

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**PEDRO RODOLFO NIELSEN FILHO**

**POPULAÇÕES DE PLANTAS E DOSES DE NITROGÊNIO PARA PRODUÇÃO DE  
SILAGEM DE MILHO**

**PATO BRANCO**

**2023**

**PEDRO RODOLFO NIELSEN FILHO**

**POPULAÇÕES DE PLANTAS E DOSES DE NITROGÊNIO PARA PRODUÇÃO DE  
SILAGEM DE MILHO**

**Plant population and nitrogen doses for maize silage production**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária.

**PATO BRANCO**

**2023**



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

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Pato Branco



PEDRO RODOLFO NIELSEN FILHO

### POPULAÇÕES DE PLANTAS E DOSES DE NITROGÊNIO PARA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE MILHO

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Área de concentração: Solos E Sistemas Integrados De Produção Agropecuária.

Data de aprovação: 28 de Março de 2023

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

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

Dra. Denise Adelaide Gomes Elejalde, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

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 28/03/2023.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus!

Aos meus pais, por serem meus alicerces em todos os momentos de minha vida, obrigado por todo o cuidado. Devo tudo que sou a vocês.

Agradeço ao Paulo, por me apoiar e estar sempre comigo, nos bons e maus momentos e por todos os esforços em me tornar mais feliz.

Agradeço à minha avó: Oma Teresa (*in memoriam*) por todos os sábios conselhos que tive a oportunidade de receber.

Agradeço ao meu professor e orientador Regis Luis Missio, por toda a paciência e dedicação que teve comigo no desenvolvimento do meu mestrado, o senhor faz parte de um dos momentos mais importantes da minha vida, e por isso sou grato.

Agradeço também aos professores André Brugnara Soares e Luís Cesar Cassol por toda a dedicação e empenho que tiveram ao que me ensinaram nesse período, tanto em sala de aula quanto em conversas informais. Todo esse conhecimento faz parte da minha vida profissional agora. Junto com o meu orientador Professor Regis Luis Missio, vocês são os melhores no que fazem.

Ao Igor Kieling Severo pela ajuda no desenvolvimento das minhas atividades. Você é um amigo de coração bom e generoso.

Ao Luís Stadnik pela ajuda nas avaliações da minha pesquisa e por sempre estar disponível, com muita disposição e tranquilidade.

Aos colegas do grupo GISPA por todo o auxílio durante os períodos de semeadura e colheita, sem vocês esse momento seria impossível.

Ao Laboratório de Solos LABSOLOS e à Central de Análises da UTFPR-PB.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

NIELSEN FILHO, Pedro Rodolfo. Populações de plantas e doses de nitrogênio para produção de silagem de milho. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e sistemas integrados de produção agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. (UTFPR). Pato Branco, 2023.

Objetivou-se avaliar diferentes populações de plantas (67, 80 e 96 mil plantas/ha) e doses de nitrogênio (N) (100 e 200 kg/ha) em adubação de cobertura para produção de silagem de milho. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com os tratamentos em arranjo fatorial (3x2), utilizando-se quatro repetições de área em duas safras agrícolas (safra e safrinha). A semeadura do milho foi realizada em outubro de 2021 e fevereiro de 2022 através do sistema de plantio direto, com espaçamento entre linhas de 45 cm. A adubação de base foi de 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 kg de N e 130 kg de K<sub>2</sub>O. A adubação de cobertura foi realizada utilizando ureia no estágio fenológico V6. A colheita foi realizada quando as plantas de cada parcela se encontravam com os grãos entre os estágios leitoso e farináceo duro. Foi avaliado o estande de plantas inicial e final, medidas biométricas das plantas, componentes de rendimento, componentes morfológicos, produtividade de forragem, exportação de nutrientes e características qualitativas da silagem. Para tanto, quatro silos experimentais de cada parcela foram confeccionados, os quais foram abertos após 60 dias. Os silos foram confeccionados em sacos plásticos (20 micras) com capacidade de 1 kg e armazenados em ambiente com ausência de luz, sendo a anaerobiose estabelecida com Máquina Industrial de Embalar a Vácuo (modelo GS62OF). O período de safrinha, caracterizado pela maior incidência do complexo de enfezamento, influenciou negativamente ( $P < 0,05$ ) os aspectos produtivos do milho, mas a silagem apresentou menor pH, maior conteúdo de proteína e fibra em detergente neutro. A população de plantas não influenciou ( $P > 0,05$ ) as medidas biométricas, os componentes de rendimento e os componentes morfológicos das plantas de milho. A produção de forragem foi maior ( $P < 0,05$ ) para as maiores populações de plantas (80 e 96 mil plantas/ha), que não diferiram entre si. A exportação de N e potássio (K) foram superiores ( $P < 0,05$ ) para a maior população de plantas em relação às demais, que não diferiram entre si. A exportação de fósforo (P) não diferiu ( $P > 0,05$ ) entre as populações de plantas. A população de plantas não influenciou ( $P > 0,05$ ) as variáveis qualitativas da silagem de milho. As doses de N não influenciaram ( $P > 0,05$ ) as variáveis produtivas e a exportação de N, P e K da cultura de milho para silagem. O teor de N e proteína bruta foram superiores ( $P < 0,05$ ) para a silagem submetida a maior dose de adubação nitrogenada. As demais variáveis qualitativas da silagem não foram alteradas ( $P > 0,05$ ) pela dose de N em adubação de cobertura. A elevação da população de plantas de milho pode ser uma estratégia viável para maximizar a produção de silagem.

**Palavras-chave:** População de plantas. Adubação nitrogenada. Silagem de milho. *Zea mays* L.

## ABSTRACT

NIELSEN FILHO, Pedro Rodolfo. Plant population and nitrogen doses for maize silage production. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e sistemas integrados de produção agropecuária), Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2023

The objective was to evaluate the influence of plant populations (67, 80 and 96 thousand plants/ha) and nitrogen doses (100 and 200 kg/ha) N in top dressing for maize silage production. The experimental design used was randomized blocks with treatments in a factorial arrangement (3x2), using four replications of area in two agricultural seasons. Maize sowing was carried out in October 2021 and February 2022 through the no-tillage system, with row spacing of 45 cm. The fertilization was 80 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 kg of N and 130 kg of K<sub>2</sub>O. The spread urea fertilization (100 or 200 Kg of N/ha) was carried between the phenological stages V4 and V8. the harvest was carried out when the plants of each plot were between Kernel dough stage and kernel dent stage. Were evaluated the initial and final stand, biometric measures of the plants, yield components, morphological components, forage productivity, nutrient export and qualitative characteristics of the silage. For that, four experimental silos of each plot were made and opened after 60 days. The silos were made in plastic bags (20 microns) with a capacity of 1 kg and stored in a without light place, and anaerobiosis was established with an Industrial Vacuum Packing Machine (model GS62OF). The off-season period, characterized by a higher incidence of the stunting complex, negatively influenced (P<0.05) the productive aspects of maize, but the silage had a lower pH, higher crude protein and neutral detergent fiber content. Plant population did not influence (P>0.05) biometric measurements, yield components and morphological components of maize plants. Forage production was higher (P<0.05) for higher plant population, which did not differ from each other. The nitrogen (N) and potassium export (K) were higher (P<0.05) for the largest population of plants compared to the others, which did not differ from each other. Phosphorus (P) export did not differ (P>0.05) between plant population. Plant population did not influence (P>0.05) the qualitative variables of maize silage. The doses did not influence (P>0.05) the productive variables and N, P and K export from the maize for silage production. The N and crude protein content was higher (P<0.05) for the silage submitted to a higher dose of nitrogen dose. The other qualitative variables of the silage were not altered (P>0.05) by the dose of N in top dressing. Increasing the maize plant population can be a viable strategy to maximize silage production.

**Keywords:** Plant population. Nitrogen fertilizer. Maize silage. *Zea mays* L.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Marcha de absorção de nitrogênio na cultura do milho .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2: Dados climáticos médios mensais do período experimental .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 3: Balanço hídrico do solo do período de cultivo.....</b>	<b>19</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Análise química do solo. UTFPR, Pato Branco-PR, 2021 .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 2 - Variáveis relacionadas com os aspectos produtivos do milho de acordo com os fatores de variação. ....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 3 - Características químicas, bromatológicas e valores de exportação de nutrientes na silagem de milho de acordo com os fatores de variação.....</b>	<b>31</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Local e época.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Delineamento experimental e tratamentos .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Procedimentos experimentais.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>Avaliações experimentais.....</b>	<b>22</b>
<b>3.5</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Efeito do período de cultivo nas características produtivas do milho .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Efeito das doses de nitrogênio nas características produtivas do milho .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3</b>	<b>Efeito do período de cultivo nas características qualitativas da silagem de milho.....</b>	<b>30</b>
<b>4.4</b>	<b>Efeito da população de plantas nas características qualitativas da silagem .....</b>	<b>34</b>
<b>4.5</b>	<b>Efeito das doses de nitrogênio nas características qualitativas da silagem de milho .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho (*Zea mays*), com mais de 112 milhões de toneladas na safra 2021/2022, sendo superado apenas pela China e Estados Unidos (CONAB, 2022; USDA, 2022). A estimativa de produção no Brasil no ano de 2022 é de 126,9 milhões de toneladas, em uma área de 22,4 milhões de hectares (CONAB, 2022). Confrontando com a última safra brasileira, estima-se um acréscimo de produção de 126 mil toneladas e um acréscimo de área de 810 mil hectares (CONAB, 2022).

A cultura do milho apresenta importância notável para o agronegócio brasileiro, pois é utilizado desde a alimentação humana e animal até a produção de biocombustíveis (PAZIANI *et al.*, 2009; PINHEIRO *et al.*, 2021). Com relação ao uso do milho na alimentação animal, é importante destacar a sua importância como volumoso sob forma de silagem para o suprimento de forragem em períodos de escassez forrageira ou durante o ano todo em sistemas de confinamento de bovinos de leite e corte (PAULA *et al.*, 2021; BENDIA *et al.*, 2022). Os dados mais recentes indicam que somente com relação à atividade leiteira, o Brasil possui mais de 727 mil estabelecimentos rurais que produzem e comercializam leite (ROCHA *et al.*, 2020). A silagem de milho é utilizada pela maioria dessas propriedades para suprir a demanda de alimento volumoso (WENDLING; MACHADO FILHO, 2018)

A planta de milho é indicada para a ensilagem porque apresenta elevada produtividade e alta disseminação em território brasileiro (NEUMANN *et al.*, 2018). Além disso, possui características que garantem boa fermentação (baixa capacidade tampão, alta concentração de carboidratos solúveis e concentração adequada de água no momento da ensilagem) e teores adequados de energia e proteína para a produção de ruminantes (ARAÚJO *et al.*, 2012; GUYADER *et al.*, 2017).

O potencial de produtividade de fitomassa e a qualidade da silagem de milho podem ser influenciadas por diversos fatores, dentre eles a disponibilidade hídrica, temperatura, radiação solar, moléstias causadas por pragas e doenças, disponibilidade de nutrientes e a população de plantas na semeadura (BÓRGHI *et al.*, 2017; LASKARI *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2019). Dentre estes, a população de plantas e a disponibilidade de nutrientes são os principais fatores explorados pela pesquisa, para buscar aumentar a produtividade de silagem garantindo a qualidade nutricional da planta quando ensilada (FERREIRA; BROWN, 2016). A recomendação

da população de plantas na semeadura de plantas de milho varia entre 45 mil a 125 mil plantas/ha (STANTON *et al.*, 2007; SANGOI; SILVA, 2012). A população adotada dependerá de fatores como época de semeadura, disponibilidade hídrica e de nutrientes, radiação solar e latitude, nível tecnológico da propriedade e potencial genético do híbrido (CRUZ *et al.*, 2010).

A adoção de maiores populações de plantas de milho pode resultar em maiores produções de matéria seca devido ao melhor aperfeiçoamento da interceptação da radiação solar pelas plantas (VITORAZZI *et al.*, 2017). Esta condição está relacionada com a melhor arquitetura foliar e angulosidade das folhas de novos cultivares de milho, os quais permitem maiores populações de plantas sem alterações na competição por luz (SANGOI; SILVA, 2012). Por outro lado, o aumento da população de plantas de milho pode gerar maior competição de recursos (água, luz, nutrientes), sendo que o aumento da produtividade acontecerá até o ponto em que a competição entre as plantas se torne excessiva (MANTOVANI *et al.*, 2015; SANGOI, 2001).

O aumento da população de plantas pode demandar maiores doses de nutrientes para expressar o seu potencial de produção (SANGOI; SILVA, 2016). O nitrogênio é o principal nutriente responsável pelo aumento da produtividade de fitomassa do milho (CASSIM *et al.*, 2022). O milho responde à utilização de altas doses de nitrogênio desde que outros fatores não sejam limitantes (SANGOI *et al.*, 2016). Essa resposta à adubação ocorre pela importância que o nutriente exerce na planta, já que o nitrogênio é constituinte básico de amins, aminoácidos, proteínas e moléculas da clorofila (MALAVOLTA, 2006; TAIZ *et al.*, 2017). A influência do nitrogênio no incremento da fotossíntese e produção de fitomassa é devido a participação deste nutriente na formação da molécula de clorofila e das enzimas Fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC) e Rubisco, responsáveis pela fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico (GUARDA; CAMPOS, 2014; PRADO, 2008).

A utilização de maiores populações de plantas e maiores dosagens de nitrogênio podem acarretar no aumento da produtividade de fitomassa, incrementos nos teores de proteína bruta, alterações nos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), maior altura de plantas e alterações na composição morfológica da planta (BASI *et al.*, 2011; MENEZES *et al.*, 2013; KAPLAN *et al.*, 2016). Além disso, o aumento de produtividade gerado pela adoção destas práticas pode ocasionar

maiores valores de exportação de nutrientes do solo (COELHO; FRANÇA, 1995), o que é importante sob a ótica da fertilidade e conservação do solo.

O presente estudo tem como hipótese que o incremento na população de plantas de milho e maiores doses de nitrogênio influenciam positivamente a produtividade e a qualidade da silagem de milho.

### **1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a influência de populações de plantas e doses de nitrogênio para a produção de silagem de milho

### **1.2 Objetivos específicos**

Avaliar as medidas métricas das plantas em função de diferentes populações de plantas de milho e doses de nitrogênio;

Avaliar os componentes morfológicos das plantas em função de diferentes populações de plantas de milho e doses de nitrogênio;

Avaliar os componentes de rendimento em função de diferentes populações de plantas de milho e doses de nitrogênio;

Avaliar a produtividade de silagem em função de diferentes populações de plantas de milho e doses de nitrogênio;

Avaliar a exportação de nutrientes em função de diferentes populações de plantas de milho e doses de nitrogênio;

Avaliar as características qualitativas da silagem em função de diferentes populações de plantas de milho e doses de nitrogênio.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O aumento no número de plantas/ha é uma das estratégias mais fáceis de ser explorada para aumentar a produtividade do milho (COUTINHO NETO, 2015; SANGOI; SILVA, 2016). O aumento da produtividade do milho com incrementos na população de plantas está relacionado ao fato do milho não possuir mecanismos de compensação de crescimento quando cultivado com populações aquém da capacidade de exploração dos recursos do solo (EMYGDIO *et al.*, 2013). A baixa compensação está relacionada com a limitada capacidade de perfilhamento, expansão foliar e prolificidade (SANGOI *et al.*, 2002; SANGOI *et al.*, 2010).

A população ótima pode ser considerada como aquela em que o milho apresentará a melhor produtividade, sem expressar limitações relacionadas a competição intraespecífica por recursos como radiação solar, água, CO<sub>2</sub> e nutrientes (ARGENTA *et al.*, 2001). Sendo assim, o aumento da população de plantas só será possível se a planta de milho não sofrer limitações devido aos estresses provocados pela competição entre as plantas. Outro fator que merece atenção na adoção de maiores populações de plantas é a disponibilidade hídrica, sendo que este é um fator determinante para que a produtividade seja maximizada, já que um maior número de indivíduos pode gerar estresses devido a maior competição pela água disponível no solo (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

O aumento da população de plantas eleva a interceptação da radiação solar (FERREIRA *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2017; NEUMANN *et al.*, 2018). A radiação solar está diretamente relacionada com o acúmulo de matéria orgânica pela planta através da fotossíntese (MAKINO *et al.*, 2016). A eficiência de uso de radiação solar depende da arquitetura foliar, o que está relacionado com o ângulo foliar, tamanho de folhas, formato e distribuição ao longo do colmo (ROMANO, 2005; TAUBE *et al.*, 2020). Atualmente os híbridos de milho mais recentes possibilitam aumento da população de plantas em razão das alterações morfológicas promovidas pelos programas de melhoramento genético (SANGOI; SILVA, 2012). Tais programas geraram híbridos com angulosidade foliar mais ereta, melhor distribuição de folhas acima da espiga (FORNASIERI FILHO, 2007) e melhor eficiência do uso de nutrientes (CIAMPITTI; VYN, 2012), permitindo o adensamento populacional e menores efeitos na competição por recursos.

O aumento da eficiência fotossintética da planta é resultado do aumento do índice de área foliar (IAF) (MAKINO, 2018). Segundo este autor, a elevação do IAF representa aumento da eficiência de absorção de luz por área, mas gera declínio na eficiência individual das plantas. Isso está relacionado à redução da radiação incidente nas folhas inferiores que tendem a apresentar declínio na produção de fotoassimilados e acabam senescendo (SANGOI *et al.*, 2007). A radiação solar e a capacidade da planta em sintetizar fotoassimilados podem ser consideradas como um fator essencial para altas produtividades na cultura do milho (LIU *et al.*, 2017).

O aumento de produtividade via incremento da população de plantas pode requerer maior aporte de nutrientes via adubação (PANISON *et al.*, 2019; PIAO *et al.*, 2022). Segundo Neumann *et al.* (2017), a produtividade almejada de silagem de milho somente será alcançada quando os nutrientes necessários para completar o ciclo da planta são disponibilizados. O nitrogênio (N), nesse contexto, é o nutriente mais importante para o desenvolvimento da cultura do milho em razão de sua função no metabolismo e desenvolvimento da planta, bem como pela alta exportação deste nutriente em áreas destinadas a produção de silagem (NEUMANN *et al.*, 2017; TAIZ *et al.*, 2017). O N é componente básico das proteínas, amins, aminoácidos, ácidos nucleicos, nucleotídeos e coenzimas, além de ser integrante básico da molécula de clorofila (CANTARELLA, 2007; FORNASIERI FILHO, 2007).

O milho é da família *Poaceae*, o que garante respostas de produtividade mediante a oferta de N (OHLAND *et al.*, 2005; LOPES; LIMA, 2015). O fornecimento do nitrogênio para esta cultura pode ser realizado mediante ciclagem de nutrientes (FIORIN, 2008); incorporação atmosférica por plantas leguminosas cultivadas anteriormente ou concomitantemente à cultura do milho (FONSECA; HANISCH, 2009); e/ou pela aplicação de fertilizantes nitrogenados (MEIRA *et al.*, 2009).

A capacidade de extração do N disponível no solo pela planta de milho e sua transformação em biomassa vegetal são os principais fatores que determinam a eficiência da adubação nitrogenada (FARINELLI; LEMOS, 2010). A eficiência da utilização do N pelas plantas pode ser influenciada pelas transformações que ocorrem no solo e processos de perdas (MALAVOLTA, 2006). Entre as principais vias de perda do N pode-se destacar a perda de nitrato por lixiviação, desnitrificação e por fim, volatilização da amônia (CANTARELLA, 2007). As perdas de N são altamente dependentes de fatores ambientais, sendo que a resposta da cultura à aplicação de N depende das condições de temperatura, pH do solo e disponibilidade hídrica

(CAMERON *et al.*, 2013; VIEIRA, 2017). Desta maneira, a eficiência do uso do N pelo milho está relacionada à minimização dos processos de perdas e a maximização do processo de absorção e utilização (RODRIGUES *et al.*, 2018).

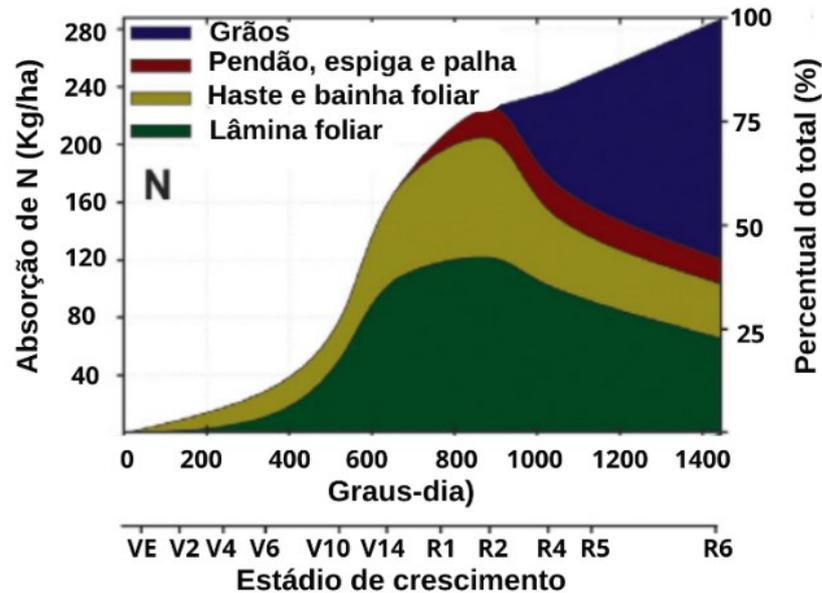
O nitrogênio é absorvido pelas raízes, na forma de  $\text{NO}_3^-$  (nitrato) ou de  $\text{NH}_4^+$  (amônio), através da membrana plasmática das células da epiderme e do córtex das raízes (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Após o processo de absorção, o N entra no processo de assimilação, que ocorre pela redução do  $\text{NO}_3$  em  $\text{NO}_2$  e posteriormente em amônio. Esse processo de redução é dependente da enzima nitrato-redutase (NR) (TAIZ; ZEIGER, 2004). Após o  $\text{NO}_2$  é incorporado aos compostos de carbono como amino-grupos, formando aminoácidos e aminas (LARCHER, 2000).

Após o processo de absorção, redução e assimilação, o N é translocado e particionado dentro da planta (CIAMPITTI *et al.*, 2013). Conforme Lopes e Lima (2015) após ocorrer a absorção do  $\text{NO}_3$  pela membrana plasmática, este pode ser acumulado e reduzido no interior das células vegetais. O  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NH}_4^+$  são armazenados no vacúolo das células vegetais, servindo como importante fonte de amônio quando a absorção de N reduz devido a limitações fisiológicas ou ambientais (ASIBI *et al.*, 2019).

A partição do N no desenvolvimento da planta do milho está relacionada a relação fonte/dreno, em que o N, demais nutrientes e fotoassimilados tendem a ser transferidos da região do colmo, folhas e raízes para o enchimento dos grãos durante o estágio reprodutivo (MAGALHÃES *et al.*, 1996; SANGOI *et al.*, 2002). A absorção do nutriente é crescente conforme a produtividade aumenta (VON PINHO *et al.*, 2009), em que a absorção da fase de emergência até o estágio V5 é responsável por menos de 20% da absorção deste nutriente (BENDER *et al.*, 2013)

Apesar da baixa absorção de N na fase inicial de desenvolvimento do milho, sua disponibilidade é essencial em razão do N apresentar importante função no desenvolvimento radicular, o que favorece a absorção nas fases subsequentes (OKUMURA *et al.*, 2011). Do estágio V6 até o início do estágio reprodutivo ocorrem 60 a 85% da absorção total de N (GREUB *et al.*, 2017). Após o início do estágio reprodutivo a planta passa a remobilizar o N restante do caule e folhas para os grãos, em que plantas de milho destinadas à produção de grãos tendem a apresentar a marcha de absorção por maior período em relação àquelas destinadas à produção de silagem (BORGES, 2006).

Figura 1: Marcha de absorção de nitrogênio na cultura do milho



Fonte: Bender *et al.* (2013) (Adaptado)

Os estádios mencionados são extremamente importantes para a definição dos fatores produtivos do milho, sendo imprescindível a oferta de N para o milho durante estes estádios (MARTINS, 2013). A importância da oferta do N nestes períodos está relacionada à definição dos componentes de rendimentos da cultura, que ocorre principalmente entre os estádios V4 e V8 (CIAMPITTI *et al.* 2016). Segundo Magalhães e Durães (2006) o estande de plantas se define principalmente a partir do estádio V4, definindo assim a produtividade potencial da área, já que entre os estádios V4 ao V8 o número de fileiras e o tamanho da espiga são definidos. Períodos de estresse ou de baixa oferta de nutrientes (especialmente N) nessa fase podem comprometer a produtividade (CRUZ *et al.*, 2011).

Diferentes populações de plantas e doses de N podem afetar a produtividade e qualidade da silagem de milho (SANGOI *et al.*, 2010; JOBIM; NUSSIO, 2014). Respostas fisiológicas e morfológicas relacionadas a esses fatores afetam a composição morfológica da planta, os teores de fibra e proteína bruta, processos fermentativos e a extração de nutrientes pelas plantas (MENEZES *et al.*, 2013; MAKINO, 2018). Alterações dos componentes morfológicos e bromatológicos da silagem podem afetar a nutrição animal, por isso os valores de população de plantas

e doses de N devem considerar o desempenho produtivo da cultura aliado à qualidade da silagem (CHERNEY *et al.*, 2004, BAGHDALI *et al.*, 2012).

Vários trabalhos visam determinar valores mais adequados para a população de plantas e doses de N para produção de silagem de milho. Entretanto, os resultados encontrados não são unânimes. Neumann *et al.* (2019), avaliando o efeito de duas populações de plantas (50 e 70 mil plantas/ha) e doses de N (90 e 180 kg/ha), verificaram maior produção de silagem para a maior população de plantas associada ao maior nível de adubação. Esses autores observaram maiores proporções de folhas, brácteas, palha, sabugo e grãos no material ensilado para a menor população de plantas, mesmo com o uso de maiores doses de fertilizantes. Lins (2017), avaliando doses N (80, 160, 240 e 320 kg/ha) em condição de elevado adensamento de plantas (166,6 mil plantas/ha), verificou maior produtividade de silagem para a maior dose de N, sem alterações na morfologia das plantas. Ferreira *et al.* (2020), avaliando três populações de plantas (60, 70 e 90 mil plantas/ha) e duas doses de N (50 e 100 kg/ha), verificaram que a maior população de plantas aliada a maior dose de N resultou maior produtividade, mas a silagem apresentou maiores teores de fibra, o que pode estar associado a menor altura de plantas e menor diâmetro de colmo. Já Çarpic *et al.* (2010), avaliando cinco populações 60, 100, 140, 180 e 220 mil plantas/ha e as doses 0, 100, 200, 300 e 400 kg de N/ha, observaram maior produtividade de silagem na condição de 180 mil planta/ha com de 300 kg de N/ha. Esses autores verificaram aumento do teor de PB da silagem com elevação da dose de N, mas não verificaram alteração do teor de fibra.

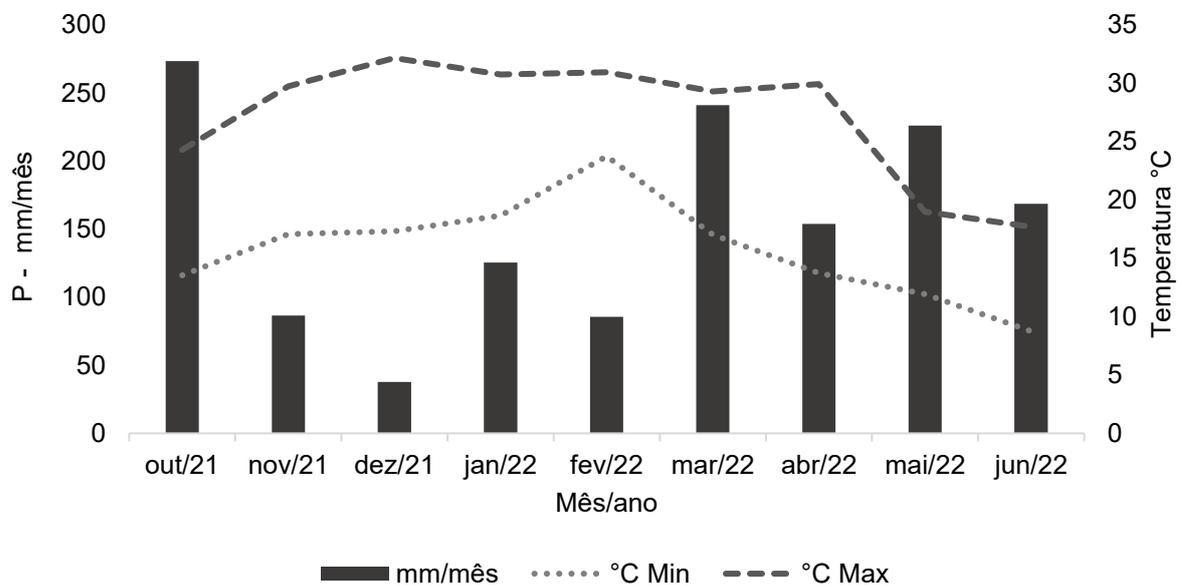
Estratégias que elevam a produtividade de silagem podem impactar a ciclagem de nutrientes do solo. Segundo Ueno *et al.* (2011), maiores produtividades de silagem exportam maiores quantidades de nutrientes do solo. Isso ocorre porque a planta de milho apresenta alta produção de fitomassa e com isso extrai altos valores de nutrientes para completar seu ciclo de produção (RESENDE *et al.*, 2016). Sendo assim, ao ser realizado o corte da planta inteira, os nutrientes extraídos são exportados da área de produção (HÜLSE, 2014). Estes aspectos devem ser considerados haja vista que impactam a fertilidade e conservação do solo, o que pode alterar a sustentabilidade do sistema de produção.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local e época

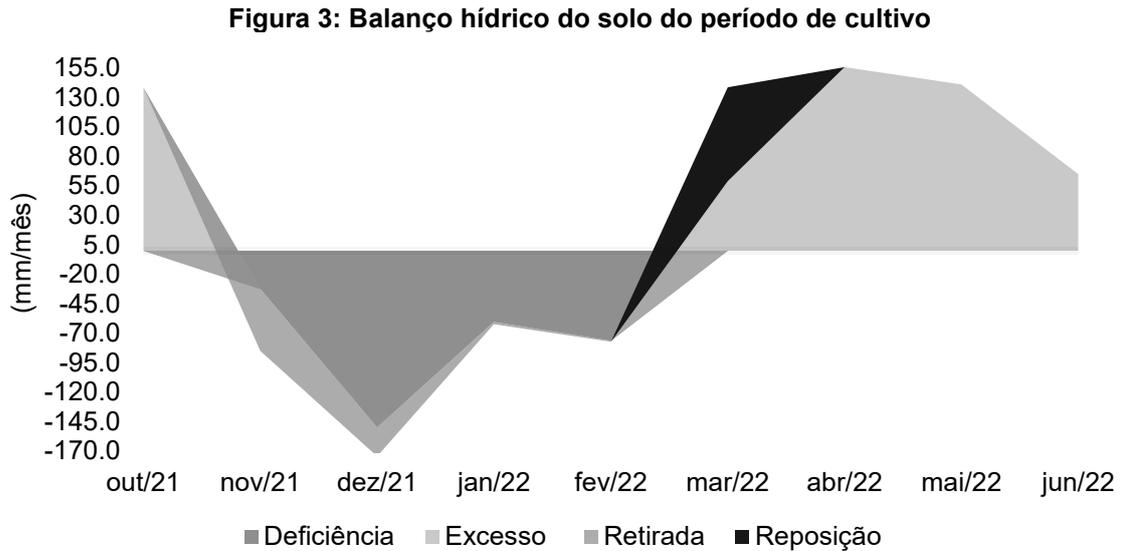
O experimento foi conduzido entre os meses de outubro de 2021 a junho de 2022 na área experimental do curso de agronomia na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco (26°41'17" S e 52°21'17" O). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2013). O clima predominante na região é do tipo Cfa (subtropical úmido), conforme classificação de Köppen (Maack, 1968), com altitude média de 760 m. Os dados climáticos do período experimental foram obtidos do Projeto Langely Research Center da Previsão de Recursos Energéticos Mundiais da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (POWER, 2023) e são apresentados na Figura 2.

**Figura 2: Dados climáticos médios mensais do período experimental (P = precipitação; Min = temperatura mínima; Max = temperatura máxima)**



**Fonte: Autoria Própria (2023)**

O Balanço hídrico durante o período de cultivo é apresentado na Figura 3. O balanço hídrico do solo foi determinado a partir dos dados climáticos do período de cultivo (POWER, 2023), utilizando-se as metodologias de Thornthwaite e Mather (1955) e Hargreaves e Samani (1985).



**Fonte: Autoria Própria (2023)**

O período de cultivo foi caracterizado pela escassez hídrica durante os meses de novembro de 2021 a fevereiro de 2022 (Figura 3). Esse período foi coincidente com o crescimento e desenvolvimento do milho safra e também durante o período de estabelecimento do milho safrinha.

### 3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com os tratamentos em arranjo fatorial em 3X2 (3 populações de plantas x 2 doses de nitrogênio), com quatro repetições de área em duas safras agrícolas. As populações de plantas adotadas foram: 67.000, 80.000 e 96.000 plantas/ha, já as doses de nitrogênio utilizadas foram 150 e 250 kg/ha (50 kg na semeadura e 100 ou 200 kg em cobertura).

### 3.3 Procedimentos experimentais

A área experimental é caracterizada pela utilização de sistema de plantio direto com o cultivo de milheto (*Pennisetum glaucum*) no verão e aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno. Antecedendo o período de cultivo do milho, foi realizada a amostragem da camada de 0-20 cm do solo (15/09/2021), cuja análise química é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1: Análise química do solo. UTFPR, Pato Branco-PR, 2021**

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> .....				%
4,90	53,61	10,49	0,32	4,70	1,70	4,59	6,72	0,04	11,31	59,42

MO = Matéria orgânica; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; H+Al = Hidrogênio + alumínio; SB = Soma de Bases; Al<sup>+3</sup> = Alumínio; CTC = Capacidade de troca de cátions; V% = Saturação por bases.

**Fonte: A autoria própria (2023)**

A área foi dividida em quatro blocos (fator de bloqueamento: declividade de 5%). Cada bloco foi constituído por seis parcelas de 15,75 m<sup>2</sup> (5 m x 2,7 m). Entre um bloco e outro havia um corredor de 1 m de largura. A bordadura da área experimental foi constituída por seis linhas de milho (B2401 PWU). Entre a bordadura e as parcelas experimentais havia um corredor de 1 m de largura.

A semeadura do milho no período da safra principal foi realizada no dia 19/10/2021, enquanto a semeadura no período da safrinha foi realizada no dia 17/02/2022. O híbrido utilizado foi o B2401 PWU, que apresenta comportamento de crescimento superprecoce e aptidão para produção de grãos e silagem. A semeadura do milho ocorreu de maneira manual com a utilização de matracas equipadas com espaçador, utilizando duas sementes por cova (profundidade de 3 a 4 cm). O espaçamento entre linhas foi de 45 cm, enquanto o espaçamento entre plantas foi variável (67.000 plantas/ha = 33 cm, 80.000 plantas/ha = 27 cm; 96.000 plantas/ha = 23 cm). O desbaste das plantas foi realizado após 15 dias da emergência, mantendo-se uma planta por cova.

A semeadura foi realizada no sistema de plantio direto. Na safra principal, a semeadura do milho ocorreu em sucessão à cultura de aveia preta (*Avena strigosa*), dessecada com antecedência de 30 dias. Na safrinha, a semeadura do milho ocorreu em sucessão à cultura de milheto (*Pennisetum glaucum*), dessecada com antecedência de 30 dias. As dessecações foram realizadas com glifosato (3 L/ha). Antecedendo a semeadura do milho foi utilizado rolo-faca para processar a palhada.

A adubação de base foi constituída pela utilização de superfosfato simples, ureia e cloreto de potássio. A quantidade de cada nutriente (NPK) foi estabelecida mediante interpretação de análise de solo e recomendações de adubação do Manual de Adubação e Calagem Para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017). Foram utilizados 444 kg de superfosfato simples, 111 kg de ureia e 216 kg de cloreto de potássio, buscando atender a demanda de 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 Kg de N e 130 kg de

K<sub>2</sub>O na semeadura visando produtividade de silagem entre 40 a 60 toneladas/ha de forragem verde. Os adubos foram misturados manualmente e incorporados ao solo com auxílio de semeadora-adubadora antes da semeadura. A adubação de cobertura foi realizada no estágio fenológico V6, utilizando as doses de 100 e 200 kg de N/ha na forma de ureia (50 kg de N foram aplicados na base).

O controle de plantas daninhas foi realizado utilizando-se glifosato na dose de 3 L/ha, sendo a aplicação calibrada para volume de calda de 200 L/ha. O híbrido de milho utilizado possui tecnologia “*Roundup Ready*” (RR), a qual confere resistência a este herbicida. As plantas daninhas predominantes na área anteriormente à aplicação de herbicida foram o papuã (*Brachiaria plantaginea*), capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e picão-preto (*Bidens pilosa*).

O controle de insetos foi realizado utilizando-se o inseticida Orthene (Acefato) na dose de 800 g/ha calibrada para um volume de calda de 200 L/ha, quando se observou a evidencia de pragas a nível de controle. Na safrinha, excepcionalmente, foi utilizado o inseticida EngeoPleno S (Tiametoxan; Lambda-Cialotrina), em três aplicações (250 mL/ha; volume de calda de 200 L/há), visando a redução da infestação por cigarrinha (*Dalbullos maidis*).

O critério para colheita foi o estágio de desenvolvimento das plantas, de forma que o ponto idealizado foi quando as plantas de cada parcela apresentavam os grãos no estágio farináceo-duro. A colheita do milho da primeira safra ocorreu no dia 21 de fevereiro de 2022, enquanto a colheita do milho safrinha foi realizada em 15 de junho de 2022.

A colheita manual de doze plantas aleatórias das três linhas centrais de cada parcela foi realizada a uma altura de 15 cm do solo. Após o corte, as plantas foram pesadas para determinar a produção de forragem verde (ton./ha). Destas, três plantas de cada parcela foram destinadas para avaliação morfológica e componentes de rendimento. Nove plantas/parcela foram processadas em forrageiro estacionário (partículas de 2-3 cm) para determinação da matéria seca e confecção dos silos experimentais. Duas amostras (400 g/amostra) de forragem fresca de cada parcela foram encaminhadas para secagem em estufa com circulação de ar forçado a 55°C por 72 horas para determinação da matéria seca da forragem. Quatro silos experimentais/parcela foram confeccionados utilizando-se sacos plásticos de 20 micras com capacidade de 1 kg. A expulsão de ar e vedação dos silos foi realizada com auxílio de uma Máquina Industrial de Embalar a Vácuo (modelo GS62OF). Os

silos experimentais foram armazenados durante 60 dias em temperatura ambiente e ausência de luz.

### 3.4 Avaliações experimentais

O estande de plantas inicial e final foi contabilizado nas três linhas centrais de cada parcela, após a operação de desbaste, totalizando 15 metros lineares. O estande de plantas médio foi determinado pela média aritmética entre o estande inicial e final. A avaliação biométrica foi realizada em oito plantas aleatórias das três linhas centrais de cada parcela um dia antes da colheita. A avaliação da altura de plantas e altura da primeira espiga foi realizada com auxílio de uma trena de cinco metros. A avaliação do diâmetro do colmo foi realizada com auxílio de paquímetro digital entre o primeiro e o segundo nó. As avaliações da incidência do complexo de enfezamentos causado por cigarrinha foram realizadas no estágio reprodutivo do milho, através da metodologia proposta por Amorim *et al.*, (2018), onde foi determinado o percentual de plantas sintomáticas por parcela.

A produção de forragem verde foi determinada a partir do estande final de plantas e o peso médio de 12 plantas por parcela, em que: produção de matéria verde (PMV) = peso médio das plantas x estande de plantas final. A produção de matéria seca (PMS) foi determinada utilizando-se o teor de matéria seca, em que: PMS = (produção de matéria verde x teor de matéria seca)/100.

A avaliação da composição morfológica e os componentes de rendimento foram realizados em três plantas por parcela. A composição morfológica foi realizada através da separação manual das partes das plantas (folhas, colmo + inflorescência, grãos e sabugo + palha da espiga). As amostras de cada parcela foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 55°C por 72 horas e pesadas. O número de fileiras por espiga e número de grãos por fileira foi determinado por contagem visual. O número de grãos por espiga foi determinado multiplicando-se o número de fileiras por espiga pelo número de grãos por fileiras. A produção de grãos foi determinada multiplicando-se o peso seco dos grãos por planta pelo estande de plantas final.

Um silo experimental/parcela foi destinado para determinação do pH (SILVA; QUEIROZ, 2002). Três silos experimentais/parcela foram destinados para a determinação da composição química da silagem. Para tanto, as amostras foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 55°C por 72 horas e processadas (1

mm) em moinho de facas (modelo MACRO 930). Posteriormente, foi determinado o teor de matéria seca, nitrogênio e proteína bruta (AOAC, 1995); teor de fibra em detergente neutro e ácido (VAN SOEST *et al* 1991) e os teores de fósforo (P) e potássio (K) (TEDESCO *et al*, 1995). A exportação de nutrientes (N, P e K) foi determinada a partir da produção de matéria seca e teor destes nutrientes da silagem.

### 3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de normalidade e homogeneidade de variâncias. Depois de satisfeitos esses pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste F (época de plantio e dose de N) e teste Tukey (população de plantas) ( $\alpha = 0,05$ ), utilizando-se o PROC GLM do SAS (*Statistical Analysis System*, versão 9.2). O modelo matemático geral foi definido por:

$$\gamma_{ijkl} = \mu + T_i + M_j + N_k + T_i * M_j + T_i * N_k + M_j * N_k + T_i * M_j * N_k + \varepsilon_{ijkl}, \text{ onde:}$$

$\gamma_{ijkl}$  = variável dependente;  $\mu$  = média geral;  $T_i$  = efeito da época de cultivo;  $M_j$  = efeito da população de plantas;  $N_k$  = efeito da dose de N;  $T_i * M_j$  = interação entre época de cultivo e populações de plantas;  $T_i * N_k$  = interação entre época de cultivo e dose de N;  $M_j * N_k$  = interação entre populações de plantas e dose de N;  $T_i * M_j * N_k$  = interação entre época de cultivo, populações de plantas e dose de N;  $\varepsilon_{ijkl}$  = erro experimental residual.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram verificadas interações entre os fatores de variação para as variáveis relacionadas com os aspectos produtivos da silagem de milho (Tabela 2).

### 4.1 Efeito do período de cultivo nas características produtivas do milho

Com exceção do estande de plantas, as variáveis relacionadas com os aspectos produtivos (medidas biométricas, componentes de rendimento, componentes morfológicos e produção de forragem), bem como a incidência do complexo de enfezamento, foram influenciadas ( $P < 0,05$ ) negativamente pelo cultivo no período de safrinha (Tabela 2). Estes resultados podem ser atribuídos ao período de estiagem ocorrido na primeira safra e no estabelecimento da cultura da segunda safra, bem como pelo aumento da incidência do complexo de enfezamento da cultura do milho.

O balanço hídrico do solo (Figura 3) representa as condições de disponibilidade de água para o crescimento das plantas durante o período de cultivo, onde se constata deficiência de água para o crescimento da cultura durante o período de crescimento e desenvolvimento do milho safra e durante a implantação do milho safrinha. A água está intimamente relacionada com a manutenção fisiológica da planta e a absorção de nutrientes pelas raízes (TAIZ *et al.*, 2017). Por outro lado, o complexo de enfezamento, que tem a cigarrinha como vetor, afeta diretamente a produção da cultura do milho. A sintomatologia desta doença é caracterizada pelo nanismo, clorose, enfezamento, virescência e redução da prolificidade (AMORIM *et al.*, 2019). Além disso, causa redução da capacidade de absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, redução expressiva da produção de grãos e biomassa (COSTA *et al.*, 2019; CARLONI *et al.*, 2013). A expressão dos sintomas e a redução da produtividade ocorrem devido à infecção sistêmica e multiplicação de mollicutes no sistema vascular do milho, que gera alterações fisiológicas, metabólicas e bioquímicas (SABATO, 2018).

A maior incidência do complexo de enfezamento na segunda safra é explicada pela sobreposição do milho durante um período maior de tempo, que favorece a multiplicação de *Dalbullos maidis* e permite que os insetos adultos

**Tabela 2 - Variáveis relacionadas com os aspectos produtivos do milho de acordo com os fatores de variação.**

Itens	Safra (S)		PP (mil plantas/ha)			DN (Kg/ha)		CV (%)	P - Valor						
	Safra	Safrinha	67	81	96	150	250		S	PP	DN	S*PP	S*DN	PP*DN	S*PP*DN
EP	81,85	80,94	67,04 <sup>c</sup>	80,65 <sup>b</sup>	96,51 <sup>a</sup>	80,51	82,28	8,45	0,656	<0,001	0,385	0,114	0,967	0,229	0,551
IE	10,00	83,25	48,92	46,77	44,19	47,42	45,83	21,06	<0,001	0,410	0,579	0,410	0,579	0,390	0,390
AP	2,18	1,32	1,73	1,75	1,77	1,72	1,78	8,62	<0,001	0,690	0,212	0,762	0,308	0,352	0,980
AIE	1,09	0,56	0,81	0,82	0,83	0,80	0,84	9,83	<0,001	0,779	0,147	0,178	0,629	0,677	0,375
DC	22,79	14,17	19,71	17,48	18,25	18,07	18,89	15,66	<0,001	0,105	0,347	0,472	0,103	0,772	0,668
Grãos	41,86	6,98	25,21	23,46	24,60	24,43	24,42	17,41	<0,001	0,569	0,993	0,362	0,947	0,935	0,690
Folha	19,07	37,96	28,33	28,81	28,41	28,93	28,10	13,20	<0,001	0,928	0,456	0,387	0,255	0,807	0,680
Col+In	22,01	30,78	26,06	27,33	25,79	26,25	26,53	12,03	<0,001	0,421	0,790	0,377	0,774	0,780	0,343
S+Pa	17,45	25,45	21,74	21,15	21,45	20,78	22,12	11,54	<0,001	0,803	0,079	0,917	0,345	0,529	0,868
NFE	17,72	11,35	14,91	14,91	13,79	14,39	14,68	15,87	<0,001	0,345	0,679	0,758	0,998	0,306	0,448
NGF	27,40	13,13	20,54	19,47	20,79	20,39	20,14	20,12	<0,001	0,662	0,839	0,173	0,317	0,268	0,371
PMG	555,55	140,10	339,49	350,45	353,53	350,93	344,72	21,26	<0,001	0,860	0,779	0,964	0,976	0,543	0,237
PMV	53,40	42,73	44,14 <sup>b</sup>	49,91 <sup>a</sup>	50,15 <sup>a</sup>	49,02	47,11	9,36	<0,001	<0,008	0,273	0,178	0,390	0,899	0,496
PF	21,68	12,81	15,91 <sup>b</sup>	17,82 <sup>a</sup>	18,02 <sup>a</sup>	17,07	17,42	10,03	<0,001	<0,023	0,612	0,348	0,586	0,648	0,648
PG	9,40	0,95	4,82	5,40	5,31	5,25	5,09	20,41	<0,001	0,441	0,713	0,680	0,280	0,298	0,946

PP =população de plantas; DN = dose de nitrogênio; EP = estande de plantas médio (mil plantas/ha); IE = Incidência de enfezamento na cultura do milho (%); AP = altura de plantas (cm); AIE = altura de inserção de espiga (cm); DC = diâmetro de colmo (cm); Grãos (%); Folhas (%); Colmos (%); P+S = palha + sabugo da espiga (%); NF = número de fileiras/espiga; NGF = número de grãos por fileira; NGE = número de grãos/espiga; PMG = peso de mil grãos (g); PMV = produção de matéria verde (ton./ha); PF = produção de forragem (ton. de matéria seca/ha); PG = Produção de grãos (ton. De matéria seca/ha).

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

**Fonte: Autoria própria (2023)**

migram de áreas mais velhas para áreas mais novas, infectando as plantas ainda nos estádios iniciais de desenvolvimento (COELHO et al., 2017). Além da sobreposição, o período de cultivo de milho na segunda safra apresenta temperaturas ideais para o desenvolvimento do enfezamento pálido (AMORIN et al., 2019). A incidência do enfezamento pálido é favorecida por temperaturas ente 25° C e 31°C (GALVÃO, 2019). Por outro lado, a multiplicação do inseto vetor é favorecida por temperaturas entre 26°C a 32°C (WAQUIL et al., 1999).

### **1.1 Efeito da população de plantas nas características produtivas do milho**

O estande de plantas diferiu ( $P < 0,05$ ) entre as populações de plantas (Tabela 2), o que está de acordo com os objetivos deste estudo. O aumento da população de plantas tende elevar o tamanho das plantas em razão da competição por luz, reduzindo o diâmetro de colmo (MANDIÉ et al., 2016; HAN et al., 2020). As medidas biométricas das plantas deste estudo, entretanto, não foram afetadas ( $P > 0,05$ ) pelo aumento da população de plantas. Esses resultados foram relacionados com a estiagem ocorrida durante o período experimental e a incidência do complexo de enfezamento. Estes aspectos limitaram o desenvolvimento e área foliar das plantas, reduzindo competição por luminosidade e nutrientes com o aumento da população de plantas de milho.

A composição morfológica das plantas não foi alterada ( $P > 0,05$ ) pela elevação da população de plantas (Tabela 2), o que pode ter sido ocasionado pela limitação do desenvolvimento das plantas em razão da estiagem e incidência do complexo de enfezamento do milho. A elevação da população de plantas pode impactar a composição morfológica das plantas na medida em que eleva a altura e reduz o diâmetro de colmo em função da competição por luz (BALBINOT JUNIOR; FLECK, 2005; CORRÊA, 2018). Isso pode elevar a proporção das partes mais fibrosas da planta (colmo, palha, sabugo, folhas), o que tende a reduzir a qualidade da silagem em razão do aumento do conteúdo de fibra (NEUMANN et al., 2007).

O crescimento foliar é favorecido em populações de plantas menores devido à radiação solar alcançar maior proporção do dossel, atingindo maior quantidade de folhas do estrato inferior (STRIEDER et al., 2007). O aumento da população de plantas reduz o crescimento foliar individual das plantas, porém resulta em incrementos no

índice de área foliar favorecendo a interceptação da radiação solar disponível (MARCHÃO et al., 2005; MAKINO, 2018). O percentual de folhas está relacionado a fatores ambientais, principalmente disponibilidade de água. Em situações de déficit hídrico, a planta reduz área foliar para compensar as perdas gasosas, tendo em vista que mais de 97% da água captada pelas plantas é perdida mediante o processo de transpiração (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017; TAIZ et al. 2017). A evapotranspiração (perda de água do solo e da planta) é crescente até o momento em que ocorre o sombreamento pelas próprias plantas, podendo ser beneficiado em maiores populações de plantas (SANGOI; SILVA, 2012).

Os componentes de rendimento, bem como a produção de grãos não foram influenciados ( $P > 0,05$ ) pelo aumento da população de plantas (Tabela 2). Estes resultados estão associados com a limitação do desenvolvimento das plantas ocasionada pela estiagem e incidência do complexo de enfezamento do milho. A similar produção de grãos entre as diferentes populações de plantas da cultura de milho para silagem também pode ser explicada pelos componentes de rendimento.

Os resultados apresentados não eram esperados, uma vez que o aumento da população de plantas pode gerar diminuição das variáveis como o número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e massa dos grãos (AMARAL FILHO et al., 2005; FOLONI et al., 2014; PASSOS et al., 2019). De forma geral, o aumento da população de plantas afeta negativamente estas variáveis, porém com aumento de produtividade até um determinado ponto em razão da compensação existente pela elevação da quantidade de plantas (BALEM et al., 2014; DEMÉTRIO et al., 2008 (TAKASU et al., 2013).

Segundo Amaral Filho et al. (2005), a população de 80 mil plantas/ha apresentou produção de grãos superior as populações de 60 mil e 40 mil plantas/ha e menores valores de número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e massa de grãos. Corrêa et al (2019), trabalhando com as mesmas populações de plantas observou comportamento similar para estas variáveis, com maior produtividade para a população de 80 mil plantas/ha. Já FOLONI et al. (2014), avaliando populações crescentes de milho (39 mil a 105 mil plantas/ha) observaram maiores produtividades para as populações entre 70 a 80 mil plantas/ha. O efeito da maior competição entre plantas em populações de semeadura muito elevadas resulta em maior abortamento de grãos (BRACHTVOGEL et al., 2009) e menor produção de grãos por planta (CORRÊA et al., 2019).

A produção de forragem foi similar ( $P>0,05$ ) entre as populações de plantas de 81 e 96 mil plantas/ha, as quais superaram a produção de forragem na condição de 67 mil plantas/ha (Tabela 2). Esses resultados estão relacionados, pelo menos em parte, ao fato de o aumento da população de plantas por área resultar na maximização do uso da água, absorção de nutrientes e melhora a eficiência fotossintética da cultura (CALONEGO *et al.*, 2011), bem como pelo efeito de compensação que ocorre em razão do aumento da população de plantas (DOURADO NETO *et al.*, 2003). Esses dados corroboram com os obtidos por Ferreira *et al.* (2014), que avaliaram o efeito de 60, 70, 80 e 90 mil plantas/ha e verificaram elevação linear da produtividade de silagem.

Severo (2021) também observou elevação da produtividade de forragem ao elevar a população de plantas de milho para silagem de 60 para 120 mil plantas/ha. Da mesma forma, Ferreira e Teets (2017) trabalhando com populações crescentes de 50 mil plantas/ha até 100 mil plantas/ha observaram aumento linear na produtividade da silagem com o aumento da população de plantas. Estes autores atribuíram a maior produtividade às condições adequadas de disponibilidade de nutrientes que contribuíram para o bom desenvolvimento das plantas em maiores populações. O aumento de produtividade de silagem com a elevação da população de plantas ocorre pela melhor eficiência fotossintética da planta devido ao aumento do índice de área foliar, que contribui para o melhor uso da água e nutrientes do solo (NEUMANN *et al.*, 2019).

#### **4.2 Efeito das doses de nitrogênio nas características produtivas do milho**

As doses de N não influenciaram ( $P>0,05$ ) as variáveis produtivas da cultura do milho (Tabela 2). Estes resultados estão relacionados, em parte, com a fertilidade do solo, especialmente com o teor de matéria orgânica. Segundo Shapiro *et al.* (2019) solos com elevado teor de matéria orgânica disponibilizam maior quantidade de N para as plantas, o que pode minimizar o efeito da adubação nitrogenada. Nutrientes provenientes das plantas de cobertura utilizadas antes do cultivo do milho também podem elevar a disponibilidade de N para a cultura sucessora (ASSMANN *et al.*, 2018). Crusciol *et al.* (2008), verificou liberação de 45 kg de N/ha proveniente da palhada de aveia preta na cultura sucessora.

Os efeitos da estiagem e incidência do complexo de enfezamento também

são importantes para os resultados obtidos, pois limitam a manutenção fisiológica da planta e absorção de nutrientes pelas raízes (TAIZ *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2019). Segundo Galon *et al.* (2010) em períodos de escassez hídrica, a água é o nutriente mais limitante para o desenvolvimento das plantas, independente do nível de adubação. Os resultados encontrados neste estudo demonstram que na eminência da ocorrência de períodos de estresse hídrico e/ou incidência de doenças, tal como o complexo de enfezamento, a elevação da dose de N para a produção de silagem de milho deve ser planejada com cuidado, uma vez que pode elevar o custo de produção em razão de não resultar em aumento de produtividade.

Em condições climáticas favoráveis, o aumento da dose de N pode beneficiar o desenvolvimento das plantas de milho, o que tende elevar a altura e o diâmetro de colmo (CAIRES; MILLA, 2016). Isso ocorre em razão do N atuar diretamente nos componentes de produção e produtividade do milho (COBUCCI, 1991). O N pode aumentar o tamanho de folhas, o número de folhas verdes e a taxa fotossintética, (MEIRA, 2006). Esses fatores contribuem para um maior período de translocação de fotoassimilados e acúmulo de matéria seca nos grãos (PICOLI JUNIOR, 2011). Alves (2018) ao avaliar o efeito de doses crescentes de N na cultura do milho (0, 50, 100, 150, 200, 250 e 300 kg/ha) verificou elevação linear do número de grãos por espiga, peso de grãos e produtividade de grãos. O autor atribuiu a resposta da produtividade ao nível baixo de matéria orgânica do solo, que contribuiu para as respostas mais expressivas da aplicação crescente de N. Já Simão *et al.* (2020) avaliaram o efeito de diferentes doses de N no plantio (0, 45 e 90 kg/ha) e cobertura (0, 22, 45 e 90 kg/ha) na cultura do milho e verificaram que a elevação das doses de N no plantio, associadas as doses de N em cobertura, determinaram aumento linear da produtividade de grãos. Estes autores relataram aumento de 18,4 a 30,5 kg/ha de grãos para cada kg de N disponibilizado na adubação de cobertura, o que foi relacionado as condições climáticas adequadas e regime de chuvas bem distribuído, minimizando as perdas de N e aumentaram a eficiência do uso pela planta.

O aumento da oferta de N pode levar ao aumento da produção de grãos e redução da proporção das partes da planta mais fibrosas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000), o que é extremamente positivo para a produção de silagem. O aumento na oferta de N afeta a produtividade pelo aumento da quantidade e qualidade de folhas (ZUCARELLI *et al.* 2019). Folhas fotossinteticamente ativas produzem maior quantidade de fotoassimilados, melhorando a produtividade (FANCELLI; DOURADO

NETO, 2004). Além disso, a qualidade da silagem melhora em razão da elevação da proporção de grãos e redução da proporção de fibra (BASI *et al.*, 2011), e maior teor de proteína bruta da silagem (FERREIRA *et al.*, 2001).

Efeito positivo de doses de N (217, 295, 374 e 425 kg/ha) sobre a produtividade de silagem de milho foi verificado por Neumann *et al.* (2017), com maiores valores obtidos para a dose de 374 kg/ha de N (32,3 ton. de matéria seca/ha). Estes autores relacionam o alto valor de produtividade às condições climáticas ideais, enquanto associaram a redução na produção com a maior dose de N à menor eficiência de uso deste nutriente em adubações mais elevadas e a maiores perdas de N por volatilização da amônia. Santin *et al.* (2017) avaliaram o efeito de 0, 60, 120 e 240 kg/ha de N e verificaram maior produtividade de forragem de milho para as duas maiores doses, que não diferiram entre si. De acordo com estes autores, adubações mais elevadas determinam um consumo de luxo pela planta, anulando a diferença entre níveis elevados de adubação nitrogenada.

#### **4.3 Efeito do período de cultivo nas características qualitativas da silagem de milho**

O teor de matéria seca e o pH da silagem foram superiores ( $P < 0,05$ ) para o período da safra principal. A colheita no período da safrinha, embora o conteúdo de matéria seca indique ponto desejado, foi antecipada em relação ao ponto de colheita do período da safra principal. Isso ocorreu em razão da seguida incidência de geadas, o que é um problema geral enfrentado pelos produtores da região que cultivam milho safrinha para silagem. A colheita da safra, por outro lado, ocorreu no final do ponto desejado (grãos no estágio farináceo-duro), o que foi resultado de chuvas ocorridas durante o período de colheita, o que também representa um problema real para a adequação do momento do corte das plantas de milho para silagem.

O pH foi superior ( $P > 0,05$ ) para a silagem produzida no período da safra principal, o que pode estar associado ao maior teor de matéria seca das plantas.

O avanço do ciclo vegetativo das plantas tende a reduzir os carboidratos fermentescíveis e aumentar os carboidratos estruturais (NUSSIO *et al.*, 2011). Essa

**Tabela 3 - Características qualitativas e exportação de nutrientes da silagem de milho de acordo com os fatores de variação.**

Itens	Safr (S)		PP (mil plantas/ha)			DN (Kg N/ha)		CV (%)	P - Valor						
	Safr	Safrinha	67	80	96	150	250		S	PP	DN	S*PP	S*DN	PP*DN	S*PP*DN
Características químico-bromatológicas da silagem															
MS	39,28	30,00	34,25	33,61	32,95	33,05	34,16	6,36	<0,001	0,259	0,087	0,679	0,728	0,228	0,271
pH	4,02	3,53	3,78	3,78	3,78	3,78	3,78	2,11	<0,001	0,791	0,993	0,993	0,262	0,350	0,836
N	1,11	1,27	1,16	1,18	1,24	1,15	1,24	10,55	0,002	0,423	0,028	0,071	0,336	0,182	0,750
PB	6,96	7,77	7,23	7,29	7,59	7,09	7,64	11,01	0,002	0,438	0,029	0,071	0,336	0,182	0,749
FDN	54,75	48,42	50,91	52,92	50,93	51,16	52,01	7,91	0,001	0,484	0,558	0,141	0,351	0,456	0,067
FDA	31,55	30,89	30,39	31,56	31,72	31,29	31,15	10,51	0,499	0,474	0,891	0,686	0,327	0,335	0,278
P	0,19	0,12	0,16	0,15	0,17	0,17	0,15	15,15	<0,001	0,387	0,696	0,944	0,183	0,241	0,261
K	0,92	0,91	0,91	0,92	0,93	0,92	0,92	17,53	0,391	0,695	0,792	0,428	0,379	0,206	0,489
Exportação de nutrientes															
EN	240,92	168,74	180,08 <sup>b</sup>	209,34 <sup>b</sup>	225,07 <sup>a</sup>	190,72	218,94	23,78	<0,001	0,047	0,057	0,725	0,210	0,518	0,278
EP	37,29	16,80	25,23	27,25	28,66	26,10	27,99	24,61	<0,001	0,374	0,343	0,794	0,171	0,371	0,151
EK	191,38	120,47	134,82 <sup>b</sup>	158,55 <sup>b</sup>	174,39 <sup>a</sup>	150,15	161,69	24,44	<0,001	0,025	0,312	0,309	0,924	0,094	0,118

PP = população de plantas; DN = dose de nitrogênio; MS = matéria seca (% da matéria natural); N = nitrogênio (da matéria seca); PB = proteína bruta (% da MS); FDN = fibra em detergente neutro (% da MS), FDA = fibra em detergente ácido (% da MS); P = fósforo (% da MS); K = potássio (% da MS); EN = exportação de N (kg/ha); EP = exportação de P (kg/ha); EK = exportação de K (kg/ha). Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey (P < 0,05).

**Fonte: Autoria própria (2023)**

condição implica diretamente no pH, que é resultado de um rápido desenvolvimento de bactérias do ácido lático nas fases iniciais da fermentação da silagem e que depende de uma maior disponibilidade de carboidratos fermentescíveis para seu crescimento (MACÊDO; SANTOS, 2019)

Resultados semelhantes foram observados por Bal (2006) ao avaliar a produção de silagem de milho de plantas com valores de matéria seca de 30, 36 e 49,8%, verificou pH da silagem de, respectivamente, 4,1, 4,2 e 4,8. Segundo o autor, os resultados são justificados pela alta concentração de carboidratos solúveis e intensa fermentação ocorrida no material ensilado com menor conteúdo de matéria seca. Rabelo *et al.* (2014), avaliando o efeito de diferentes teores de matéria seca em plantas de milho para silagem (25,9, 29,5, 31,5, 33,8 e 38,4%) também observaram efeito da maturidade da planta no pH da silagem, onde o menor pH foi obtido no menor teor de matéria seca, já o maior pH foi obtido na silagem produzida com maior teor de matéria seca, que não diferiu entre os demais tratamentos. Os autores correlacionam esse resultado a maior atividade de água no menor valor de matéria seca e a estabilização do processo fermentativo devido a menor produção de ácidos orgânicos nas maiores proporções de matéria seca. Já Bueno *et al.* (2020) avaliando a influência da matéria seca (30 e 40%) e do período de armazenamento da silagem de milho (0, 7, 14, 30, 60 e 120 dias) observaram interação entre os dois fatores, onde a silagem com menor teor de matéria seca apresentou menores valores de pH a partir dos 14 dias de armazenamento. Os autores atribuem este resultado a maior produção de ácidos acético e lático a partir dos 14 dias de armazenamento, que ocorreu devido a um melhor desenvolvimento microbiano na silagem, afetando diretamente o pH.

O teor de nitrogênio e proteína bruta da silagem foi superior ( $P < 0,05$ ) na silagem colhida no período da safrinha (Tabela 3). Esses resultados podem estar relacionados com a maior proporção de folhas na massa ensilada. As folhas apresentam maior conteúdo de nitrogênio em relação aos demais componentes morfológicos do milho (PINTO *et al.*, 2022). Por outro lado, a silagem produzida na safrinha apresentou maior conteúdo de fibra em detergente neutro, o que é resultado da maior proporção de colmos e sabugo + palha da espiga na massa ensilada (Tabela 2). O conteúdo de fibra em detergente ácido, entretanto, não foi influenciado pela época do cultivo do milho. O colmo, o sabugo e a palha da espiga de milho são os componentes mais fibrosos da planta de milho (NEYLON; KUNG JR., 2003).

O teor de fósforo (P) foi superior ( $P < 0,05$ ) nas plantas de milho cultivadas no

período da safra (Tabela 3), o que pode estar relacionado com o maior desenvolvimento das plantas. O P apresenta alta complexidade de fatores que podem interferir na sua absorção pelas raízes (SILVA; VAN RAIJ, 1999). A absorção de P depende de um sistema radicular bem formado, devido a baixa movimentação que o nutriente apresenta no solo (BARRETO; FERNANDES, 2017) e também da disponibilidade do nutriente no solo e do índice de pH do solo (MALAVOLTA, 2006). A baixa precipitação pluviométrica durante o período da safra, bem como a incidência do complexo de enfezamentos e as baixas temperaturas no período da safrinha podem ter afetado o crescimento das raízes e a capacidade de absorção de P. Isso se deve ao fato de que o P é absorvido por difusão e a absorção é relativa ao desenvolvimento radicular sendo influenciado negativamente por baixas temperaturas (NOVAIS *et al.*, 2007). Já a influência dos enfezamentos sobre a absorção de nutrientes se dá pela alteração fisiológica e bioquímica que é exercida na planta, alterando seus processos metabólicos e reduzindo a eficiência da absorção (SABATO, 2018). Outro fator que pode ter alterado o teor de P na silagem é a menor produção de grãos na safrinha, já que existe alta concentração de P nos grãos de milho (MENEZES *et al.*, 2018).

O teor de potássio (K) não foi alterado ( $P > 0,05$ ) pela época de cultivo (Tabela 3). Esse resultado pode estar relacionado ao fato de o K ser absorvido em maior proporção durante a fase vegetativa de desenvolvimento do milho (BORIN *et al.*, 2010; MENEZES *et al.*, 2018), período que o milho safrinha expressou pouca sintomatologia ao complexo de enfezamento, o que pode ter contribuído para uma similar absorção. Além disso, a concentração de K no tecido das plantas sofre pouca alteração quando não há diferença entre as doses de K utilizadas na adubação (HIRZEL *et al.*, 2007; MELLO *et al.*, 2005; UENO *et al.*, 2013).

Os valores observados neste trabalho corroboram com os observados por Cabral (2010), que avaliou diferentes variedades de milho para silagem e obteve valores médios de P na planta de milho variando de 0,11 a 0,14%. Motta *et al.* (2020) avaliaram os níveis de minerais em silagens de milho de 19 propriedades do estado do Paraná constataram níveis de K variaram entre 0,68 a 1,36% e níveis de P entre 0,08 a 0,23%.

A produção de 21,68 toneladas/ha de silagem (safra 1) determinou extração de 240,9 kg de N, 37,2 kg de P e 191,3 kg de K. A produção de 12,81 toneladas/ha de silagem (safra 2) determinou extração de 168,7 kg de N, 16,8 kg de P e 120,4 kg de

K. Estes resultados estão próximos aos valores relatados na literatura (COELHO; FRANÇA, 1995; DUARTE *et al.*, 2018; SIMÃO *et al.*, 2018).

Em um trabalho desenvolvido por Ueno *et al.* (2013), os autores observaram valores de exportações na silagem de milho cultivado na safra na ordem de 241 kg/ha de N, 141 kg/ha K e 41 kg/ha de P. Segundo os autores, esse padrão de absorção de nutrientes em silagens de milho ocorre porque os híbridos mais recentes possuem maiores períodos de manutenção de folhas verdes, o que contribui para maiores concentrações e exportação de N. Já os teores de K estão relacionados a maiores proporções de estruturas da planta, em especial aos colmos e folhas, enquanto os valores observados para a exportação de P, estão relacionados a maior concentração do nutriente na fração grãos e menor concentração na porção estrutural da planta. Já Simão *et al.*, (2018) avaliando o cultivo do milho em segundo cultivo, obtiveram valores de produtividade de matéria seca de 15,5 toneladas/ha e valores de extração de 178,5 kg de N/ha, 16 kg de P/ha e 110 kg de K/ha. Os valores são relacionados às condições menos favoráveis de cultivo e os níveis de extração se relacionam com a menor produção de forragem. A exportação de nutrientes que ocorre na produção de silagem de milho não permite a ciclagem de nutrientes quando comparado com a produção de grãos (HÜLSE *et al.*, 2017).

#### **4.4 Efeito da população de plantas nas características qualitativas da silagem**

O teor de matéria seca e pH da silagem não foram influenciados ( $P > 0,05$ ) pela população de plantas (Tabela 3). O pH da silagem é considerado um parâmetro importante relacionado à qualidade da fermentação da silagem. Valores mais baixos de pH ( $\leq 4,2$ ) estão relacionados a silagens que apresentam teores elevados de carboidratos solúveis no material a ser ensilado (CHERNEY *et al.*, 2004). O pH das silagens deste estudo indicam silagens que apresentaram adequado processo de fermentação.

Os resultados encontrados neste estudo foram similares aos encontrados por Machado *et al.* (2018), que não verificaram diferença no pH da silagem produzida sob populações crescentes de milho (49, 66 e 82 mil plantas/ha). Os autores relacionam estes resultados às condições semelhantes de matéria seca da silagem (33,5% a 34,2%), que possibilitou uma fermentação adequada do material ensilado.

A composição químico-bromatológica da silagem não foi influenciada pela população de plantas (Tabela 3), fato que pode estar associado à similar composição morfológica das plantas. Ferreira *et al.* (2014), avaliando populações de plantas de milho para silagem (60, 70, 80 e 90 mil plantas/ha) não observaram diferenças nos teores de PB da silagem de milho, o que foi atribuído às condições de precipitação e temperatura ideais para o cultivo, que resultou em maior mineralização da matéria orgânica, maior disponibilização de nutrientes e menores alterações na estrutura da planta. Por outro lado, Han *et al.* (2020), avaliando populações crescentes de milho para silagem (52,5; 60; 67,7; 75 e 82,5 mil plantas/ha) verificaram efeito quadrático da população de plantas sobre os teores de PB do material ensilado. Estes autores verificaram acréscimo de proteína bruta até a população de 75 mil plantas/ha, já a elevação para 82,5 mil plantas/ha resultou em decréscimo dos teores de PB em 17%. Os autores atribuem esse resultado à redução da clorofila foliar e enzimas relacionadas à fotossíntese e menor assimilação de nutrientes com a elevação da população de plantas, que resultou em maior senescência da planta. Já Cusicanqui e Lauer (1999), verificaram que a elevação da população de plantas de 44,5 mil para 104,5 mil plantas/ha reduziu os teores de PB em torno de 0,11 a 0,13 g/kg de forragem seca produzida a cada mil plantas acrescidas, fato associado a competição de nutrientes pelas plantas.

O conteúdo de FDN e FDA não foi influenciado ( $P>0,05$ ) pela população de plantas (Tabela 3). A população de plantas pode influenciar negativamente os teores de fibra da silagem devido a maior altura de plantas e menor diâmetro do colmo (ARGENTA *et al.*, 2001). Segundo Rabelo *et al.* (2014), o aumento da altura das plantas resulta em menores teores de carboidratos solúveis e maior proporção de fibra nos colmos para sustentar as plantas. A elevação da população de plantas pode aumentar os níveis de FDN e FDA pela redução da relação folha/colmo e proporção de grãos (NEUMANN *et al.*, 2018).

Bórghi *et al.* (2007), avaliando a influência de populações crescentes de plantas de milho para silagem (55, 65, e 75 mil plantas/ha) observaram aumento dos teores de FDN e FDA com a elevação da população de plantas, o que foi atribuído a redução na proporção folha/colmo. Já Adegbite *et al.* (2021) observaram redução linear nos níveis de FDN e FDA de silagens de milho ao se elevar a população de plantas (53 mil plantas até 421 mil plantas/ha). Segundo os autores, o resultado estaria relacionado ao fato da elevação da população de plantas resultar em menor diâmetro

de colmo. Os resultados deste estudo, entretanto, foram coerentes aos encontrados por Machado *et al.* (2018), que não constataram alterações do conteúdo de FDN e FDA da silagem de milho produzida por populações de plantas crescentes (49,5 66,0 e 82,5 mil plantas/ha), fato associado à similar constituição morfológica das plantas. Silva *et al.* (2021) também não observaram diferença nos teores de fibra da silagem de milho ao elevar a população de plantas de 89,2 mil para 102 mil plantas/ha.

Os teores de N, P e K, bem como a exportação de P não foram alterados ( $P < 0,05$ ) pela população de plantas (Tabela 3). Já a exportação de N e K foram superiores para as silagens produzidas com 96 mil plantas/ha em relação às demais populações de plantas, que não diferiram entre si. Os teores de nutrientes na silagem seguem um padrão decrescente na concentração da silagem, assim sendo  $N > K > P$ . Os maiores níveis de N, seguidos pelo K e por fim, de P, representam um comportamento natural de absorção desses nutrientes pelo milho (VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2006). A elevação da população de plantas poderia reduzir a concentração dos nutrientes na silagem devido a maior competição entre plantas pelos nutrientes e pela alteração na constituição morfológica da planta (SANGOI, 2001). O N apresenta maiores concentrações nos tecidos das folhas e grãos, o P principalmente nos grãos e o K nas estruturas vegetativas da planta, em especial aos colmos (RITCHIE *et al.*, 2003). Nesse sentido, a concentração de N, P e K no tecido foliar podem estar relacionadas com as condições ambientais e sanitárias enfrentadas no cultivo do milho, que não permitiram o pleno desenvolvimento das plantas, bem como pela ausência de alterações morfológicas das plantas. De acordo com Ueno *et al.* (2011), a concentração de nutrientes na silagem de milho é mais influenciada pela disponibilidade de nutrientes no solo, adequada disponibilidade hídrica e fases de desenvolvimento das plantas, do que por outros fatores.

Ferreira *et al.* (2020) observaram redução no teor de P na silagem de milho ao se elevar de 60 para 90 mil plantas/ha, fato associado à menor competição entre plantas. Estes autores, por outro lado, verificaram maiores valores de exportação de P ao se elevar a população de plantas, fato associado à produtividade. Oliveira *et al.* (2019), verificaram elevação da exportação ao se elevar a população de plantas, o que foi associado ao aumento de produtividade. Segundo Ueno *et al.* (2011) a exportação de nutrientes pela cultura do milho é a relação obtida entre a produção de fitomassa e o teor de um determinado nutriente no tecido.

#### 4.5 Efeito das doses de nitrogênio nas características qualitativas da silagem de milho

O teor de matéria seca e pH da silagem não foram influenciados ( $P>0,05$ ) pelas doses de N utilizadas na adubação de cobertura (Tabela 3). A adubação nitrogenada na cultura do milho pode elevar o pH da silagem, em decorrência da maior quantidade de nitrogênio amoniacal no material ensilado (LOPEZ *et al.*, 1970). Neumann *et al* (2017), ao avaliar o efeito de doses crescentes de N em cobertura (0, 45, 90 e 154 Kg N/ha) para o milho silagem, observaram efeito significativo das doses sobre o pH da silagem, onde a maior dose de N resultou no maior pH (3,4), sendo que as demais doses não diferiram entre si (3,31-3,35). Os autores atribuem esse resultado à maior produção de proteína bruta e íons orgânicos ocorrida na maior adubação, que aumentou a capacidade tampão da silagem, contribuindo para uma maior neutralização do pH. Melo *et al.* (1999), ao avaliar o efeito da adubação nitrogenada no milho para silagem verificaram efeito da adubação apenas quando se realizou o parcelamento da adubação nitrogenada, que resultou em maior produtividade de milho e melhores proporções morfológicas da planta, que contribuíram para o menor pH da silagem.

O teor de N e proteína bruta foram superiores ( $P<0,05$ ) na silagem produzida com maior nível de adubação nitrogenada (Tabela 3). Estes resultados estão associados ao fato de o N ser um nutriente básico para o crescimento e desenvolvimento do milho, influenciando todos os processos fisiológicos da planta (BASI *et al.*, 2011). O N está presente em aminoácido e enzimas importantes no processo da fotossíntese, em especial na molécula de clorofila (TAIZ *et al.*, 2017) e também na capacidade de manutenção de carboxilação da enzima Rubisco, que possibilita a utilização mais eficiente de gás carbônico pela planta, durante o processo da fotossíntese. Folhas de milho supridas de N apresentam melhor eficiência fotossintética e maiores valores de assimilação de gás carbônico (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004). Souza *et al.* (2008) constataram aumento linear nos teores de PB de silagem de milho ao trabalhar com doses crescentes de N (0, 50, 100 e 200 kg N/ha). Santin *et al.* (2017) também obtiveram aumento no teor de PB da silagem ao elevar a dose de N no cultivo do milho (0, 60, 120 e 240 kg N/ha), onde a maior dose de N resultou no maior teor de proteína bruta da silagem, superior aos demais tratamentos que não difeririam entre si. Segundo os autores, além do efeito da maior

disponibilização de N pela adubação, a ausência de diferença entre as menores doses estaria relacionada à alta mineralização da matéria orgânica do solo, que reduziu o efeito da adubação em doses menores.

Neumann *et al.* (2017) também observaram incremento no teor de PB da silagem com a elevação das doses de N em cobertura (0, 45, 90 e 135 Kg N/ha). No trabalho desenvolvido pelos autores, a elevação da oferta de N resultou em aumento linear do teor de PB, onde a adição de cada kg de N resultou em incremento de 0,0085% nos teores de PB. Os autores relacionam a elevação dos teores de proteína à maior absorção e transformação do N em proteína bruta. Já Menezes *et al.*, (2013), verificaram resposta quadrática nos teores de proteína bruta, ao elevar a dose de N no cultivo de 0 até 240 kg /ha. Segundo os autores, a melhor resposta para essa variável ocorre com 180 kg de N/ha, fato associado com a concentração proteica dos componentes morfológicos da planta. Segundo estes autores doses de N superiores a 180 kg/ha resultam em menor absorção e uso do N pela planta.

O conteúdo de fibra em detergente neutro e ácido não foi influenciado ( $P>0,05$ ) pela dose de adubação nitrogenada (Tabela 3). Estes resultados estão associados ao fato de que o nível de adubação não alterou o desenvolvimento das plantas em decorrência das limitações climáticas e sanitárias, determinando similaridade para os componentes morfológicos das plantas. Como já evidenciado, a elevação de componentes morfológicos das plantas (colmo, sabugo e palha da espiga) são os principais responsáveis pela elevação do conteúdo de fibra da silagem de milho (ARGENTA *et al.* 2001; NEUMANN *et al.*, 2018), juntamente com o avanço da idade fisiológica das plantas (RUSSEL, 1986). Os resultados para FDN e FDA corroboram com os observados por Menezes *et al.* (2013), que verificaram que a elevação da dose de N (0, 80, 160 e 240 kg N/ha) não resultou em alterações no teor de fibra da forragem. Segundo estes autores, estes resultados estão relacionados à ausência de alterações na composição morfológica da planta sob diferentes doses de adubação nitrogenada. Já Ullah *et al.* (2015), trabalhando com doses crescentes de N (0 a 280 kg N/ha), observaram a elevação proporcional dos níveis de fibra na forragem quando se elevou as doses de N. Os autores justificam esse resultado à maior altura de plantas e maior diâmetro do colmo. Em trabalho desenvolvido por Çarpik *et al.* (2010), a elevação da dose de N resultou em aumentos lineares dos teores de FDN da silagem, fato associado à maior altura de plantas e diâmetro do colmo ocasionada pela elevação da dose de N. Kaplan *et al.* (2016), ao avaliar a

produção de silagem sob três doses de N (100, 200 e 300 kg de N/ha) verificaram redução linear dos teores de FDN e FDA da silagem com o aumento da dose de N, fato atribuído ao aumento da digestibilidade.

Os teores de P e K e a exportação de N, P e K não foram influenciados ( $P>0,05$ ) pela dose de N ( $P>0,05$ ). A adubação nitrogenada pode aumentar o crescimento de raízes, favorecendo a absorção de nutrientes (PIKAZEVICZ *et al.*, 2019), e influenciar a concentração destes nutrientes nas plantas. Entretanto, Bojtor *et al* (2022), não observaram alterações nos teores de P e K na composição de plantas de milho adubadas com 120 e 300 kg N/ha. Bojtor *et al.* (2022) também não observaram efeito da dose de N (120 e 300 kg N/ha) nas concentrações de K e P na forragem de milho, fato atribuído ao efeito de dissolução dos nutrientes no tecido. Já Sodré *et al.* (2019), avaliando o efeito de doses crescentes de adubação nitrogenada (0 a 200 kg N/ha) observaram resposta quadrática para a concentração de K no tecido das plantas a partir de 100 kg de N/ha. Estes autores relacionaram essa resposta ao efeito sinérgico entre N e K. Já os teores de P no tecido não foram influenciados pela dose de N, resultado relacionado à baixa concentração natural do nutriente no solo e aos valores baixos de pH do solo, que dificultaram a disponibilização deste nutriente para a planta.

A similar exportação de N P e K entre as doses de adubação nitrogenada pode ser explicada pela similar concentração destes minerais na silagem, bem como pela similar produção de forragem. Apesar da elevação da dose de N ter elevado a concentração deste mineral nas plantas, isso não foi suficiente para alterar a exportação de nutrientes, visto que não houve diferença na produção de forragem em função das doses de N. Trabalhos avaliando a exportação de nutrientes com diferentes doses de adubação nitrogenada verificaram que a exportação de nutrientes é altamente dependente da produção de forragem. Resende *et al* (2016), avaliando o efeito de diferentes doses de adubação (115 e 238 kg de N/ha) na produção de silagem de milho, observaram diferença na exportação de N, P e K, onde os valores de exportação foram de 238 e 323 kg N/ha, 60 e 66 kg de P/ha e 110 e 257 kg de K/ha para a menor e maior dose de N utilizado, respectivamente. Segundo os autores, a diferença observada se deu pela maior produtividade de silagem obtida com a maior dose de N. Já Hirzel *et al.* (2007) não observaram diferença na exportação de P e K na silagem de milho ao utilizar duas doses de N (300 e 400 kg/ha), fato associado a similar produtividade e similar disponibilidade de P e K no cultivo.

## 5 CONCLUSÕES

O período de safrinha na Região sudoeste do Paraná apresentou menor produtividade do milho para silagem.

A elevação da população de plantas de milho de 67 para 80 mil plantas/ha resultou em acréscimo de produtividade de forragem e exportação de nitrogênio e potássio, sem grandes alterações sobre a qualidade da silagem de milho.

Em condições sanitárias e climáticas adversas, a elevação da dose de nitrogênio em adubação de cobertura não altera a produtividade e a qualidade da silagem de milho, embora possa elevar o conteúdo de proteína bruta.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sobreposição da cultura de milho associada a condições climáticas do período de safrinha, especialmente períodos de restrição hídrica, favorecem a incidência do complexo de enfezamento na cultura do milho no Sudoeste do Paraná. Nestas condições, a elevação da dose de adubação nitrogenada tende a não apresentar efeito sobre a produtividade e qualidade da silagem. Vale destacar que visualmente, as plantas com maior adubação nitrogenada pareciam ser menos afetadas pelo complexo do enfezamento, entretanto, isso não se mostrou significativo. O melhor vigor das plantas submetidas a níveis de adubação mais elevados pode ser uma estratégia para mitigar o efeito da incidência do complexo do enfezamento, o que deve melhor investigado, especialmente associado a diferentes métodos de controle da cigarrinha. A elevação da adubação nitrogenada na cultura do milho sujeito a períodos com estresse hídrico e problemas sanitários, como o complexo de enfezamento, pode elevar o custo de produção.

A elevação da população de plantas tem se mostrado estratégia eficiente para elevação da produção de silagem, mesmo durante o período de cultivo da segunda safra. A magnitude de aumento da população de plantas vai depender das condições edafoclimáticas, da fertilidade solo e dos níveis de adubação. Apesar deste estudo não demonstrar interação entre a população de plantas e o nível de adubação nitrogenada, se espera que maiores populações de plantas necessitem maiores níveis de adubação para que a produção de silagem dos novos híbridos de milho possa ser expressa. Nossos estudos têm demonstrado que populações de plantas ente 80 a 90 mil plantas no período da safra principal, e entre 70 a 80 mil plantas no período de safrinha na Região Sudoeste do Paraná possibilitam elevar a produção de silagem em relação as populações de plantas normalmente utilizadas (70-80 mil plantas na safra e 60-70 mil plantas na safrinha).

## REFERÊNCIAS

- ADEGBITE, J. A.; NWAMO, A. C.; OLORUNNISOMO, O. A. Biomass yield of maize fodder at different plant density, its preference and digestibility by Sokoto Gudali heifers. **Nigerian Journal of Animal Production**, v. 46, n. 4, p. 222-230. 2019.
- ALVES, J. A. S. C. **Resposta do milho à adubação nitrogenada em sucessão a coberturas de solo no outono-inverno em gleissolo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. 63 p.
- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, d.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 467-473. 2005.
- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia Volume 1: Princípios e Conceitos**. 5° Ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2018. 573 p.
- AOAC. (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis**. 16.ed. Washington, 1995.
- ARAÚJO, K. G.; VILLELA, S. D. J.; LEONEL, F. P.; COSTA, P. M.; FERNANDES, L. O.; TAMY, W. P.; ANDRADE, V. R. Yield and quality of silage of mayze híbridos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.41, n.6, p.1539-1544, 2012.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; MANJABOSCO, E. A.; NETO, V. B.; Resposta de híbridos simples à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001.
- ARGENTA, G., da 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.
- ASIBI, A. M.; CHAI, Q.; COULTER, J. A.; Mechanisms of nitrogen use in maize. **Agronomy**, v. 9, n. 775, p. 1-16. 2019.
- ASSMANN, T. S.; MARTINICHEN, D.; LIMA, R. C.; HUF, F. L.; ZÓRTEA, T.; ASSMANN, A. L.; MORAES, A.; ALVE, S. J. *In*: SOUZA, E. D. **Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, 2018. 342 p.
- BAGHDALI, A.; HALIM, M. R. A.; MAJIDIAN, M.; DAUD, N. W. Plant density and tillage effects on forage corn quality. **Journal of Food Agriculture and Enviroment**, v. 10, n. 2, p. 366-370, 2012.
- BAL, M. A. Effects of hybrid type, stage of maturity, and fermentation lencght on whole plant corn silage quality. **Turkynian Journal of Veterinarian and Animal Science**, v. 30, n. 3, p. 331-336. 2006.

- BALEM, Z.; MODOLO, A. J. TREZZI, M. M. VARGAS, T. O.; BAESSO, M. M. BRANDELERO, E. M.; TROGELLO, E. Conventional and twin row spacing in - different population densities for maize (*Zea Mays* L.) **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 23, p. 1787-1792, 2014.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Competitividade de dois genótipos de milho (*Zea mays*) com plantas daninhas sob diferentes espaçamentos entre fileiras. **Revista Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 415-421, 2005.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses de modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 151-156. 2002.
- BASI, S; NEUMANN, M; MARAFON, F; UENO, R. K; SANDINI, I. E. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 4 n. 3, p. 219-234, 2011.
- BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 161-170, 2013.
- BENDIA, L. C. R.; OLIVEIRA, J. G.; AZEVEDO, F, H. V.; NOGUEIRA, M. A. R.; SILVA, L. V.; ANICETO, E. S.; SANT'ANNA, D. F. D.; CREVELARI, J. A.; PEREIRA, M. G.; VIERIA, R. A. M. A two-location trial for selecting corn silage hybrids for the humid tropic: forage and grain yields and in vitro fermentation characteristics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, "s/n", p. 1-18. 2021.
- BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017. 351 p.
- BOJTOR, C. MOUSAVI, S. M. N.; ILLÉS, A.; GOLZARDI, F. SZÉLES, A.; SZABÓ, A.; NAGY, J.; MARTON, C. L. Nutrient composition analysis of maize hybrids affected by different nitrogen fertilization systems. **Plants**, v. 11, n. 12. p. 1593-1603. 2022.
- BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006. 132 p.
- BÓRGHI, E.; DE MELLO, L. M. M.; BERGAMASCHINE, A. F.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade e qualidade de forragem de milho em função da população de plantas, do sistema de preparo do solo e da adubação. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas, v. 13, n. 4, p. 465-471. 2017.
- BORIN A. L. D. C.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. **Ciências Agrotecnológicas**, v. 34, (spe), p. 1591-1597, 2010.

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

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BUENO, J. L.; BOLSON, D. C.; JACOVACI, F. A.; GOMES, A. L. M.; RIBEIRO, M. G.; BUENO, A. V. I.; JOBIM, C. C.; DANIEL, J. L. P. Storage length interacts with maturity to affect nutrient availability in unprocessed flint corn silage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 49, n. 1, p. 1-14, 2020.

CABRAL, J. R. **Qualidade de silagens de milho cultivados na safrinha**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2010. 42 p.

CAIRES, F. C.; MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em Sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantina**, v. 75, n. 1, p. 87-95, 2016.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, n. 6, p. 2183-2190. 2011.

CAMERON, K. C.; DI, H. J.; MOIR, J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. **Annals of Applied Biology**, v. 162, n. 2, p. 145-173, 2013.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In NOVAIS, R. F.; ALAVAREZ, V. H.; de BARROS, N. F.; FONTES, R. F. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. 2007. 1017 p.

CARLONI, E.; CARPNE, P. PARADELL, S. LAGUNA, I.; PECCI, M. P. G. Presence of *Dalbullos maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) and of *Spiroplasma kunkelii* in the temperate region of Argentina. **Journal Econ. Entomology**, v. 106, n. 4, p. 1574-1581, 2013.

CASSIM, B. M. A. R.; BESEN, M. R.; KACHINSKI, W. D.; MACON, C. R.; ALMEIDA JUNIOR, J. H. V.; SAKURADA, R.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Nitrogen fertilizers technologies for corn in two yield environments in South Brazil. **Plants**, v. 11, n. 14, p. 1-25, 2022.

ÇARPIC, E. B.; ÇELIK, N.; BAYRAM, G. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 15, n. 2, p. 128-132, 2010.

CHERNEY, D. J. R.; CHERNEY, J. H.; CHASE, L. E.; COX, W. J. Milk production in high producing dairy cows as influenced by corn silage quality. **The Professional Animal Scientist**, v. 20, n. 4, p. 302-311, 2004.

CHERNEY, D. J. R.; CHERNEY, J. H.; COX, W. J. Fermentation characteristics of corn forage ensiled in mini-silos. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p. 4238-4246, 2004.

CIAMPITTI, I. A.; ELMORE, R. W.; LAUER, J. **Fases do Desenvolvimento da Cultura do Milho**. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, 2016.

CIAMPITTI, I. A.; MURREL, S. T.; CAMBERATO, J.; TUINSTRA, M.; XIA, Y.; FRIEDMANN, P.; VYN, T. J. Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and nitrogen stress factors: II. Reproductive phase. **Crop Science**, v. 53, n. 1, p. 2588-2602, 2013.

CIAMPITTI, A. A.; VYN, T. J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. **Field Crops Research**, v. 133, "s/n", p. 48-67, 2012.

COBUCCI, T. **Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão**. 1991. Tese (doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 1991. 94p.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. 2 ed. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, 1995

COELHO, A. M.; LANDAU, E. C.; SABATO, E. O. Épocas de semeadura do milho e incidência de doenças causadas por mollicutes. In: OLIVEIRA, E.; OLIVEIRA, C. M. **Doenças em Milho: Insetos vetores, mollicutes e vírus**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2017. 278 p.

**CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento**. Boletim da Safra de Grãos. 2022.

Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>.

CORRÊA, R. G. **Direções de semeadura, densidade de plantas e variações na dosagem de sementes na produtividade do milho**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018. 56 p.

CORRÊA, R. D. G.; FURLANI, C. E. A.; ZERBATO, C.; OLIVEIRA, D. T.; NORONHA, R. H. F.; WARIKODA, N. K. Sowing Operation Direction and population densities in corn growing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, n. 3, p. 183-187, 2019.

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.

COUTINHO NETO, A. M. **Características de dossel e produção de milho submetido a arranjos espaciais de planta e adubação nitrogenada em plantio direto**. 2015. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 2015. 38 p.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Cultivo do Milho**. Sete lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2010, 10 p.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; PIMENTEL, M. A. G.; COELHO, A. M.; KARAM, D.; CRUZ, I.; GARCIA, J. C.; MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, M. F. de; GONTIJO NETO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; VIANA, P. A.; MENDES, S. M.; COSTA, R. V. da; ALVARENGA, R. C.; MATRANGOLO, W. J. R. **Produção de milho na agricultura familiar**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 42 p.

CUSICANQUI, J. A.; LAUER, J. G. Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality. **Agronomy Journal**, v. 91, "s/n", p. 911-915. 1999.

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**, v. 43, n. 12, p.1691-1697, 2008.

DOURADO NETO, D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P. A.; NAFRON, P. A.; MEDEIROS, L. P.; ROMANO, M. R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 63-77, 2003.

DUARTE, A. P.; ABREU, M. F. FRANCISCO, E. A. B.; GITTI, D. C.; BARTH, G.; KAPPES, C. Concentração e exportação de nutrientes nos grãos de milho. International Plant Nutrition Institute, **Informações Agrônomicas**. n. 163, p. 6-11. 2018.

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.

EMYGDIO, B. M.; da ROSA, A. P. S. F.; TEIXEIRA, M. C. C. Estabelecimento da Lavoura In: EMYGDIO, B. M.; da ROSA, A. P. S. F.; TEIXEIRA, M. C. C. **Indicações Técnicas Para o Cultivo de Milho e de Sorgo no Rio Grande do Sul: Safras 2013/14 e 2014/205**, Pelotas, Embrapa Clima Temperado, 1º Ed., 2013.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**, Guaíba: Agropecuária. 2000. 360 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**, Guaíba: Agropecuária. 2004. 360 p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos do solo. **Revista brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p 135-146, 2010.

FERREIRA, G.; ALFONSO, M.; DEPINO, S.; ALESSANDRI, E. Effect of planting density on nutritional quality of green-chopped corn for silage. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 9, p. 5918-5921. 2014.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A.; Características agrônômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

FERREIRA, G. TEETS, C. L. Effect of planting density on yield, nutritional quality, and ruminal in vitro digestibility of corn silage grown under on-farm conditions. **The Professional Animal Scientist**. v. 33, "s/n", p. 420-425, 2017.

FERREIRA, G.; TEETS, C. L.; HUFFARD, J. B.; AGUERE, 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 os corn for silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 268, "s/n", p. 1-9. 2020.

FERREIRA, G.; BROWN, A. N.; **Advances in silage production and utilization: enviromental factors affecting corn quality for silage production**. Intech Open. 2016. 206 p.

FIORIN, J. E.; **Ciclagem de nutrientes e produtividade de grãos em sucessões de culturas sob sistema de plantio direto**. 2008, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2008. 123 p.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; CATUCHI, T. A.; BELLEGGIA, N. A.; TIRITAN, C. S.; BARBOSA, A. M. Cultivares de milho em diferentes populações de plantas com espaçamento reduzido na safrinha. **Revista brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 312-325. 2014.

FONSECA, J. A. da.; HANISCH, A. L. Uso de diferentes dontes de nutrientes de base agroecológica no desempenho produtivo do milho no consórcio milho x trevo branco. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v, 4, n. 2, p. 593-596. 2009.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**, Jaboticabal: FUNEP, 2007. 574 p.

GALON, L.; TIRONI, S. P.; ROCHA, A. A.; SOARES, E. R.; ALBERTO, C. M. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Revista Trópica**, v. 4, n. 3, p. 18-39. 2010

GALVÃO, S. R. **Enfezamentos do milho**: incidência do fitoplasma e espiroplasma, dinâmica populacional, expressão de sintomas e caracterização molecular do fitoplasma com base no gene SecY. Tese (Doutorado em ciências) – Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia. Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2019. 83 p.

GREUB, G. E.; ROBERTS, T. L.; SLATON, N. A.; KELLEY, J. P. Pre planting nitrogen fertilizer uptake and partitioning in furrow-irrigated corn. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 6, p. 2974-2981, 2017.

GUARDA, V. D. A.; CAMPOS, L. J. M. C. **Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem**. Palmas. Embrapa Pesca e Aquicultura. 2014. 48p

GUYADER, J.; LITTLE, A.; KRÖBEL, R.; BENCHAAR, C.; BEAUCHEMIN, K. A. Comparison of greenhouse gas emissions from corn-and barley-based dairy production systems in Eastern Canada. **Agriculturas Systems**, v. 152, “s/n”, p. 38-46, 2017.

HAN, K.; LIU, B.; LIU, P.; WANG, Z The optimal plant density of maize for dairy cow forage production. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 1849-1861. 2020.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal Engineering in Agriculture**, v.1, n.2, p. 96-99, 1985.

HIRZEL, J.; MATUS, I.; NOVOA, F.; WALTER, I. Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) production and nutrient uptake. **Spanish Journal of Agrarian Research**, v. 5, n. 1, p. 102-109. 2007.

HÜLSE, J. **Altura de colheita do milho para silagem: Valor nutritivo, balanço de nutrientes no solo, produção animal e desempenho econômico**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, 2014. 101 p.

HÜLSE, J.; NEUMANN, M.; UENO, R. K.; HEKER JUNIOR, J. C.; FIGUEIRA, D. N.; SANDINI, I. S.; MULLER, M. M. L.; HOST, E. H.; VIGNE, G. L. D. Balanço de nutrientes no solo características nutricionais da silagem de milho quando colhida em diferentes alturas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 6, p. 3779-3796, 2017.

JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G. **Princípios básicos da fermentação na ensilagem**. p.649-660. *In*: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. (eds.). Forragicultura: Ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros. Jaboticabal: FUNEP, 2014.

KAPLAN, M.; BARAN, O.; UNLUKARA, A.; KALE, H.; ARSLAN, M.; KARA, K.; BEYZI S. B.; KONCA, Y.; ULAS, A. The effects of different nitrogen doses and irrigation levels on yield, nutritive value, fermentation and gas production of corn silage. **Field Crops**, v. 2, n. 1 p. 100-108, 2016.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. RiMa Artes e Textos. São Carlos. 2000. 532 p.

LASKARI, M.; MENEXES, G.; KALFAS, I.; GATZOLIS, I.; DORDAS, C. Water stress effects on the morphological, physiological, characteristics of maize (*Zea Mays L.*) and on environment cost. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 1-17. 2022.

LINS, F. J. A. **Efeito de doses de nitrogênio na produção de forragem e de grãos de genótipos de milho sob condições de superadensamentos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2017, 52 p.

LIU, Z.; ZHU, K.; DONG, S.; LIU, P.; ZHAO, B.; ZHANG, J. Effects of integrated agronomic practices management on root growth and development of summer maize. **European Journal of Agronomy**, v. 84, p. 140-151, 2017.

LOPES, N. F.; LIMA, M. da G. de S. Nitrogênio e produtividade de culturas. *In* **Fisiologia da Produção**. Editora UFV, Viçosa. 2015. 492p.

LOPEZ, J.; JORGENSEN, A.; LARSEN, H. J.; NIEDMEIER, R. P. Effect of nitrogen source, stage of maturity, and fermentation time on pH and organic acid production in corn silage. **Journal of Dairy Science**. v. 53, n. 9, p. 1225-1232. 1970.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Universidade Federal do Paraná e Instituto de Geologia e Pesquisas Tecnológicas, Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Estado do Paraná, 1968. 350 p.

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

MACHADO, D. S.; PEREIRA, L. B.; NÖRNBERG, J. L.; ALVES FILHO, D. C.; BRODANI, I. L.; FRASSONJ. 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.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Circular Técnica 76. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2006. 10 p.

MAGALHÃES, P. C.; DURAES, F. O. M.; GOMIDE, R. L. Fisiologia da cultura do milho. *In* BENASSI, A. C.; FULLIN, E. A.; SILVA, J. F. G.; ZANGRANDE, M. B.; FERRAO, R. G.; MARTINS, D. S.; VENTURA, J. A.; DURAES, F. O. M.; SILVA, J. G.; GOMIDE, R. L.; MAGALHAES, P. C.; RESENDE, C. I. **Manual Técnico Para a Cultura do Milho no Estado do Espírito Santo**. Vitória: EMCAPA, 1996. 168 p.

MAKINO, P. A. **Desempenho agrônômico e fisiológico de milho em arranjos de plantas, com e sem braquiária, no verão e outono-inverno**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018. 107 p.

- MAKINO, P. A.; FACHINELLI, R.; RIBEIRO, L. M.; dos SANTOS, A. L. F.; LEITE, E. M.; CECCON, G. Fotossíntese e componentes de produtividade de milho verão em diferentes populações de milho solteiro e consorciado com braquiária. CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. 31.; 2016, **Anais ...** Bento Gonçalves, p. 1-5.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 2006. 238p
- MANDIÉ, V.; BIJELIĆ, Z.; KRNJAJA, V.; TOMIĆ, Z.; SEBIĆ, A. S.; STANOJKOVIĆ, A.; PETROVIĆ, V. C. The effect of crop density on maize grain yield. **Biotechnology in Animal Husbandry**. v. 32, n. 1, p. 83-90. 2016.
- MANTOVANI, E. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; VIANA, J. H. M.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. OLIVEIRA, M. F. GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; MATRANGOLO, W. J. R.; CRUZ, J. C. **Cultivo do Milho: Plantio**, Brasília. Embrapa Milho e Sorgo. 9ª Edição. 2015.
- MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 35, n. 2 p. 91-101, 2005.
- MARTINS, I. S. **Doses, épocas e modos de aplicação da ureia comum e revestida na cultura do milho**. 2013 Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013. 77 p.
- MEIRA, F. A. **Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2006. 52 p.
- MEIRA, F. de A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; de SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. Londrina, **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.
- MELO, W. M. C.; VON PINHO, R. G.; VON PINHO, E. V. M.; CARVALHO, M. L. M.; FONSECA, A. H. parcelamento da adubação nitrogenada sobre o desempenho de cultivares de milho para produção de silagem. **Ciências Agrotecnológicas**, v. 23, n. 3, p. 608-616. 1999.
- MENEZES, J. F. S.; BERTI, M. P. S.; VIEIRA JÚNIOR, V. D.; RIBEIRO, R. L.; BERTI, C. L. F. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 3, p. 55-59. 2018.
- MENEZES, L. F. G.; RONSANI, R.; PAVINATO, P. S.; BIESEK, R. R.; da DILVA, C. E. K.; MARTINELLO, C.; CAPPELLESSO, B.; da SILVEIRA, M. F. Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de

milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 1353-1362, 2013.

MOTTA, A. C. V.; ARAUJO, E. M.; BROADLEY, M. R.; YOUNG, S. D.; BARBOSA, J. Z.; PRIOR, S. A.; SCHMIDT, P. Minerals and potentially, toxic elements in corn silage from tropical and subtropical Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 49, "s/n", p. 01-15, 2020.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). Langley Research Center (LaRC) **Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)**. 2023. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov>. Acesso em 10 dez. 2022.

NEUMANN, M.; DOCHWAT, A.; HORST, E. H.; VIGNE, G. L. D.; MENDES, M. C. Produção de milho sob níveis crescentes de adubação nitrogenada em cobertura. **Applied Research & Agrotechnology**, v.10, n. 2, p. 61-70. 2017.

NEUMANN, M.; HORST, E. H.; DOCHWAT, A.; LEÃO, G. F. M.; CARNEIRO, M. K.; de MELLO, R. P. Características agrônômicas do milho para silagem sob níveis de adubação nitrogenada e potássica em cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 1, p. 69-77, 2017.

NEUMANN, M. NORNBERG, J. L.; LEÃO, G. F. M.; HORST, E. H.; FIGUEIRA, D. N. Chemical fractionation of carbohydrate and protein composition of corn silages fertilized with increasing doses of nitrogen. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, p. 1-7. 2017.

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

NEYLON, J. M.; KUNG JR. L. Effects of cutting height and maturity on the nutritive value of corn silage for lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 6, p. 2163-2169. 2003.

NOVAIS, R. F.; ALAVAREZ, V. H.; de BARROS, N. F.; FONTES, R. F. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. 2007. 1017 p.

OHLAND, R. A. A.; de SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 538-544. 2005.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 4, n. 2, p. 226-235, 2011.

- PANISON, F.; SANGOI, L.; DURLI, M. M.; LEOLATO, L. S.; COELHO, A. E.; KUNESKI, H. F.; de LIZ, V. O. Timing and splitting of nitrogen side-dress fertilization of early corn hybrids for high grain yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, "s/n", p. 17-33. 2019.
- PAULA, T. A.; VÉRAS, A. S. C.; GOMES, R. N.; FERREIRA, M. A. Produção de silagem: aspectos agronômicos e valor nutricional em regiões semiáridas – revisão sistemática. **Arquivos do Mudi**, v 25, n. 2, p. 127-154. 2021.
- PASSOS, F. D. A.; NUNES, J.; BOIAGO, N. P.; ZANATTA, F. S.; CORREA JUNIOR, E. O.; ARAÚJO, L. R. V.; SILVEIRA, H. T. N.; LIMA, G. B. Produtividade do milho em diferentes populações de plantio. **Cultivando o Saber**, Edição especial, p. 1-11. 2019.
- PAZIANI, S. F.; DUARTE, A. P.; NUSSIO, L. G.; GALLO, P. B.; BITTAR, C. M. M.; ZOPOLLATTO, M.; RECO, P. C. Características agronômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 411-417, 2009.
- PEREIRA, L. B.; MACHADO, D. S.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; da SILVA, V. S.; ARGENTA, F. M.; de MOURA, A. F.; BORCHATE, D. Características agronômicas da planta e produtividade da silagem e grãos de milho submetido a diferentes arranjos populacionais. **Magistra**, v. 29, n. 1, p. 18-27. 2017.
- PIAO, L.; ZHANG, S.; YAN, J.; XIANG, T.; CHEN, Y.; LI, M.; GU, W. Contribution of fertilizer, density, and row spacing practices for maize yield and efficiency enhancement in Northeast China. **Plants**, v. 11, n. 21, p. 1-17. 2022.
- PICOLI JUNIOR, G. J. **Adubação nitrogenada como estratégia para minimizar estresses ocasionados pela desfolha e fitotoxicidade foliar em milho (Zea mays L.)**. 2011Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages 2011. 88 p.
- PIKAZEVICZ, A. A. C.; KUSDRA, J. F.; MORENO, A. L. Crescimento do milho em resposta à rizobactérias, molibdênio e nitrogênio. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 4, p 167-174. 2019.
- PINHEIRO, L. da S.; GATTI, V. C. M.; de OLIVEIRA, J. T.; SILVA, J. N.; SILVA, V. F. A.; SILVA, P. A. Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v. 11, n. 2, p13-21. 2021.
- VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. A.R.; REIS, M. C. 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.
- PINTO, P. H. A.; REZENDE, A. V.; CERON, M. S.; GARCIA, J. A. D.; SILVA, N. C. D.; DIAS, R. L.; MUNIZ, H. C. M. Efeito da densidade e época de plantio do milho na

qualidade nutricional e digestibilidade da silagem: uma revisão bibliográfica. **Ciência Animal e Veterinária: Inovações e Tendências**. v. 2, n. 1 p. 75-84. 2022.

PRADO, R. de MELLO. **Nutrição de plantas**. Editora UNESP, 408 p, 2008.

RABELO, C. H. S.; REZENDE, A. V.; RABELO, F. H. S.; NOGUEIRA, D. A.; SENEDESE, S. S.; VIEIRA, P. F.; BERNARDES, C. L.; CARVALHO, A. Silagens de milho inoculadas microbiologicamente em diferentes estádios de maturidade: perdas fermentativas, composição bromatológicas e digestibilidade in vitro. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, p. 368-376, 2014.

RESENDE, A. V.; GUTIÉRREZ, A. M.; SILVA, C. G. M.; ALMEIDA, G. O.; GUIMARÃES, P. E. O. **Requerimentos nutricionais do milho para produção de silagem**. Sete Lagoas, Embrapa, Circular Técnica, n. 221.2016, 12 p.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. Piracicaba, **Potafos**, 2003. 21 p. (Potafos. Informações agronômicas, 103).

ROCHA, D. T.; CARVALHO, G. R.; RESENDE, J. C. **Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária**. Circular técnico. Embrapa Gado de Leite, Juíz de Fora, MG. 2020, 16 p.

RODRIGUES, F. J.; BARCAROL, M. A.; ADAMS, C. R.; KLEIN, C.; BERWANGER, A. L.; Eficiência agrônômica da cultura do milho sob diferentes fontes de nitrogênio em cobertura. **Uniciências**, v. 22, n. 2, p. 66-70, 2018.

ROMANO, M. R. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante**: parâmetros para modelos de crescimento. 2005. Tese, (Doutorado em Agronomia.) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. São Paulo, 2005. 120 p.

RUSSEL, J. R. Influence of Harvest date on the nutritive value and ensiling characteristics of maize stover. **Animal Feed Science and Technology**, v. 14, p. 11-27. 1986.

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. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v. 31, n.1, p. 159-168. 2001.

SANGOI, L.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. GRACIETTI, L. C. Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 37, n. 3, p. 259-267. 2002.

SANGOI, L.; da SILVA, P. R. F. Estratégias de manipulação do arranjo de plantas e desempenho agrônômico do milho *in* WORDELL FILHO, J. A.; CHIARADIA, L. A. **A cultura do milho em Santa Catarina**. 3. Ed. Florianópolis: Epagri. 2016. 400 p.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. Arranjo de plantas e desempenho agronômico do milho  
*In A cultura do milho em Santa Catarina*, 2. Ed. Florianópolis: Epagri. 2012, 478p.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SCHMITT, A.; PICOLI JÚNIOR, G. J.; VIEIRA, J.; SIEGA, E.; CARNIEL, G. Perfilamento e prolificidade como características estabilizadoras do rendimento de grãos do milho em diferentes densidades. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 3, p. 254-265, 2010.

SEVERO, I. K. **Híbridos de milho para silagem em diferentes densidades populacionais na safra e safrinha**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. 60 p.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Núcleo Estadual do Paraná (NEPAR). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SHAPIRO, C. A.; FERGUSON, R. B.; WORTMANN, C. S.; MAHARJAN, B. **Nutrient management suggestions for corn**. Nebraska: N Extension. 2019. Disponível em: <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/ec117.pdf>. Acesso em 11 jan. 2023

SILVA, J. W.; SANS, L. M. A; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Exigências climáticas do milho em sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 27, n. 233, p. 14-25. 2006.

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

SILVA, F. C.; VAN RAIJ, B. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 4, n.2 p. 267-288. 1999.

SILVA, J. T.; VALENTIN, J. K.; MONÇÃO, F. P. PIRES, D. A. de A.; LEITE, G. D. O.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; JUNQUEIRA, E. C.; DURÃES, H. F. Aspectos relacionados à qualidade da silagem de sorgo. **Ensaio e Ciência**, v. 25, n. 5, p. 597-602. 2021.

SIMÃO, E. P.; RESENDE, A. V.; GONTIJO NETO, M. M.; SILVA, A. F.; GODINHO, V. P. C.; GALVÃO, J. C. C.; BORGHI, E.; OLIVEIRA, A. C. Nitrogen fertilization in off-season corn crop in different Brazilian Cerrado environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, p. 1-11. 2020.

SIMÃO, E. P.; RESENDE, A. V.; GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; VANIN, Á. Resposta do milho safrinha à adubação nitrogenada em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 76-90. 2018.

SOUZA, E. G. F.; CRUZ, E. A.; FRANÇA, R. F.; SANTOS, M. G.; SILVA, T. G.; LEITE, M. L. M. V.; BARROS JÚNIOR, A. P.; BEZERRA NETO, F. Economic nitrogen doses via fertigation for corn cultivation in a semiarid environment. **Acta Scientiarum**, v. 43, 2021.

STANTON, D.; GROMBACHER, A. W.; PINNISCH, R.; MASSON, H.; SPANER, D. Hybrid and population density affect yield and quality of silage maize in central Alberta. **Canadian Journal Plant Science**, v. 857, p. 867-871. 2007.

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, p.634- 642, 2007.

TAUBE, F.; VEGELER, I.; KLUSS, C., HERMANN, A.; HASLER, M.; RATH, J.; LOGES, R.; MALISCH, C. S. Yield progress in forage maize in NW Europe-breeding progressor climate change effects? **Frontiers in Plant Science**, v. 18, p. 1-16, 2020.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal** Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.

TAKASU, A. T.; RODRIGUES, R. A. F.; GOES, R. J.; HAGA, K. I.; ARF, O. Maize response to the variation of sowing density and reduction of spacing between rows in the Cerrado. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**. v. 6, n. 3, p. 53-59, 2013.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (UFRGS. Boletim Técnico; 5).

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Centerton, 1955. 104p.

ULLAH, M. I.; KHAKWANI, A. Z.; SADIQ, M.; AWAN, I.; MUNIR, M.; Effects of nitrogen fertilization rates on growth, quality and economic return of fodder maize (*Zea mays* L.). **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 31, n. 1, p. 45-52, 2015.

UENO, R. K.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; REINEHR, L. L.; PCZYNEK, 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, 2013.

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

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.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; MOLIN, J. P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P. A.; MASCARIN, L. S.; FAULIN, G. C.; DETOMI, E. R. População de plantas e alguns atributos do solo relacionados ao rendimento de grãos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 483-492. 2006.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Embrapa Meio Ambiente, Brasília. 2017. 163 p.

VITORAZZI, A.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; CANDIDO, L. S.; FREITAS, I. L. de JESUS.; SILVA, T. R. da CONCEIÇÃO. Arranjo populacional para a variedade UENF-14 de milho pipoca. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 401-413, 2017.

WAQUIL, J.; VIANA, P. A.; CRUZ, I.; SANTOS, J. P. Aspectos da biologia da cigarrinha-do-milho, *Dabullus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae). **Anais da Sociedade de Entomologia Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 413-420. 1999.

WENDLING, A. V.; MACHADO FILHO, L. C. P. Characterization of silage production and the use by dairy farmers in the West of Santa Catarina state. **Semina**, v. 39, n4, p. 1639-1652. 2018.

ZHANG, W. LIANG, Z. HE, X.; WANG, X.; SHI, X.; ZOU, C.; CHEN, X. The effects of controlled release urea on maize productivity and reactive nitrogen losses: a meta-analysis. **Environmental Pollution**, v. 246, p. 559-565. 2019.

ZUCARELLI, C.; PIAZZOLI, D.; SAPUCAY, M. J. L. C.; PRANDO, A. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. A. O. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em cobertura no desenvolvimento de desempenho reprodutivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 178-191. 20