

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**THALLES FAGUNDES DE FAGUNDES**

**MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SORGO  
CULTIVADO EM TERRAS BAIXAS**

**Alegrete  
2023**

**THALLES FAGUNDES DE FAGUNDES**

**MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SORGO  
CULTIVADO EM TERRAS BAIXAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius dos Santos Cunha

**Alegrete  
2023**

## **THALLES FAGUNDES DE FAGUNDES**

### **MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SORGO CULTIVADO EM TERRAS BAIXAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 12 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Vinícius dos Santos Cunha

Orientador  
(UNIPAMPA)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lanes Beatriz Acosta Jaques

(UNIPAMPA)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Eracilda Fontanela

(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **ERACILDA FONTANELA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/12/2023, às 12:10, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **VINICIUS DOS SANTOS CUNHA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/12/2023, às 13:20, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LANES BEATRIZ ACOSTA JAQUES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2023, às 10:45, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1329059** e o código CRC **4A923EBC**.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus por me dar a oportunidade de realizar este sonho e por me guiar em todos os momentos da minha vida. Agradeço à toda minha família, em especial à minha mãe Antônia Irajá de Oliveira Fagundes, que sempre me apoiou e me incentivou a seguir em frente. Agradeço também à Gladis Teresinha Fagundes, Josimari Fagundes Moura, minha irmã Maria Teresa Oliveira Fagundes Ugalde, minhas tias Ana Clara Fagundes da Silva e Jaqueline Oliveira Fagundes, meus primos Miguel Moura Vaucher e Vinicius Fagundes Mandicaju, pelo carinho e pela presença constante em minha trajetória. Agradeço aos meus amigos e colegas de graduação, que foram muito importantes na minha jornada e essenciais na decisão de troca de curso, em especial os “ex-mecânicos”: Guilherme Lemes Ramos, Natalia Amaral, Daiane Lamberty e Henrique Eguilhor pelos momentos de aprendizado, diversão e amizade. Agradeço aos amigos, companheiros e irmãos do Rotary/Rotaract, que fizeram essa jornada um pouco mais leve, com suas ações sociais, culturais e humanitárias. E por fim agradeço a todos os professores da graduação, que direta e indiretamente tiveram influência na minha formação, em especial ao meu orientador Vinicius dos Santos Cunha, pela paciência, confiança e pela orientação de qualidade. A todos vocês, o meu muito obrigado!

“Faça teu melhor, na condição que você tem, enquanto não tem condições melhores, para fazer melhor ainda!”

Mario Sergio Cortella

## RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma planta C4 que pertence à família Poaceae, possui diversas possibilidades de uso, além de seu alto potencial produtivo, tem boa resistência hídrica. Para que a planta expresse seu potencial, é necessário entre outras práticas, que receba adubação em quantidades corretas. A cultura responde de maneira efetiva à adubação nitrogenada, sendo o nitrogênio um dos nutrientes de maior influência na melhoria de atributos morfológicos e produtivos do sorgo. O objetivo deste trabalho é avaliar a resposta do sorgo a diferentes métodos de aplicação da adubação nitrogenada, em terras baixas. O método de aplicação de nitrogênio é uma alternativa que pode ser utilizada para melhorar o manejo do nitrogênio (N) no sorgo. O experimento foi conduzido na Unipampa Campus Alegrete, na safra 2022/2023. O estudo foi composto por três tratamentos, implementados manualmente, representados pelos métodos: Tradicional, com adubação nitrogenada aplicada a lanço em área total; Incorporado, com adubação nitrogenada incorporada ao solo, antes da semeadura; Precisão, com adubação nitrogenada aplicada de modo dirigido, à lanço, próximo da linha de cultivo. Utilizou-se ureia como fonte nitrogenada, contendo 44% de N. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 4 repetições, sob sistema sulco-camalhão. Os tratamentos influenciaram significativamente o número de grãos por panícula e a produtividade da cultura, sendo que o tratamento Precisão apresentou maior produtividade, seguido do Incorporado e Tradicional. Com isso, a produtividade e o uso do nitrogênio podem ser incrementado pelo método de Precisão na cultura do sorgo.

Palavras-chave: Sorgo. Nitrogênio. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor*) is a C4 plant that belongs to the Poaceae family, it has several possibilities of use, in addition to its high productive potential, it has good water resistance, for the plant to express its potential, it is necessary, among other practices, to receive fertilization in correct amounts, the crop responds effectively to nitrogen fertilization, with nitrogen being one of the most influential nutrients in improving the morphological and productive attributes of sorghum. The objective of this work is to evaluate the response of sorghum to different application methods of nitrogen fertilization. The nitrogen application method is an alternative that can be used to improve nitrogen (N) management in sorghum. The objective of this study was to evaluate three nitrogen fertilization methods on sorghum in lowlands. The experiment was conducted at Unipampa Campus Alegrete during the 2022/2023 growing season. The study consisted of three manually implemented treatments, represented by the following methods: Traditional, with nitrogen fertilization broadcasted over the entire area; Incorporated, with nitrogen fertilization incorporated into the soil before sowing; Precision, with targeted nitrogen fertilization applied in a directed manner, near the row. Urea was used as the source, containing 44% N. The experimental design was randomized complete blocks with 4 replications, using a furrow-ridge system. The treatments significantly influenced the number of kernels. head<sup>-1</sup> and yield. The Precision treatment showed the highest yield, followed by the Incorporated and Traditional treatments. Therefore, yield and nitrogen utilization can be enhanced through the N application method.

Keywords: Sorghum. Nitrogen. Sustainability.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem aérea da área destinada ao experimento .....	17
Figura 2. Valores médios dos elementos meteorológicos: número de dias com precipitação pluviométrica (dias), precipitação (mm), temperatura média do ar ( $T^{\circ}$ , $^{\circ}\text{C}$ ), velocidade média do vento (km/h) dos últimos 15 anos no município de Alegrete, RS. ....	17
Figura 3. Disposição dos tratamentos (T), T1 - Tradicional, T2 - Incorporado e T3 - Dirigido .....	19
Figura 4. Demonstração da vista frontal e área do método Tradicional a lanço (a), método Incorporado ao solo (b) e método de Precisão na linha de cultivo. ....	20
Figura 5. Demonstração das dimensões das unidades experimentais .....	21
Figura 6. Demonstração da medida da altura da planta (AP) em m. ....	24
Figura 7. Extrato do balanço hídrico de cultivo, para o sorgo, em situação sem (a) e com (b) irrigação .....	27
Figura 8. População de plantas de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio. ....	28
Figura 9. Médias de AP(a) e DC(b) da cultura de Sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio .....	29
Figura 10. Índice de área foliar da cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio .....	30
Figura 11. Produtividade de grãos na cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio .....	30
Figura 12. Médias de número de panícula por planta na cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio. ....	31
Figura 13. Média do número de grãos por panícula na cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio. ....	32
Figura 14. Média da massa de mil grãos (a) e número de colmos por panícula (b) na cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio. ....	32
Figura 15. Médias das variáveis: número de grão por panícula (NGP) (a) e produtividade de grão (PG) (b) .....	33
Figura 16. Análise de componentes principais utilizando as variáveis analisadas ....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Reposição hídrica em milímetros (mm) e eficiência teórica de 60% .....	22
Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis avaliadas.....	28

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Objetivo geral .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.1 Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Adubação nitrogenada.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Tecnologias e práticas de manejo para melhorar o uso de nitrogênio .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Aplicação de nitrogênio e produtividade na cultura do sorgo.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Como o método de aplicação da adubação nitrogenada pode afetar na produtividade.....</b>	<b>16</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Localização, descrição da área .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Clima e solo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Design experimental .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4 Manejo da água .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 Variáveis respostas analisadas .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5.1 População de Plantas (PP) .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5.2 Índice de área Foliar (IAF).....</b>	<b>23</b>
<b>3.5.3 Parâmetros morfológicos e de rendimento.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5.3.1 Altura da planta (AP).....</b>	<b>24</b>
<b>3.5.3.2 Diâmetro do colmo (DC).....</b>	<b>24</b>
<b>3.5.3.3 Número de Colmos por planta (NCP).....</b>	<b>24</b>
<b>3.5.3.4 Número de Panícula por planta (NPP).....</b>	<b>25</b>
<b>3.5.3.5 Número de Grão por Panícula (NGP) .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5.3.6 Massa de mil grãos (MMG).....</b>	<b>25</b>
<b>3.5.3.7 Produtividade de grãos (PG).....</b>	<b>25</b>
<b>3.6 Análise de dados.....</b>	<b>26</b>

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>27</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma poácea caracterizada por seu metabolismo C4, tendo como centro de origem a África e parte da Ásia, sendo, portanto, uma cultura adaptada as condições de clima tropical, apresentando ainda considerável rusticidade (CARCEDO & CIAMPITTI, 2023). De acordo com dados de CONAB (2023), nos últimos 5 anos, o cultivo do sorgo cresceu no Brasil a uma taxa de 124.315,00 ha.ano<sup>-1</sup>, sendo que na safra 2022/23 o incremento foi de 277.300,00 ha em relação à safra anterior. Esse incremento em área apresentado significa um aumento médio de 13,29% na área cultivada a cada safra.

O interesse pelo cultivo do sorgo se deriva de sua diversidade de usos, que pode servir tanto para nutrição animal quanto como humana (BORÉM et al., 2014). No Brasil, o cultivo do sorgo se concentra nos tipos granífero, forrageiro (corte e pastejo), silageiro, sacarino, biomassa e vassoura (BORÉM et al., 2014). O Rio Grande do Sul em tempos passados apresentava-se como um importante estado produtor, porém hoje a área da cultura no estado reduziu muito. Com o advento do sistema sulco-camalhão, boa parte das áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado, em solos hidromórficos, vem sendo ocupadas com culturas anuais, principalmente soja e milho (CAMPOS et al., 2021). O advento desse sistema, que permite tanto irrigação como drenagem dessas áreas, pode contribuir para o aumento da exploração do sorgo na região.

Apesar do aumento do interesse no cultivo do sorgo, representado pelo incremento anual no tamanho de sua área, a produtividade da cultura não vem aumentando na mesma taxa nos últimos anos. O aumento médio da produtividade da cultura é da ordem de 38,085 kg. ha<sup>-1</sup>, que representa aumento médio de 4,67%. Apesar da já relatada rusticidade da cultura, o sorgo é sensível ao manejo, sendo demandante de boas práticas de manejo para alcance de alta produtividade (CARCEDO & CIAMPITTI, 2023). Dessa forma, a cultura deve também ser objetivo de estudos com o intuito de melhorar as práticas de manejo, com vistas ao aumento de produtividade. Uma das práticas que devem ser otimizadas para a cultura, é o manejo do nitrogênio (N).

O N é um dos elementos requeridos em maior quantidade pela cultura, sendo aquele extraído em maior quantidade pela cultura (REYES-CABRERA et al., 2023). Entretanto, no solo o nitrogênio passa por diversas interações, podendo sofrer

diversas perdas para o ambiente, o que dificulta seu manejo e reduz a eficiência. Destaca-se as perdas por volatilização, que se dá pela oxidação do N no solo durante a desnitrificação, deixando o sistema na forma de gás, contribuindo ainda para o aumento do efeito estufa (LI et al., 2022), e lixiviação. No processo de lixiviação, a baixa afinidade do nitrato com os coloides do solo faz com que o elemento seja perdido em profundidade no perfil de solo, podendo atingir águas subsuperficiais (DE LAPORTE et al., 2021).

Conforme o trabalho desenvolvido por De Laporte et al. (2021), uma das formas de reduzir a perda de N nos sistemas agrícolas é por meio da utilização de formulações especiais, que reduzem a atividade da enzima urease, ou mesmo fazendo o manejo da formulação. A forma comumente utilizada, para disponibilização de N no Brasil, é a ureia, sendo esta a forma que apresenta os maiores valores de perdas por volatilização (LI et al., 2022). Uma alternativa é o uso de outras fontes, como sulfato de amônio ou mesmo nitrato de amônio, porém, alguns entraves para utilização dessas formas, como o custo, limitam o seu uso.

Outra alternativa de melhoria na eficiência do N, para o sorgo, está relacionada ao método de aplicação, principalmente aquele N que é, hoje, aplicado em cobertura, durante o período de crescimento vegetativo da cultura (BORÉM et al., 2014). Atualmente, a quase totalidade das aplicações de N em cobertura são realizadas por meio de distribuidores centrífugos de disco horizontal. Esse método apresenta vantagens como a capacidade operacional, assim como a facilidade de execução e custo de aquisição do equipamento. No entanto, constantemente a uniformidade de aplicação é aquém do esperado, o que dificulta o alcance de altas produtividades. Conforme Reynaldo & Machado (2016), todos os distribuidores centrífugos avaliados no estado do Paraná foram reprovados, em função de que, entre outros parâmetros, apresentaram coeficiente de variação de até 80%. O problema da desuniformidade de aplicação nesses distribuidores pode ser reduzido com o uso de fertilizante com maior qualidade física (REYNALDO et al., 2016), algo ainda pouco frequente.

Outros métodos de aplicação de N incluem a incorporação em pré-semeadura ou a uma aplicação a lanço com o uso de distribuidores pneumáticos, os quais o fertilizante é distribuído próximo da linha de cultivo. Ambas as metodologias já foram testadas em milho por Pöttker & Wiethölter (2004) e Martins et al. (2014). Pöttker & Wiethölter (2004) estudaram o efeito da incorporação do N em pré-semeadura do milho, não observando aumento de produtividade da cultura. Martins et al. (2014) não

registaram aumento da produtividade do milho ao comparar a adubação a lanço em toda a área com método em que o nitrogênio foi próximo a linha de cultivo. Diante disso, o propósito deste trabalho foi avaliar três métodos de adubação nitrogenada em relação a produtividade do sorgo cultivado em terras baixas, no município de Alegrete, localizado no Bioma Pampa brasileiro.

### **1.1 Objetivo geral**

Avaliar a resposta do sorgo a diferentes métodos de aplicação da adubação nitrogenada com vistas a obtenção de alta produtividade da cultura.

#### **1.1.1 Objetivos específicos**

- I. Determinar o efeito de diferentes métodos de aplicação da adubação nitrogenada sobre características filotécnicas da cultura do sorgo.
- II. Determinar o efeito de diferentes métodos de distribuição da adubação nitrogenada sobre os componentes da produtividade da cultura do sorgo

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Adubação nitrogenada

O nitrogênio representa 78% dos gases da atmosfera, faz parte de todas as células vivas e é um componente essencial dos aminoácidos e, portanto, das proteínas, enzimas e processos metabólicos envolvidos na síntese e transferência de energia, e faz parte da clorofila, o pigmento verde responsável pela fotossíntese (MARCSHNER 1995 *apud* BERNARDI *et al.* 2015 p 1903). Embora abundante na atmosfera, no que diz respeito a formas disponíveis para a planta, há uma certa escassez de nitrogênio, e isso pode ser explicado pela excelente estabilidade de  $N_2$ , diferente de outras moléculas diatômicas que não são passíveis de reações químicas em condições naturais.

O crescimento da demanda por alimentos acarretou o aumento da procura por maiores produtividades das culturas, o que implica em um aumento significativo na utilização de fertilizantes nitrogenados. Dados do MAPA (2022) estimam que, atualmente, no Brasil esteja consumindo cerca de 33 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo que nitrogênio representa 29% desse valor. De acordo com Caires (2016) nos últimos anos houve um aumento de estudos relacionados ao incremento de produtividade com adubação nitrogenada na cultura do milho. De modo geral observa-se uma resposta positiva entre o aumento de nitrogênio aplicado e os níveis de produtividade alcançadas.

Segundo Civardi *et al.* (2011), a principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil é a ureia, que tem como vantagem a concentração de nitrogênio, além do menor custo unitário, facilidade na aplicação, transporte, armazenagem, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes. No entanto, de acordo com Caires & Milla (2016), o uso de fertilizantes minerais como a ureia, causa acidificação do solo, que favorece a perda por volatilização, principalmente quando altas doses são aplicadas.

Dada sua importância para o aumento da produtividade, ao mesmo tempo em que impacta sobre a saúde do meio ambiente e do custo de produção, seu manejo deve seguir em constante aperfeiçoamento



## 2.2 Tecnologias e práticas de manejo para melhorar o uso de nitrogênio

O emprego de fertilizantes sólidos no sulco, seja na semeadura ou a lanço, são as principais formas de aplicação de nitrogênio. Nos últimos anos o que tem se notado é que alguns agricultores têm aderido ao método de aplicação foliar de nitrogênio como adubação complementar, com a finalidade de corrigir possíveis deficiências, utilizando operações de aplicação de outros produtos como inseticidas ou fungicidas. Segundo Souza (2018) a aplicação foliar de fertilizantes nitrogenados para corrigir deficiências nutricionais, têm um efeito mais rápido do que a aplicação no solo e evita maior comprometimento de produtividade. Essa aplicação é mais eficaz quando a deficiência de nitrogênio é identificada em seus estágios iniciais.

Goulart (2016) traz atenção para aplicação de ureia em condições de escassez hídrica que reduz significativamente sua eficácia, sendo assim, deve-se evitar a aplicação de ureia em situação de pouca água disponível.

Para Ceretta et al. (2002) uma alternativa é a implantação do sistema de plantio direto com rotação de culturas, que proporciona melhorias na qualidade do solo, reduzindo a erosão e a ciclagem de nutrientes através da atividade biológica. Além disso, possibilita aplicação total ou parcial das doses de nitrogênio que seria aplicado na cultura principal em uma cultura secundária, de modo que o nitrogênio seja gradualmente liberado durante a decomposição da palha da cultura antecessora.

Outra alternativa sugerida por Ceretta et al. (2002) é priorizar a aplicação de nitrogênio antes ou no momento da semeadura para aumentar a disponibilidade de nitrogênio no solo durante os estágios iniciais de crescimento da planta. Ainda, lembra que a baixa disponibilidade de nitrogênio pode ser causada pela imobilização de nitrogênio por microrganismos do solo. Essa alternativa minimizaria a imobilização, que é bastante comum quando há resíduos de gramíneas na superfície do solo.

Uma tecnologia bastante atual para adubação nitrogenada, segundo Souza (2018) refere-se a fertilizantes de eficiência aumentada (AEFs), de modo a minimizar a perda de nutrientes para o ambiente. No caso do nitrogênio, busca-se prevenir e/ou reduzir as perdas por volatilização da amônia gasosa ( $\text{NH}_3$ ) e/ou lixiviação de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). O aprimoramento desses fertilizantes nitrogenados inclui a adição de um composto chamado N-(n-butil) triamida tiofosfato, conhecido como NBPT, que tem como característica a inibição da enzima urease, que reduz perdas de nitrogênio pela vaporização de amônia gasosa ( $\text{NH}_3$ ).

Souza (2018) cita que além dos fertilizantes com inibidores de urease, também existem fertilizantes de liberação controlada (FLCs) e fertilizantes de liberação lenta (FLLs). Ambas as tecnologias liberam nutrientes mais lentamente que os fertilizantes tradicionais, sendo que apenas no caso de fertilizantes de liberação controlada é conhecida a quantidade, o método e a duração da liberação de nutrientes para as plantas.

### **2.3 Aplicação de nitrogênio e produtividade na cultura do sorgo**

A adubação nitrogenada do sorgo é importante para garantir boa produtividade e reduzir os custos operacionais. Segundo EMBRAPA (2015), às doses de nitrogênio para a cultura do sorgo variam de acordo com o teor de matéria orgânica do solo. Essa, recomenda que seja aplicado uma parte na semeadura e o restante em cobertura, quando as plantas apresentarem de três a seis folhas expandidas, antes da diferenciação dos primórdios florais.

Campos et al. (2016), ao avaliar o desempenho de uma cultivar de sorgo sacarino, conduzida sem irrigação, submetido a diferentes doses de nitrogênio em cobertura, concluiu que a cultivar de sorgo é favorecida pelo aumento da dose de nitrogênio em cobertura até um ponto máximo anterior ao momento em que cessa a transferência de matéria seca da planta para as sementes.

Goes et al. (2011) também obteve resultados significativos ao avaliar a resposta da cultura do sorgo granífero na safrinha, submetida a diferentes doses (0, 20, 40, 60, 80 kg de N ha<sup>-1</sup>) e fontes de nitrogênio (sulfato de amônio e ureia) em cobertura. Quanto à produtividade, pode-se observar que o efeito isolado das fontes nitrogenadas e doses de nitrogênio. O uso do sulfato de amônio se destacou, proporcionando um acréscimo na produtividade de grãos da ordem de 10,35% em relação ao uso da ureia.

Estudo realizado por Goulart (2016) observou que o rendimento de grãos de sorgo foi influenciado pelas doses de nitrogênio (0, 30, 60, 90, 120 kg ha<sup>-1</sup>) avaliadas. Os tratamentos avaliados foram superiores ao tratamento controle, exceto as doses de 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de ureia revestida no segundo ano de trabalho, em função do baixo volume de precipitação.

Em um estudo de dosagem nitrogênio e atrazina, Scivittaro et al. (2005) observou um efeito significativo da dose de nitrogênio (0, 65, 130, 195 kg ha<sup>-1</sup>) na

produtividade do sorgo. Os autores concluíram que o controle químico de plantas daninhas com atrazina e o aumento da oferta de nitrogênio promovem o crescimento e a produtividade da cultura do sorgo

#### **2.4 Como o método de aplicação da adubação nitrogenada pode afetar na produtividade**

A adubação a lanço é feita com adubadoras com sistema de distribuição a lanço, na superfície do solo. Adubação no sulco de semeadura é quando os fertilizantes sólidos são introduzidos no sulco de semeadura. E a adubação em linha, os fertilizantes são aplicados próximo a linha de semeadura.

Para Levien et al. (2019) a relação entre a localização ideal de fertilizantes em relação a sementes é um problema da agricultura moderna, pois essa relação acarreta problemas para a germinação das sementes por conta da salinização. A vantagem desse método é a otimização do manejo, pois é realizada a adubação juntamente com a semeadura.

A maioria dos fertilizantes são solúveis a água, e com isso se deslocam para baixo por percolação e para cima por evaporação, enquanto o deslocamento lateral é pequeno, desse modo Levien et al. (2019) afirma que o melhor método é o posicionamento do fertilizante abaixo da semente com uma distância média de 3,5cm e deslocado para o lado.

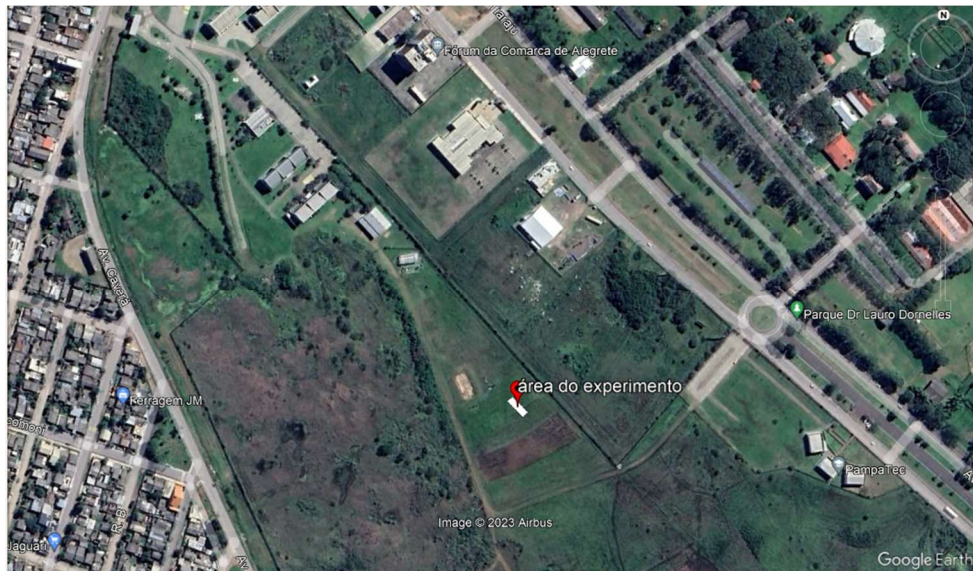
A respeito de outros métodos de aplicação, Ascari et al. (2015) estudou quatro tratamentos com aplicação em diferentes doses de nitrogênio na cultura de sorgo, T1: testemunha, sem nenhuma dose de nitrogênio, T2: adubação total em semeadura, T3: 70% parcelamento da adubação em 70% semeadura e 30% a lanço e T4: adubação total a lanço. Os autores observaram que o parcelamento da aplicação de nitrogênio teve uma produtividade ligeiramente maior que os demais tratamentos, porém, em se tratando de massa seca, altura da planta, diâmetro do caule e massa verde, não se observou nenhuma diferença significativa. Os resultados encontrados foram semelhantes aos obtidos por Freitas et al (2010) *apud* Ascari et al. (2015) p. 10 onde não apresentou diferença significativa para as variáveis analisadas, e também para os resultados encontrados por Goes et al. (2011) *apud* Ascari et al. (2015) p. 10 *apud* que fez estudos com parcelamento de doses de sulfato de amônio.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização, descrição da área

O estudo foi realizado em condição de campo na área experimental da UNIPAMPA (Universidade Federal do Pampa), Campus Alegrete, localizada nas coordenadas geográficas 29° 47' 44,19" S, 55° 45' 47,71" W, com altitude de 100 metros, em topografia plana no município de Alegrete, RS. A área destinada para a instalação do experimento está ilustrada na Figura 1.

Figura 1. Imagem aérea da área destinada ao experimento



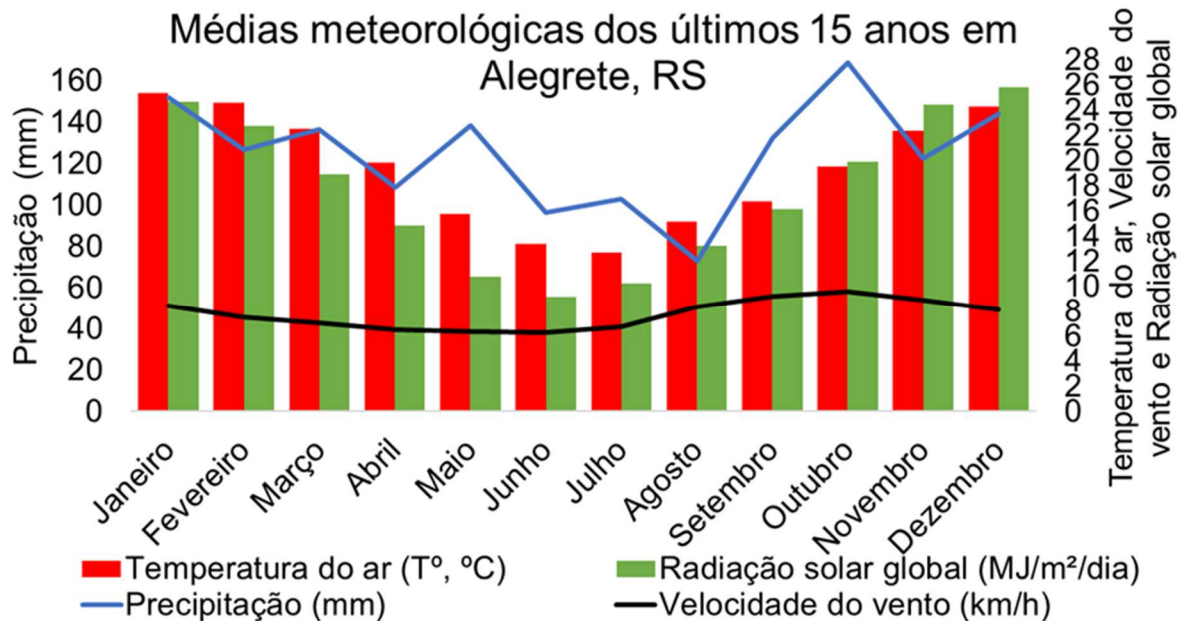
Fonte: Google Earth, 2023

#### 3.2 Clima e solo

Segundo dados do INMET (2023), através da estação meteorológica A826, localizada na cidade de Alegrete-RS, para os últimos 15 anos antes do experimento, temos que a temperatura média anual é de 19,5°C e a precipitação média anual é de 1.545,2 mm. A figura 2 apresenta as médias anuais de precipitação, temperatura do ar e velocidade do vento ao longo do ano em Alegrete.

Figura 2. Valores médios dos elementos meteorológicos: número de dias com precipitação pluviométrica (dias), precipitação (mm), temperatura média do ar ( $T^{\circ}$ ,

°C), velocidade média do vento (km/h) dos últimos 15 anos no município de Alegrete, RS.



Fonte: INMET (2023)

O município de Alegrete se situa na região fisiográfica da fronteira oeste do Rio Grande do Sul, que de acordo com a classificação de Köppen tem clima mesotérmico e úmido, correspondente ao tipo básico Cfa, definido como subtropical úmido com verões quentes e ausência de estação seca (ALVARES et al., 2013). Conforme Streck et al. (2018), o solo do local onde o experimento foi conduzido é classificado como Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário, integrante da Unidade de Mapeamento Pedregal.

### 3.3 Design experimental

O estudo foi composto por três tratamentos (T), relacionados com o manejo da adubação nitrogenada: T1 - Tradicional: adubação nitrogenada aplicada de modo tradicional, com 20% aplicado no sulco de semeadura e o restante em cobertura a lanço, distribuída em na área total, de modo a simular aplicação com distribuidor centrífugo com disco horizontal; T2 - Incorporado: adubação nitrogenada totalmente incorporada ao solo, em pré-semeadura; T3 - Dirigido: adubação nitrogenada de modo dirigido para próximo da linha de cultivo, com 20% aplicado no sulco de semeadura e

o restante em cobertura a lanço, de modo a simular a aplicação com distribuidor de precisão. O delineamento experimental foi realizado por blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, totalizando 12 unidades experimentais em esquema uni fatorial (Figura 3).

Figura 3. Disposição dos tratamentos (T), T1 - Tradicional, T2 - Incorporado e T3 - Dirigido



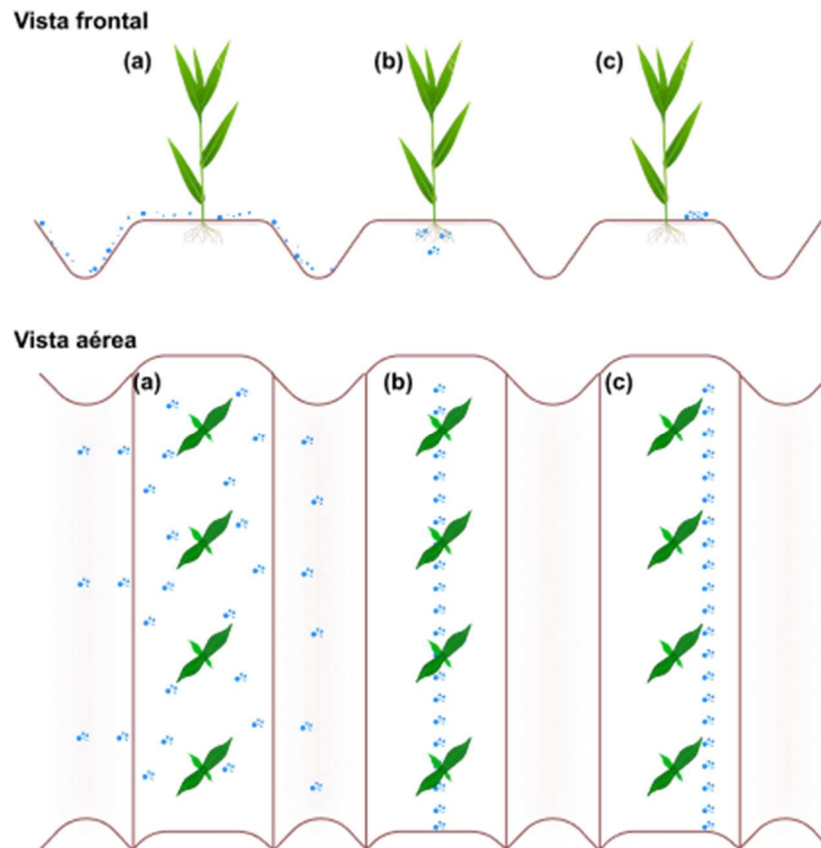
Fonte: Autor

De acordo com o laudo de análise química de solo, realizada previamente a instalação do experimento foi necessário a aplicação de 120 kg de N.ha<sup>-1</sup>, 145 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup> e 70 kg de K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>, para alcançar produtividade de 7000 kg de sorgo ha<sup>-1</sup>. Para suprir essa demanda, utilizou-se como fonte de adubação de base a fórmula 04-25-12, composta por 4% de N, 25% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 12% de K<sub>2</sub>O, com aplicação de 600 kg da fórmula por hectare, à lanço em área total, logo após a semeadura do sorgo, e ureia (44%) em cobertura, conforme descrito anteriormente. Tanto o pH do solo como a saturação por bases (V%), apresentaram valores dentro da faixa ideal (pH 6,0 e V 70%), não necessitando da aplicação de corretivos. A recomendação de adubação seguiu o preconizado pela comissão de química e fertilidade do solo (CQFS, 2016).

A disposição do nitrogênio nos três diferentes manejos empregados é visualizada de maneira ilustrativa na Figura 3. O T1 (Tradicional): adubação nitrogenada aplicada de modo tradicional, com 17% do N aplicado via adubação de base e o restante em cobertura a lanço, distribuída em área total, de modo a simular aplicação com distribuidor centrífugo com disco horizontal (Figura 4a); T2 (Incorporado): adubação nitrogenada incorporada ao solo, em pré-semeadura, com 17% do N aplicado via adubação de base (Figura 4b); T3 (Precisão): adubação

nitrogenada de modo dirigido para próximo da linha de cultivo, com 17% do total requerido de N, sendo o restante aplicado na forma dos tratamentos descritos de modo a simular a aplicação com distribuidor de precisão (Figura 4c). A implementação dos tratamentos se deu de modo manual, buscando simulá-los no campo.

Figura 4. Demonstração da vista frontal e área do método Tradicional a lanço (a), método Incorporado ao solo (b) e método de Precisão na linha de cultivo.



Fonte: Autor

As adubações de cobertura, realizadas para disponibilizar o total de N restante, nos tratamentos Tradicional e Precisão, foram parceladas nos estádios V3 e V8, da escala de Ritchie et al. (1993), sendo 60% em V3 e 40% em V8.

No que diz respeito às especificidades das unidades experimentais, estas apresentavam as dimensões: 4 metros de comprimento por 2,4 metros de largura, totalizando 9,6 m<sup>2</sup>. Essas dimensões estão representadas de forma gráfica na (Figura 5). O espaçamento entre fileiras foi de 0,80 metros, totalizando 3 linhas de cultivo em cada unidade experimental. A linha central em cada unidade foi considerada como área útil, em cada unidade.



Figura 5. Demonstração das dimensões de cada unidade experimental



Fonte: Autor

### 3.4 Manejo do solo e da água

Para a implantação do experimento fez-se necessário o preparo do solo, para o qual utilizou-se um arado para fazer a aração, seguido de uma gradagem com uma grade niveladora. Na sequência, sem a suavização do terreno, para correção de imperfeições, foi implantado o sistema sulco-camalhão, seguindo a metodologia de Campos et al. (2021), que permitiu a irrigação por politubos e permitiria, caso fosse necessário, a drenagem da área. O terreno possui declividade de 1,1% que, conforme mencionado acima, foi mantida. Os sulco-camalhões foram feitos de forma que precisaram de ajuste com uma enxada, de modo que cada sulco teve 0,15 metros de largura e cada crista teve 0,65 metros de largura.

Conforme a metodologia empregada por Cassol et al. (2020), foram utilizados politubos para fazer a reposição de água. O manejo da irrigação foi baseado por critérios relacionado ao sistema clima-planta em turno de rega variável. Para estimar a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), foi utilizado o método de Penman-Monteith, que é um método baseado em princípios físicos e que leva em conta vários fatores meteorológicos, como temperatura, umidade, radiação solar e vento. Esse método foi proposto por Allen et al. (1998) e é recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). A partir da  $E_{To}$ , foi possível estimar a evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ), que é a quantidade de água perdida pela cultura específica, multiplicando a  $E_{To}$  pelo coeficiente de cultura ( $K_c$ ), que é um fator que



varia de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura. O Kc foi determinado seguindo a metodologia de Dorenbos & Kassam (1979), que é uma referência mundial para o manejo da irrigação. Os dados meteorológicos necessários para o cálculo da ETo foram obtidos no INMET. Os dados foram coletados da estação meteorológica A826, que fica no Instituto Federal Farroupilha campus Alegrete. Com esses dados, foi possível calcular o balanço hídrico da cultura, que é a diferença entre a entrada e a saída de água no sistema solo-planta-atmosfera, considerando a situação com e sem irrigação, para o cultivo do sorgo.

Segundo EMBRAPA (2010) a eficiência do sistema de irrigação por sulco é de 40% a 70%, embora tenha uma eficiência relativamente baixa comparado aos outros sistemas, sendo que a irrigação por aspersão pode chegar a 90% de eficiência e o sistema localizado que pode ser de 95%. O uso da irrigação por sulco se faz válida pelo baixo custo inicial e o menor consumo de energia comparado aos demais tipos de sistema. Além disso, para Coelho & Silva (2013). A irrigação por sulcos, pode reduzir significativamente as perdas por percolação, elevando a eficiência do sistema em até 80%.

Na tabela 1 podemos ver a reposição hídrica, no qual se refere a quantidade em mm de água aplicadas na irrigação visando obter uma maior produtividade. Para isso, foi utilizada uma estimativa de eficiência teórica de 60%.

Tabela 1. Reposição hídrica em milímetros (mm) e eficiência teórica de 60%

<b>Data</b>	<b>100% (mm)</b>	<b>60% (mm)</b>
12/20/2022	37,04	22,2
12/23/2022	18,52	11,1
12/26/2022	46,30	27,8
12/29/2022	27,78	16,7
12/31/2022	27,78	16,7
01/01/2023	48,15	28,9
01/06/2023	27,78	16,7
01/25/2023	27,78	16,7
02/04/2023	37,04	22,2
02/08/2023	27,78	16,7
02/09/2023	18,52	11,1
02/27/2023	18,52	11,1
<b>TOTAL</b>	<b>362,99</b>	<b>217,8</b>

Fonte: Autor

Para a implantação do experimento, procedeu a semeadura manual do híbrido Nussed Fox, na densidade de 200.000 sementes por hectare, no dia 19/12/2022. O manejo e os tratos culturais referentes de plantas daninhas, insetos-praga e doenças foram realizados de modo a garantir proteção e nível de dano a não comprometer os resultados experimentais, sempre respeitando o preconizado pela pesquisa.

### **3.5 Variáveis respostas analisadas**

#### **3.5.1 População de Plantas (PP)**

O número de plantas emergidas foi medido por meio da contagem direta nos 4 metros lineares da área útil de cada parcela experimental. A contagem foi feita a cada 7 dias, após a semeadura, até os 28 dias após a semeadura, quando foi feita a quarta e última contagem, pois o estande de plantas estabilizou.

#### **3.5.2 Índice de área Foliar (IAF)**

A área foliar da planta é obtida pelo somatório da área foliar de cada folha completamente expandida com o colar visível. A medição foi realizada no florescimento aos 55 DAP. Foram efetuadas as medições de largura e comprimento, além da contagem do número de folhas completamente expandidas com o colar visível, onde foi calculada a área foliar por planta e índice de área foliar, em cinco plantas marcadas e etiquetadas dentro da área útil da parcela.

O IAF foi calculado em cada folha individualmente pela equação proposta por Silva (2004)

$$A = C * L * 0,75 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

A = área da folha (cm<sup>2</sup>);

C = comprimento máximo da folha(cm);

L = largura máxima da folha (cm);

0,75 = fator de ajuste da área da folha para cultura do sorgo (STICKLER et al. 1961).

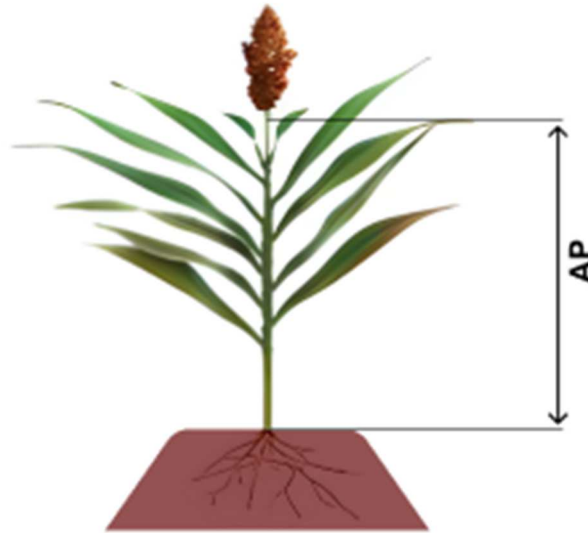
### 3.5.3 Parâmetros morfológicos e de rendimento

Na área útil de cada parcela foram avaliadas as seguintes variáveis.

#### 3.5.3.1 Altura da planta (AP)

A altura da planta foi medida em metros (m) levando em consideração o nível do solo até a inserção da panícula da planta mãe, na fase de maturação aos 56 DAP (Figura 6).

Figura 6. Demonstração da medida da altura da planta (AP) em m.



Fonte: Autor

#### 3.5.3.2 Diâmetro do colmo (DC)

Utilizando um paquímetro como ferramenta de medida, procedeu-se à análise manual do Diâmetro do Colmo (DC) de cinco plantas previamente demarcadas na área útil da parcela de cultivo de sorgo. Essa avaliação foi realizada na altura da metade da planta, e os resultados expressos em centímetros (cm)

#### 3.5.3.3 Número de colmos por planta (NCP)

O número de colmo por planta foi realizado por contagem manual de todos os colmos visíveis em cada linha dentro da área útil da parcela.

### 3.5.3.4 Número de panícula por planta (NPP)

O número de colmo por planta foi realizado por contagem manual de todos os colmos visíveis em cada linha dentro da área útil da parcela.

### 3.5.3.5 Número de grão por panícula (NGP)

O número de grãos por panículas foi realizado a partir da massa dos grãos de cada panícula após a debulha, dividindo pela massa de mil grãos. Para essa variável obteve-se o auxílio de uma balança de precisão.

### 3.5.3.6 Massa de mil grãos (MMG)

A massa de mil grãos é realizada conforme o descrito nas RAS (2009) Para essa variável foi usado o peso total dos grãos obtidos em cada parcela e o número de grãos por parcela. Para essa variável precisou fazer o ajuste de umidade dos grãos a 13%, passo descrito pela equação 4. A equação utilizada para determinar a massa de mil grãos foi adaptada a descrita na RAS (2009), onde temos.

$$MMG = \frac{\text{massa total de grãos} * 1000}{N^{\circ} \text{ total de grãos}} \quad (\text{Eq. 2})$$

### 3.5.3.7 Produtividade de grãos (PG)

Para a avaliação da produtividade de grãos, é preciso que os grãos tenham um teor de umidade de cerca de 13%. Para medir a umidade, existem vários equipamentos, mas um método comum é o de perda de peso por secagem em estufa a 105°C, por 24 horas. Esse método segue a proposta de Allen et al. (1998) e usa cápsulas de alumínio que são secas, pesadas, preenchidas com sementes, secas novamente e pesadas. Com esses pesos, é possível aplicar a equação 3 e obter a umidade dos grãos em porcentagem.

$$\% \text{ Umidade } (Ur) = 100 - \frac{100(Ps - Pc)}{Pu - Pc} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

$P_s$  = Peso seco da amostra com a cápsula;

$P_c$  = Peso da cápsula;

$P_u$  = Peso úmido da amostra com a cápsula.

Como a umidade dos grãos estavam diferentes de 13%, foi necessário fazer uma correção através da equação 4, proposta por Nunes & Backes (2021).

$$P(13\%) = P(Ur\%) * \frac{100 - Ur\%}{100 - 13\%} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

$P(13\%)$  = Peso corrigido para 13% de umidade;

$P(Ur\%)$  = Peso do grão com umidade atual;

$Ur\%$  = Umidade atual do grão.

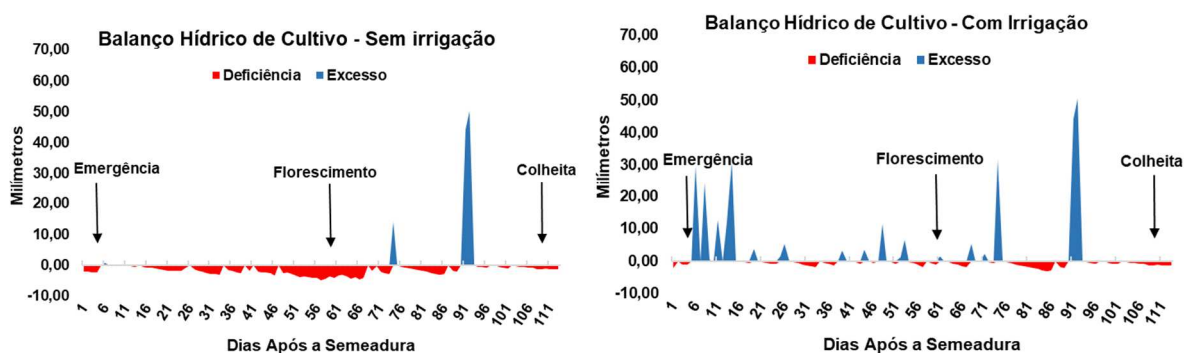
### 3.6 Análise de dados

As análises estatísticas foram realizadas no software R utilizando os pacotes `easynova` e `MultivariateAnalysis`, que fornecem funções para análise de variância (ANOVA) e análise de componentes principais (PCA), respectivamente. A aplicação da ANOVA teve como propósito testar a hipótese de que os tratamentos aplicados aos dados exerciam um efeito estatisticamente significativo sobre as variáveis de interesse. Quando a ANOVA demonstrou ter efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott, um teste de agrupamento de médias com nível de probabilidade de erro de 5%. O pacote `MultivariateAnalysis` no software foi empregado para a realização da análise de componentes principais. Essa técnica multivariada é capaz de reduzir a dimensionalidade dos dados e permite visualizar as relações entre as observações e as variáveis em um espaço bidimensional ou tridimensional.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observando o extrato do balanço hídrico para o sorgo, durante o período do experimento, em situação sem irrigação, a cultura estaria em deficiência hídrica na fase de emergência e grande parte do período de florescimento e enchimento dos grãos (Figura 7a). Embora a cultura de sorgo apresente certa tolerância a essa condição, é importante que nessas fases a cultura tenha boa disponibilidade hídrica, para alcance de alta produtividade e melhoria no aproveitamento do N (LI et al., 2022).

Figura 7. Extrato do balanço hídrico de cultivo, para o sorgo, em situação sem (a) e com (b) irrigação



Fonte: Autor

Com isso, o uso da irrigação preservou boa parte da produtividade da cultura na referida safra, diminuindo o tempo total em que esteve submetida a situações de déficit (Figura 7b). Porém, alguns déficits foram observados durante o período vegetativo e próximo do florescimento, em função da indisponibilidade do sistema de irrigação em alguns momentos. Esses períodos de déficit, associados a altas temperaturas e velocidade do vento (IMET, 2023), reduziram o potencial produtivo da cultura, impactando a produtividade do experimento como um todo.

A tabela 2 apresenta o resumo da análise de variância, por meio da probabilidade de significância dos tratamentos, juntamente da média geral e coeficiente de variação (CV, %). As variáveis NGP e PG foram influenciadas significativamente pelos tratamentos. As demais variáveis não foram afetadas pelos tratamentos.

Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis avaliadas

Variável	Média Geral	CV (%)	P	Variável	Média Geral	CV (%)	P
PP	108854,17	25,30	0,1494ns*	NPP	1,11	9,19	0,2495ns
IAF	3,83	23,86	0,2369ns	NGP	1044,18	23,74	0,0097**
AP	99,87	4,78	0,1653ns	MMG	25,21	0,42	0,1895ns
DC	2,378	4,97	0,7832ns	PG	3016,84	22,48	0,0048**
NCP	1,20	9,56	0,2374ns				

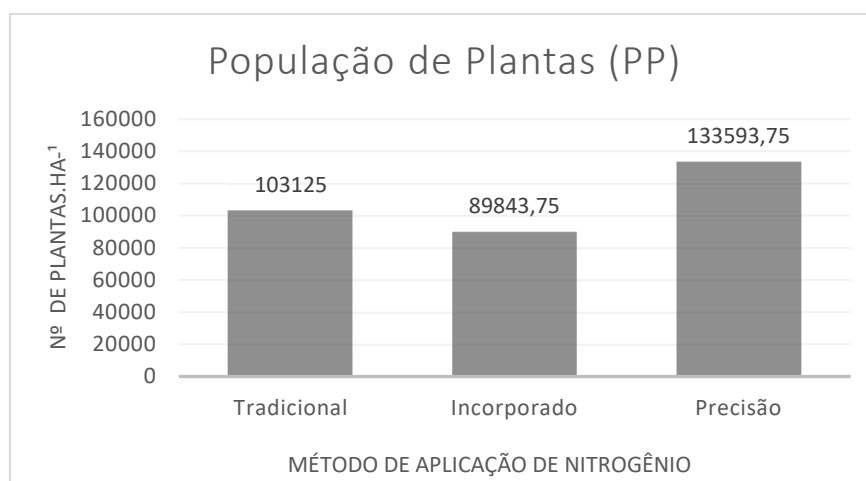
Legenda: Média geral, coeficiente de variação (CV, %) e probabilidade de significância pelo valor P extraído da análise de variância para as variáveis População de Plantas (PP), Índice de Área Foliar em VT (IAF), Altura de Plantas (AP), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Colmos. planta<sup>-1</sup> (NCP), Número de Panículas. Planta<sup>-1</sup> (NPP), Número de Grãos.Panícula<sup>-1</sup> (NGP), Massa de Mil Grãos (MMG) e Produtividade de Grãos (PG) de sorgo em função do método de aplicação de N.

\*ns: não significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*: significativo a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: próprio autor.

É importante dissertar sobre o efeito dos tratamentos sobre a formação dos componentes da produtividade, que culminaram no aumento da produtividade da cultura, tendo como base a Figura 8. De maneira geral, pode-se dizer que a cultura teve dificuldades em formar o primeiro componente, que é o número de plantas por unidade de área, aqui representado por PP. As 200.000 mil sementes. ha<sup>-1</sup> foram semeadas e o tratamento Precisão foi o que conseguiu estabelecer maior número de plantas, chegando a 66,79% do total semeado, seguido de 51,56% e 44,92% do Tradicional e Incorporado, respectivamente. O alcance de um estande mais uniforme de planta deve ainda ser melhorado, para a exploração das culturas nas terras baixas do RS, assim como já vem sendo alcançado com a soja e o milho cultivados na região (CAMPOS et al., 2021).

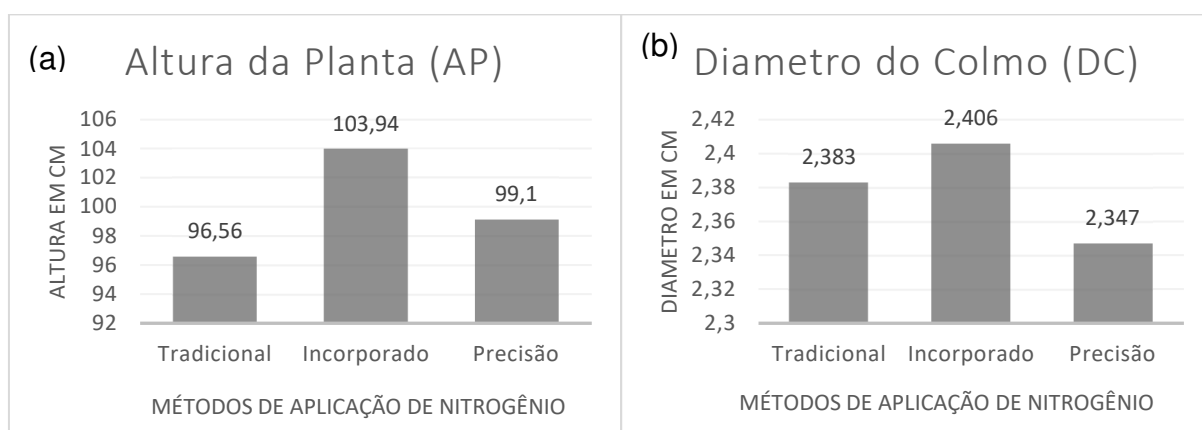
Figura 8. População de plantas de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio



Fonte: Autor

A altura de inserção do pendão é de extrema importância para a cultura do sorgo granífero, pois uma maior distância entre o nível do solo e o pendão favorece a produção de grãos e aumenta a resistência ao acamamento. Sua altura depende de fatores genéticos e ambientais. Araújo (2021) observa que as adubações influenciaram a altura, principalmente a adubação mineral com NPK. Plantas de sorgo com pendões mais altos tendem a ter maior rendimento e qualidade dos grãos. Podemos analisar a média das variáveis AP (Figura 9a) e diâmetro do colmo (DC) (Figura 9b), onde não obteve diferença significativa no teste de variância.

Figura 9. Médias de AP(a) e DC(b) da cultura de Sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio

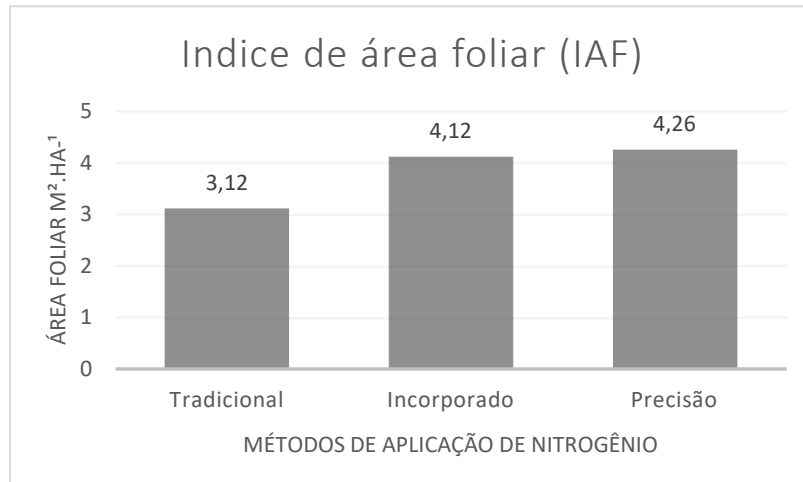


Fonte: Autor

Os resultados obtidos reforçam essa necessidade, uma vez que o tratamento que obteve os melhores valores de PP, é aquele que apresentou influência mais positiva e relacionada ao IAF (Figura 10). Um estande uniforme, permite maior eficiência na interceptação de radiação solar pela comunidade de plantas, o que culmina, também, em maior eficiência do uso do N (TOLK et al., 2013; CARCEDO & CIAMPITTI, 2023; REYES-CABRERA et al., 2023), sendo esse, talvez, o principal motivo do aumento da Produtividade de Grão (PG) no tratamento Precisão, onde pode ser visto na figura 11. O tratamento Precisão é também aquele que proporcionou maior prolificidade ao sorgo, haja vista o seu desempenho sobre a variável NPP (Figura 12). Desta forma, percebe-se que o método de aplicação de N, no sorgo, incrementa a utilização dos recursos do meio pela cultura.

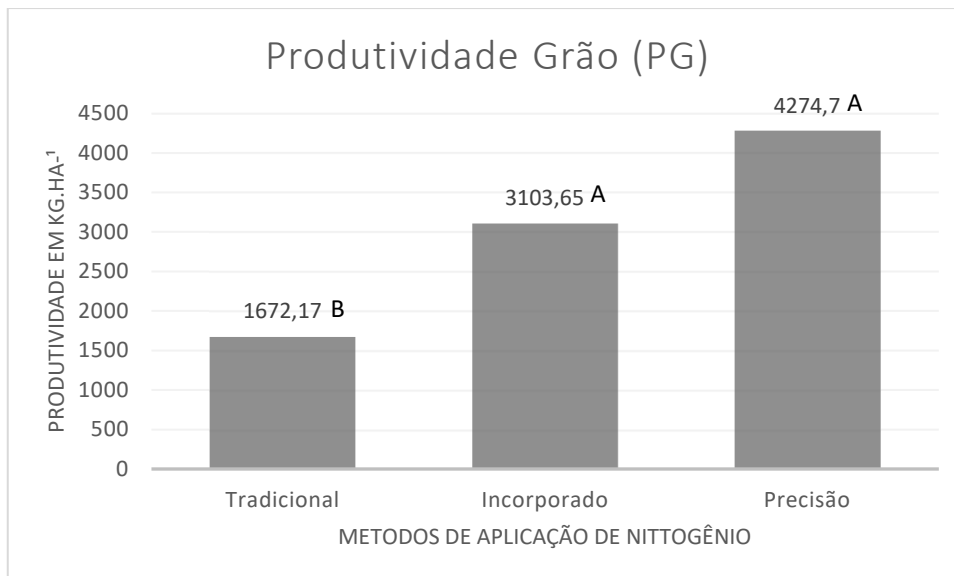


Figura 10. Índice de área foliar da cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio



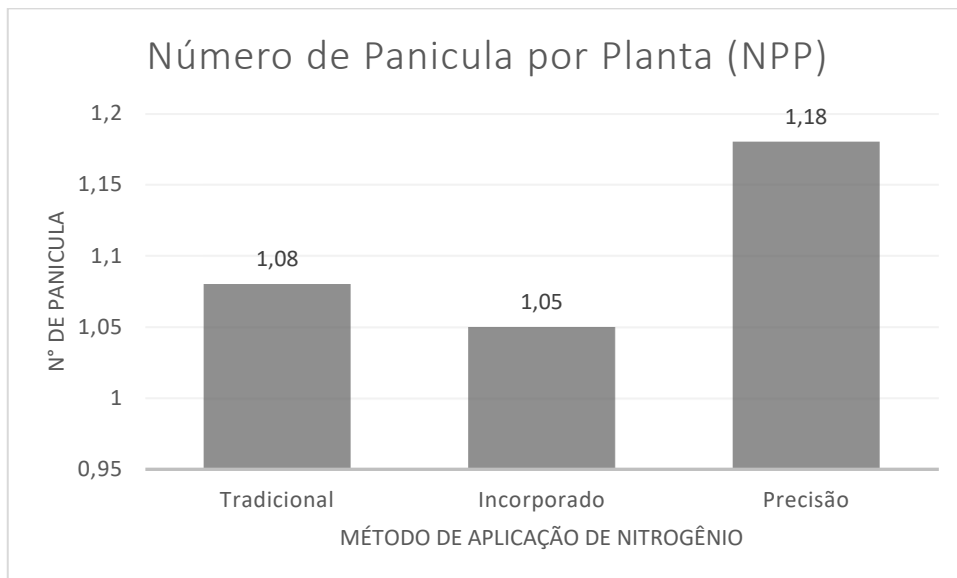
Fonte: Autor

Figura 11. Produtividade de grãos na cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio



Fonte: Autor

Figura 12. Médias de número de panícula por planta na cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio.



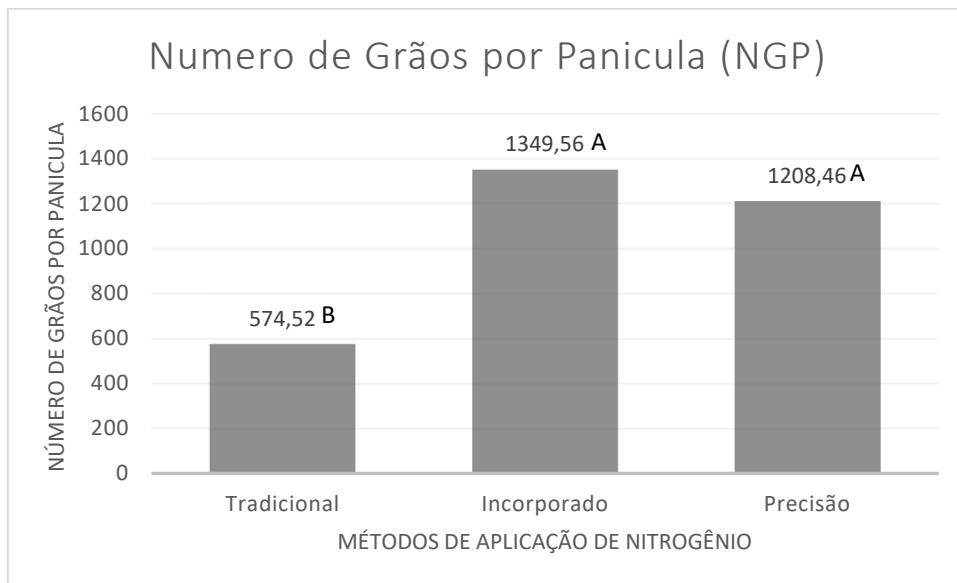
Fonte: Autor

Importante também comentar a respeito do desempenho dos demais tratamentos, principalmente o Incorporado, uma vez que essa maneira de disponibilizar o N vem sendo utilizado por produtores, principalmente previamente ao cultivo do milho no norte do RS. O método representa a necessidade de uma operação, antes da semeadura, sendo que seu custo pode ser superior ao relacionado ao método Tradicional. Neste estudo, o desempenho do tratamento Incorporado apresenta-se como intermediário, sendo superior ao método Tradicional. Usualmente, produtores utilizam uma semeadora-adubadora presente na propriedade, podendo esse método ser uma alternativa ao método de Precisão, que pode demandar um investimento alto para adquirir novo equipamento ou adaptar algum já existente. Porém, reforça-se a necessidade de uma avaliação econômica que sustente sua recomendação.

Entretanto, o tratamento Incorporado é o que obteve o pior desempenho sobre o primeiro componente da produtividade da cultura do sorgo, a PP. O alcance de uma produtividade intermediária, mesmo sob um baixo número de plantas, evidencia outro ponto importante da cultura do sorgo, que é sua capacidade de compensação. A incorporação do N pode reduzir a perda do elemento, tanto por volatilização como lixiviação (LI et al., 2022). Com isso, possivelmente o N incorporado apresentou-se disponível de modo a permitir que as plantas submetidas a essa incorporação pudessem formar panículas de maior tamanho, aqui representado pela variável NGP

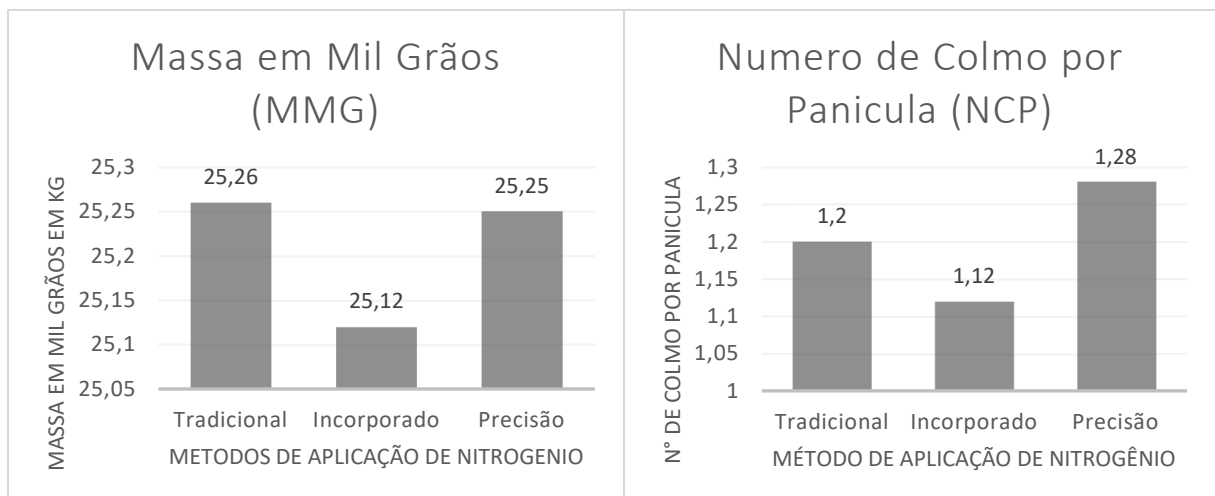
(Figura 13), sendo essa a variável que permitiu o desempenho intermediário desse tratamento. Pode-se afirmar isso, em função de que outros importantes componentes da produtividade, como MMG e NCP, foram mais relacionados ao tratamento Tradicional do que o Incorporado como podemos analisar na Figura 14.

Figura 13. Média do número de grãos por panícula na cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio



Fonte: Autor

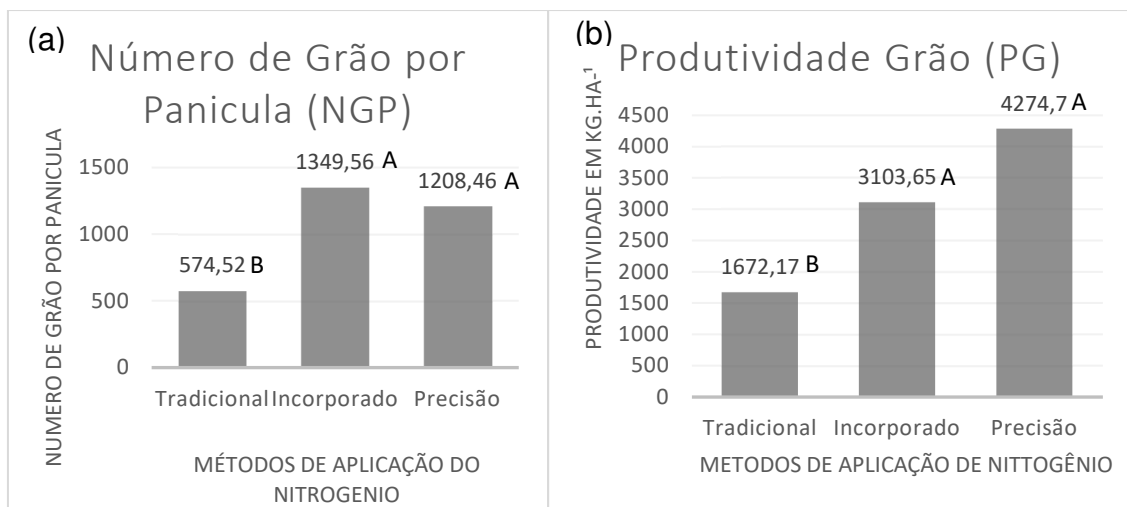
Figura 14. Média da massa de mil grãos (a) e número de colmos por panícula (b) na cultura de sorgo em diferentes métodos de aplicação de nitrogênio



Fonte: Autor.

Apresentada as médias das variáveis analisadas, não havendo efeito significativo na análise de variância para a maioria das variáveis, significa que os tratamentos propiciaram condições similares ao crescimento e desenvolvimento do sorgo. Porém, os tratamentos Precisão e Incorporado incrementaram o tamanho da panícula e, conseqüentemente, a produtividade da cultura frente ao tratamento Tradicional. O tamanho da panícula, aqui representado pela variável NGP, é um componente primário da produtividade do sorgo, sendo aquele que é mais influenciado pelo manejo (TOLK et al., 2013; CARCEDO & CIAMPITTI, 2023). No entanto, por meio da análise de variância, seguida pelo teste de comparação de médias, não é possível concluir se existe diferença entre os tratamentos Precisão e Incorporado, para as variáveis NGP e PG.

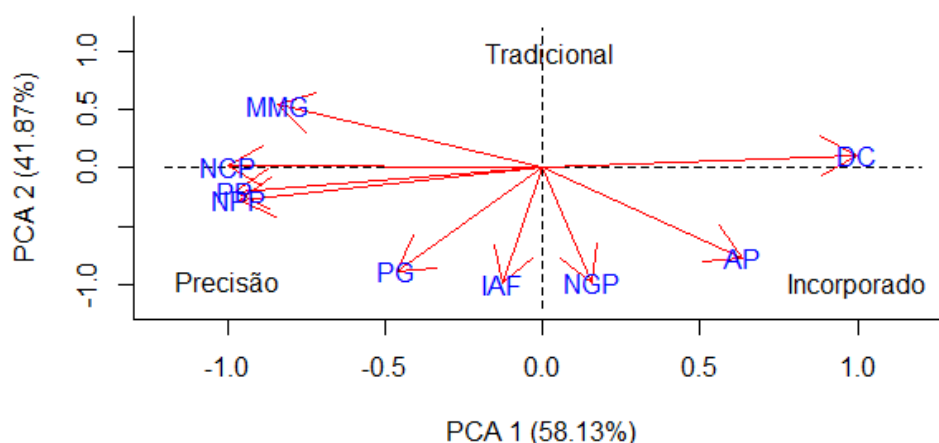
Figura 15. Médias das variáveis: número de grão por panícula (NGP) (a) e produtividade de grão (PG) (b)



Fonte: Autor

Com o intuito de analisar uma possível diferença entre os tratamentos Precisão e Incorporado, não observada nos testes apresentados anteriormente, a Figura 16 apresenta a análise de componentes principais. Toda a variabilidade apresentada nesse experimento pôde ser representada nos dois componentes principais, permitindo que seja possível verificar que a produtividade de grãos do sorgo está mais relacionada com o Tratamento Precisão, seguido do Incorporado, com um distanciamento maior do tratamento Tradicional.

Figura 16. Análise de componentes principais utilizando as variáveis analisadas



Ambas as análises estatísticas utilizadas, evidenciam que o tratamento Tradicional apresentou desempenho inferior aos demais, reforçando a ideia de que o manejo do N na cultura pode ser melhorado pelo método de aplicação, no sorgo. Esse resultado diverge dos resultados de Pöttker & Wiethölter (2004) e Martins et al. (2014), que não observaram vantagem do uso do tratamento Precisão e Incorporado, para o milho. Ainda, por meio da análise de componentes principais é possível perceber que a PG do sorgo tende ser mais próxima do tratamento Precisão, o que significa dizer que esse tratamento incrementou a produtividade da cultura, em relação aos demais, diferenciando-o também do Incorporado. A metodologia de aplicação de N no método Precisão, demanda investimento ou mesmo adaptações em equipamento utilizado com este fim, em uma propriedade.

Com isso, é necessário ainda uma avaliação financeira, que leve em consideração o custo relacionado ao equipamento, o total de área ocupada pelo sorgo em cada safra, assim como o seu valor de mercado e custo do N. No entanto, o método apresenta-se como promissor para a cultura, podendo aumentar sua produtividade assim como melhorar a eficiência do N nos sistemas de produção. A literatura apresenta um considerável número de publicações que focam no estudo da dose ótima do N em diversos cultivos, no trabalho de Reyes-Cabrera et al. (2023), que utilizando o método Tradicional para disponibilizar N em cobertura, encontraram máxima eficiência com aplicação de 100 kg de N. ha<sup>-1</sup>. É possível que com o tratamento Precisão, essa dose de máxima eficiência possa ainda ser reduzida, mantendo o aumento de produtividade.

## **5 CONCLUSÃO**

Com as condições de desenvolvimento desse trabalho é possível concluir que o método Precisão foi o que proporcionou os maiores índices de produtividade de grãos da cultura do sorgo, seguido do método Incorporado e Tradicional, respectivamente. Isso indica que o método Precisão é mais eficiente em disponibilizar o N para a planta, evitando perdas por volatilização, lixiviação ou imobilização. No entanto, o método Precisão também implica em um maior custo de produção, devido à necessidade de equipamentos e mão de obra especializados. O mesmo ocorre com o método Incorporado, que requer uma operação a mais no campo. Portanto, antes de fazer a migração para um dos métodos, deve-se avaliar o custo-benefício dos mesmos, considerando os fatores climáticos, edáficos e econômicos da região.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, p. 300, 1998.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONCALVES, J.L. de M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.113, p.407-427, 2013.
- ARAÚJO, G. S. Adubação N, P e K em Sorgo Silagem na safrinha, em Arinos-MG. 2021. Dissertação (Mestre em Bioenergia e Grãos) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2021.
- ASCARI, J. P.; SANTOS, E. S.; MENDES, I. R. N.; DIAS, L. D. E.; INOUE, M. H.; MARCO, K. Formas de adubação do sorgo granífero em semeadura tardia. **Nucleus**, v.12, n.1, abr. 2015.
- BERNARDI, A. C. de C.; CARMELLO, Q A de C.; CARVALHO, S A.; MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; Mara De Menezes De Assis GOMES, M. M. A.; LIMA, D. M. Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilization Interactions on the Photosynthesis of Containerized Citrus Nursery Trees. **Journal of Plant Nutrition** 38:12, 1902-1912, 2015.
- BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. **SORGO: do Plantio à Colheita**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, v. 1, p. 275, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Determinações adicionais – peso de mil sementes. **In: Regras para análise de sementes**. Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, cap.8, p.194-195. 1992.
- CAIRES, E. F.; MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Solos e Nutrição de Plantas - Bragantia**, Campinas v. 75, n. 1, p.87-95, 2016.
- CAMPOS, A. S.; CENTENO, A.; ANDRES, A.; PARFITT, J. M. B.; MÉLLO- ARAUJO, L. B.; BUENO, M. V.; PINTO, M. A. B.; MARTINS, M. B.; VEBER, P. M.; SCIVITTARO, W. B. Utilização da Tecnologia Sulco-camalhão na Produção de Soja e Milho em Terras Baixas do Rio Grande do Sul. Documentos / **Embrapa Clima Temperado**. Impresso, v. 1, p. 01-32. 2021.
- CAMPOS, W. O.; BORGES, I. D.; LARA, J. P.; FERREIRA, V. F.; COSTA, R. P.; RIBEIRO, C. E. S. Desempenho forrageiro do sorgo BRS 509 submetido à adubação nitrogenada e potássica em cobertura. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo - Milho e Sorgo: inovações, mercado e segurança alimentar, **Anais**, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2016.
- CARCEDO, A. J. P.; CIAMPITTI, I. A. Sorghum producer yield contest: A synthesis-analysis of major management and environmental drivers. **Field Crops Research**, v. 296, p. 1-9, 2023.

CASSOL, G. V.; MARCHESAN, E.; MASSEY, J. H.; ROBAINA, A. D.; TRIVISIOLO, V. S.; WERLE, I.; GOLLO, E. A.; GIACOMELI, R.; SCHMATZ, R. Raised seedbeds and irrigation increase the yield of soybean rotated with rice in lowland of Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.55, p.e01398, 2020.

CIVARDI, E. A.; NETO, A. N. S.; RAGAGNIN, V. N.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, jan./mar. 2011.

COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação. **Embrapa documentos 206**, Cruz das Almas – BA, ed. 1, 2013.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **SÉRIES HISTÓRICAS DAS SAFRAS**. 2023 Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 24 de ago. 2023.

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

DE LAPORTE, A.; BANGER, K.; WEERSINK, A.; WAGNER-RIDDLE, C.; GRANT, B.; SMITH, W. Economic and environmental nitrate leaching consequences of 4R nitrogen management practices including use of inhibitors for corn production in Ontario. **Journal of Environmental Management**, v. 300, 2021.

DORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome, **FAO**, p. 193 (Irrigation and Drainage Paper 33). 1979

EMBRAPA. Sorgo e Milho - Irrigação. 2015 Disponível em: < [www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126256/1/Irrigacao.pdf](http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126256/1/Irrigacao.pdf)>. Acesso em 18 jan. 2023.

EMBRAPA, Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças, **Circular técnica 98**, Brasília-DF, 2ª ed., dez. 2010.

FAO, 2021. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agricultural Data. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#home> > Acesso em 15 jan. 2023.

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; ARRUDA, O. G.; VILELA, R. G. Fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.2, p. 121-129, 2011.

GOULART, M. M. P. **Fontes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do sorgo granífero na safrinha**. Tese (Doutorado em Agronomia) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde. 2016.



INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 05 jul. 2023.

LEVIEN, M.; LAMBRECHT, E.; REIS, A. V. Distâncias verticais e horizontais entre adubo e semente, utilizando sulcadores de disco duplos. XXVIII Congresso de Iniciação científica, **Anais**, Pelotas, RS, 2019.

LI, T.; WANG, Z.; WANG, C.; HUANG, J.; FENG, Y.; SHEN, W.; ZHOU, M.; YANG, L. Ammonia volatilization mitigation in crop farming: A review of fertilizer amendment technologies and mechanisms. **Chemosphere**, v. 303, September 2022.

MARTINS, A. S.; CAZETTA, J. O.; FAKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 271-279. 2014.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Estatísticas do Setor. 2022. Disponível em: <[www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/estatisticas-do-setor](http://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/estatisticas-do-setor)> Acesso em 15 jan. 2023.

NUNES, U. R.; BACKES, R. L. B. Determinação do grau de umidade e peso de mil sementes. **Universidade Federal de Santa Maria**, Departamento de Fitotecnia, Curso de Agronomia, Produção e Tecnologia de Sementes. Santa Maria, RS. 2021.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.4, p.1015-1020, 2004.

REYS-CABRERA, J.; ADAMS, C. B.; NIELSEN, J.; ERICKSON, J. E. Yield, nitrogen, and water-use efficiency of grain sorghum with diverse crown root angle. **Field Crops Research**, v. 294, 2023.

REYNALDO, E. F.; MACHADO, T. M. Inspeção de distribuidores de fertilizantes sólidos na região centro sul do Estado do Paraná. **Ceres**, v. 63, n.6, p. 893-898, 2016.

REYNALDO, E. F.; MACHADO, T. M.; TAUBINGER, L.; QUADROS, D. Distribuição de fertilizantes a lanço em função da qualidade do insumo. **Energia na Agricultura**, v. 31, n.1, p.24-30, 2016.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. BENSON, G. O. How a corn plant develops Ames: Iowa **State University of Science and Technology** (Special Report, 48). p. 26. 1993.

SILVA, P. C. S. **Comportamento do sorgo granífero em função do manejo de nitrogênio**. 2004 tese (Doutorado em agronomia) Programa de pós-graduação em agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SOUZA, L. O guia completo da adubação nitrogenada para altas produtividades. instituto agro. Disponível em: <<https://institutoagro.com.br/adubacao-nitrogenada/#modos>> 2018. Acesso em 23 jan. 23.

SCIVITTARO, W. B.; SANTOS, G. G.; FARIAS, D. G.; ANDRES, A.; CASTILHOS, R. M. V. Doses de nitrogênio e de atrazine em cultivo de sorgo em terras baixas. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas, v. 11, n. 3, p. 315-321, 2005.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. **Revista e Ampliada**. 3º. ed. Porto Alegre, RS: Emater/RS. v. 2000, p. 252, 2018.

STICKLER, F.C.; WEARDER, S.; PAULI, A. W. Leaf area determination in grain sorghum. **Agronomy Journal**, v.53,p.187-188,1961.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; MILLER, F. R. Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress. **Field Crops Research**, v. 145, p. 44-51, 2013.