1,3	1,5	0,8
2017	7	19	13:00	0,8	1,4	0,6
2017	7	19	14:00	2,1	2,1	0,6
2017	7	19	15:00	4,6	4,6	2,1
2017	7	19	16:00	8	8,1	4,6
2017	7	19	17:00	11	11	8
2017	7	19	18:00	13,2	13,5	10,9
2017	7	19	19:00	14	14,8	12,7
2017	7	19	20:00	14,9	15,7	14,1
2017	7	19	21:00	15,5	16	14,8
2017	7	19	22:00	15,5	16,1	15,1
2017	7	19	23:00	14,5	15,6	14,5
2017	7	20	00:00	10,3	14,5	10,2
2017	7	20	01:00	9,3	11,2	8,9
2017	7	20	02:00	8,2	9,4	8
2017	7	20	03:00	8,1	9,4	8
2017	7	20	04:00	7,2	8,1	7,2
2017	7	20	05:00	5,4	7,2	5,4
2017	7	20	06:00	5,1	5,7	4,8
2017	7	20	07:00	4,7	5,1	4,6
2017	7	20	08:00	4,6	4,7	4
2017	7	20	09:00	4,4	5	4,4
2017	7	20	10:00	4	4,4	3,6
2017	7	20	11:00	3,8	4,2	3,4
2017	7	20	12:00	3,1	3,9	3,1
2017	7	20	13:00	3,7	3,8	3,1
2017	7	20	14:00	4,2	4,2	3,2
2017	7	20	15:00	6,2	6,2	4,2
2017	7	20	16:00	8,7	8,7	6,2
2017	7	20	17:00	11,1	11,3	8,7
2017	7	20	18:00	13,4	13,7	11,1
2017	7	20	19:00	16,1	16,1	13,4
2017	7	20	20:00	16,7	16,9	15,2
2017	7	20	21:00	17	17,7	16,4
2017	7	20	22:00	16,5	17,4	16,4
2017	7	20	23:00	15,8	16,9	15,7
2017	7	21	00:00	13,6	15,8	13,6
2017	7	21	01:00	11,8	13,6	11,8
2017	7	21	02:00	10,5	11,8	8,6
2017	7	21	03:00	9,7	11,1	9,7
2017	7	21	04:00	8,3	9,7	8,2
2017	7	21	05:00	7,8	9,1	7,8

2017	7	21	06:00	7,2	8	7,1
2017	7	21	07:00	5,8	7,2	5,8
2017	7	21	08:00	5,6	6,2	4
2017	7	21	09:00	6,3	6,8	3,3
2017	7	21	10:00	5,3	6,9	5,3
2017	7	21	11:00	5	5,7	3,2
2017	7	21	12:00	6,5	6,5	5
2017	7	21	13:00	6,5	7	6,4
2017	7	21	14:00	7,2	7,2	5,8
2017	7	21	15:00	9,8	9,8	7,2
2017	7	21	16:00	13,8	13,8	9,8
2017	7	21	17:00	15	15,7	13,8
2017	7	21	18:00	16,2	16,9	15
2017	7	21	19:00	16,1	17	15,7
2017	7	21	20:00	17,4	17,9	16
2017	7	21	21:00	17,2	18	16,9
2017	7	21	22:00	17,5	18	17
2017	7	21	23:00	16,6	17,5	16,6
2017	7	22	00:00	14,8	16,6	14,8
2017	7	22	01:00	12,9	14,8	12,9
2017	7	22	02:00	11,3	12,8	11,3
2017	7	22	03:00	9,8	11,3	9,6
2017	7	22	04:00	9,7	10,1	9
2017	7	22	05:00	8,9	9,9	8,2
2017	7	22	06:00	9,1	9,2	8,4
2017	7	22	07:00	8,6	9,3	8,6
2017	7	22	08:00	7,9	8,5	7,7
2017	7	22	09:00	7,2	7,9	6,3
2017	7	22	10:00	7,2	7,4	6,9
2017	7	22	11:00	6,9	7,2	6,7
2017	7	22	12:00	6,7	6,9	6,1
2017	7	22	13:00	6	6,7	6
2017	7	22	14:00	7,4	7,4	6
2017	7	22	15:00	9,9	10	7,4
2017	7	22	16:00	13,9	13,9	9,9
2017	7	22	17:00	17,4	17,4	13,5
2017	7	22	18:00	18,3	18,6	16,5
2017	7	22	19:00	19,5	19,9	18,1
2017	7	22	20:00	20	20,4	19,1
2017	7	22	21:00	20,2	20,9	19,6
2017	7	22	22:00	19,9	20,4	19,8
2017	7	22	23:00	19,2	20	19,1

Dados meteorológicos observados durante o período experimental (Pastagem) (17 de julho de 2017 a 22 de julho de 2017) na região de Abelardo Luz –SC. Fonte: INMET, Clevelândia-PR, (2018).

Dados experimentais safra de milho 2013/14 (BORTOLLI, 2016):

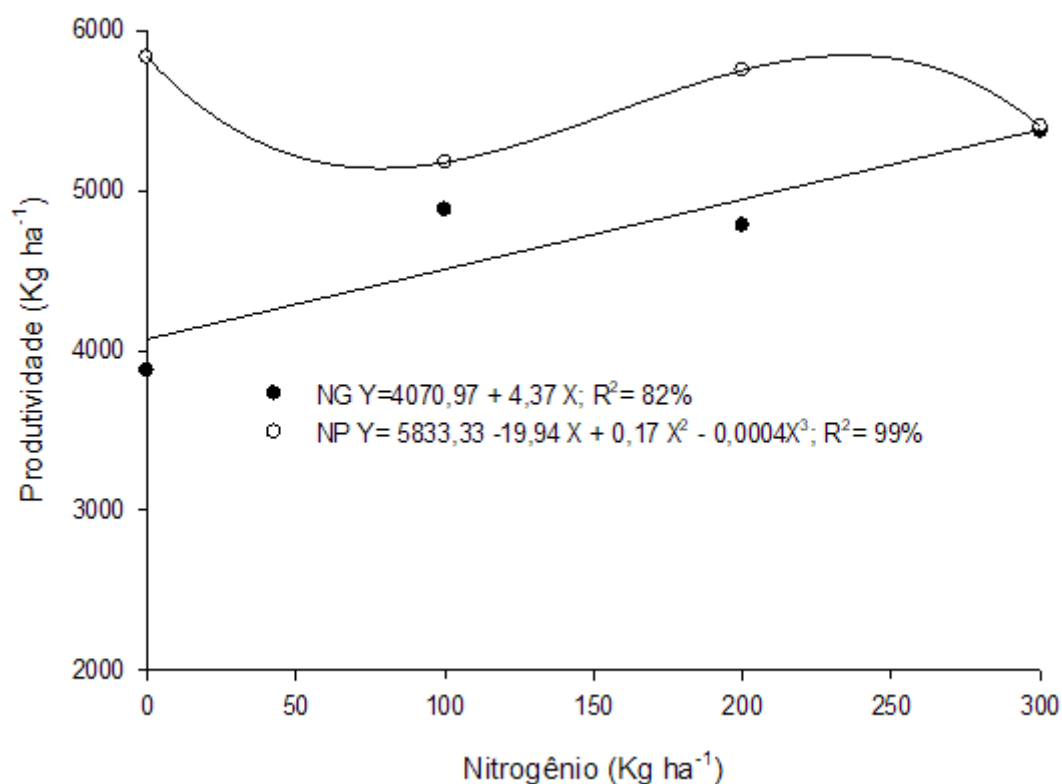
ANEXO B: **Tabela 15** - Quadrados médios da análise de variância de um experimento trifatorial 2 x 2 x 4, em parcelas subdivididas (Fator A= Altura do pasto – Alta e baixa; Fator C= época de aplicação de nitrogênio – N no grão e N na pastagem; e, Fator D= doses de nitrogênio – 0, 100, 200, 300 kg N ha<sup>-1</sup>), no delineamento blocos ao acaso, com três repetições, para as variáveis da cultura de milho: PROD (Produtividade, em kg ha<sup>-1</sup>), PR (Produtividade Relativa, em %), FE (Fileiras espiga<sup>-1</sup>), GF (Grãos fileira<sup>-1</sup>), GE (Grãos espiga<sup>-1</sup>) e PMG (Peso de mil grãos, em g). Abelardo Luz – SC, 2013-2014.

Fator de variação	GL	PROD	PR	FE	GF	GE	PMG
Bloco	2	3261749,8529 <sup>ns</sup>	455,9425 <sup>ns</sup>	0,0933 <sup>ns</sup>	0,3058 <sup>ns</sup>	239,2341 <sup>ns</sup>	3018,9953*
A	1	4669654,5170 <sup>ns</sup>	652,9088 <sup>ns</sup>	3,2033*	60,3008*	35804,5025*	3034,1970*
C	1	7956720,7347 <sup>ns</sup>	1112,3614 <sup>ns</sup>	0,9633 <sup>ns</sup>	21,0675*	12178,1665*	1981,8555*
A x C	1	27210,0680 <sup>ns</sup>	3,7912 <sup>ns</sup>	0,1633 <sup>ns</sup>	2,0008 <sup>ns</sup>	140,0833 <sup>ns</sup>	248,2026 <sup>ns</sup>
Erro A	6	1897102,6806*	265,2495*	0,2000 <sup>ns</sup>	1,4647 <sup>ns</sup>	643,4240 <sup>ns</sup>	270,2068 <sup>ns</sup>
D	3	675416,8957 <sup>ns</sup>	94,4281 <sup>ns</sup>	3,2478*	47,5208*	29879,8444*	149,1573 <sup>ns</sup>
Ax D	3	1135556,5873*	158,7729*	0,6433*	23,6942*	7538,1118*	13,8009 <sup>ns</sup>
Cx D	3	2210113,9706*	309,0279*	0,5900*	11,2875*	3863,5063*	1485,1087*
A x C x D	3	614739,83447 <sup>ns</sup>	86,0056 <sup>ns</sup>	0,6967*	6,3008*	2373,4743*	754,5381 <sup>ns</sup>
Erro B	24	314840,7718	44,0169	0,1778	1,175	537,7762	487,7928
Média geral		5133,33	60,70	17,44	31,22	545,71	233,16
CV PP (%)		26,83	26,83	2,56	3,88	4,65	7,05
CV SP%)		10,93	10,93	2,42	3,47	4,25	9,47

\* Significativo, pelo teste F da anova, em nível de 5% de probabilidade de erro. <sup>ns</sup> Não significativo, pelo teste F da anova, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: BORTOLLI, 2016

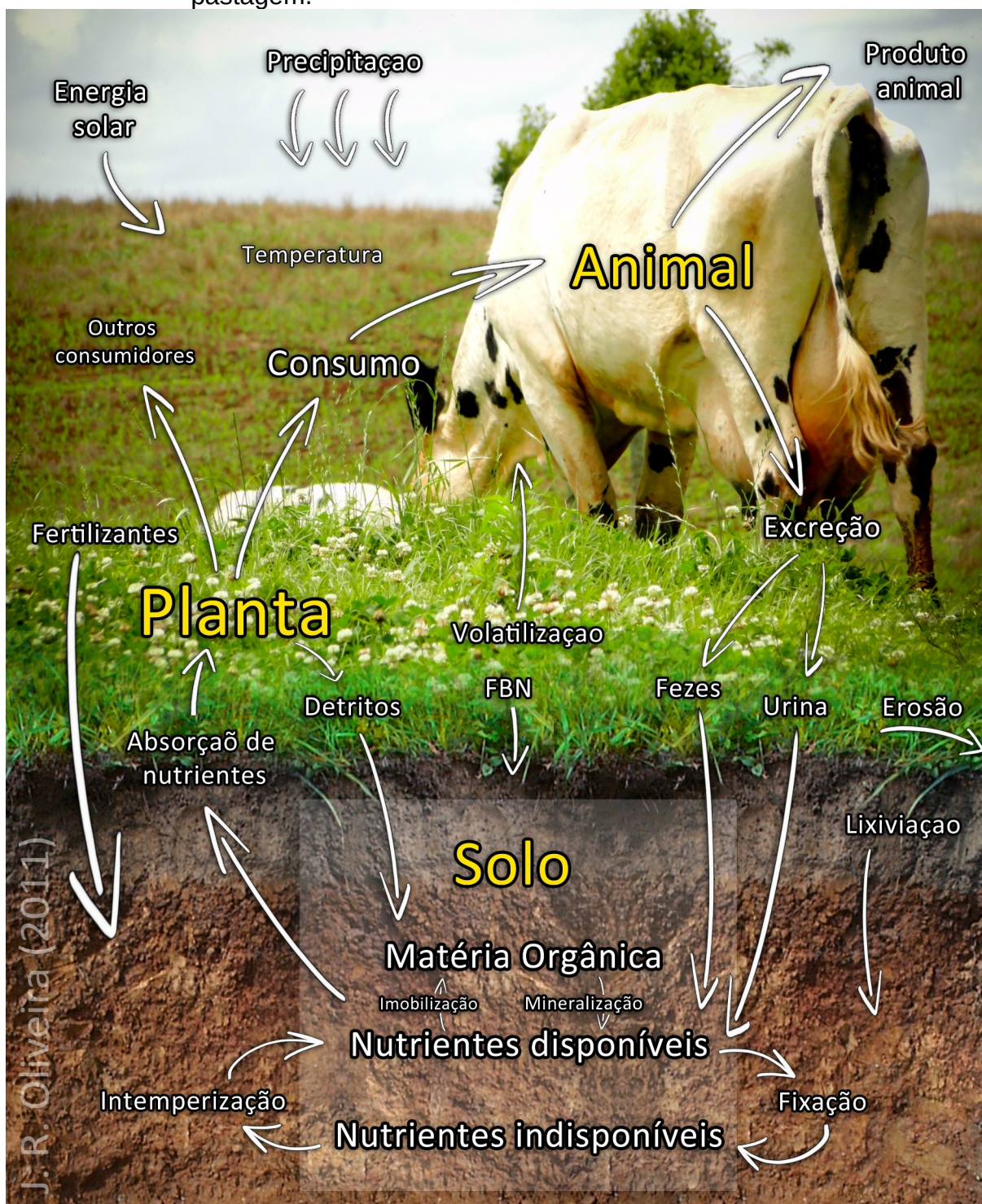
ANEXO C: **Figura 14** - Produtividade de milho em  $\text{Kg ha}^{-1}$  em função de doses de N aplicadas na cultura do milho e época de aplicação de N (NP = nitrogênio aplicado na pastagem e NG = nitrogênio aplicado na cultura de grãos) em um experimento conduzido no esquema trifatorial,  $2 \times 2 \times 4$ , em parcelas subdivididas (Fator A= Altura do pasto – Alta e baixa; Fator C= época de aplicação de nitrogênio – N no grão e N na pastagem; e, Fator D= doses de N em cobertura na cultura do milho: 0; 100; 200 e 300  $\text{Kg ha}^{-1}$ ), no delineamento blocos ao acaso, com três repetições. Abelardo Luz – SC. 2013-2014.



Fonte: BORTOLLI, 2016

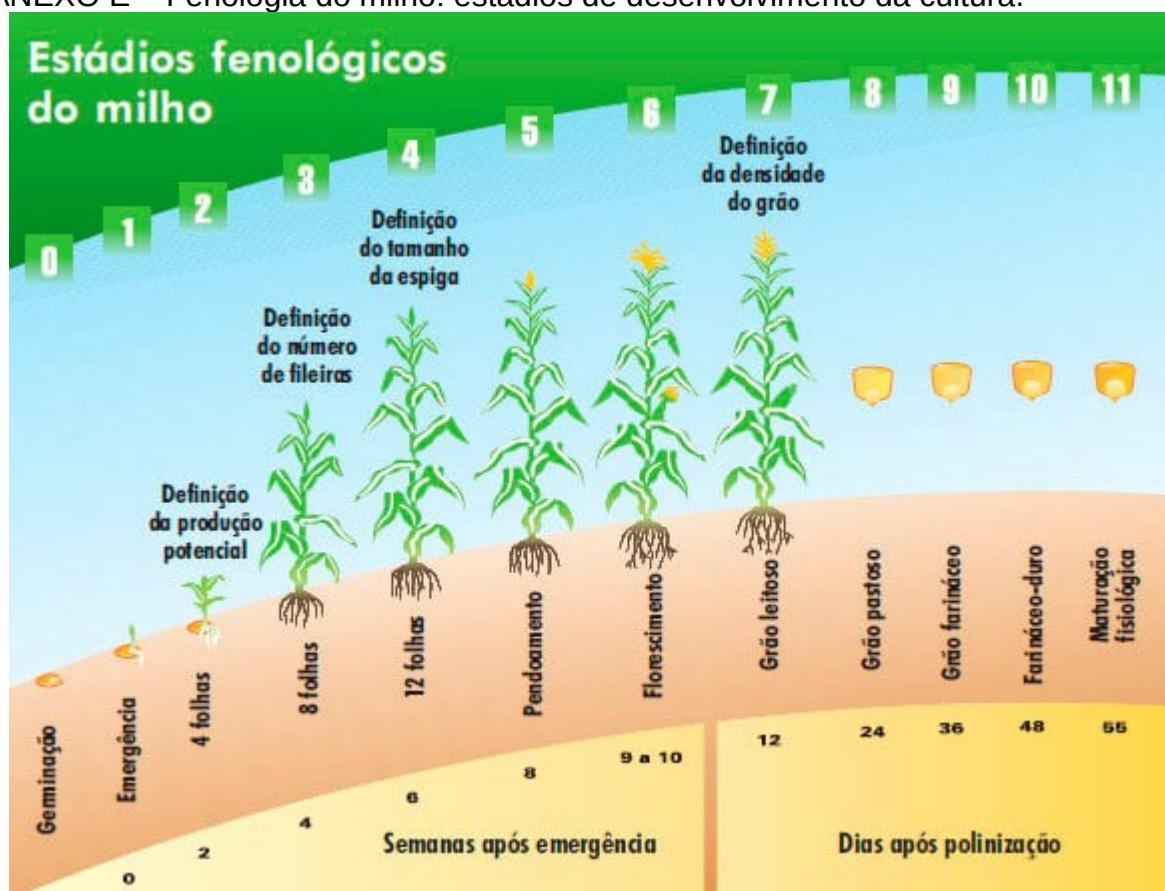


ANEXO D – Ciclo de nutrientes minerais, simplificado para ecossistema de pastagem.



Fonte: OLIVEIRA, (2011) Adaptado de WILKINSON e LOWREY (1973).

## ANEXO E – Fenologia do milho: estádios de desenvolvimento da cultura.



Fonte: (PIONEER SEMENTES, 2020).

## ANEXO F – A Tabela dos dados médios anuais do preço do milho em Reais por saca, segundo indicador Cepea, em valor nominal, entre 2011 e 2020.

Ano	Milho		Soja	
	R\$/sc.	Var.	R\$/sc.	Var.
2011	R\$29,8	-	R\$49,0	-
2012	R\$29,4	-1,5%	R\$69,1	41,0%
2013	R\$26,7	-9,1%	R\$69,0	-0,2%
2014	R\$26,5	-0,5%	R\$67,2	-2,5%
2015	R\$28,5	7,5%	R\$72,6	8,0%
2016	R\$44,0	54,2%	R\$81,4	12,0%
2017	R\$30,5	-30,7%	R\$71,3	-12,4%
2018	R\$38,5	26,0%	R\$84,3	18,3%
2019	R\$39,5	2,8%	R\$82,2	-2,5%
2020	R\$58,8	48,7%	R\$121,3	47,5%

Fonte: Farmnews. <https://www.farmnews.com.br/mercado/preco-anual-do-milho-e-da-soja-em-10-anos-de-2011-a-2020/>.