

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

FELIPE GRISARD PENTEADO

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO EM DIFERENTES  
ESPAÇAMENTOS E POPULAÇÕES DE PLANTAS**

TESE

PATO BRANCO

2023

FELIPE GRISARD PENTEADO

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO EM DIFERENTES  
ESPAÇAMENTOS E POPULAÇÕES DE PLANTAS**

**Production and quality of corn silage in different row spacing and plant  
populations**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Regis Luis Missio

PATO BRANCO

2023



[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.



FELIPE GRISARD PENTEADO

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E POPULAÇÕES DE PLANTAS**

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: Solos E Sistemas Integrados De Produção Agropecuária.

Data de aprovação: 11 de Dezembro de 2023

Dr. Regis Luis Missio, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Andre Brugnara Soares, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Caio Seiti Takiya, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Denise Adelaide Gomes Elejalde, Doutorado - Autônomo

Dr. Paulo Mauricio Centenaro Bueno, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (Ifpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 11/12/2023.

Dedico este trabalho à minha família, por todo o apoio conferido.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, que, inquestionavelmente, foi meu guia durante toda minha vida.

À minha família, a qual é a razão de todo meu esforço e dedicação em alcançar meus objetivos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Regis Luis Missio, pela oportunidade de realizar meu doutorado sob sua orientação, por todo o conhecimento compartilhado, todo o auxílio prestado, desde atividades a campo até o desenvolvimento deste trabalho em si, minha imensa gratidão.

Ao meu colega de pós-graduação, Igor Kieling Severo, sem o qual este trabalho não teria sido desenvolvido, por toda a experiência compartilhada e, acima de tudo, pela amizade.

Aos demais colegas de pós-graduação e acadêmicos de graduação, por toda a contribuição laboral e intelectual.

Aos laboratórios de Qualidade Agroindustrial (LAQUA) e de Solos (LABSOLOS), e à Central de Análises, pela contribuição com as análises do presente trabalho.

À UTFPR Pato Branco, pela oportunidade e, por toda estrutura e material disponibilizado.

Enfim, a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

*“Seja a mudança que você quer ver no mundo.”*

*Mahatma Gandhi*

## RESUMO

PENTEADO, Felipe Grisard. Produção e qualidade da silagem de milho em diferentes espaçamentos e populações de plantas. 54 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2023.

Objetivou-se avaliar diferentes espaçamentos entre linhas e populações de plantas sobre a produção e qualidade da silagem de milho no Sudoeste do Paraná. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com os tratamentos em arranjo fatorial 2x3x4, dois anos agrícolas (2019/2020 e 2020/2021), três espaçamentos entre linhas (45 cm, 90 cm e linhas com espaçamentos intercalados com 45 e 90 cm) e quatro populações de plantas (50, 60, 70 e 80 mil plantas/ha). O híbrido B2688 PWU foi implantado em parcelas de 6 x 6,3 metros, utilizando-se quatro repetições por ano. Foram avaliados a altura de planta, inserção de espiga, diâmetro de colmo, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, peso de mil grãos (PMG), proporção de colmo, proporção de folhas, proporção de grãos, proporção de palha + sabugo, produtividade de matéria seca de forragem, pH, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro, teor de potássio (K) e fósforo (P) da silagem, bem como as exportações de N, P e K. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (safra e espaçamentos). Utilizou-se a análise de regressão para o fator quantitativo (população de plantas). As características quantitativas, exceto estande final de plantas, foram influenciadas pelo ano agrícola, observando-se piores resultados para o segundo ano agrícola. A altura de plantas, altura de inserção de espigas e a proporção de folhas aumentaram com a elevação da população de plantas. O diâmetro de colmo, número de grãos por fileira, peso de mil grãos e proporção de palha + sabugo foram reduzidos com a elevação da população de plantas. O número de fileiras por espiga, a proporção de grãos e de colmos não foram influenciados pelas populações de plantas. A produtividade de matéria seca de silagem apresentou ponto de máxima com 74,3 mil plantas/ha no primeiro ano agrícola, enquanto no segundo ano agrícola a produtividade de forragem foi elevada linearmente pelo aumento da população de plantas. Os espaçamentos entre linhas influenciaram apenas a altura de inserção de espiga, número de grãos por fileira, proporção de palha + sabugo e produtividade de forragem. A altura de inserção de espiga foi menor no espaçamento com linhas de 45 e 90 cm intercaladas. O número de grãos por fileira foi menor no espaçamento entre linhas de 45 cm em relação ao de 90 cm, que não diferiu do espaçamento com linhas intercaladas de 45 e 90 cm. Esse espaçamento apresentou maior proporção de palha + sabugo. A produtividade de silagem foi superior no espaçamento de 45 cm. O pH, teor de proteína bruta e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio foram superiores no primeiro ano agrícola. O teor de fibra em detergente neutro da silagem foi superior no segundo ano agrícola. A população de plantas não alterou os aspectos qualitativos da silagem, exceto pH, que aumentou linearmente no primeiro ano agrícola com a elevação da população de plantas. A exportação de nitrogênio apresentou ponto de máximo com 72,4 mil plantas/ha, enquanto a exportação de fósforo e potássio aumentou linearmente com a elevação da população de plantas. Foi verificada interação entre espaçamentos e ano agrícola para pH, teor de proteína bruta e fibra em detergente neutro da silagem. Os espaçamentos não influenciaram a exportação de nitrogênio. O espaçamento com linhas de 45 e 90 cm intercaladas promoveu

maior exportação de fósforo e potássio. Em períodos sem fatores estressantes, como estiagem e pressão de pragas, a produtividade de silagem do híbrido B2688 é maximizada com aproximadamente 74 mil plantas/ha, enquanto em períodos de estresse hídrico e pressão de cigarrinhas, a produtividade de silagem aumenta entre 50 e 80 mil plantas/ha. O espaçamento entre linhas de 45 cm possibilita maior produtividade de silagem.

**Palavras-chave:** Forragem. Silagem. Milho. Qualidade.



## ABSTRACT

PENTEADO, Felipe Grisard. Production and quality of corn silage in different row spacing and plant densities. 54 f. Thesis (PhD in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Soils and Integrated Production Systems), Federal University of Technology - Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2023.

The objective was to evaluate different spacing between rows and plant populations on the production and quality of corn silage in Southwest Paraná. The experimental design was randomized blocks with treatments in a 2x3x4 factorial arrangement, two agricultural years (2019/2020 and 2020/2021), three row spacings (45 cm, 90 cm and rows with interspersed spacings of 45 and 90 cm) and four plant populations (50, 60, 70 and 80 thousand plants/ha). The hybrid B2688 PWU was implemented in plots measuring 6 x 6.3 meters, using four replications per year. Plant height, ear insertion, stem diameter, number of grains per row, number of rows per ear, thousand grain weight (PMG), stem proportion, leaf proportion, grain proportion, straw + cob proportion were evaluated, forage dry matter productivity, pH, crude protein (CP), neutral detergent fiber, potassium (K) and phosphorus (P) content of silage, as well as exports of N, P and K. The data were subjected to analysis of variance and the means were compared using the Tukey test (harvest and spacing). Regression analysis was used for the quantitative factor (plant population). The quantitative characteristics, except final plant stand, were influenced by the agricultural year, with worse results being observed for the second agricultural year. Plant height, ear insertion height and leaf proportion increased with increasing plant population. The stem diameter, number of grains per row, weight of a thousand grains and proportion of straw + cob were reduced with the increase in plant population. The number of rows per ear, the proportion of grains and stalks were not influenced by plant populations. Silage dry matter productivity peaked at 74.3 thousand plants/ha in the first agricultural year, while in the second agricultural year, forage productivity increased linearly due to the increase in plant population. Row spacing only influenced ear insertion height, number of grains per row, proportion of straw + cob and forage productivity. The ear insertion height was lower in the spacing with rows of 45 and 90 cm interspersed. The number of grains per row was lower in the row spacing of 45 cm compared to the row spacing of 90 cm, which did not differ from the spacing with interspersed rows of 45 and 90 cm. This spacing showed a higher proportion of straw + cob. Silage productivity was higher at 45 cm spacing. The pH, crude protein content and export of nitrogen, phosphorus and potassium were higher in the first agricultural year. The neutral detergent fiber content of the silage was higher in the second agricultural year. The plant population did not change the qualitative aspects of the silage, except pH, which increased linearly in the first agricultural year with the increase in plant population. Nitrogen export reached a maximum point of 72.4 thousand plants/ha, while phosphorus and potassium export increased linearly with the increase in plant population. An interaction between spacing and agricultural year was verified for pH, crude protein content and neutral detergent fiber in the silage. Spacing did not influence nitrogen export. Spacing with interspersed rows of 45 and 90 cm promoted greater export of phosphorus and potassium. In periods without stressful factors, such as drought and pest pressure, the silage productivity of the B2688 hybrid is maximized with approximately 74

thousand plants/ha, while in periods of water stress and leafhopper pressure, silage productivity increases between 50 and 80 thousand plants/ha. The row spacing of 45 cm allows for greater silage productivity.

**Keywords:** Forage. Silage. Corn. Quality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 1 – Dados de temperatura máxima média, temperatura mínima média e pluviosidade no local do experimento nas safras 2019/2020 e 2020/2021. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023. ....</b> | <b>26</b> |
| <b>Figura 2 - Desdobramento da interação entre safra e densidade de plantas para a produção de forragem. UTFPR, Pato Branco - PR, 2023.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>Figura 3. Desdobramento da interação entre safra e densidade de plantas para o pH da silagem. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023. ....</b>   | <b>40</b> |

## LISTA DE TABELAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabela 1 – Caracterização bromatológica das frações que compõem uma silagem de milho de planta inteira. UTFPR, Pato Branco-PR, 2023. ....</b>   | <b>21</b> |
| <b>Tabela 2 – Distribuição em porcentagens de nutrientes N, P e K nas diferentes estruturas que compõem a planta de milho no estágio R6. UTFPR, Pato Branco-PR, 2023. ....</b>                   | <b>22</b> |
| <b>Tabela 3 – Resultado da análise de solo a partir de coleta realizada no local antes da implantação do experimento. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023. ....</b>                                    | <b>27</b> |
| <b>Tabela 4 – Componentes de rendimento e morfológicos de plantas de milho de acordo com os fatores de variação. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023. ....</b>   | <b>32</b> |
| <b>Tabela 5 - Características químicas e exportação de nutrientes da silagem de milho de acordo com os fatores de variação. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023.</b>                                   | <b>39</b> |
| <b>Tabela 6 - Desdobramento da interação ente safra e espaçamento entre linhas para pH, proteína bruta e fibra em detergente neutro da silagem de milho. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023. ....</b> | <b>40</b> |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                     | <b>13</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                          | <b>16</b> |
| 2.1      | Aspectos do processo de ensilagem .....                     | 16        |
| 2.2      | Silagem de milho .....                                      | 18        |
| 2.2.1    | Componentes morfológicos vs. qualidade da silagem .....     | 20        |
| 2.3      | Espaçamentos x populações de plantas .....                  | 22        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                             | <b>26</b> |
| 3.1      | Local e época .....   | 26        |
| 3.2      | Delineamento experimental .....                             | 27        |
| 3.3      | Procedimento experimentais .....                            | 27        |
| 3.4      | Avaliações experimentais .....                              | 28        |
| 3.5      | Análise estatística .....                                   | 30        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                         | <b>31</b> |
| 4.1      | Componentes morfológicos e de rendimento .....              | 31        |
| 4.2      | Características da silagem e exportação de nutrientes ..... | 37        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES</b> .....                                     | <b>43</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                    | <b>44</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Silagem é o produto resultante de um processo de fermentação anaeróbica, que promove acidificação da massa ensilada, e permite a conservação do material vegetal por longos períodos (D'Oliveira; Oliveira, 2014). Segundo esses autores, a esse processo de armazenamento dá-se o nome de ensilagem, o qual garante a qualidade do material armazenado com perdas qualitativas e quantitativas mínimas. A cultura do milho é a espécie mais utilizada para produção de silagem em razão da facilidade de cultivo, alta produtividade, aceitabilidade pelos animais e alto valor energético (Oliveira; Sobrinho, 2007; Resende *et al.*, 2017). Além disso, a possibilidade de colheita mecanizada e o bom padrão de fermentação da silagem contribuem para o milho ser uma das culturas mais utilizadas para produção de silagem (Pereira *et al.*, 2004).

A capacidade produtiva do milho para silagem está relacionada às características da planta como ciclo, altura e arquitetura, e ao ambiente, como condições edafoclimáticas, população de plantas, época de corte e tratos culturais (Zopollato *et al.*, 2009). Dentre as condições ambientais, a radiação solar está entre as variáveis mais importantes (Kunz *et al.*, 2007), visto que impacta na produção vegetal atuando no processo fotossintético e de evapotranspiração, com influência direta sobre a perda de água e acúmulo de matéria seca (Ferreira Junior *et al.*, 2014). A produtividade potencial da cultura de milho, portanto, depende da eficiência no uso da radiação solar, que é a relação entre fitomassa acumulada ao longo do tempo e a radiação interceptada no mesmo período (Monteith, 1977; Ferreira Junior *et al.*, 2014).

A capacidade de interceptar radiação pelas plantas afeta a eficiência da fotossíntese e produção de matéria seca (Stewart *et al.*, 2003). Sendo assim, a melhoria na interceptação da radiação pode maximizar a eficiência fotossintética de uma cultura e incrementar o rendimento produtivo (Marchão *et al.*, 2006). Fatores como arquitetura foliar, população de plantas e espaçamento entre linhas alteram a distribuição do dossel na área cultivada e, conseqüentemente, o uso eficiente da radiação (Stewart *et al.*, 2003). O arranjo de plantas na área pode alterar a capacidade de interceptação da radiação solar, bem como o aproveitamento de recursos como água e nutrientes de solo (Neumann *et al.*, 2019). Com isso, a

interação entre espaçamentos e populações de plantas pode maximizar o uso de recursos com reflexo sobre a produtividade (Brachtvogel *et al.*, 2009).

Os avanços genéticos com a seleção de materiais de ciclo curto, mais produtivos e com melhor arquitetura, requerem novos estudos de arranjo de plantas. As principais alterações no arranjo espacial do milho são promovidas pelo manejo de espaçamento entre linhas e população de plantas, cuja resposta pode variar entre híbridos (Strieder *et al.*, 2007). A alteração no espaçamento pode maximizar o aproveitamento de recursos devido a melhor distribuição de plantas na área (Neumann *et al.*, 2019). Contudo, a proximidade exagerada das plantas pode aumentar a competitividade e reduzir a incidência de luz na entrelinha. A população de plantas, se mal manejada, pode aumentar exageradamente a competitividade intraespecífica e diminuir o potencial produtivo da área. Além disso, diferentes espaçamentos entre linhas e populações de plantas podem afetar a qualidade da silagem (Rosales *et al.*, 2008). Desta forma, a correta escolha de espaçamento e população de plantas dos híbridos de milho de forma regionalizada pode proporcionar elevação da produção e qualidade da silagem. Nesse caso, deve ser dada atenção aos nutrientes exportados da área cultivada, visto que há correlação positiva entre produção de silagem de milho e exportação de nutrientes (Borin; Lana; Pereira, 2010).

O espaçamento entre linhas mais adotado atualmente é de 45 cm, comparado com o espaçamento de 90 cm (Pereira Filho; Cruz; Karam, 2013). A utilização deste espaçamento promoveu melhor distribuição das plantas e, conseqüentemente, aumentou o desempenho produtivo (Rosales *et al.*, 2008). Contudo, a proximidade das plantas nesse espaçamento promove sombreamento na entrelinha, o que reduz a taxa fotossintética das folhas mais baixas (Gomes *et al.*, 2011), pelo menos em híbridos mais antigos. Essa redução pode gerar perda de potencial produtivo e afetar qualitativamente a forragem. A partir disso, espaçamentos de linhas duplas foram estudados como alternativa para esse problema (Li *et al.*, 2018; Makino *et al.*, 2019). O espaçamento de linhas duplas consiste na adoção de dois espaçamentos intercalados em uma mesma área, com isso há maior incidência de luz na entrelinha (Makino *et al.*, 2019).

Segundo Skonienski *et al.* (2014), muitos são os estudos que avaliam o efeito do arranjo de plantas sobre a produtividade de forragem e grãos, contudo, poucos são aqueles que efetivamente avaliem o seu impacto sobre a composição

química das silagens. É importante salientar que alta produtividade de silagem de milho pode não ser sinônimo de menor custo, visto que a qualidade do material afeta diretamente o consumo de matéria seca e o desempenho animal (Resende *et al.*, 2017). Na produção de forragens conservadas, o objetivo é produzir elevada quantidade de forragem com máxima qualidade e menor custo por tonelada (Oliveira *et al.*, 1999). A produção de forragens conservadas de elevada qualidade reduz o custo com a alimentação em razão da menor necessidade de concentrado nas dietas, já que essas forragens elevam o fornecimento dos nutrientes exigidos pelos animais (Oliveira; Sobrinho, 2007; Menezes *et al.*, 2013).

A hipótese do presente estudo é que a alteração do arranjo de plantas, através da mudança de espaçamento e população de plantas em híbridos de milho mais modernos, afeta quantitativamente e qualitativamente a silagem produzida em razão da elevação do aproveitamento da radiação solar e nutrientes do solo, com alteração da exportação de nutrientes. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes espaçamentos entre linhas e populações de plantas sobre a produção e qualidade da silagem de milho, bem como sobre a exportação de N, P e K.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos do processo de ensilagem

O termo silagem refere-se a forragens conservadas devido à acidificação resultante de fermentação anaeróbica (D'oliveira; Oliveira, 2014). A fermentação consiste no consumo de carboidratos (sobretudo carboidratos solúveis) por microrganismos, e liberação de ácidos orgânicos (principalmente ácido lático), os quais reduzem o pH do material ensilado (Weinberg; Muck, 1996; Macêdo; Santos, 2019). A acidificação do material promove a inibição da atividade microbiana do silo, permitindo a estabilidade do volumoso ensilado (Danner *et al.*, 2003; Lima Júnior *et al.*, 2013; Paula *et al.*, 2021). A conservação da forragem na forma de silagem depende, além da disponibilidade de carboidratos solúveis, da baixa capacidade tampão da massa, o que contribui para rápida redução do pH (Muck, 2010; Neumann *et al.*, 2010; Macêdo; Santos, 2019).

O processo de ensilagem pode ser dividido em quatro etapas/fases: fase aeróbica, de fermentação ativa, de estabilidade e de abertura (Weinberg; Muck, 1996; Macêdo; Santos, 2019). A primeira fase ocorre durante o enchimento do silo até horas após o seu fechamento, quando a concentração de oxigênio é reduzida drasticamente e ocorrem perdas indesejáveis pelo desenvolvimento de microrganismos enquanto na presença de O<sub>2</sub> (Weinberg; Muck, 1996; Paula *et al.*, 2021). Segundo esses autores, quanto mais curta essa fase, menores serão essas perdas na fase inicial do processo de ensilagem.

O rápido consumo do oxigênio presente no silo permite o desenvolvimento de bactérias anaeróbicas ou anaeróbicas facultativas (Danner *et al.*, 2003; Muck, 2010; Paula *et al.*, 2021), especialmente bactérias que produzem ácido lático. É essencial para a manutenção do silo que sua vedação seja bem executada, pois a entrada de oxigênio ativa metabolicamente microrganismos oportunistas que consomem nutrientes da silagem e reduzem sua qualidade (Ranjit; Kung Junior, 2000; Velho *et al.*, 2006). Na presença de oxigênio, fungos e bactérias acetogênicas promovem degradação da silagem consumindo açúcares e produtos da fermentação, o que eleva a temperatura da massa ensilada (Velho *et al.*, 2006), e reduz a qualidade do material ensilado.

A segunda fase, de fermentação ativa, inicia-se após o consumo do oxigênio presente com a produção de ácidos orgânicos (especialmente ácido láctico) através do consumo de carboidratos, o que reduz o pH da massa (Weinberg; Muck, 1996; Paula *et al.* 2021). A acidificação é essencial para a conservação da forragem na forma de silagem (Muck, 2010; Paula *et al.*, 2021). A terceira fase, de estabilidade, ocorre quando o pH da massa atinge a estabilidade, com baixa atividade biológica, e a quarta fase, consiste na abertura do silo para uso da forragem (Paula *et al.*, 2021; Weinberg; Muck, 1996). Com a exposição ao oxigênio, os microrganismos indesejáveis voltam a se desenvolver e degradar o alimento, o que demanda manejo correto da retirada do material a fim de minimizar as perdas (Paula *et al.*, 2021).

A fermentação pode ser avaliada pelo pH da massa ensilada, dos ácidos orgânicos e do nitrogênio amoniacal (Ramos *et al.*, 2021). A faixa de pH da silagem indica quais microrganismos têm seu desenvolvimento favorecido, em que o pH na faixa de 6,0 permite o desenvolvimento de clostrídios e enterobactérias, organismos indesejáveis na silagem (Macêdo; Santos, 2019; Ramos *et al.*, 2021). Valores de pH abaixo de 5,0 indicam desenvolvimento de bactérias ácido lácticas, cuja síntese do ácido láctico, reduz o pH a níveis próximos a 4,0 (Macêdo; Santos, 2019). Valores ideais de pH para conservação da forragem variam entre 3,6 e 4,2 (Santos *et al.*, 2010). A velocidade de declínio do pH está relacionada com os níveis de perdas no material. Quanto mais rápido o decréscimo, menores serão as perdas (Macêdo; Santos, 2019).

Para o processo de ensilagem, considera-se ideal que os volumosos apresentem teores de matéria seca (MS) entre 28 e 35% (Ferrari Júnior *et al.*, 2001; Coan *et al.*, 2007; Paula *et al.*, 2021). Na cultura do milho, recomenda-se um teor de MS entre 30 e 35% (Ramos *et al.*, 2021). Segundo esses autores, nessa amplitude ocorre otimização da fermentação láctica, o que reduz as perdas de matéria seca.

Vale destacar que outros aspectos podem apresentar elevada relevância para a adequada redução do pH do silo, como tamanho de partícula (Neumann *et al.*, 2007), estágio de colheita (teor de MS e concentração de carboidratos), conteúdo de água e procedimentos de ensilagem em geral, como a qualidade da vedação (Ramos *et al.*, 2021). Partículas maiores prejudicam a compactação do silo e a retirada de oxigênio da massa, o que reduz qualidade da fermentação (Neumann *et al.*, 2007). A compactação também é prejudicada quando o material apresenta

teores de matéria seca acima de 40%, o que reduz a qualidade da silagem (Ramos *et al.*, 2021).

O excesso de umidade atua diretamente na qualidade da fermentação, pois resultará em perdas por efluentes, predominância da fermentação por clostrídios e degradação proteica (Ramos *et al.*, 2021). O excesso de umidade pode promover fermentações secundárias indesejáveis, além de aumentar a capacidade tampão da massa pela diluição de ácido orgânicos responsáveis pela redução do pH (Anjos *et al.*, 2020). Além da umidade, a presença de ânions (sais de ácidos orgânicos, ortofosfatos, sulfatos, nitratos e cloretos) contribui para aumento da capacidade tampão (Playne; Mcdonald, 1966; Coan *et al.*, 2007). Altos teores de proteína bruta e cinzas (material mineral) também são responsáveis por aumentar a capacidade tampão das forragens (Kung Jr *et al.*, 2018).

O processo de ensilagem, quando realizado de maneira correta, minimiza perdas energéticas e de matéria seca (carbono) (Velho *et al.*, 2006). Com isso, a qualidade final da silagem é reflexo direto de dois fatores. O primeiro é a qualidade do produto no momento da ensilagem, o seu valor nutricional *in natura*, e o segundo é a qualidade da fermentação, que garantirá a conservação do material com perdas mínimas (Ramos *et al.*, 2021). Segundo esses autores, se o processo é eficiente, resulta em um produto com menores perdas e com maior valor nutritivo para o animal. Contudo, é importante salientar um terceiro e último fator. A “desensilagem”, abertura do silo e uso da silagem, a qual também precisa ser realizada da maneira correta para que sejam evitadas perdas que ocorrem pela entrada do oxigênio na massa ensilada (Velho *et al.*, 2006). De nada adianta um produto de qualidade, ensilado de maneira correta, se o seu uso após a abertura ocorre de maneira incorreta. Isso pode comprometer o custo/benefício do alimento com a degradação de nutrientes e aumento na proporção de parede celular (Velho *et al.*, 2006).

## **2.2 Silagem de milho**

As plantas forrageiras ideais para produção de silagem são aquelas que possibilitam elevada produção de matéria seca, alta digestibilidade e alto teor de energia, e ausência de fatores antinutricionais. Inicialmente, o objetivo das forragens conservadas é atender ou servir como uma reserva de forragem, que possa atender

a demanda de matéria seca dos animais nos períodos de vazio forrageiro (Araújo Neto; Câmara, 2000; Klein *et al.*, 2018).

Uma vez suprida essa necessidade inicial quanto à quantidade de alimento, independente do sistema de produção, a utilização das forragens conservadas, especialmente a silagem de milho, apresenta grande importância no atendimento da demanda de energia e, posteriormente, proteína bruta. Vale destacar que, nos sistemas estabulados, a utilização das forragens conservadas apresenta uma importância no que se refere ao atendimento das necessidades mínimas de fibra para o adequado funcionamento do rúmen (Macêdo Júnior, *et al.*, 2007), que é em torno de 25% de fibra em detergente neutro (FDN) ou 17% de fibra em detergente ácido (FDA) (National Research Council, 2001). Nos sistemas de produção a pasto, normalmente, a oferta de fibra não é limitante para o adequado funcionamento do rúmen pela alta ingestão de forragem (Silva *et al.*, 2009), o que torna a silagem de milho uma fonte de alimento em períodos de vazio forrageiro ou uma fonte de nutrientes complementar (energia e proteína, principalmente).

O milho, juntamente com o sorgo, é destaque na produção de volumoso na forma de silagem para suprir a falta de pasto ocasionada por condições de frio e/ou seca em determinados períodos do ano (Cruz, 1998). As características mais desejáveis do milho destinado à silagem são a elevada produção de matéria seca, altas concentrações de energia e elevada digestibilidade (Oliveira *et al.*, 1999; Paziani *et al.*, 2009). Tais características permitem alta aceitação pelos animais, elevado desempenho animal e redução do uso de concentrados nas dietas (Oliveira *et al.*, 1999).

Híbridos com alta produção de grãos e alta participação de folhas resultam em uma silagem de alto valor energético, além da boa qualidade no processo de fermentação influenciado pelos carboidratos dos grãos (Neumann *et al.*, 2018). Por isso, na ausência de informações sobre os híbridos mais modernos para produção de silagem, recomenda-se a escolha de materiais com maior produção de grãos, devido a sua importância na qualidade da forragem conservada (Paziani *et al.*, 2009). Nos últimos anos, no entanto, tem se verificado uma elevação na produtividade e qualidade das silagens, o que se deve aos avanços tecnológicos, tais como o lançamento de novos híbridos e fatores de manejo (Fumagalli *et al.*, 2017).

Os diferentes híbridos de milho disponíveis no mercado apresentam comportamentos diferentes quanto à qualidade da silagem produzida (Araújo *et al.*, 2021). Materiais mais altos e com ciclos mais longos tendem a produzir silagem com maior teor de fibra, enquanto materiais de ciclo curto e/ou de menor estatura apresentam maior conteúdo energético e menor teor de fibra em razão da maior participação de grãos (Klein *et al.*, 2018). O resultado da interação entre genótipo e ambiente é responsável por variações ocorridas entre híbridos disponíveis no mercado, cujas condições ambientais atuam como limitantes ao desempenho vegetal (Santi; Muniz; Yamashita, 2006; Api *et al.*, 2014).

### 2.2.1 Componentes morfológicos vs. qualidade da silagem

A participação dos componentes morfológicos na massa ensilada é decisiva no processo fermentativo e na qualidade da silagem (Lupatini *et al.*, 2004; Klein *et al.*, 2018; Neumann *et al.*, 2019). O valor nutricional do material ensilado, neste contexto, pode ser influenciado pela composição estrutural das plantas de milho, como proporção de grãos, folhas e colmos na massa ensilada (Moraes *et al.*, 2013). O aumento da competição intraespecífica na linha de plantio, por exemplo, pode modificar o desenvolvimento das plantas devido à competição por luminosidade (Lima; Alvarez; Contardi, 2016; Neumann *et al.*, 2019).

A partir dos dados apresentados na Tabela 1 é possível observar diferenças bromatológicas entre as frações que compõem a silagem de milho, que podem ser influenciadas pelos híbridos e pelo manejo (Caetano *et al.*, 2012). Maiores participações de colmos, sabugos e palha na massa ensilada reduzem a qualidade da silagem em razão dos maiores teores de fibras e, conseqüentemente, menor digestibilidade (Klein *et al.*, 2018; Neumann *et al.*, 2019). A baixa participação destes componentes morfológicos aumenta o valor nutritivo da silagem (Bal *et al.*, 2006).

Dentre os componentes morfológicos das plantas de milho, as folhas correspondem a uma importante fração, visto que apresentam alto teor de PB, em geral superior a 14% e alta digestibilidade comparadas ao colmo, palha e sabugo (Caetano *et al.*, 2012). Além das folhas, a participação de grãos contribui para aumento no teor de proteína bruta (Caetano *et al.*, 2012). A silagem de milho não é um alimento proteico, mas pequenos incrementos no teor deste nutriente podem

reduzir o custo de alimentação e/ou aumentar o rendimento produtivo dos animais (Neumann *et al.*, 2017).

**Tabela 1 – Caracterização bromatológica das frações que compõem uma silagem de milho de planta inteira. UTFPR, Pato Branco-PR, 2023.**

| Nutrientes      | Colmo | Grão | Folha | Palha | Sabugo |
|-----------------|-------|------|-------|-------|--------|
| PB (% MS)       | 4,0   | 10   | 15    | 3,5   | 3,5    |
| FDN (% MS)      | 70    | 20   | 70    | 80    | 80     |
| FDA (% MS)      | 40    | 4,0  | 31    | 37    | 40     |
| Celulose (% MS) | 35    | 3,0  | 28    | 32    | 37     |
| Lignina (% MS)  | 6,0   | 0,9  | 3,0   | 3,5   | 4,0    |
| Cinzas (% MS)   | 3,5   | 1,5  | 7,5   | 2,0   | 1,2    |
| DIVMS (% MS)    | 55    | 84   | 68    | 58    | 51     |

PB – proteína bruta. FDN – fibra em detergente neutro. FDA – fibra em detergente ácido. DIVMS – digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Fonte: Adaptado de Caetano *et al.* (2012).

Os teores de FDN apresentam correlação negativa com a participação de grãos, visto que, dentre as demais frações é a única que apresenta baixos teores de fibra (Caetano *et al.*, 2012). A maior participação de grãos reduz o conteúdo de fibra da silagem, além de aumentar o valor energético devido à alta concentração de carboidratos não fibrosos (CNF) (Paula *et al.*, 2021). Além disso, a alta concentração de CNF dos grãos atua como “combustível” para a fermentação microbiana, a qual promove rápida redução do pH, o que reduz perdas durante a ensilagem (Macêdo; Santos, 2019).

### 2.2.2 Extração e exportação de nutrientes

A exportação de nutrientes no milho depende da produção de forragem, sendo bastante elevada em áreas de produção de silagem (Ueno *et al.*, 2013). Segundo esses autores, diferentemente da colheita de grãos, a colheita de forragem para produção de silagem extrai quase a totalidade de material vegetal sobre o solo, restando apenas o sistema radicular e pequena porção do colmo. Desta forma, a exportação de nutrientes em áreas destinadas à produção de forragem é mais intensa do que naquelas destinadas à produção de grãos. Sendo assim, a adubação

deve levar em conta, além da análise de solo e estimativa do potencial produtivo, a exportação de nutrientes pela cultura (Coelho, 2006).

Os grãos de milho são responsáveis por aproximadamente 40% da matéria seca da silagem de milho, e o restante corresponde às demais partes da planta (Ueno *et al.*, 2013; Neumann *et al.*, 2019). No estágio R6 da cultura, aproximadamente 65% do nitrogênio, 75% do fósforo e 35% do potássio se encontram nos grãos (Tabela 2). A silagem, nesse sentido, exporta a maior parte dos nutrientes devido à baixa permanência de resíduos vegetais na área da colheita (Ritchie; Hanway; Benson, 2003).

**Tabela 2 – Distribuição em porcentagens de nutrientes N, P e K nas diferentes estruturas que compõem a planta de milho no estágio R6.**

| Fração da planta                         | N (%) | P (%) | K (%) |
|--|-------|-------|-------|
| Grãos                                    | 65    | 75    | 35    |
| Folhas                                   | 20    | 10    | 5     |
| Colmos                                   | 6     | 7     | 30    |
| Sabugo, haste e cabelo                   | 3     | 3     | 10    |
| Bainhas                                  | 3     | 3     | 10    |
| Palhas e bonecas de inserção mais baixas | 3     | 2     | 10    |

Fonte: Adaptado de Ritchie, Hanway e Benson (2003).

A exportação de nutrientes está diretamente associada com a produtividade de MS (Duarte *et al.*, 2003; Ueno *et al.*, 2011). Ferreira *et al.* (2020) observaram diferenças de exportação de fósforo entre safras, em que a maior produtividade gerou maior exportação do nutriente. Entretanto, a exportação de nutrientes também está associada com a concentração dos nutrientes no tecido vegetal (Von Pinho; Borges; Andrade, 2009; Ueno *et al.*, 2011). A alteração de fatores de manejo, como espaçamento entre linhas e populações de plantas, que possam alterar a proporção entre as frações das plantas, pode alterar também a concentração de nutrientes exportados do solo via alteração da concentração de nutrientes na massa ensilada.

### 2.3 Espaçamentos x populações de plantas

A radiação solar é primordial para a produção agrícola e, em geral, a eficiência do seu uso pelas culturas é baixa (Strieder *et al.*, 2008; Makino *et al.*,

2019). A eficiência fotossintética está intimamente relacionada à taxa de interceptação da radiação solar, que é diretamente influenciada pela arquitetura e densidade do dossel forrageiro (Muchow; Sinclair; Bennett, 1990; Tollenaar; Aguilera, 1992). Segundo Tollenaar e Aguilera (1992), na ausência de estresse biótico ou abiótico, a área foliar é principal fator determinante do rendimento da cultura. Desta forma, o aumento da produção de forragem pode ocorrer com o incremento da quantidade de energia absorvida pelo dossel, através do aumento da superfície foliar em uma determinada área de solo (Gallo; Daughtry; Bauer, 1985; Ottman; Welch, 1989).

O uso eficiente da radiação pelas plantas forrageiras depende do arranjo de folhas, da densidade de folhas e da arquitetura das folhas das plantas, o que exerce grande influência sobre o rendimento da cultura (Ottman; Welch, 1989; Maddonni; Otegui; Cirilo, 2001). A arquitetura da planta é determinada por características como altura, índice de área foliar, ângulo e orientação de folhas, o que impacta diretamente no arranjo do dossel do milho (Li *et al.*, 2018).

O desempenho agrônômico do milho, neste contexto, está intimamente ligado ao arranjo de plantas (Piana *et al.*, 2008; Sangoi *et al.*, 2019). A correta distribuição de plantas na área, desde que não em excesso, permite um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, com menor competição entre plantas por luz, água e nutrientes (Johnson; Hoverstad; Greenwald, 1998; Kunz *et al.*, 2007; Demétrio *et al.*, 2008; Fumagalli *et al.*, 2017; Makino *et al.*, 2019).

O aumento da interceptação solar e uso dos nutrientes do solo podem ser obtidos através do aumento da população de plantas e redução do espaçamento entre linhas da cultura (Brachtvogel *et al.*, 2009; Neumann *et al.*, 2019). Tal prática eleva a interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), o que aumenta o rendimento produtivo (Marchão; Brasil; Ximenes, 2016). Quando o adensamento de plantas na área é demasiado pode ocorrer excessiva competição intraespecífica por nutrientes, redução da atividade fotossintética e redução da partição de fotoassimilados (Marchão; Brasil; Ximenes, 2016; Leolato *et al.*, 2017). No outro extremo, a adoção de populações de plantas abaixo do ideal reduz o aproveitamento da radiação incidente, o que reduz a produtividade potencial da cultura e aumenta a competição interespecífica com plantas daninhas (Balbinot Junior; Vogt; Trezzi, 2011).



Vale destacar que a elevação demasiada da população de plantas pode aumentar o período de deposição de orvalho e favorecer o desenvolvimento de doenças (Casa *et al.*, 2007), acarretar o aumento da senescência foliar (Andrade; Otegui; Vega, 2000; Maddoni *et al.*, 2001; Sangoi *et al.*, 2013), aumento da esterilidade feminina e promover diferença entre os períodos de antese e espigamento, o que reduz o número de grãos por espiga (Andrade *et al.*, 2002; Tollenaar *et al.*, 2006; Sangoi *et al.*, 2013). A alta competição por nitrogênio e fotoassimilados ocasionada por elevadas populações de plantas pode levar ao abortamento de óvulos, como ocorre no ápice da espiga (Fumagalli *et al.*, 2017). A redução de componentes de rendimento do milho nesse caso pode ser compensada pelo aumento do número de espigas (Piana *et al.*, 2008; Fumagalli *et al.*, 2017).

O aumento da população de plantas pode, também, promover modificações na arquitetura foliar, alongação de entrenós produzindo colmos mais compridos, de menor diâmetro e maior altura de inserção de espigas (Penariol *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2009), o que favorece o acamamento de plantas (Casa *et al.*, 2007).

A elevação da produtividade via aumento da densidade de plantas de milho deve levar em consideração fatores como época de semeadura, capacidade de investimento, espaçamento entre linhas, fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, cultivar e local de implantação (Silva *et al.*, 2010). A maximização da produtividade, quando em altas densidades e espaçamento reduzido é uma estratégia de manejo efetiva em situação de ausência de restrições hídricas e edáficas (Haegerle *et al.*, 2014; Mansfield; Mumm, 2014; Boiago *et al.*, 2017).

A cultura do milho no Brasil era tradicionalmente implantada com espaçamentos próximos a 0,8 e 0,9 metros entre linhas (Mattoso *et al.*, 2006). Entretanto, com o passar do tempo, o espaçamento entre linhas foi reduzido mantendo-se a população de plantas (Pereira Filho; Cruz; Karam, 2013). Essa redução proporciona maior equidistância entre as plantas e diminui a competição entre elas (Porter *et al.*, 1997; Alvarez; Pinho; Borges, 2006), aumentando a produtividade. Entretanto, essas alterações podem reduzir a qualidade nutricional do produto (Skonienski *et al.*, 2014; Neumann *et al.*, 2019). A redução do espaçamento entre fileiras permite redução do período crítico de competição com plantas daninhas, visto que o fechamento das linhas ocorre mais cedo e a competição por recursos é reduzida (Balbinot Junior; Fleck, 2005).

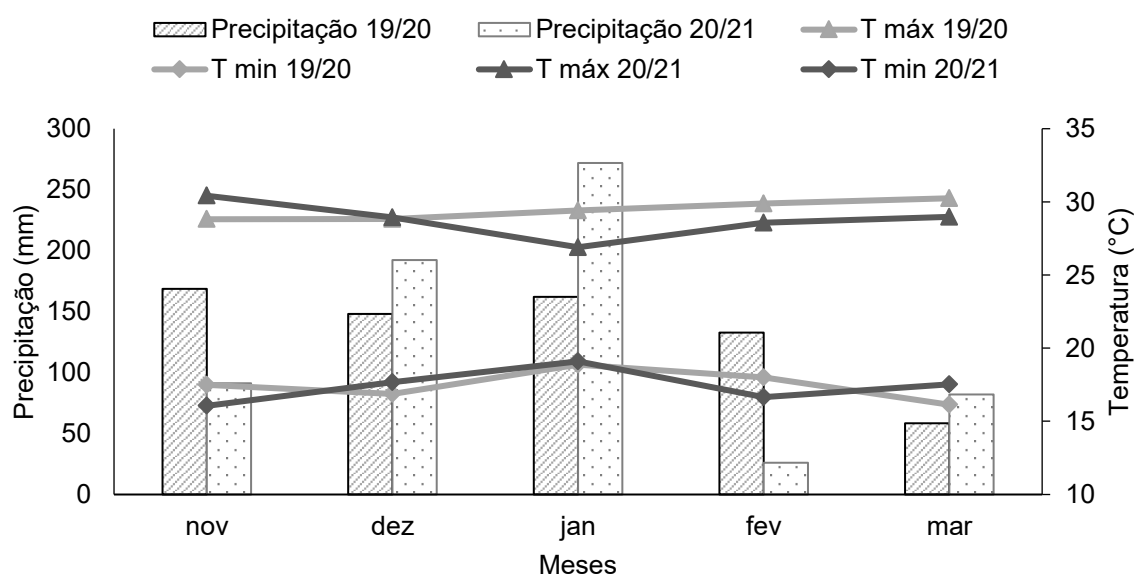
Novas recomendações de espaçamento devem ser realizadas em função da introdução de genótipos de diferentes estaturas, diferentes angulações de folha e diferentes potenciais produtivos (Argenta; Silva; Sangoi, 2001). Na ausência de limitações edafoclimáticas, híbridos modernos de alto potencial produtivo e elevada altura de planta necessitam de adequado arranjo espacial para expressão do seu potencial forrageiro (Boiago *et al.*, 2017). Enquanto o espaçamento de 90 cm proporciona elevada competição intraespecífica na linha e baixa interceptação de radiação (Marchão; Brasil; Ximenes, 2016), o espaçamento de 45 cm impede a entrada de luz no dossel forrageiro. Já o espaçamento intercalado (linhas duplas) reduz a competição entre plantas de milho e permite maior incidência de radiação solar nos estratos médio e inferior da cultura do milho (Makino *et al.*, 2019). O sistema de cultivo com espaçamento intercalado pode ser uma alternativa para aumentar a qualidade de silagem, uma vez que essa maior incidência de luz nos estratos inferiores pode aumentar o número de espigas por planta, o número de grãos por espiga, principalmente em híbridos prolíficos (Alimuddin *et al.*, 2020).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local e época

O experimento foi desenvolvido durante as safras 2019/2020 e 2020/2021 na área experimental do curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco (26°41'17" Sul e 52°41'17" Oeste), cujo local apresenta declividade média de 5%. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006). O clima da região é subtropical úmido do tipo Cfa, conforme classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), com altitude média de 760 m. Na Figura 1 estão apresentados os dados climáticos durante o período experimental. Na segunda safra houve restrição hídrica durante a fase de enchimento de grãos (mês de fevereiro), além da alta incidência de cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*) no início do desenvolvimento da cultura.

**Figura 1 – Dados de temperatura máxima média, temperatura mínima média e pluviosidade no local do experimento nas safras 2019/2020 e 2020/2021. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023.**



Fonte: Adaptado de Nasa/Power (2022).

Na Tabela 3 são apresentados os dados resultantes da análise de solo da área experimental realizada antes da implantação do experimento, com amostragem na camada de 0-20 cm.

**Tabela 3 – Resultado da análise de solo a partir de coleta realizada no local antes da implantação do experimento. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023.**

| pH                | MO                 | P                   | K     | Ca    | Mg    | H + Al                             | SB    | Al <sup>+3</sup>  | CTC     | V      |
|-------------------|--------------------|---------------------|-------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------------------|---------|--------|
| CaCl <sub>2</sub> | g dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | ----- |       |       | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | ----- |                   |         | %      |
| 4,80**            | 48,25*             | 4,45***             | 0,26* | 3,90* | 2,50* | 5,76                               | 6,66  | 0,15 <sup>3</sup> | 12,42** | 53,62* |

M.O. – matéria orgânica. SB – soma de bases. V – saturação de bases; \* alto, \*\* médio e \*\*\* baixo = Classes de interpretação segundo Manual de Adubação e Calagem do Estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2019).

Fonte: A autoria própria, 2023.

### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com os tratamentos em arranjo fatorial 2x3x4, utilizando-se quatro repetições de área. Foram avaliados em duas safras agrícolas (2019/2020 e 2020/2021) três espaçamentos entre linhas (45 cm, 90 cm e espaçamento intercalado - uma linha com espaçamento de 45 cm e uma linha com espaçamento de 90 cm) e quatro populações de plantas (50, 60, 70 e 80 mil plantas/ha).

### 3.3 Procedimento experimental

O experimento foi implantado em área caracterizada pela utilização de sistema de plantio direto, com cultivo de milho (*Pennisetum glaucum*) no verão e aveia-preta (*Avena strigosa*) no inverno. Antecedendo o experimento, a área experimental foi demarcada e dividida em quatro blocos. Cada bloco foi constituído por 12 parcelas com 37,8 m<sup>2</sup> de área útil (6,3 m x 6,0 m). Ao redor do experimento foram implantadas três linhas de milho espaçadas em 45 cm para atuar como bordaduras. Além disso, as bordas das parcelas também foram consideradas bordaduras, com avaliações ocorrendo nas três linhas centrais de cada parcela.

A semeadura do híbrido de milho B2688 PWU (ciclo precoce com aptidão para grão e silagem) no primeiro ano agrícola ocorreu no dia 19/11/2019, enquanto a semeadura deste mesmo híbrido no segundo ano agrícola ocorreu no dia 12/11/2020. A semeadura foi realizada de forma manual com utilização de matraca, semeando duas sementes por cova em profundidade de 3-4 cm. Após 15 dias da semeadura foi realizado o desbaste das plantas, mantendo-se uma planta por cova.

A adubação foi realizada na linha de semeadura durante a marcação das linhas de plantio com semeadora de plantio direto. Em ambos os anos agrícolas, a adubação de base foi realizada com 350 kg/ha de um adubo comercial (NPK 8-30-

15). Nos estádios V4 e V8, foram aplicados 90 kg de nitrogênio e 90 kg de K<sub>2</sub>O, totalizando 180 kg/ha de cada nutriente, utilizando-se ureia (45% de N) e KCl (60% de K<sub>2</sub>O), respectivamente. A adubação seguiu a recomendação do Manual de Adubação e calagem do Estado do Paraná (Pauletti; Motta, 2019). A cultura antecessora, em ambas as safras, foi aveia-preta, a qual foi cultivada com finalidade de cobertura e recebeu adubação de base de 40 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

O controle de insetos, doenças e plantas daninhas se deu conforme recomendações para região. A aveia-preta foi dessecada 45 dias previamente ao plantio com aplicação de glifosato (960 g de i.a./ha) em ambas as safras. A primeira safra contou com duas aplicações de inseticida imidacloprido + beta-ciflutrina (100 + 12,5 g de i.a./ha) em V4 e V8. Também contou com aplicação de glifosato (960 g de i.a./ha) em V4 e fungicida piraclostrobina + epoxiconazol (91 + 56 g de i.a./ha) em V8. A segunda safra contou com o mesmo manejo de doenças e plantas daninhas. Contudo, o manejo de insetos foi intensificado devido à presença de cigarrinha do milho, o qual se iniciou em V4, com quatro aplicações semanais intercalando acefato (970 g de i.a./ha) e imidacloprido + beta-ciflutrina (100 + 12,5 g de i.a./ha).

### **3.4 Avaliações experimentais**

Antecedendo a colheita, foram realizadas as avaliações biométricas em oito plantas aleatórias nas três linhas centrais de cada parcela. A altura das plantas e altura de inserção de espiga foi realizada com auxílio de uma trena, enquanto a medida do diâmetro de colmo foi realizada com auxílio de um paquímetro. A altura de plantas foi realizada do solo até o ápice do pendão de cada planta. A altura de inserção de espiga foi realizada do solo até o pedúnculo floral feminino de cada planta. A leitura do diâmetro de colmo foi realizada entre o segundo e terceiro nó. No dia da colheita, foi determinado o estande final de plantas, contabilizando o número de plantas nas mesmas três linhas centrais de cada parcela.

A colheita, em ambas as safras, foi realizada quando os grãos atingiram o estágio farináceo-duro (30-35% de matéria seca). A colheita das plantas ocorreu de forma manual a 20 cm do solo. Foram colhidas 20 plantas das três linhas centrais de cada parcela, as quais foram pesadas para determinação da produção de forragem. A produção de forragem foi determinada considerando o estande final de plantas, o peso verde de cada planta (peso das plantas colhidas de cada parcela/número de plantas colhidas) e o teor de matéria seca das plantas. O teor de matéria seca foi

determinado a partir de 10 plantas de cada parcela, as quais foram processadas em forrageiro estacionário (2-3 cm de tamanho de partícula). Após foram retiradas duas amostras ( $\pm 300$  g), as quais foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 55 °C durante 72 horas. Após o material foi pesado, moído e o seco novamente em estufa a 105 °C por 24 horas para determinação da matéria seca. O restante do material processado foi destinado à confecção dos silos experimentais.

A avaliação da composição morfológica das plantas foi realizada em três plantas de cada parcela, as quais foram separadas em colmo, folha, sabugo, grãos e palha da espiga. As amostras da separação morfológica foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 55 °C por 72 horas. Após, as amostras foram pesadas para estimativa da proporção destes componentes da planta. Os componentes de rendimento foram determinados a partir da separação morfológica. Deste modo, foi realizada a contagem visual do número de fileiras por espiga e o número de grãos por fileira. A avaliação do peso de mil grãos (PMG) ocorreu após a secagem em estufa com circulação de ar forçado a 55 °C por 72 horas.

Para a avaliação da silagem foram confeccionados seis silos experimentais por parcela, os quais foram constituídos por sacos plásticos de 20 micras com capacidade de 1 kg, sendo a vedação da silagem realizada com auxílio de uma Máquina Industrial de Embalar a Vácuo (modelo GS620F). Os silos experimentais foram armazenados por 60 dias em temperatura ambiente e com ausência de luz. Após esse período, dois silos aleatórios de cada parcela foram abertos e submetidos às avaliações de pH (Silva; Queiroz, 2002), teor de proteína bruta (PB) (Association of Official Analytical Chemists, 1995) e teor de fibra em detergente neutro (FDN) (Van Soest; Robertson; Lewis, 1991).

As análises para determinação dos teores de N no tecido vegetal seguiram a metodologia destinada à avaliação de proteína bruta (Association of Official Analytical Chemists, 1995), enquanto os teores de K e P seguiram a metodologia descrita no Manual de Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais (Tedesco *et al.*, 1995). A partir da determinação de suas concentrações, a exportação de nutrientes foi calculada multiplicando-se o valor de produtividade de matéria seca de forragem pela concentração do respectivo nutriente.

### **3.5 Análise estatística**

Os dados foram submetidos a análise de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Bartlett). Depois de satisfeitas estas pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância e regressão. Para os fatores qualitativos (espaçamentos e safras), as médias foram comparadas pelo teste Tukey. Foi utilizado o programa SAS (Statistical Analysis System, versão 9.2) e nível crítico de significância de 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Componentes morfológicos e de rendimento

Não houve interação ( $P > 0,05$ ) entre safra, espaçamentos e população de plantas para componentes morfológicos e de rendimento, exceto produtividade de forragem (Tabela 4). As características quantitativas (componentes de rendimento, medidas métricas e composição morfológica), exceto estande final de plantas, foram influenciadas ( $P < 0,05$ ) pela safra, observando-se piores resultados para o segundo ano agrícola, caracterizado pela alta infestação de cigarrinha-do-milho (*Daubulus maidis*) e estiagem.

O complexo de enfezamento é caracterizado por alterações fisiológicas, metabólicas e bioquímicas, que ocorrem pela multiplicação e infecção sistêmica por mollicutes (Sabato, 2018). Os sintomas do complexo do enfezamento são o nanismo, clorose, enfezamento avermelhado, virescência e redução na prolificidade (Amorim, Bergamin Filho; Rezende, 2019). Em adição, o complexo de enfezamento ocasiona menor absorção de água e nutrientes com reflexo negativo sobre o potencial produtivo (Costa *et al.*, 2019). Além disso, segundo esses autores, os mollicutes, transmitidos pela cigarrinha-do-milho, promovem também danos diretos à planta através da sucção da seiva (com possibilidade de formação de fumagina).

A disponibilidade hídrica também é um fator importante para a fotossíntese e absorção de nutrientes, além de outras manutenções fisiológicas (Taiz *et al.*, 2017). Segundo esses pesquisadores, a baixa absorção de água em períodos secos promove menor produção de fotoassimilados devido à falta de água para as reações metabólicas da fotossíntese e pelo fechamento estomático, que reduz as trocas gasosas. A menor disponibilidade de  $\text{CO}_2$  intracelular reduz a produção de fotoassimilados pela menor disponibilidade de carbono (Taiz *et al.*, 2017). O déficit hídrico concomitante ao processo de enchimento de grãos reduz o acúmulo de reservas, produzindo grãos mais leves (Taiz *et al.*, 2017).

O estande final de plantas aumentou linearmente ( $P < 0,05$ ) com a elevação da população de plantas (Tabela 4), o que está de acordo com o protocolo experimental, o qual visou avaliar diferentes populações de plantas associado a diferentes espaçamentos entre linhas.



**Tabela 4 – Componentes de rendimento e morfológicos de plantas de milho de acordo com os fatores de variação. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023.**

| Itens | Safrá (S) |      | População de plantas (PP) |      |      |      | Espaçamentos (E)  |                   |                    | EPM   | P - Valor |        |       |       |       |       |        |
|-------|-----------|------|---------------------------|------|------|------|-------------------|-------------------|--------------------|-------|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
|       | 2020      | 2021 | 50                        | 60   | 70   | 80   | 45                | 90                | 45/90*             |       | S         | PP     | E     | S*PP  | S*E   | PP*E  | S*PP*E |
| EF    | 63,1      | 61,4 | 52,1                      | 57,0 | 71,0 | 76,0 | 64,4              | 59,5              | 63,5               | 16,74 | 0,565     | <0,001 | 0,261 | 0,802 | 0,169 | 0,896 | 0,213  |
| AP    | 254       | 233  | 240                       | 242  | 245  | 247  | 245               | 244               | 241                | 13,65 | <0,001    | 0,017  | 0,115 | 0,499 | 0,971 | 0,250 | 0,589  |
| AIE   | 139       | 133  | 131                       | 134  | 137  | 141  | 137 <sup>a</sup>  | 137 <sup>a</sup>  | 133 <sup>b</sup>   | 8,34  | <0,001    | <0,001 | 0,010 | 0,771 | 0,407 | 0,438 | 0,969  |
| DC    | 23,0      | 19,2 | 21,7                      | 21,6 | 20,7 | 20,6 | 21,3              | 20,8              | 21,1               | 2,44  | <0,001    | <0,001 | 0,243 | 0,348 | 0,598 | 0,891 | 0,055  |
| NF    | 19,5      | 18,6 | 18,9                      | 19,1 | 18,7 | 19,5 | 19,2              | 18,9              | 19,1               | 1,42  | <0,001    | 0,087  | 0,452 | 0,531 | 0,043 | 0,314 | 0,076  |
| NGF   | 34,5      | 27,6 | 31,3                      | 32,6 | 30,2 | 30,0 | 30,2 <sup>b</sup> | 32,4 <sup>a</sup> | 30,7 <sup>ab</sup> | 4,83  | <0,001    | 0,023  | 0,012 | 0,146 | 0,108 | 0,053 | 0,490  |
| PMG   | 257       | 238  | 253                       | 254  | 243  | 241  | 246               | 248               | 249                | 21,21 | <0,001    | 0,028  | 0,834 | 0,512 | 0,158 | 0,772 | 0,941  |
| Grãos | 44,0      | 37,7 | 39,8                      | 41,1 | 41,3 | 41,3 | 41,0              | 41,4              | 40,3               | 5,23  | <0,001    | 0,568  | 0,529 | 0,208 | 0,817 | 0,134 | 0,117  |
| Folha | 19,5      | 18,2 | 18,6                      | 18,5 | 18,5 | 19,8 | 19,3              | 18,5              | 18,8               | 2,00  | 0,010     | 0,036  | 0,198 | 0,325 | 0,075 | 0,914 | 0,787  |
| Colmo | 19,1      | 25,7 | 22,2                      | 21,5 | 24,0 | 21,9 | 22,7              | 22,1              | 22,3               | 6,29  | <0,001    | 0,368  | 0,888 | 0,803 | 0,909 | 0,242 | 0,211  |
| P+S   | 17,4      | 18,6 | 19,4                      | 18,5 | 17,2 | 16,9 | 17,6 <sup>b</sup> | 17,7 <sup>b</sup> | 18,6 <sup>a</sup>  | 1,92  | 0,001     | <0,001 | 0,028 | 0,234 | 0,306 | 0,974 | 0,405  |
| PF    | 22,4      | 17,8 | 18,3                      | 19,2 | 21,6 | 21,3 | 21,2 <sup>a</sup> | 19,6 <sup>b</sup> | 19,4 <sup>b</sup>  | 3,84  | <0,001    | <0,001 | 0,002 | 0,018 | 0,734 | 0,567 | 0,114  |

Estande final de plantas (EF, mil plantas/ha = 79030,8750 + 843,86667x); Altura de plantas (AP, cm = 226,37144 + 0,24291); Altura de inserção de espiga (AIE, cm = 112,77777 + 0,32930x); Diâmetro de colmo (DC, cm = 23,95295 – 0,03958x); NF = número de fileiras; Número de grãos por fileira (NGF = 35,083 – 0,05546x); Peso de mil grãos (PMG, g = 281,2354 - 0,4779x); Grãos (%); Folhas (Y, % = 16,21875 + 0,03792x); Colmo (%); P+S, % = palha + sabugo (Y = 23,49143 - 0,07883x); Produtividade de forragem (PF, ton. de matéria seca/ha = 8,34941 + 196,5185x); \*Linhas com espaçamento de 45 cm alternadas com linhas com espaçamento de 90 cm. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste Tukey (P ≤ 0,05).

Fonte: Autoria própria, 2023.

As alturas de plantas e inserção de espiga aumentaram ( $P < 0,05$ ) com a elevação da população de plantas (Tabela 4), fato relacionado com a maior competição por luz, água e nutrientes (Penariol *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2009). Em contrapartida, o diâmetro dos colmos reduziu linearmente ( $P < 0,05$ ) com aumento da população de plantas. Estes resultados foram coerentes com a literatura, uma vez que o aumento da população de plantas impacta na formação de plantas mais altas e com menor diâmetro de colmo (Penariol *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2009). A competição, principalmente por luz, proporciona maior crescimento em altura em detrimento do crescimento radial (Stacciarini *et al.*, 2010).

O número de fileiras por espiga não foi alterado ( $P > 0,05$ ) pela população de plantas (Tabela 4). Estes resultados indicam que a competição intraespecífica no momento de definição desta característica não foi suficiente para promover diferenças entre as populações de plantas. Já o número de grãos por fileira, definido em estágio posterior de desenvolvimento da planta, reduziu linearmente ( $P < 0,05$ ) em função do aumento da população de plantas (Tabela 4). Brachtvogel *et al.* (2009) destacaram a importância da competição intraespecífica, em que o aumento da população de plantas reduz os recursos disponíveis, produzindo espigas menores e com grãos menores e mais leves, podendo resultar em menor produtividade. Além disso, o aumento da população de plantas e competição intraespecífica pode acarretar maior abortamento de óvulos das espigas (Sangoi *et al.*, 2007; Fumagalli *et al.*, 2017), o que pode impactar o número de grãos por fileira.

O peso de mil grãos foi reduzido linearmente ( $P < 0,05$ ) com aumento da população de plantas (Tabela 4). A elevação da população de plantas eleva a competição intraespecífica levando a redução do tamanho dos grãos em razão do menor acúmulo de carboidratos de reservas (Strieder *et al.*, 2007; Brachtvogel *et al.*, 2009; Ventura; Dalchiavon, 2018). A maior disponibilidade de recursos devido à menor competitividade promove maior acúmulo de fotoassimilados nos grãos, aumentando sua massa (Kappes *et al.*, 2011).

A proporção de grãos na massa ensilada não foi alterada ( $P > 0,05$ ) pela população de plantas (Tabela 4). Estes resultados podem ser atribuídos à diluição da produtividade de grãos, medida indiretamente pelo peso de mil grãos, frente o aumento da produção de forragem. De forma geral, o aumento na população de plantas eleva a produtividade de grãos até certo ponto (Marchão; Brasil; Ximenes,

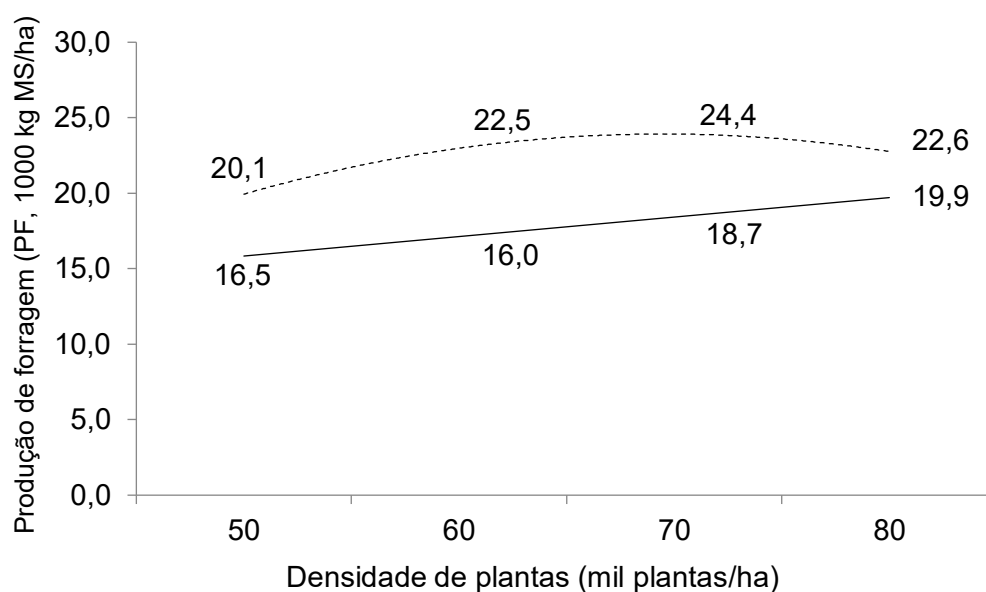
2016; Stacciarini *et al.*, 2010). A resposta da produtividade de grãos de milho tende a ser quadrática em função da população de plantas (Marchão; Brasil; Ximenes, 2016; Demétrio *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2018). A resposta da produtividade em função do aumento da população de plantas de milho, no entanto, pode ser influenciada por diversos fatores, como espaçamento entre linhas (Fumagalli *et al.*, 2017), híbrido (Marchão; Brasil; Ximenes, 2016), ano agrícola (Robles; Ciampitti; Vyn, 2012), populações de plantas (Machado *et al.*, 2018; Neumann *et al.*, 2019), entre outros. Neumann *et al.* (2019), na região de Guarapuava-PR, verificaram que a redução do espaçamento (80 para 40 cm) associado a densidade de 70 mil plantas/ha proporcionou maiores rendimentos de biomassa e grãos, não sendo verificado efeito dos espaçamentos entre linhas quando a cultura foi semeada com 50 mil plantas/ha. Apesar da alteração do rendimento de grãos, estes pesquisadores não verificaram alteração da proporção de grãos na massa ensilada, o que pode ser atribuído a sua diluição frente ao aumento da produção de forragem.

O aumento na população de plantas promoveu maior participação ( $P < 0,05$ ) de folhas na massa ensilada e redução da porção de palha + sabugo (Tabela 4). Alguns estudos têm indicado que o aumento da população de plantas reduz o tamanho de espigas (Brachtvogel *et al.*, 2009; Kappes *et al.*, 2011; Fumagalli *et al.*, 2017), o que pode reduzir a participação de palha e sabugo na massa ensilada (Kappes *et al.*, 2011). O menor desenvolvimento de espigas (fortes drenos) pode também favorecer o desenvolvimento de folhas (Duarte *et al.*, 2003).

A proporção de colmos da silagem não foi alterada ( $P < 0,05$ ) pela população de plantas (Tabela 4), resultado do efeito compensatório entre comprimento e diâmetro de colmo (Stacciarini *et al.*, 2010). Estes resultados foram similares aos obtidos por Machado *et al.* (2018), Neumann *et al.* (2018) e Neumann *et al.* (2019), que não verificaram efeito de populações de plantas de milho sobre a participação de colmos na massa ensilada, com valores próximos aos encontrados neste estudo.

Foi verificada interação ( $P < 0,05$ ) entre ano agrícola e população de plantas para a produção de forragem (Figura 2). No primeiro ano, a produção de forragem variou de forma quadrática com a elevação da população de plantas, atingindo ponto de máxima com 74,3 mil plantas/ha. No segundo ano agrícola, a produção de forragem aumentou linearmente com o avanço da população de plantas.

**Figura 2 - Desdobramento da interação entre safra e densidade de plantas para a produção de forragem. UTFPR, Pato Branco - PR, 2023.**



--- PF (safra 2020) =  $-34433 + 1,565x - 0,0000105x^2$ ,  $P = 0,005$ ;

\_\_\_ PF (safra 2021) =  $15646,0 + 0,0964x$ ;  $P = 0,0001$ .

Fonte: Autoria própria, 2023.

A elevação da produção de forragem em função da população de plantas tende ser resultado de um efeito de compensação ocasionado pelo aumento do número de plantas frente à redução de componentes de rendimento, elevando a produção de forragem (Neumann *et al.*, 2018, 2019; Sangoi *et al.*, 2020). A divergência entre os resultados dos diferentes anos agrícolas para a produção de forragem em função da população de plantas pode estar associada à incidência da estiagem e do complexo de enfezamento ocorrido no segundo ano agrícola, o que pode ter limitado drasticamente o desenvolvimento das plantas. A inflexão da curva de produção de forragem para a população de 74,3 mil plantas/ha (ponto de máxima), na primeira safra, indica que a utilização de maiores populações de plantas do híbrido utilizado (B2688) em anos agrícolas com adequada pluviosidade, controle de pragas e doenças aumentam demasiadamente a competição entre plantas por radiação solar e nutrientes, reduzindo a produtividade em relação ao ponto ótimo (74,3 mil plantas/ha) indicado pela curva de regressão.

A altura de plantas e o diâmetro de colmos não foram alterados ( $P > 0,05$ ) pelos espaçamentos entre linhas (Tabela 4). Por outro lado, a altura de inserção de

espiga foi menor ( $P < 0,05$ ) para o espaçamento com linhas de 45 e 90 cm intercaladas em relação aos demais espaçamentos, que não diferiram entre si. A altura de plantas e inserção de espiga são características intrínsecas dos híbridos (Gralak *et al.*, 2014; Araújo *et al.*, 2021). Estas características, incluindo o diâmetro de plantas, podem ser influenciadas por vários fatores, como a fertilidade do solo (Boomsma *et al.*, 2009), local de plantio (Gralak *et al.*, 2014), disponibilidade hídrica (Kunz *et al.*, 2007), competição intraespecífica por luz (Marchão; Brasil; Ximenes, 2016), entre outros. Em função disso, embora espaçamentos entre linhas possam alterar a competição entre plantas e interceptação luminosa (Robles; Ciampitti; Vyn, 2012), alterações da altura e diâmetro de colmo das plantas podem não se manifestar de forma significativa com alterações do arranjo de plantas (Skonienski *et al.*, 2014; Neumann *et al.*, 2019). Skonienski *et al.* (2024), avaliando diferentes espaçamentos entre linhas (40, 60 e 80 cm) para produção de silagem de milho, citam que em algumas situações a competição por nutrientes e luz pode não ocorrer em níveis suficientes para alterar características métricas das plantas, bem como a produção de forragem.

O número de fileiras por espiga não foi alterado ( $P > 0,05$ ) pelos espaçamentos entre linhas (Tabela 4), o que pode estar relacionado ao fato desta característica ser definida em estágio de desenvolvimento (V6) onde a competição intraespecífica é menor em razão do desenvolvimento das plantas. Segundo Li-Chao *et al.* (2018), a cultura do milho é muito sensível à competição interespecífica em razão de seu baixo perfilhamento. Por outro lado, o número de grãos por fileira, definido em estágio vegetativo mais avançado (V8), foi superior ( $P < 0,05$ ) no espaçamento entre linhas de 90 cm em relação ao espaçamento de 45 cm (Tabela 4). Resultados similares foram encontrados por Modolo *et al.* (2010), que verificaram que esta variável foi superior em maiores espaçamentos entre linhas. Fileiras com espaçamentos de 45 e 90 cm intercaladas apresentaram valores intermediários ( $P < 0,05$ ) para o número de grãos por fileira, não diferindo dos demais espaçamentos.

O peso de mil grãos não foi alterado ( $P > 0,05$ ) pelos espaçamentos utilizados (Tabela 4). Apesar do peso de mil grãos ser influenciado pela competição intraespecífica por recursos (Fumagalli *et al.*, 2017; Ventura; Dalchiavon; 2018), neste estudo ficou evidenciado que os espaçamentos entre linhas, nas populações

de plantas utilizadas, não alteraram a competição entre plantas de forma suficiente para alterar grande parte dos componentes de rendimento. Isso demonstra que a utilização dos espaçamentos entre linhas de 45 ou 90 cm, bem como o uso de linhas intercaladas com 45 e 90 cm de espaçamento, tem baixo potencial para alterar os componentes de rendimentos do híbrido B2688 nas populações de plantas avaliadas na região Sudoeste do Paraná.

As proporções de grãos, folhas e colmos da silagem não foram alteradas ( $P > 0,05$ ) pelos espaçamentos (Tabela 4). Estes resultados são explicados pelas medidas métricas e componentes de rendimento das plantas, que demonstraram baixo efeito deste fator de variação sobre a competição de plantas. Por outro lado, a proporção de palha + sabugo foi superior ( $P < 0,05$ ) quando se utilizou linhas com 45 e 90 cm de forma intercalada (Tabela 4), o que pode estar associado à maior incidência de luz na entrelinha. O aumento de incidência de luz na entrelinha pode aumentar a quantidade de espigas por planta (Alimuddin *et al.*, 2020). No espaçamento entre linhas de 90 cm, a maior incidência de luz na entrelinha pode ser suprimida pela maior competição intraespecífica devido a maior quantidade de plantas por metro linear, o que pode reduzir a ocorrência de plantas com mais de uma espiga (Fumagalli *et al.*, 2017; Alimuddin *et al.*, 2020).

A produtividade de forragem foi superior ( $P < 0,05$ ) no espaçamento entre linhas de 45 (Tabela 4). A distribuição das plantas de forma mais equidistante permite melhor aproveitamento de recursos, principalmente radiação (Demétrio *et al.*, 2008; Fumagalli *et al.*, 2017; Makino *et al.*, 2019). Resultados similares foram obtidos por Neumann *et al.* (2019), os quais verificaram que a redução do espaçamento de 80 para 40 cm aumentou a produtividade de forragem. Entretanto, não há unanimidade sobre isso na literatura. Robles, Ciampitti e Vyn (2012), nesse sentido, não verificaram diferença de produtividade do milho, apesar da melhoria de interceptação luminosa em menores espaçamentos entre linhas.

#### **4.2 Características da silagem e exportação de nutrientes**

Foi verificada interação ( $P < 0,05$ ) entre ano agrícola e população de plantas para o pH da silagem (Tabela 5). Por outro lado, verificou-se interação ( $P < 0,05$ ) entre safra e espaçamentos para pH, teor de proteína e fibra em detergente neutro

da silagem. Para as demais variáveis não foram verificadas interações ( $P>0,05$ ) entre os fatores de variação (safra, população de plantas e espaçamentos).

A população de plantas não alterou ( $P>0,05$ ) as características químicas da silagem (Tabela 5). Estes resultados foram coerentes com aqueles obtidos por Ferreira *et al.* (2014), Machado *et al.* (2018) e Neumann *et al.* (2018), os quais não observaram efeito de populações de plantas sobre a composição química da silagem de milho. Os resultados deste estudo indicam, nesse sentido, que a decisão sobre a população de plantas de milho para silagem a ser utilizada na safra principal no Sudoeste do Paraná pode se basear nos parâmetros de produtividade.

O pH da silagem foi superior ( $P<0,05$ ) no primeiro ano agrícola (Tabela 5), fato associado ao conteúdo proteína bruta. Maiores conteúdos de proteína dificultam a acidificação do material e proporcionam silagem com maior pH (Kung Jr *et al.*, 2018). A população de plantas não influenciou ( $P>0,05$ ) o pH da silagem no segundo ano agrícola (Figura 3), caracterizado pela maior pressão de cigarrinha e incidência de períodos de restrição hídrica. Por outro lado, no primeiro ano agrícola, o pH da silagem aumentou ( $P<0,05$ ) com a elevação da população de plantas. Estes resultados podem estar relacionados com a redução da disponibilidade de carboidratos não estruturais, os quais são o combustível para o crescimento das bactérias lácticas e redução do pH da silagem (Rooke; Hatfield, 2003). A redução destes carboidratos pode estar relacionada com a elevação da altura e redução do diâmetro de colmo em função da competição das plantas por luz.

O conteúdo de proteína bruta da silagem foi superior ( $P<0,05$ ) no primeiro ano agrícola em todos os espaçamentos utilizados (Tabela 6). No primeiro ano agrícola, o conteúdo de proteína bruta da silagem foi menor ( $P<0,05$ ) no espaçamento entre linhas de 45 cm em relação aos demais, que não diferiram entre si. No segundo ano agrícola, o conteúdo de proteína bruta foi superior ( $P<0,05$ ) para o espaçamento com linhas intercaladas de 45 e 90 cm, seguido pelo espaçamento de 90 cm, o qual foi superior ao espaçamento de 45 cm. A elevação do conteúdo de proteína da silagem com o aumento do espaçamento pode ser explicada pela elevação da proporção de folhas verdes, componente morfológico com maior conteúdo proteico (Caetano *et al.*, 2012).

**Tabela 5 - Características químicas e exportação de nutrientes da silagem de milho de acordo com os fatores de variação. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023.**

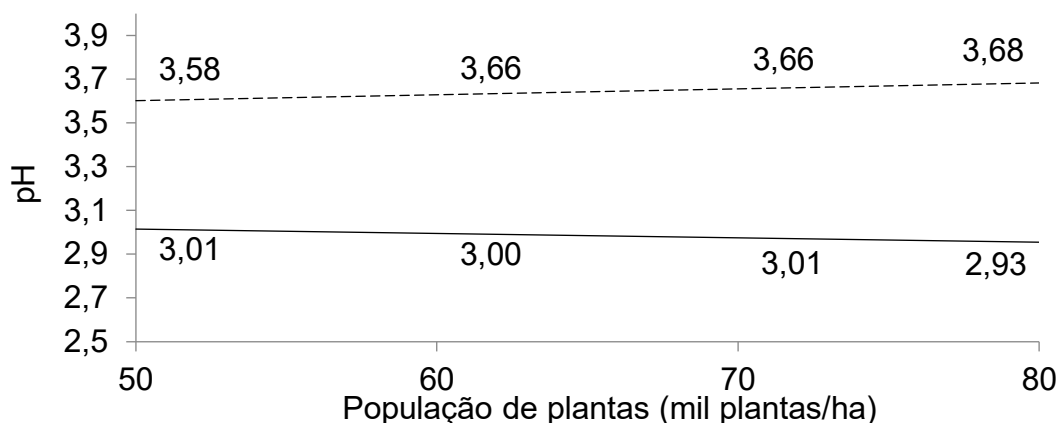
| Itens                    | Safr(a) (S)                         |      | População de plantas (PP) |      |      |      | Espaçamentos (E)  |                   |                   | EPM  | P - Valor |       |        |       |        |       |        |
|--------------------------|-------------------------------------|------|---------------------------|------|------|------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-----------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                          | 2020                                | 2021 | 50                        | 60   | 70   | 80   | 45                | 90                | 45/90*            |      | S         | PP    | E      | S*PP  | S*E    | PP*E  | S*PP*E |
|                          | Características químicas da silagem |      |                           |      |      |      |                   |                   |                   |      |           |       |        |       |        |       |        |
| pH                       | 3,64                                | 2,99 | 3,30                      | 3,33 | 3,34 | 3,31 | 3,26 <sup>b</sup> | 3,34 <sup>a</sup> | 3,34 <sup>a</sup> | 0,35 | <0,001    | 0,086 | <0,001 | 0,001 | <0,001 | 0,468 | 0,055  |
| MS                       | 34,9                                | 35,3 | 34,9                      | 35,5 | 35,5 | 34,5 | 36,1              | 34,2              | 34,9              | 3,24 | 0,598     | 0,618 | 0,052  | 0,117 | 0,535  | 0,348 | 0,853  |
| PB                       | 7,40                                | 6,38 | 6,84                      | 6,83 | 6,96 | 6,93 | 6,41 <sup>b</sup> | 7,13 <sup>a</sup> | 7,13 <sup>a</sup> | 1,03 | <0,001    | 0,799 | <0,001 | 0,204 | 0,003  | 0,428 | 0,079  |
| FDN                      | 38,4                                | 48,7 | 42,7                      | 42,1 | 45,8 | 43,6 | 49,4 <sup>b</sup> | 52,5 <sup>a</sup> | 46,7 <sup>b</sup> | 9,93 | <0,001    | 0,146 | 0,001  | 0,402 | 0,001  | 0,119 | 0,736  |
| P                        | 2,07                                | 2,07 | 2,01                      | 2,08 | 2,21 | 2,02 | 1,83 <sup>c</sup> | 2,10 <sup>b</sup> | 2,31 <sup>a</sup> | 0,37 | 0,578     | 0,221 | <0,001 | 0,194 | 0,098  | 0,386 | 0,805  |
| K                        | 12,0                                | 11,8 | 11,3                      | 12,4 | 12,1 | 11,8 | 10,7 <sup>b</sup> | 11,1 <sup>b</sup> | 13,8 <sup>a</sup> | 2,02 | 0,277     | 0,144 | <0,001 | 0,351 | 0,064  | 0,830 | 0,132  |
| Exportação de nutrientes |                                     |      |                           |      |      |      |                   |                   |                   |      |           |       |        |       |        |       |        |
| N                        | 216                                 | 164  | 180                       | 187  | 213  | 181  | 190               | 189               | 192               | 40,3 | <0,001    | 0,001 | 0,945  | 0,057 | 0,465  | 0,435 | 0,802  |
| P                        | 46,6                                | 37,9 | 37,1                      | 40,0 | 48,6 | 41,5 | 37,4 <sup>b</sup> | 41,4 <sup>b</sup> | 46,6 <sup>a</sup> | 12,0 | <0,001    | 0,001 | 0,001  | 0,681 | 0,062  | 0,292 | 0,785  |
| K                        | 252                                 | 220  | 204                       | 236  | 260  | 244  | 225 <sup>b</sup>  | 214 <sup>b</sup>  | 269 <sup>a</sup>  | 53,0 | 0,007     | 0,004 | 0,001  | 0,539 | 0,877  | 0,404 | 0,549  |

MS = matéria seca (% da matéria natural); PB = proteína bruta (% da MS); FDN = fibra em detergente neutro (% da MS); P = fósforo (g/kg de MS); K = potássio (g/kg de MS); Exportação de nitrogênio (EN, kg/ha =  $-372,47337 + 15,9226x - 0,1101x^2$ ; P = 0,023); Exportação de fósforo (Y, kg/ha =  $21,91708 + 0,2702x$ ; P = 0,017); Exportação de potássio (Y, kg/ha =  $127,8437 + 1,454x$ ; P = 0,009). \*Linhas com espaçamento de 45 cm alternadas com linhas com espaçamento de 90 cm. Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste Tukey (P < 0,05).

Fonte: Autoria própria, 2023.



**Figura 3. Desdobramento da interação entre safra e densidade de plantas para o pH da silagem. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023.**



- - - pH (safra 2020) =  $3,456 + 0,0029x$ ,  $P = 0,049$ ;

\_\_\_ pH (safra 2021) =  $3,095$ ;  $P = 0,329$ .

Fonte: A autoria própria, 2023.

Além disso, Lana *et al.* (2014) verificaram que o espaçamento entre linhas de milho de 90 cm apresentou maior concentração de N na folha comparado ao espaçamento de 45 cm, fato associado com a maior proporção de folhas verdes devido ao menor sombreamento entre linhas.

**Tabela 6 - Desdobramento da interação ente safra e espaçamento entre linhas para pH, proteína bruta e fibra em detergente neutro da silagem de milho. UTFPR, Pato Branco – PR, 2023.**

| Safra                         | Espaçamentos entre linhas |                     |                       |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
|                               | 45                        | 90                  | 45/90*                |
| pH                            |                           |                     |                       |
| 2020                          | 3,51 <sup>Ab</sup>        | 3,70 <sup>Aa</sup>  | 3,72 <sup>Aa</sup>    |
| 2021                          | 3,02 <sup>Ba</sup>        | 2,99 <sup>Bab</sup> | 2,96 <sup>Bb</sup>    |
| Proteína bruta, %             |                           |                     |                       |
| 2020                          | 7,08 <sup>Ab</sup>        | 7,76 <sup>Aa</sup>  | 7,36 <sup>Ab</sup>    |
| 2021                          | 5,74 <sup>Bc</sup>        | 6,50 <sup>Bb</sup>  | 6,90 <sup>Ba</sup>    |
| Fibra em detergente neutro, % |                           |                     |                       |
| 2020                          | 37,22 <sup>Bb</sup>       | 44,37 <sup>Aa</sup> | 33,62,3 <sup>Bb</sup> |
| 2021                          | 51,06 <sup>Aa</sup>       | 47,70 <sup>Aa</sup> | 47,46 <sup>Aa</sup>   |

\*Linhas com espaçamento de 45 cm alternadas com linhas com espaçamento de 90 cm. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ). Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na linha diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

Fonte: A autoria própria, 2023.

A diferença para o teor de proteína bruta da silagem entre linhas com 90 cm e linhas intercaladas com 45 e 90 cm, no primeiro ano agrícola (Tabela 6), pode estar associada a variações na proporção de folhas verdes das plantas. Maiores espaçamentos promovem maior retenção de folhas verdes devido ao menor sombreamento na entre linha (Strieder *et al.*, 2008). O teor de nitrogênio é maior em folhas fotossinteticamente ativas, o que acarreta maior teor de proteína bruta (Paziani *et al.*, 2009). Por outro lado, a diferença entre o conteúdo de proteína bruta da silagem de milho com linhas de 90 cm e linhas intercaladas de 45 e 90 cm, no segundo ano agrícola, pode estar associada à senescência das plantas, que pode ter sido afetada de forma diferente entre espaçamentos em função da incidência do complexo de enfezamento. O efeito de diferentes espaçamentos e populações de plantas sobre a incidência de cigarrinhas e o complexo de enfezamento ainda não é bem claro, necessitando ser mais bem estudado. Sabe-se, no entanto, que a disseminação de pragas/patógenos pode ser influenciada pela circulação do ar dentro do dossel, o que pode ser influenciado pelo arranjo de plantas (Carvalho; Pereira; Camargo, 2016).

O teor de fibra em detergente neutro foi superior ( $P < 0,05$ ) no segundo ano agrícola no espaçamento de 45 cm e linhas intercaladas (Tabela 6), não havendo diferença entre anos agrícolas para o espaçamento de 90 cm. O maior conteúdo de fibra da silagem no segundo ano agrícola pode ser atribuído à maior proporção dos componentes fibrosos (colmo, palha + sabugo) e menor proporção de grãos. Por outro lado, o teor de fibra em detergente neutro da silagem foi superior ( $P < 0,05$ ) para o espaçamento entre linhas de 90 cm somente no primeiro ano agrícola (Tabela 6), não havendo diferença entre os espaçamentos no segundo ano. Esses resultados podem estar indicando que em condições menos restritivas de pluviosidade e incidência de pragas e doenças, o espaçamento entre linhas com 90 cm pode elevar o número de espigas/planta, elevando também a proporção de palha e sabugo, mas sem aumentar a participação de grãos. O aumento de espigas pode ocorrer, neste caso, em razão da maior incidência de luz na entrelinha (Alimuddin *et al.*, 2020).

O teor de fósforo (P) e potássio (K) da silagem não foi alterado ( $P > 0,05$ ) pelo ano agrícola e população de plantas (Tabela 5). Entretanto, a exportação de P e K aumentou com o avanço da população de plantas, sendo superior no primeiro ano, fato associado a produção de forragem. A exportação de nitrogênio (N) apresentou

variação quadrática ( $P < 0,05$ ) com a elevação da população de plantas (ponto de máxima = 72,4 mil plantas), expressando a variação da produção de forragem do primeiro ano, que também apresentou maior exportação de N. Esses resultados são coerentes com a literatura, que demonstra elevação da exportação de nutrientes com aumento da produção de silagem (Duarte *et al.*, 2003; Ueno *et al.*, 2011).

A exportação de N não foi influenciada ( $P > 0,05$ ) pelos espaçamentos entre linhas (Tabela 5), o que não era esperado em razão da maior produção de forragem no espaçamento de 45 cm. Estes resultados podem ser explicados pelo teor de proteína bruta da silagem. Já a exportação de P e K foram superiores ( $P < 0,05$ ) na silagem produzida com linhas de 45 e 90 cm intercaladas, fato explicado pela concentração destes nutrientes na silagem. O teor de P e K na silagem foi superior ( $P < 0,05$ ) na silagem produzida com linhas com 45 e 90 cm intercaladas. Segundo Ritchie; Hanway; Benson (2003), o P está mais concentrado nos grãos (75%) e folhas (10%), enquanto o K apresenta concentrações de 35 e 30% nos grãos e folhas, respectivamente. Ueno *et al.* (2013), verificaram valores de exportações na silagem de milho de 241 kg/ha de N, 141 kg/ha K e 41 kg/ha de P, padrão atribuído aos híbridos modernos possuem maior período de manutenção de folhas verdes, o que contribui para maiores concentrações e exportação de N. Segundo estes autores, os teores de K estão mais concentrados na porção estrutural (colmos e folhas), enquanto o P apresenta maior concentração nos grãos. Os resultados deste estudo podem ser explicados, em parte, pela elevação da proporção de palha + sabugo da silagem, já que a proporção de grãos, colmos e folhas não foi alterada pelos espaçamentos ente linhas.

Os resultados apresentados foram discordantes daqueles obtidos por Skonieski *et al.* (2014), que não verificaram alteração da concentração de P e K na silagem de milho cultivado com diferentes espaçamentos entre linhas. Segundo estes autores, a concentração mineral da silagem é importante para atender às exigências dos ruminantes, em que, normalmente, os teores de K são insuficientes para atender às exigências das vacas em lactação, enquanto os teores de P são insuficientes para atender até mesmo às exigências de manutenção dos animais. Com isso, há necessidade de suplementação desses nutrientes quando a dieta é majoritariamente composta por silagem de milho.

## 5 CONCLUSÕES

Em períodos sem fatores estressantes, como estiagem e pressão de pragas, a produtividade de silagem do híbrido B2688 é maximizada com aproximadamente 74 mil plantas de milho por hectare no Sudoeste do Paraná. Por outro lado, em períodos de estresse hídrico e pressão de cigarrinhas, a produtividade de silagem aumenta linearmente entre 50 e 80 mil plantas de milho por hectare.

O espaçamento entre linhas de 45 cm possibilita maior produtividade de silagem em relação ao espaçamento com 90 cm e utilização de linhas com espaçamentos de 45 e 90 cm intercaladas.

Devido à baixa influência de população de plantas sobre a qualidade da silagem, a produtividade de forragem esperada pode ser parâmetro para determinar a população de plantas de milho para silagem na região Sudoeste do Paraná.

A utilização de menores espaçamentos entre linhas para o cultivo de milho para silagem reduz o conteúdo de fibra em detergente neutro, enquanto maiores espaçamentos elevam o conteúdo de proteína bruta da silagem.

A exportação de nutrientes (N, P e K) está associada com a produtividade de forragem, aumentando com o aumento da população de plantas.

A exportação de nutrientes (N, P e K) a partir do cultivo de milho para silagem com diferentes espaçamentos está associado a alterações de suas concentrações na biomassa ensilada.

## REFERÊNCIAS

- ALIMUDDIN, S.; MUSA, Y.; AZRAI, M.; ASRUL, L. Effect of double rows plant system on plant growth, yield components and grain yield prolific and non-prolific hybrid maize. **IOP Conference Series Earth and Environmental Science**, v. 473, n. 1, p. 1-8, 2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVAREZ, C. G.; PINHO, R. G. V.; BORGES, I. D. Avaliação de características agrônômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 402-408, 2006.
- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia Volume 1: Princípios e Conceitos**. 5º Ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2018. 573 p.
- ANDRADE, F. H.; CALVIÑO, P.; CIRILO, A.; BARBIERI, P. Yield Responses to Narrow Rows Depend on Increased Radiation Interception. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 5, p.975-980, 2002.
- ANDRADE, F. H.; OTEGUI, M. E.; VEGA, C. R. C. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. **Agronomy Journal**, v. 92, n. 1, p. 92-97, 2000.
- ANJOS, A. N. A. dos; FERREIRA, P. H.; VIEGAS, C. R.; ALMEIDA, J. C. de C.; Ensilagem de gramíneas do gênero *Panicum*. **Applied Research & Agrotechnology**, v.13: e5639, p. 1-11, 2020.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 16.ed. Washington, 1995.
- API, I.; MARTIN, T. N.; KUSS, F.; ZIECH, M. F.; BERTONCELLI, P.; STECCA, J. D. L.; NUNES, N. V.; LUDWIG, R. L. Planeamento da produção leiteira – técnicas de modelação na tomada de decisão para a produção de silage de qualidade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 384-391, 2014.
- ARAÚJO NETO, R. B. de; CÂMARA, J. A. da S. **Conservação de forragem: fenação e silagem**. Teresina: EMBRAPA MEIO NORTE, 2000. 17 p. (EMBRAPA MEIO NORTE. Recomendações Técnicas, 6).
- ARAÚJO, E. O.; EMERICK, L. de M.; CATÂNIO, J. V. F.; FREITAS, D. de S.; MOREIRA, A. O.; SILVA, F. de S.; RIBEIRO, J. A. de S. Agronomic performance and Chemical composition of silage from corn hybrids grown in Southern Rondonia. **Research, Society and Development**, v.10, n,12, p. 1-18, 2021.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: Análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p.1075-1084, 2001.

BAL, M.A. Effects of hybrid type, stage of maturity, and fermentation length on whole plant corn silage quality. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 30, n. 9, p. 331-336, 2006.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; VOGT, G. A.; TREZZI, M. M. Integração de práticas para o manejo de plantas daninhas na cultura do milho. **Scientia Agraria**, v. 12, n. 2, p. 081-087, 2011.

BALBINOT JUNIOR., A. A.; FLECK, N. G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, v.35, n.1, p.245-252, 2005.

BOIAGO, R. G. F. S. R.; MATEUS, R. P. G.; SCHUELTER, A. R.; BARRETO, R. R.; SILVA, G. J.; SCHUSTER, I. Combinação de espaçamento entrelinhas e densidade populacional no aumento da produtividade em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 440-448, 2017.

BOOMSMA, C. R.; SANTINI, J. B.; TOLLENAR, M.; VYN, T. J. Maize Morphophysiological Responses to Intense Crowding and Low Nitrogen Availability: An Analysis and Review. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 6, p. 1426-1452, 2009.

BORIN, A. L. D. C.; LANA, R. M.Q.; PEREIRA, H. S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condição de campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, Edição Especial, p. 1591-1597, 2010.

BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. S.; SILVA, S. C.; BICUDO, S. J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2334-2339, 2009.

CAETANO, H.; OLIVEIRA, M. D. S. de; FREITAS JÚNIOR, J. E. de; RÉGO, A. C. do; CARVALHO, M. V. de; RENNÓ, F. P. Bromatological evaluation of eleven corn cultivars harvested at two cutting heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 1, p. 11-17, 2012.

CARVALHO, R. V.; PEREIRA, O. A. P.; CAMARGO, L. E. A. Doenças do milho. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. Ouro Fino: Ceres, 2016. v. 2, p. 549-560.

CASA, R. T.; MOREIRA, E. N.; BOGO, A.; SANGOI, L. Incidência de podridões do colmo, grãos ardidos e rendimento de grãos em híbridos de milho submetidos ao aumento na densidade de plantas. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 4, p. 353-357, 2007.

COAN, R. M.; REIS, R. A.; GARCIA, G. R.; SCHOCKEN-ITURRINO, R. P.; FERREIRA, D. de S.; RESENDE, F. D. de; GURGEL, F. de A. Dinâmica fermentativa

e microbiológica de silagens dos capins tanzânia e marandú acrescidas de polpa cítrica peletizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1502-1511, 2007.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Minas Gerais; Embrapa, 2006. 10 p. (Circular Técnica – Embrapa, n. 78).

COSTA, R. V.; DA SILVA, D. D.; COTA, L. V.; CAMPOS, L. J. M.; DE ALMEIDA, R. E. M.; BERNARDES, F. P. Incidence of corn stunt disease in off-season corn hybrids in different sowing seasons. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, “s/n”, p. 1-9, 2019.

CRUZ, J. C. Cultivares de milho para silagem. *In*: CONGRESSO NACIONAL DOS ESTUDANTES DE ZOOTECNIA, 1. Viçosa, 1998. **Anais [...]** Viçosa: Zootec, 1998. p. 93-114.

D'OLIVEIRA, P. S.; OLIVEIRA, J. S. **Produção de silagem de milho para suplementação do rebanho leiteiro**. Juiz de Fora: Minas Gerais; Embrapa, 2014. 10 p. (Comunicado Técnico – Embrapa, n.74).

DANNER, H.; HOLZER, M.; MAYRHUBER, E.; BRAUN, R. Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, n. 1, p. 562-567, 2003.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.

DUARTE, A. P.; KIEHL, J. C.; CAMARGO, M. A. F.; RECO, P. C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originarias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.1-20, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. Ed., Sistemas de Produção, Rio de Janeiro, 2006.

FERRARI JUNIOR, E.; LAVEZZO, W. Qualidade da Silagem de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) Emurcheado ou Acrescido de Farelo de Mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 30, n. 5, p. 1424-1431, 2001.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; SOUZA, R. C. de; ARAÚJO NETO, R. A. de. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 322-328, 2014.

FERREIRA, G.; TEETS, C. L.; HUFFARD, J. B.; AGUERRE, M. J. Effects of planting population, genotype, and nitrogen fertilization on dry matter yield, nutrient composition, in vitro ruminal neutral detergent fiber disappearance, and nitrogen and

phosphorus removal of corn for silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 268, n. 10, p. 1-9, 2020.

FERREIRA, G.; ALFONSO, M.; DEPIN, S.; ALESSANDRI, E. Effect of planting density on nutritional quality of green-chopped corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 9, p. 1-4, 2014.

FERREIRA, L. L.; MENDES, S.; CARVALHO, I. R.; CONTE, G. G.; LEAL, F. S.; SANTOS, N. S. C.; SILVA, J. G.; FERNANDES, M. S.; PEREIRA, A. I. A.; CURVELO, C. R. S.; HUTRA, D. J. Spatial arrangement and its implications in the yield of maize cultivars. **Genetics and Molecular Research**, v. 20, n. 1, p. 1-12, 2021.

FUMAGALLI, M.; MACHADO, R. A. F.; FIORINI, I. V. A.; PEREIRA, C. S.; PIRES, L. P. M.; PEREIRA, H. D. 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.

GALLO, K. P.; DAUGHTRY, C. S. T.; BAUER, M. E. Spectral estimation of absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, n. 3, p. 221-232, 1985.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; FILHO, F. L. A.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 365-370, 2011.

GRALAK, E.; FARIA, M. V.; POSSATO JÚNIOR, O.; ROSSI, E. S.; SILVA, C. A. da; RIZZARI, D. A.; MENDES, M. C.; NEUMANN, M. Capacidade combinatória de híbridos de milho para caracteres agrônômicos e bromatológicos da silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 187-200, 2014.

HAEGELE, J. W.; BECKER, R. J.; HENNINGER, A. S.; BELOW, F. E. Row arrangement, phosphorus fertility, and hybrid contributions to managing increased plant density of maize. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 5, p. 1838-1846, 2014.

JOHNSON, G. A.; HOVERSTAD, T. R.; GREENWALD, R. E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides and cultivation. **Agronomy Journal**, v. 90, n. 1, p. 40-46, 1998.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. da C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C. de; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 334-343, 2011.

KLEIN, J. L.; VIANA, A. F. P.; MARTINI, P. M.; ADAMS, S. M.; GUZATTO, C.; BONA, R. do A.; RODRIGUES, L. da S.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L. Desempenho produtivo de híbridos de milho para a produção de silagem de planta inteira. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 101-110, 2018.



KUNG JR, L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; SCHIMIDT, R. J. Silage review: interpretation of chemical microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos de solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, 2007.

LANA, M. do C.; RAMPIM, L.; OHLAND, T.; FÁVERO, F. Spacing, population density and nitrogen fertilization in corn grown in a Oxisoil. **Revista Ceres**, v. 61, n. 3, p. 424-433, 2014.

LEOLATO, L. S.; SANGOI, L.; DURLI, M. M.; PANISON, F. VOSS, R. Growth regulator and maize response to the increase in plat density. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 997-1005, 2017.

LI-CHAO, Z.; XIE RUI-ZHI, X.; BO, M.; SHAO-KUN, L.; DA-LING, M. Evaluation and analysis of intraspecific competition in maize: A case study on plant density experiment. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 10, p. 2235-2244, 2018.

LI, J.; XIE, R. Z.; WANG, K. R.; HOU, P.; MING, B.; ZHANG, G. Q.; LIU, G. Z.; WU, M.; YANG, Z. S.; LI, S. K. Response of canopy structure, light interception and grain yield to plant density in maize. **The Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 6, p. 785-794, 2018.

LIMA JÚNIOR, D. M.; RANGEL, A. H. N.; URBANO, S. A.; OLIVEIRA, J. P. F.; ARAÚJO, T. L. A. C. Silagem para vacas leiteiras no semiárido. **ACSA**. v. 9, n. 2, p. 33-42, 2013.

LIMA, S. F. de; ALVAREZ, R. de C. A.; CONTARDI, L. M. Influência de espaçamento entre linhas em características fitotécnicas e acúmulo de massa seca de híbridos de milho. **Ambiência**, v. 12, n. 4, p. 1027-1039, 2016.

LIU, J. G.; MAHONEY, K. J.; SIKKEMA, P. H.; SWANTON, C. J. The importance of light quality in crop-weed competition. **Weed Research**, v. 49, n. 2, p. 217-224, 2009.

LUPATINI, G. C.; MACCARI, M.; ZANETTE, S.; PIACENTINI, E.; NEUMANN, M. Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho (*Zea mays*, L.) para produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 2, p. 193-203, 2004.

MACÊDO, A. J. da S.; SANTOS, E. M. Princípios básicos para produção de silagem. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia**, v. 22, n. 4, p. 147-156, 2019.

MACEDO JÚNIOR, G. de L.; ZANINE, A. de M.; BORGES, I.; PÉREZ, J. R. O. Qualidade da fibra para a dieta de ruminantes. **Ciência Animal**, v. 17, n. 1, p. 7-17, 2007.

MACHADO, D. S.; PEREIRA, L. B.; NORBERG, J. L. ALVES FILHO, D. C.; FRASSON, J. J. N. Composição estrutural da planta e bromatológica da silagem de milho semeado com diferentes arranjos populacionais. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 20, n. 1, p. 11-17, 2018.

MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E.; CIRILO, A. G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. **Field Crop Research**, v. 71, n. 3, p. 183-193, 2001.

MAKINO, P. A.; CECCON, G.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, F. Agronomic performance and photosynthetically active radiation intercepted by maize intercropped with Brachiaria. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 4, p. 42-48, 2019.

MANSFIELD, B. D.; MUMM, R. H. Survey of plant density tolerance in U.S. maize germoplasm. **Crop Science**, v. 54, n. 1, p. 157-173, 2014.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; XIMENES, P. A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 2, p. 170-181, 2006.

MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C.; DUARTE, J. de O.; CRUZ, J. C. Aspectos de produção e mercado do milho. **Informe Agropecuário**, v. 27, n. 233, p. 95-104, 2006.

MENEZES, L. F. G.; SEGABINAZZI, L. R.; BRONDANI, I. L.; RESTLE, J.; ARBOITTE, M. Z.; KUSS, F.; PACHECO, P. S.; ROSA, J. R. P. Silagem de milho e grão de sorgo como suplementos para vacas de descarte terminadas em pastagem cultivada de estação fria. **Arquivo Brasileira de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, n. 1, p.182-189, 2009.

MENEZES, L. F. G. de; RONSANI, R.; PAVINATO, P. S.; BIESEK, R. R.; SILVA, C. E. K. da; MARTINELLO, C.; CAPPELLESSO, B.; SILVEIRA, M. F. da. 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. 1353-1362, 2013.

MISSIO, R. L.; BRANDANI, I. L.; FREITAS, L. da S.; SACHET, R. H.; SILVA, J. H. S. da; RESTLE, J. Desempenho e avaliação econômica da terminação de tourinhos em confinamento alimentados com diferentes níveis de concentrado na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 7, p. 1309-1316, 2009.

MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; SGARBOSSA, M. Desempenho de híbridos de milho na região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linha. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 435-441, 2010.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, p. 277-294, 1977.

MORAES, S. D. de; JOBIM, C. C.; SILVA, M. S. da; MARQUARDT, F. I. Produção e composição química de híbridos de sorgo e milho para silagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 4, p. 624-634, 2013.

MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R.; BENNETT, J. M. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 2, p. 338-343, 1990.

MUCK, R. E. Microbiologia silagem e seu controle por meio de aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 183- 191, 2010.

NASAPOWER. Power Data Access Viewer. Disponível em: <  
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>>. Acesso em: 17 jan. 2022.

NEUMANN, M.; TURCO, G. M. S.; FARIA, M. V.; VIGNE, G. L. D.; SOUZA, A. M. de. Produção e composição física da planta de milho para silagem em diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.12, n.1, p. 87-97, 2019.

NEUMANN, M.; POCZYNEK, M.; LEÃO, G. F. M.; FIGUEIRA, D. N.; SOUZA, A. M. de. Desempenho de híbridos de milho para silagem cultivados em diferentes locais com três densidades populacionais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 49-62, 2018.

NEUMANN, M.; DOCHWAT, A.; HORST, E. H.; VIGNE, G. L. D.; MENDES, M. C. Produção de milho para silagem sob níveis crescentes de adubação nitrogenada em cobertura. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 10, n. 2, p. 61-70, 2017.

NEUMANN, M.; OLIBONI, R.; OLIVEIRA, M. R.; FARIA, M. V.; UENO, R. K.; REINERH, L. L.; DURMAN, T. Aditivos químicos utilizados em silagens. **Pesquisa aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 187-208, 2010.

NEUMANN, M.; MUHLBACH, P. R. F.; NORBERG, J. L.; RESTLE, J.; OST, P. R. Efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho (*Zea mays* L.) sobre as perdas durante o processo fermentativo e o período de utilização das silagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1395-1405, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.rev.ed. Washinton, D.C.: 2001. 381p.

OLIVEIRA J. S.; SOBRINHO F. S. **Avaliação de cultivares de milho para silagem: resultados do ano agrícola 2006/2007**. Juiz de Fora, MG: EMBRAPA, 2007. 18p. (EMBRAPA. Circular Técnica, n.93).

OLIVEIRA, J. S.; FERREIRA, R. de P.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, A. V.; LOPES, F. C. F. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho para silagem em relação à produção de matéria seca degradável no rúmen. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 2, p. 230-234, 1999.

- OTTMAN, M. J.; WELCH, L. F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, v. 81, n. 2, p. 167-174, 1989.
- PAULA, T. A. de; VÉRAS, A. S. C.; GOMES, R. N.; FERREIRA, M. de A. Produção de silagem: aspectos agrônômicos e valor nutricional em regiões semiáridas – revisão sistemática. **Arquivos do Mudi**, v. 25, n. 2, p. 127-154, 2021.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. 2. ed. Curitiba: SBCS, 2019, p. 289.
- PAZIANI, S. de F.; DUARTE, A. P.; NUSSIO, L. G.; GALLO, P. B.; BITTAR, C. M. M. ZOPOLLATTO, M.; RECO, P. C. Características agrônômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 411-417, 2009.
- PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 2, p. 52-60, 2003.
- PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; KARAM, D. **Milho: redução do espaçamento entre linhas: uma adoção tecnológica**. Sete Lagoas: EMBRAPA – CNPMS, 2013. 126 p. (EMBRAPA-CNPMS. Documentos, 163).
- PEREIRA, L. B.; MACHADO, D. S.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; SILVA, V. S. da; ARGENTA, F. M.; MOURA, A. F. de; BORCHATE, D. Características agrônômicas da planta e produtividade de silagem grãos de milho submetido a diferentes arranjos populacionais. **Magistra**, v. 29, n. 1, p. 18-27, 2017.
- PEREIRA, M. N.; VON PINHO, R. G.; BRUNO, R. G. da S.; CALESTINE, G. A. Ruminal degradability of hard or soft texture corn grain at three maturity stages. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 4, p. 358-363, 2004.
- PIANA, A. T.; SILVA, P. R. F. da; BREDEMEIER, C.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; SERPA, M. da S.; JANDREY, D. B. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, p. 2608-2612, 2008.
- PLAYNE, M. J.; MCDONALD, P. The buffering constituents of herbage and of silage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 17, n. 10, p. 264-268, 1966.
- PORTER, P. M.; HICKS, D. R.; LUESCHEN, W. E.; FORD, J. H.; WARNES, D. D.; HOVERSTAD, T. R. Corn response to row width and plant population in the northern corn belt. **Journal of Production Agriculture**, v. 10, n. 2, p. 293-300, 1997.
- RAMOS, B. L. P.; PIRES, A. J. V.; CRUZ, N. T.; SANTOS, A. P. da S. dos; NASCIMENTO, L. M. G.; SANTOS, H. P.; AMORIM, J. M. S. Perdas no processo de

ensilagem: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. 1-9, 2021.

RANJIT, N. K.; KUNG Jr., L. The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 3, p. 526-535, 2000.

RESENDE, H.; OLIVEIRA, J. S. e; MIRANDA, J. E. C. de; LEITE, J. L. B. **Tecnologia e custo da silagem de milho**. Juiz de Fora: Minas Gerais; Embrapa, 2017. 11 p. (Circular Técnica – Embrapa, n.114).

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Potafos: Arquivo do Agrônomo, n.15, 2003. 20p. (Informações Agronômicas, n.103).

ROBLES, M.; CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Responses of maize hybrids to twin-row spatial arrangement at multiple plant densities. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 6, p. 1747-1756, 2012.

ROOKE, J.; HATFIELD, R. Biochemistry of Ensiling. USDA-ARS / UNL Faculty, 2003, p. 95-139. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2404&context=usdaarsfacpub>. Acesso em: 14 nov. 2022.

ROSALES, L. A.; COSTA, C.; FACTORI, M A.; MEIRELLES, P. R. de L. MORAES, G. J. Produtividade e valor nutritivo de híbridos de milho para silagem em função do espaçamento e da densidade de semeadura. **Boletim de Industria Animal**, v. 65, n. 3, p. 197-207, 2008.

SABATO, E. O. **Manejo do Risco de Enfezamentos e da Cigarrinha no Milho**. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, n. 226, 2018.

SANGOI, L.; SCHIMITT, A.; MARTINS JÚNIOR, M. C.; KUNESKI, H. F.; COELHO, A. E. Narrow and twin-row plantings do not increase maize yield. **Agronomia Colombiana**, v. 38, n. 3, p. 342-349, 2020.

SANGOI, L.; SCHIMITT, A.; DURLI, M. M.; LEOLATO, L. S.; COELHO, A. E.; KUNESKI, H. F.; OLIVEIRA, V. de L. Estratégias de manejo do arranjo de plantas visando otimizar a produtividade de grãos do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n.1, p. 47-60. 2019.

SANGOI, L.; ZANIN, C. G.; SCHIMITT, A.; VIEIRA, J. Senescência foliar e resposta de híbridos de milho liberados comercialmente para cultivo em diferentes épocas ao adensamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1, p. 21-32, 2013.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2007. 95 p.

SANTI, A.; MUNIZ, J. A.; YAMASHITA, O. M. Avaliação de diferentes genótipos de milho nas condições edafoclimáticas de Alta Floresta – MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 4, n. 1, p. 15-22, 2006.

SANTOS, R. D.; PEREIRA, L. G. R.; NEVES, A. L. A.; ARAÚJO, G. G. L.; VOLTOLINI, T. V.; BRANDÃO, L. G. N.; ARAGÃO, A. S. L.; DÓREA, J. R. R. Características de fermentação da silagem de seis variedades de milho indicadas para a região semiárida brasileira. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 6, p. 1423-1429, 2010b.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 166p.

SILVA, F. F. da; SÁ, J. F. de; SCHIO, A. R.; ÍTAVO, L. C. V.; SILVA, R. R.; MATEUS, R. G. Suplementação a pasto: disponibilidade e qualidade x níveis de suplementação x desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. spe, p. 371-389, 2009.

SILVA, P. R. F.; PIANA, A. T.; MAASS, L. B.; SERPA, M. de S.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; ENDRIGO, P. C.; JANDREY, D. B. Adequação da densidade de plantas à época de semeadura em milho irrigado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 1, p. 48-57, 2010.

SKONIESKI, F. R.; NORBERG, J. L.; KESSLER, J. D.; DAVID, D. B. de; AZEVEDO, E. B. de; BRUNING, G.; PIMENTEL, C. M. M. Corn plant arrangement and its effect on silage quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 43, n. 3, p. 114-119, 2014.

STACCIARINI, T. de C. V.; CASTRO, P. H. C. de; BORGES, M. A.; GUERIN, H. F.; MORAES, P. A. C.; GOTARDO, M. Avaliação de caracteres agrônômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. **Revista Ceres**, v. 57, n. 4, p. 516-519, 2010.

Statistical Analysis Software (SAS) (2004) Version 9.2. SAS Institute Inc., Cary.

STEWART, D. W.; COSTA, C.; DWYER, L. M.; SMITH, D. L.; HAMILTON, R. I.; MA, B. L. Canopy structure, light interception, and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal: Corn**, v. 95, n. 6, p. 1465-1474, 2003.

STRIEDER, M. L.; SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A. A. da; ENDRIGO, P. C. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 634-642, 2007.

STRIEDER, M. L.; SILVA, P. R. F. da; RAMBO, L.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; ENDRIGO, P. C.; JANDREY, D. B. Característica de dossel e rendimento de milho em diferentes espaçamentos e sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 309-317, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TOLLENAAR, M.; AGUILERA, A. Radiation use efficiency of an old and new maize hybrid. **Agronomy Journal**, v. 84, n. 3, p. 536-541, 1992.

TOLLENAAR, M.; DEEN, W.; ECHARTE, L.; LIU, W. Effect of crowding stress on dry matter accumulation and harvest index in maize. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 4, p. 930-937, 2006.

UENO, R. K.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; BASI, S.; ROSÁRIO, J. G. do. Dinâmica dos nutrientes do solo em áreas destinadas à produção de milho para forragem. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 1, p. 182-203, 2011.

UENO, R. K.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; REINEHR, L. L.; POCZYNEK, M.; MICHALOVICZ, L. Exportação de macronutrientes do solo em área cultivada com milho para alimentação de bovinos confinados. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3001-3018, nov./dez. 2013.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. D.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583- 3597, 1991.

VELHO, J. P. Alterações bromatológicas nas silagens de milho submetidas a crescentes tempos de exposição ao ar após “desensilagem”. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 916-923, 2006.

VENTURA, M. F. de B.; DALCHIAVON, F. C. Agronomic characteristics of corn grown in different population arrangements. **Nativa**, v. 6, n. 6, p. 569-574, 2018.

VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D.; PEREIRA, J. L. de A. R.; REIS, M. C. dos. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, p.157-173, 2009.

WEINBERG, Z. G.; MUCK, R. E. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 19, n. 3, p. 53-68, 1996.

ZOPOLLATTO, M.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. de F.; RIBEIRO, J. L.; SARTURI, J. O.; MOURÃO, G. B. Relações biométricas entre o estágio de maturação e a produtividade de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2, p. 256-264, 2009.