

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
*CAMPUS IBIRUBÁ***

**ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA QUANDO
SUBMETIDA A DIFERENTES APLICAÇÕES DE POTÁSSIO**

EMERSON EDUARDO SCHAFFER

Ibirubá, março de 2021.

EMERSON EDUARDO SCHAFFER

**ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA QUANDO
SUBMETIDA A DIFERENTES APLICAÇÕES DE POTÁSSIO.**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado junto ao curso de Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá como requisito parcial da obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Daniela Batista dos Santos

Ibirubá, março de 2021.

RESUMO

A soja é uma cultura extremamente exigente em nutrientes, entre eles, podemos destacar o potássio, como o segundo nutriente mais demandado para o desenvolvimento da cultura. O cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte mineral de potássio utilizado para a cultura da soja. Contudo, os modos de aplicação de potássio, podem impactar na produtividade da cultura. O objetivo do presente trabalho foi avaliar modos de aplicação de potássio na soja, visando a maior produtividade da cultura. O experimento foi conduzido na área agrícola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá, a uma latitude de 28°39'19,21" e longitude de 53°06'17,90", no ano agrícola 2019/20, sob sistema plantio direto, utilizando o delineamento de blocos ao caso, com 6 tratamentos e 4 repetições, totalizando 24 parcelas. Os tratamentos utilizados foram: ausência de adubação potássica (Sem K); aplicação da totalidade da recomendação potássica de forma manual 15 dias antes da semeadura (100% K 15 DA_{antes}S); aplicação da totalidade da recomendação potássica de forma manual 30 dias após a semeadura (100% K 30 DA_{pós}S); aplicação da totalidade da recomendação potássica na linha de semeadura (100% K BASE); parcelamento de 50% da recomendação potássica 15 dias antes da semeadura e 50% da recomendação potássica na linha de semeadura (50% K 15 DA_{antes}S + 50% K BASE); e parcelamento de 50% da recomendação potássica na linha de semeadura e 50% 30 dias após a semeadura (50% K BASE + 50% K 30 DA_{pós}S). Os parâmetros avaliados foram a matéria verde e seca da soja em pleno florescimento e os componentes de rendimento, sendo eles número de plantas por área, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de mil grãos e produtividade por hectare. Não foi encontrada influência dos tratamentos sobre as variáveis matéria verde e seca, número de plantas por área, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de mil grãos. Maiores rendimentos de grãos foram observados quando a adubação potássica foi realizada 30 dias após a semeadura, sem diferir da situação quando houve parcelamento da adubação potássica (50% K 15 D_{antes}S + 50% K BASE e 50% K BASE + 50% K 30 D_{após}S).

Palavras chave: cloreto de potássio, pós semeadura, parcelamento, pré-semeadura.

ABSTRACT

Soy is an extremely nutrient-demanding crop, among which we can highlight potassium as the second most demanded nutrient for crop development. Potassium chloride (KCl) is the main mineral source of potassium used for the cultivation of soybeans. However, the ways in which potassium is applied can impact the productivity of the crop. The objective of the present work was to evaluate methods of application of potassium in soybeans, enriched the greater productivity of the culture. The experiment was conducted in the agricultural area of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá, at a latitude of 28°39'19.21" and longitude of 53° 06'17.90" . in the 2019/20 agricultural year, under no-tillage system using the block design to the case, with 6 treatments and 4 repetitions, totaling 24 plots. The procedures used were: absence of potassium fertilization (T1); Application of the total potassium recommendation manually 15 days before sowing (T2); application of the total potassium recommendation manually 30 days after sowing; Application of the compliance of the potassium recommendation in the sowing line (T4); installment payment of 50% of the potassium recommendation 15 days before sowing and 50% of the potassium recommendation in the sowing line (T5); and installment payment of 50% of the potassium recommendation in the sowing line and 50% 30 days after sowing (T6). The parameters emitted were green and dry matter of soybeans, evaluation of yield components, namely number of plants per area, number of pods per plant, number of grains per pod, weight of a thousand grains and productivity per hectare. There was no influence of the packages on the variables green and dry matter, number of plants per area, number of grains per plant, number of grains per pod and weight of a thousand grains. Larger grains were observed when potassium fertilization was carried out 30 days after sowing, without differing from the situation when potassium fertilization was split.

Keywords: potassium chloride, post-sowing, parceling, pre-sowing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Absorção e exportação de nutrientes na cultura da soja.....	14
Figura 2: Marcha de absorção de potássio na cultura da soja.....	18
Figura 3: Localização do experimento no IFRS-Campus Ibirubá.....	23.
Figura4: Coleta de amostras deformadas de solo para avaliação da fertilidade, indicando as profundidades amostradas e trincheira (A) e as fatia de solo representativas às camadas 0-10 cm e 10-20 cm (B).....	24.
Figura 5: Croqui do experimento:.....	25
Figura 6: Aplicação de KCL em pré semeadura.....	26.
Figura 7: Semeadura do experimento.....	27.
Figura 8: Aplicação de KCL de forma manual 30 dias após a semeadura.....	27.
Figura 9: Plantas de soja acondicionadas em sacos de papel para posteriormente ser determinada sua MV e MS.....	28.
Figura 10: Quantificação da MS da cultura da soja.....	29.
Figura 11: Medição de 3 metros lineares para a colheita das parcelas.....	30.
Figura 12: Colheita dos tratamentos.....	30.
Figura 13: Determinação do número de grãos por vagem.....	31.
Figura 14: Determinação do PMG, A escolha dos grãos de soja para a quantificação do PMG e B pesagem das amostras.....	31.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Componentes de rendimento de soja determinados em maturação fisiológica: número de plantas por área, número de vagem por planta, número de grão por vagem, peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos de soja (kg ha⁻¹) safra 2019/2020.....	35.
---	------------

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Produção de matéria verde (MV) no florescimento, em gramas por planta.....	32.
Gráfico 2. Produção de matéria seca (MS) no florescimento, em gramas por planta.....	34.
Gráfico 3. Temperaturas máximas e mínimas (T °C) e precipitação (mm) ocorridos durante o ciclo da cultura da soja safra (2019/2020) no município de Ibirubá-RS. Semeadura da soja foi realizada em 24/10/2019.....	38
Gráfico 4. Rendimento de grãos de soja (kg ha⁻¹) safra 2019/2020.....	39.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento;

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

CTC – Capacidade de troca de cátions;

DAE – Dias após a emergência;

DAS – Dias antes da semeadura

MO – Matéria orgânica;

N – Nitrogênio;

O₂ – Oxigênio;

P- Potássio

KCl – Cloreto de Potássio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA SOJA	11
2.2 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA SOJA	12
2.3 POTASSIO	14
2.3.1 Potássio no solo	15
2.3.2 Fatores que influenciam a fixação e a lixiviação do potássio no solo	16
2.3.3. Formas de absorção de potássio pelas plantas	17
2.3.4 Função do Potássio nas plantas	18
2.3.5 Deficiência de potássio nas plantas	19
2.4 FORNECIMENTO DE POTÁSSIO PARA AS PLANTAS	20
2.4.1 Fertilizantes potássicos	21
2.4.2 Modo de aplicação	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	23
3.2 TRATAMENTOS	24
3.3.1 Aplicação dos tratamentos	25
3.3 PARÂMETROS AVALIADOS	28
3.3.1 Matéria seca e matéria verde da soja no florescimento	28
3.3.3 Avaliação dos componentes de rendimento	29
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5. CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja vem alavancando altos índices de produção nas últimas décadas, e entre os fatores responsáveis por ocasionar este considerável aumento destacam-se o melhoramento genético e a adubação equilibrada, juntamente com outras práticas de manejo adequadas (SILVA; LAZARINI, 2014). Entre os nutrientes requeridos em maior quantidade pela soja, o potássio é o segundo, só perdendo para o nitrogênio (N). No entanto, o N é suprido através da fixação biológica, enquanto o (K) deve ser aplicado no solo via fertilizantes, pois a maioria das áreas exploradas com soja no território brasileiro encontra-se em regiões tropicais, onde se predomina a formações de solos de elevado grau de intemperismo (BORKERT et al., 2005), com baixos níveis desse nutriente.

Em áreas manejadas por meio do diagnóstico da fertilidade do solo e aplicação de fertilizantes de acordo com a recomendação, os teores dos nutrientes do solo (incluindo o K) tendem a se elevar no solo, podendo chegar a níveis de médio, alto e muito alto. ou seja, em níveis acima do crítico à cultura. Neste caso, os cuidados recaem sobre as quantidades exportadas pela colheita da soja que, segundo Zancanaro et al. (2009), são próximas a 20 kg ha⁻¹ de K₂O para cada 1.000 kg ha⁻¹ de grãos. Por outro lado, além da exportação, devem ser consideradas as perdas por lixiviação e por erosão. Assim, a adubação de manutenção para reposição de K exportados e perdidos deve ser realizada.

No meio agrônômico são comuns os trabalhos sobre modos de aplicação de fertilizantes potássicos, visando sobretudo reduzir perdas e aumentar a eficiência de uso nas lavouras. Na adubação potássica, o cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte de K utilizada nas culturas produtoras de grãos no Brasil (BEVILAQUA; SILVA FILHO; POSSENTI, 2002; LOPES, 2005). Este sal é altamente solúvel em água, e o íon K⁺ apresenta baixa força de adsorção aos colóides do solo (RAIJ, 1991), o que faz com que o parcelamento de doses de K₂O acima de 60 a 80 kg ha⁻¹ seja frequentemente recomendado objetivando reduzir as perdas de K⁺ por lixiviação e o efeito salino dos fertilizantes sobre as sementes na instalação das culturas (ALVAREZ V., 1999; RAIJ et al., 1997).

Em relação à salinidade no sulco de semeadura, Malavolta (2006) alerta sobre a alta solubilidade do KCl que, aplicado no sulco de semeadura, pode prejudicar a

germinação das sementes ou o desenvolvimento das plântulas em decorrência da alta concentração salina. Nesse caso, a água disponível no solo, que deveria ser utilizada no processo de germinação das sementes, não fica disponível por causa da elevada concentração salina nas proximidades, o que eleva o potencial osmótico do solo. Esse processo ocorre quando a semeadura é realizada em condições de baixa umidade do solo. Malavolta (2006) apresenta o índice salino de diversos adubos, nos quais o KCl apresenta maior valor (116,3). Os autores alertam para possíveis atrasos na germinação, emergência e redução na população de plantas, em decorrência das elevadas doses de potássio próximo às raízes.

O incremento da produtividade média, principal foco dos sistemas produtivos atuais, está associado aos avanços tecnológicos e ao uso adequado e eficiente de práticas produtivas, como o manejo da adubação. De acordo com o exposto, a forma de aplicação de fertilizantes potássicos merece atenção especial, pois aplicações à lanço podem não fornecer a quantidade de nutriente necessária ao desenvolvimento inicial das plantas ao passo que aplicações na linha, em doses elevadas, podem resultar em danos ao sistema radicular (SALTON et al., 2002). Essa dinâmica é influenciada pela textura do solo, CTC, volume de precipitação do local e se há ou não cobertura de solo.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar modos de aplicação de potássio visando a maior produtividade da cultura da soja em condição de Latossolo localizado na Região do Alto Jacuí. Os objetivos específicos concerniram em avaliar a matéria seca e verde em pleno florescimento da cultura bem como avaliar os componentes de rendimento e a produtividade em kg ha^{-1} .

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA SOJA

A cultura da soja tem como centro de origem a região que corresponde à China antiga, no continente asiático. A partir de 200 a.C., a cultura da soja passou a ser difundida para outros países da Ásia como Coréia e Japão e posteriormente para os outros continentes do mundo. A introdução da cultura da soja no Brasil foi feita por volta do final do século XIX, mais especificamente no ano de 1882 na Bahia. Em 1892 foi levada ao estado de São Paulo pelo Instituto Agrônomo para ser cultivada. Com o início da revolução verde em 1950, ocorreram diversas iniciativas tecnológicas na área

de melhoramento genético, maquinário agrícola e nutrição mineral que aumentaram drasticamente a produção de alimentos no mundo, incluindo a soja (MATOS, 2010). Atualmente é a cultura mais importante do agronegócio mundial. A nível mundial somente em 2020, a cultura da soja ocupou uma área cultivada, de aproximadamente 122,647 milhões de hectares, tendo uma produção de aproximadamente 337,298 milhões de toneladas. (CEPEA, 2020).

Do total de soja produzido no mundo 93% é destinado para o processamento do complexo soja (grãos, farelo e óleo de soja) e 7% para outros produtos, dentre elas cosméticos, indústria farmacêutica, adubação, adesivos, revestimentos, tintas e plásticos. (CONAB, 2013). O complexo soja se constitui numa das principais *commodities* mundiais. Os grãos podem ser utilizados na alimentação humana, além de ser matéria prima para a produção de farelo e óleo, sendo o farelo um ingrediente importante para a nutrição animal. Além do uso em rações, também é encontrado em produtos não alimentícios como, por exemplo, cola para madeira. (AGROMOVE, 2019). E o óleo tem grande importância na produção de produtos para cozinha, medicamentos e biodiesel.

Pode-se perceber que a cultura da soja possui uma grande importância em diversos âmbitos e que existe uma projeção futura bastante promissora. Além disso, de maneira geral o consumo mundial de soja vai continuar aumentando nos próximos anos, mantendo os bons preços de mercado e impulsionando as exportações, o que favorece a balança comercial (EMBRAPA, 2020).

Em nível de Brasil, na safra 20/21 a área semeada com soja ficou em aproximadamente 38,3 milhões de hectares, 1,2 milhões a mais que na safra passada, e com uma estimativa de produção de 132,2 milhões de toneladas. (CONAB, 2021). E no Estado do Rio Grande do Sul a área semeada somou em torno de 6,07 milhões de hectares, com uma estimativa de produtividade de 3.500 kg.ha⁻¹. (EMATER, 2021).

2.2 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA SOJA

A soja cultivada é uma planta herbácea incluída na classe Magnoliopsida, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, gênero *Glycine* L. É uma planta com grande variabilidade genética, tanto no ciclo vegetativo (período compreendido da emergência da plântula até a abertura das primeiras flores) como no reprodutivo

(período do início da floração até o fim do ciclo da cultura), sendo muito influenciada pelo meio ambiente.

A soja é essencialmente uma espécie autógama, ou seja, uma planta com capacidade de autopolinização e autofecundação. O sistema radicular da soja é constituído de um eixo principal e grande número de raízes secundárias, sendo classificado com um sistema difuso. O comprimento das raízes pode chegar a até 1,80 m. A maior parte delas encontra-se a 15 cm de profundidade.

O legume da soja é levemente arqueado, piloso, formado por duas valvas de um carpelo simples, medindo de 2 até 7cm, onde aloja de 1 até 5 sementes. A cor da vagem da soja varia entre amarela-palha, cinza e preta, dependendo do estágio de desenvolvimento da planta.

As sementes de soja são lisas, ovais, globosas ou elípticas. Podem também ser encontradas nas cores amarela, preta ou verde. O hilo é geralmente marrom, preto ou cinza.

O nó da folha unifoliolada é o primeiro nó ou ponto de referência a partir do qual começa-se a contagem para identificar o número de nós foliares superiores. Nesse único nó, as folhas unifolioladas são produzidas em lados opostos da haste e com pecíolos pequenos. Todas as outras folhas verdadeiras formadas pela planta são trifolioladas, com pecíolos longos, e são produzidas unicamente e alternadamente no caule.

Os cotilédones, que são considerados como órgãos de armazenamento na forma de folhas modificadas, também surgem de maneira oposta na haste, abaixo do nó unifoliolado. Quando as folhas unifolioladas são perdidas por dano ou envelhecimento natural, a posição do nó unifoliolado ainda pode ser determinada, localizando se as duas cicatrizes dessas folhas na região mais baixa do caule, que permanentemente marcam o local onde as folhas unifolioladas cresceram.

A produtividade média brasileira na última safra foi 3.379 kg.ha⁻¹ (56 sacos ha⁻¹) (CESB, 2020), e apresentou um modesto incremento nos últimos 10 anos. Mas segundo Van Roekel et al. (2015), existe potencial biológico para dobrar essa produtividade. Em produtividades estimadas em pesquisas, concursos de produtividade, e simulações, têm sido obtidos resultados acima de 6 t. ha⁻¹ (100 sacas ha⁻¹) em diversos ambientes de produção de norte a sul do Brasil, com alguns resultados chegando a alcançar produções que fiquem entre 7,5 a 11 t. ha⁻¹ (CESB, 2020).

Além das conquistas com melhoramento genético da cultura e a consequente adaptação dela nos mais variados ambientes, a nutrição mineral vegetal também pode ser citada como um dos principais fatores de incremento de produção. As necessidades nutricionais de plantas de soja podem ser observadas na Figura 1.

Parte da planta	kg (1000 kg) ⁻¹ ou g kg ⁻¹						g (1000 kg) ⁻¹ ou mg kg ⁻¹						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Grãos	51	10,0	20	3,0	2,0	5,4	20	237	10	70	30	5	40
Restos culturais	32	5,4	18	9,2	4,7	10,0	57	278	16	390	100	2	21
Total	83	15,4	38	12,2	6,7	15,4	77	515	26	460	130	7	61
% Exportada	61	65	53	25	30	35	26	46	38	15	23	71	66

Obs.: à medida que aumenta a matéria seca produzida por hectare, a quantidade de nutrientes nos restos culturais da soja não segue modelo linear.

Figura 1: Absorção e exportação de nutrientes na cultura da soja.

Fonte: EMBRAPA, 2013.

Nos últimos anos a produtividade da cultura vem sendo construída a partir da real necessidade da planta e do nível de fertilidade do solo, de maneira que conhecer a extração/exportação de nutrientes pelas culturas pode subsidiar a tomada de decisão para adubação, como sendo um fator importante para a elaboração da recomendação. Como a temática do referido trabalho trata da adubação potássica, essa revisão abordará, em sequência, a dinâmica solo-planta do elemento potássio.

2.3 POTÁSSIO

O potássio é o sétimo elemento mais abundante na natureza. Bastante insolúvel, sendo difícil obter o metal puro a partir dos seus minerais. A principal fonte de potássio é a potassa, extraída, entre outros locais, na Califórnia, Novo México e Utah nos Estados Unidos, e Alemanha. Apresenta a característica de oxidar-se rapidamente com o oxigênio do ar, é muito reativo especialmente com a água e se parece quimicamente com o sódio (LOUREIRO, 2004)

Tem várias aplicações tais como: metal empregado em células fotoelétricas, o cloreto de potássio e o nitrato de potássio são empregados como fertilizantes. O peróxido de potássio é usado em aparatos de respiração de bombeiros e mineiros, o

nitrato também é usado na fabricação de pólvora, o cromato de potássio e o dicromato de potássio em pirotecnia (GIRACCA, 2014)

Hortaliças como beterraba e couve-flor e frutas como a banana, damasco, cereja, ameixa, pêsego são alimentos ricos em potássio. É um elemento químico, também, essencial para o crescimento das plantas, sendo um dos três elementos fornecido em maior quantidade (NUNES, 2013)

2.3.1 Potássio no solo

O potássio é um elemento muito abundante nas rochas e no solo. Grande parte desse potássio encontra-se em minerais que contém o elemento nas estruturas cristalinas. Os minerais primários portadores de potássio mais importantes encontrados em rochas ígneas são os feldspatos e dois tipos de micas, a muscovita e a biotita (RIBEIRO, 2010)

O intemperismo do material de origem e o grau de intemperismo do próprio solo afetam os minerais e, conseqüentemente, as formas e as quantidades de potássio existentes no solo. Os feldspatos são facilmente intemperizáveis seguidos da biotita, sendo a muscovita a mais persistente nos solos, principalmente nas frações de dimensões de silte ou acima. O importante desses minerais é que o potássio neles contido pode participar da nutrição de plantas. Além do potássio estrutural dos minerais (não trocável), o nutriente ocorre no solo na forma de cátion trocável, na solução do solo e contido nos restos culturais. Em todos os casos, encontra-se sempre na forma de íon K^+ .

As plantas absorvem o potássio via solução do solo quando a concentração é mantida pelo equilíbrio com o potássio retido nos sítios de troca. No entanto, quando a concentração de K^+ na solução atinge valores extremamente baixos, pode acabar havendo difusão de parte do potássio contido entre as estruturas dos argilominerais e dissolução dos minerais primários que contém K^+ , indicando que as formas de K^+ não trocáveis são potencialmente disponíveis às plantas. Na planta, o K^+ encontra-se principalmente na forma iônica. (ALVES, 2005).

Grande parte do K absorvido pelas plantas retorna ao solo após ela completar seu ciclo e sofrer mineralização, a começar pela simples lavagem das folhas com a água das chuvas. A ciclagem desse nutriente, especialmente sob sistema plantio direto, exerce importante papel na sua disponibilidade, pois espécies com alta capacidade de extração,

como a aveia, podem ciclar quantidades consideráveis do nutriente, em média de 90 Kg.ha⁻¹, que seriam disponibilizados à cultura subsequente após mineralização dos seus restos culturais na área de cultivo. Assim, após a colheita ou senescência das plantas, o K⁺ presente na fitomassa é liberado rapidamente ao solo em forma prontamente disponível para as culturas (RAIJ et al., 1997), o que caracteriza a palhada como um reservatório expressivo de K em curto prazo no sistema de plantio direto (ROSOLEM; CALONEGO; FOLONI, 2003).

Dito que a disponibilidade de K⁺ no solo está relacionada com a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, o K⁺ trocável do solo pode constituir a reserva mais importante disponível às plantas (RAIJ, 1991), e é com base nesses teores que a recomendação de adubação potássica é fundamentada. No RS e SC, o potássio disponível para as plantas é estimado pelo extrator Mehlich⁻¹, cuja quantidade extraída é muito próxima da quantidade trocável existente no solo.

O Manual de Adubação e Calagem para solos do RS e SC (2016) interpreta os teores disponíveis de K no solo conforme diferentes teores críticos estabelecidos para grupos de culturas com igual, maior ou menor exigências em K em relação às culturas de grãos. Sendo que as faixas de interpretação variam conforme a CTC_{pH7,0} do solo. Flores et.al (2011) apontam que, em aproximadamente 59% das amostras de solo do Estado que chegam aos laboratórios, os valores de potássio trocável estão acima do nível crítico, indicando que os níveis de K do solo foram aumentados.

2.3.2 Fatores que influenciam a fixação e a lixiviação do potássio no solo

Os teores de K⁺ trocáveis são dependentes da presença de minerais primários e secundários e, principalmente da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo. A CTC representa a quantidade de cátions que um solo é capaz de reter por unidade de peso ou volume (RAIJ, 2011). A energia de retenção dos cátions trocáveis Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ nos coloides do solo segue uma série denominada liotrófica, que leva em consideração a carga e o tamanho do íon hidratado, ou seja, tem maior potencial de retenção cátions de maior valência. Isso impacta diretamente a mobilidade dos nutrientes no perfil do solo. Uma vez móveis no perfil do solo, os cátions podem estar disponíveis aos vegetais ou serem perdidos por lixiviação.

Solos com menor capacidade de troca de cátions (CTC), seja devido ao intemperismo ou à acidez do solo, pode ocorrer maior lixiviação de K⁺, pois como o K

apresenta apenas uma carga de valência é pouco adsorvido nos coloides do solo (ERNANI et al., 2007). O oposto, de maneira geral, ocorre em solos ricos em matéria orgânica e argila, pois quanto maior a CTC menor perda por lixiviação. Dessa forma, tem-se que a disponibilidade de K^+ no solo e a sua absorção pelas plantas estão diretamente relacionadas com a disponibilidade dos cátions divalentes, como o Ca^{2+} , Mg^{2+} , que dominam o complexo de troca.

A fixação do potássio acontece com maior frequência em solos que contêm argilas do tipo 2:1, como por exemplo montmorilonita, illita e vermiculita. Devido à alta carga e íons que estão dispostas nestes solos. As argilas do tipo 1:1, que predominam nos Latossolos, como a caulinita, têm reduzido poder de fixação do potássio (GIRACCA, 2016).

Uma prática agrícola comumente utilizada em nossos solos, que são naturalmente ácidos e que pode impactar nessa dinâmica é a calagem, uma vez que é responsável pelo aumento das concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} presentes no solo, relativamente à do K^+ .

O balanço considerado ideal de cátions no complexo de troca deve ser de 65% de Ca^{2+} , 10% de Mg^{2+} , 5% de K^+ e 20% de H^+ de ocupação na CTC, proporcionando ao sistema uma saturação de bases igual a 80%. Entretanto, essa proporção é variável com cada cultura, cada tipo de solo e também com o nível de saturação por bases. A resposta da soja à fertilização potássica tem se mostrado diretamente dependente da relação Ca, Mg e K trocável nos solos (RONQUIM, 2010).

2.3.3. Formas de absorção de potássio pelas plantas

O potássio (K) é um macronutriente catiônico, sendo considerado o mais abundante na planta. A demanda de K só é inferior, em geral, ao de nitrogênio. Sua principal via de absorção é a radicular, na forma de íon K^+ , sendo essa a forma que é assimilado pelas plantas, já que não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta. As plantas absorvem o potássio da solução do solo, cuja concentração é mantida pelo equilíbrio com o potássio retido nos sítios de troca (trocável). O movimento radial de K em direção às raízes ocorre por fluxo de massa e principalmente por difusão (ARAUJO et al., 2003), porém o movimento vertical ocorre fundamentalmente por fluxo de massa.

O potássio apresenta alta mobilidade na planta, tanto no xilema como no floema. Sendo comum que o K presente em folhas velhas seja redistribuído para folhas novas em caso de deficiência do nutriente do solo. Órgãos novos das plantas são supridos preferencialmente e, assim tecidos meristemáticos e frutos novos têm altos teores de potássio (GIRACCA, 2016). O potássio afeta fatores de qualidade tais como o tamanho, a forma, a coloração e o vigor da semente ou grão. Os teores são elevados nas folhas e mesmo nas partes colhidas, com exceção de grãos amiláceos.

Na Figura 2 está expressa a marcha de absorção de potássio pela cultura da soja. As culturas apresentam uma porcentagem de acúmulo do nutriente em função dos dias após a emergência. Isso é conhecido por Marcha de Absorção. Para o potássio, podemos observar que esse nutriente é absorvido pela soja até aproximadamente o estágio R5.5. Ou seja, até o enchimento de grãos, quando se tem de 76% a 100% de granação em um dos quatro nós superiores na haste principal, não sendo eficiente fazer uma adubação após este período ou muito próximo a ele, pois a planta já não irá mais aproveitar o nutriente (GIRARDELI, 2018).

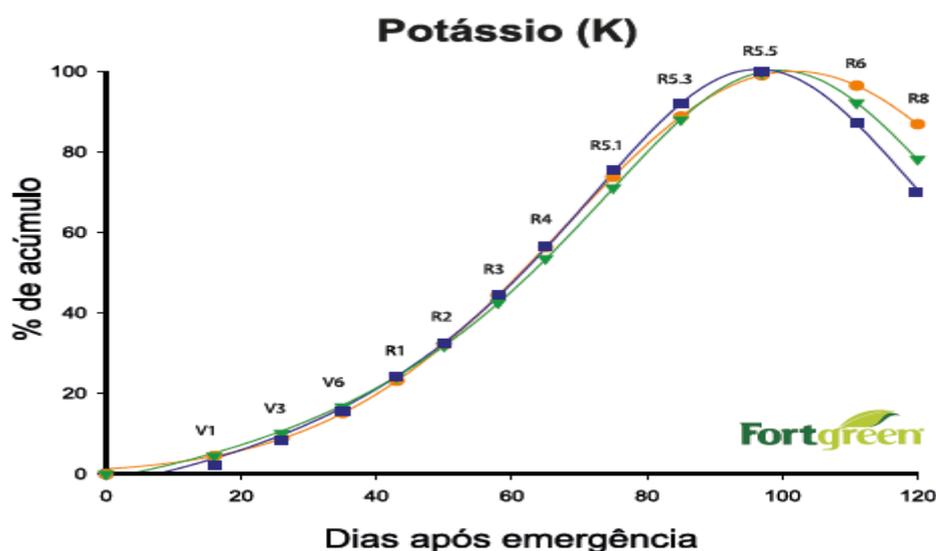


Figura 2- Marcha de absorção de potássio na cultura da soja

Fonte: EMBRAPA

2.3.4 Função do Potássio nas plantas

Apesar do potássio não ser constituinte de nenhuma molécula orgânica vegetal que desempenhe função estrutural na planta (FAQUIN, 2005), ele contribui em várias atividades bioquímicas, é ativador de grande número de enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, regulador da pressão osmótica e da abertura e fechamento dos estômatos (MALAVOLTA et al., 1989; TAIZ et al., 2004). O potássio é importante na fotossíntese, no transporte de carboidratos, na formação de frutos, na resistência ao frio e às doenças.

2.3.5 Deficiência de potássio nas plantas

Dada a mobilidade do potássio nas plantas, os sintomas da deficiência normalmente ocorrem primeiro nas folhas inferiores e progressivamente avançam rumo ao topo, conforme a gravidade da deficiência. Um dos sinais mais comuns da deficiência em potássio é a clorose ao longo das margens da folha. Em casos drásticos, a margem queimada da folha pode se desprender. Espécies em situação de deficiência de potássio crescem lentamente e possuem sistemas de raízes desenvolvidos precariamente. Os caules são fracos e os grãos produzidos são menores; as plantas são menos resistentes às estiagens, ao excesso de água e a temperaturas mais elevadas ou mais baixas. Elas também são menos resistentes a pragas e doenças (MASCARENHAS et al., 2004).

Em culturas como a soja, a deficiência de potássio pode resultar em desfoliação prematura da planta e também na ausência de vagens no terço superior, vagens vazias e retorcidas, sem desenvolvimento de sementes e senescência anormal, chochamento e mau pegamento de vagens nos racemos superiores (BRAGA, et al., 2005)

Uma oferta adequada de outros nutrientes vegetais é necessária para se obter respostas máximas do fertilizante de potássio, no entanto, há várias relações singulares entre o potássio e outros nutrientes.

Uma elevada fertilização com potássio pode reduzir a disponibilidade de magnésio para a planta, e isso pode resultar em uma deficiência de magnésio em lavouras cultivadas em solos que já possuem pouco magnésio. Esse problema é normalmente encontrado com lavouras cultivadas em solos arenosos (BARRADAS, 2010).

Lavouras cultivadas em solos com elevada concentração de magnésio podem sofrer de deficiência de potássio, especialmente se os solos são ricos em fósforo e carentes de potássio. Em consequência do desbalanço de potássio, principalmente em cultivares de soja de tipo de crescimento indeterminado (TCI), tem-se observado desuniformidades no desenvolvimento das plantas, na maturação, na qualidade e na densidade dos grãos, em especial, no terço superior das plantas (CASTRO et al., 2019). Quando os sintomas de deficiência de K forem visíveis em reboleiras, as áreas próximas e sem sintomas, provavelmente, também estarão sendo afetadas pela baixa disponibilidade do nutriente, o que é conhecido como fome oculta.

2.4 FORNECIMENTO DE POTÁSSIO PARA AS PLANTAS

A nutrição das plantas visa fornecer a elas as condições necessárias para que consigam produzir na quantidade e qualidade esperadas. A falta ou excesso de qualquer um dos nutrientes demandado pelas culturas, pode gerar falhas de produtividade (BORKET et al.,1997).

Segundo Castro et al. (2019) a recomendação de adubação deve se fundamentar na disponibilidade do nutriente no solo, na necessidade da cultura e na eficiência econômica da adubação, sendo que o monitoramento da fertilidade deve ser considerado a base para a tomada de decisão. Neste contexto, o manejo adequado da fertilidade do solo é uma poderosa ferramenta para o alcance do potencial produtivo das cultivares e a melhoria da qualidade dos grãos.

Para cada tonelada de grãos, a demanda por K pelas plantas de soja é de aproximadamente 48 kg ha⁻¹ de K₂O e, deste total, 22 kg ha⁻¹ de K₂O são exportados das lavouras com a colheita dos grãos (EMBRAPA,2010).

A produtividade média da cultura da soja vem aumentando, não só em função do potencial produtivo das cultivares, mas também pelo aprimoramento e qualidade das técnicas de manejo da cultura e da adubação. Consequentemente, as exportações de K do solo têm aumentado consideravelmente.

Deste modo, caso a adubação não reponha, pelo menos, as exportações de K pelos grãos, o balanço nutricional será negativo, ou seja, maior exportação com menor adubação, resultando na redução das reservas de potássio do solo. Este desequilíbrio está sendo observado em diferentes lavouras, tipos de solo e condições de cultivo,

afetando a produtividade das culturas que compõem o sistema de produção, mesmo em áreas consideradas de alta tecnologia. (JUNIOR; CASTRO; OLIVEIRA, 2019).

2.4.1 Fertilizantes potássicos

O principal fertilizante mineral utilizado para fornecer K é o cloreto de potássio (KCl), que é totalmente importado de países como o Canadá, Polônia e países da antiga União Soviética. Há no mercado o sulfato de potássio (K_2SO_4), mas o valor por unidade de K normalmente é muito mais alto do que o cloreto. As cinzas de resíduos orgânicos são uma excelente fonte de potássio, mas não é comum a preocupação com a reciclagem.

Cerca de 95% da produção mundial de potássio é utilizada como fertilizante e, desse montante, 90% sob forma de KCl, outros sais utilizados são K_2SO_4 (Sulfato de Potássio), $K_2SO_4MgSO_4$ (Sulfato duplo de potássio e magnésio), KNO_3 (Nitrato de potássio) e $KNO_3.NaNO_3$ (Salitre de potássico). A escolha da forma de aplicação deve ser baseada nas necessidades e características do solo, no tipo da cultura, nos métodos de aplicação, no preço e na disponibilidade (POTAFOS, 1996)

O KCl é o fertilizante mais usado na agricultura e o que possui mais alta concentração de potássio, em torno de 60 a 62% de K_2O (POTAFOS, 1991), essa característica contribui para tornar seu preço mais competitivo em relação a outras formas de fertilizantes potássicos. No Brasil, é exigido que o KCl venha com um teor mínimo de 58% K_2O na sua concentração.

O sulfato de potássio (K_2SO_4), possui nutrientes essenciais para proporcionar alta qualidade à produção, já que o potássio e o enxofre são dois nutrientes que tem função de agregar resistência ao fruto, favorecendo o pós-colheita e a comercialização. É solúvel e livre de cloro tendo baixo índice de salinidade. Sendo assim, o sulfato de potássio é especialmente indicado para culturas sensíveis a cloros e sais. Sua aplicação é via solo, sua concentração fica em torno de 15% de enxofre (SO_4) e 48% de Potássio (K_2O).

O sulfato duplo de potássio e magnésio é um fertilizante normalmente processado a partir da langbeinita [$K_2Mg_2(SO_4)_3$]. Contém aproximadamente 22% de K_2O , 11% de magnésio e 22% de enxofre. A concentração de cloretos nesse material normalmente é inferior a 2,5%.

O nitrato de potássio é o composto recomendado para cultivos que necessitem de baixos teores de enxofre e cloreto. Tem a vantagem de fornecer ao mesmo tempo, potássio e nitrogênio como nutrientes. Contém aproximadamente 44% de K_2O e 13% de N (THOMPSON, 2002).

O Salitre de potássio é um fertilizante mineral de alta pureza e solubilidade. Não perde nitrogênio por volatilização, não causa acidez no solo, aumenta a absorção de potássio, cálcio e magnésio. Apresenta menor salinidade devido à ausência de cloro, e ainda fornece sódio, elemento benéfico para várias culturas. Sua composição é de 15%N, 14% K_2O , 18%Na e 0,05%B.

2.4.2 Modo de aplicação

A adubação potássica pode ser realizada tanto no sulco de semeadura quanto a lanço (BORKERT et al., 2005), sendo a aplicação a lanço antes da semeadura recomendada preferencialmente em solos de textura argilosa, com teores médios e bons de K. Em relação à aplicação de K (na forma de KCl) no sulco de semeadura, devido ao alto índice salino, alguns cuidados são recomendados na utilização deste fertilizante. Dentre eles, não aplicar doses superiores a 50 kg ha^{-1} de K_2O no sulco de semeadura, visando reduzir os riscos do efeito salino sobre a germinação das sementes, principalmente em condições de estresse hídrico (OLIVEIRA et al., 2008).

A literatura traz informações controversas acerca do modo de aplicação de K e seus efeitos sobre a produtividade de soja. Vargas et al. (2006) ao avaliarem a influência da adubação potássica na produtividade da soja, não verificaram respostas quando em adubação pré semeadura, semeadura e em pós-emergência. Cavalini et al. (2018) e Nandi et al. (2018) estudando épocas e formas de aplicação de potássio em soja, constataram que o crescimento e a produtividade da soja não são afetados pela fertilização potássica, tampouco pela época de aplicação do fertilizante, desde que o teor de K no solo esteja alto.

Silva et al. (2013) também não encontraram diferença na variável produtividade de grãos, e podem ser explicados devido a disponibilidade de K para as plantas, influenciado por fatores relacionados ao solo, através da atividade de K na solução, disponibilidade, transporte do nutriente até as raízes e perdas por lixiviação, às propriedades da planta, através da morfologia do sistema radicular e aos parâmetros cinéticos de absorção, e às condições climáticas, como temperatura e umidade do solo,

pois o aumento da temperatura favorece tanto difusão de K no solo quanto o processo de absorção e, a umidade do solo, que também favorece a absorção de K, pois aumenta o transporte do mesmo até às raízes pelos diferentes mecanismos (ERNANI et al., 2007). Isso enfatiza que diversos são os fatores envolvidos nessa dinâmica.

A adubação potássica em cobertura, na soja, já é na prática recomendada no meio agrônômico. É fundamentada, principalmente pela logística do agricultor ao realizar as operações agrícolas (BERNARDI et al., 2009) e pela ciência de que na aplicação em linha, existe uma tendência de concentração de nutriente nos locais fertilizados, podendo ocorrer problemas quando aplicados em doses muito altas (ZANCANARO et al., 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado na área agrícola didática e experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul-*Campus* Ibirubá (Figura 3), a uma latitude de 28°39'19.21", longitude de 53° 06'17,90" e 436 metros acima do nível do mar. Segundo Köppen e Geiger a classificação do clima é Cfa subtropical úmido, com precipitação bem distribuídas ao longo do ano e estações bem definidas, apresentando uma temperatura média de 19,1° C e pluviosidade média anual de 1650 mm. Segundo Embrapa (2018), o solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, pertencente à unidade de mapeamento Cruz Alta.



Figura 3-Localização do experimento no IFRS-Campus Ibirubá.

Fonte: Google Earth

3.2 TRATAMENTOS

O experimento foi realizado utilizando o delineamento de blocos ao acaso, com 6 tratamentos e 4 repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Cada unidade experimental possuía 3,5 m de largura x 5 m de comprimento, somando 17,5 m². O experimento ocupou uma área de 663 m² (39 m de comprimento x 17 m de largura) e pode ser visualizado, também, na Figura 3.

Na data de 28 de agosto de 2019, iniciou-se os trabalhos no experimento, onde foi realizada a coleta de solo na área experimental, na camada de 0-10 cm e 10-20 cm (Figura 4) , para posteriormente, ser realizada a análise de solo e a recomendação de adubação necessária. A metodologia de amostragem de solo seguiu o preconizado no Manual de Calagem e Adubação dos Estados de SC e RS (2016).



Figura 4. Coleta de amostras deformadas de solo para avaliação da fertilidade, indicando as profundidades amostradas e trincheira (A) e as fatias de solo representativas às camadas 0-10 cm e 10-20 cm (B).

Fonte: O autor, 2019

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo da Universidade de Passo Fundo. O solo apresentou as seguintes propriedades químicas, na camada 0-10 cm: SMP: 5,5; pH em H₂O: 5,5; CTC (cmol_c.dm⁻³) 17,2; P (mg.dm⁻³) 35,1; K (mg.dm⁻³) 158; e Matéria Orgânica (%) 3,5.

A partir do laudo de análise química do solo, os atributos químicos foram interpretados e a recomendação da adubação para a cultura da soja foi realizada, segundo o Manual de Calagem e Adubação dos Estados de SC e RS (2016).

Considerou-se a cultura da soja como adubação para primeiro cultivo, expectativa de rendimento foi fixada em 4.800 kg.ha^{-1} , cultura de gramínea como antecessora e sistema de plantio direto consolidado sem restrições na camada subsuperficial. Segundo a interpretação e recomendação do Manual de Calagem e Adubação dos Estados de SC e RS (2016), o teor de P encontrava-se em nível muito alto, podendo zerar adubação, e o teor de K no solo foi considerado alto, cuja recomendação de potássio para aquele cultivo foi de 120 kg.ha^{-1} .

3.3.1 Aplicação dos tratamentos

A semeadura da soja estava prevista para a primeira semana de novembro, no ano agrícola de 2019/2020.

Foram utilizados 6 tratamentos, dispostos conforme croqui (figura 5):

1. Testemunha: ausência de adubação potássica; T1 (Sem K)
2. Pré-semeadura: aplicação a lanço da totalidade da recomendação potássica de forma manual 15 dias antes da semeadura, T2 (100% K 15 DAntesS)
3. Pós semeadura: aplicação a lanço da totalidade da recomendação potássica de forma manual 30 dias após a semeadura, T3 (100% K 30 DAposS)
4. Adubação na Base: totalidade da recomendação potássica será realizada na linha de semeadura, T4 (100% K Base)
5. Parcelado: 50% da recomendação potássica 15 dias antes da semeadura a lanço e 50% da recomendação potássica na linha de semeadura, T5 (50% K 15 DAntesS + 50% K Base)
6. Parcelado: 50% da recomendação potássica na linha de semeadura e 50% 30 dias após a semeadura a lanço, T6; (50% K Base + 50% K DAposS)

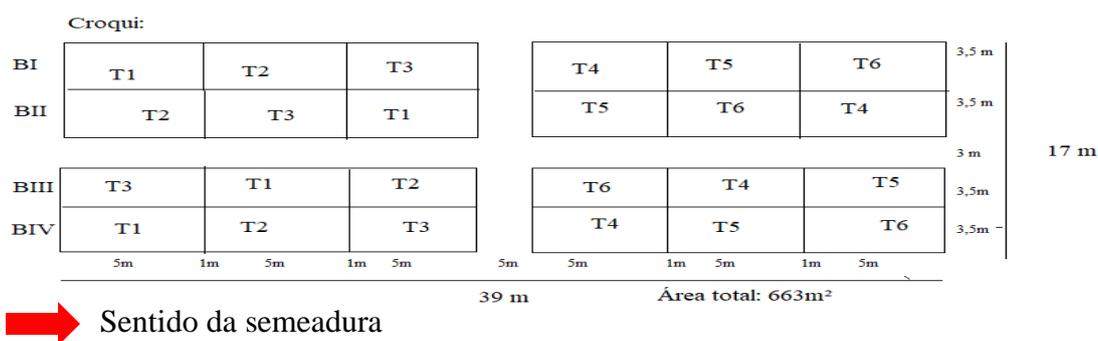


Figura 5: Croqui do experimento.

Fonte: O autor, 2019.

No dia 9 de outubro de 2019 iniciaram-se as aplicações dos tratamentos no experimento, nesta data foi aplicada as doses de K na pré-semeadura (Figura 6), nos tratamentos da totalidade da recomendação potássica, de forma manual 15 dias antes da semeadura, (T2) e parcelado 50% da recomendação potássica 15 dias antes da semeadura e 50% da recomendação potássica na linha de semeadura (T5). Essas aplicações foram realizadas a lanço.



Figura 6: Aplicação de KCL em pré semeadura.

Fonte: O autor, 2019

Em 24 de outubro de 2019 realizou-se a semeadura da cultura da soja, (Figura 7). com cultivar Dom Mario 53i54, de porte médio, hábito de crescimento indeterminado e grupo de maturação 5.4. A semeadura foi realizada sobre sistema plantio direto (SPD), em cobertura de aveia preta (*Avena sativa*). A semeadora utilizada foi uma Panter 7000, da marca Vence Tudo, com 7 linhas espaçadas entre si em 0,45 m, regulada para distribuir 14 sementes por metro linear a uma profundidade de 3 cm. Os tratamentos em que a adubação potássica era realizada na linha de semeadura foram ajustados por meio de regulagem nas engrenagens de distribuição de fertilizante da semeadora.



Figura7: Semeadura do experimento.

Fonte: O autor, 2019

A aplicação do K em cobertura nos tratamentos pós semeadura, aplicação da totalidade da recomendação potássica de forma manual 30 dias após a semeadura (T3) e parcelado 50% da recomendação potássica na linha de semeadura e 50% 30 dias após a semeadura (T6), foi realizada na data de 23 de novembro de 2019.(Figura8)



Figura 8: Aplicação de KCl de forma manual, 30 dias após a semeadura.

Fonte: O autor, 2019.

Quanto aos tratos culturais, adotaram-se os tratamentos padrões realizados pelo Setor Agropecuário do IFRS Campus Ibirubá, que foram realizados conforme a necessidade e disponibilidade de produtos.

3.3 PARÂMETROS AVALIADOS

3.3.1 Matéria seca e matéria verde da soja no florescimento

No estágio de pleno florescimento da cultura da soja, na data de 18 de dezembro de 2019, foi realizada a coleta de 10 plantas de cada parcela para a determinação da matéria verde e seca da cultura, pois é a época onde a planta atinge o ponto máximo de crescimento. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, (Figura 9), tiveram a massa quantificada logo após a coleta (Figura 10) e foram encaminhadas para secagem em uma estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 60 °C por um tempo de, aproximadamente, 72 horas, e então foi quantificada sua massa e estimada a produção de toneladas MS.ha⁻¹.



Figura 9: Plantas de soja acondicionadas em sacos de papel para posteriormente ser determinada sua matéria verde (MV) e matéria seca (MS).

Fonte: O autor, 2019.



Figura 10: Quantificação da matéria seca (MS) da cultura da soja.

Fonte: O autor, 2019

3.3.3 Avaliação dos componentes de rendimento

No estágio de maturação fisiológica da cultura da soja, em 03/03/2020 foram colhidas as 3 linhas centrais, em um comprimento de 3 metros de cada parcela, (Figura 11) para então ser feita a determinação dos componentes de rendimento (Figura 12) sendo eles: número de plantas por área, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Para a avaliação do número de vagem por planta e número de grãos por vagem (Figura 13) a determinação foi realizada amostrando-se 10 plantas por parcela.

Para estimativa do rendimento de grãos, determinação da umidade dos grãos e peso de mil grãos, todas as plantas colhidas foram submetidas à debulha e trilha mecânica. A umidade foi avaliada por meio de um determinador de umidade de grãos. A massa dos grãos foi quantificada e a umidade corrigida a 13%, através de uma fórmula pré definida. Para a determinação de PMG, procedeu-se 10 contagens de 100 grãos e quantificação da massa. (Figura 14 a e b).

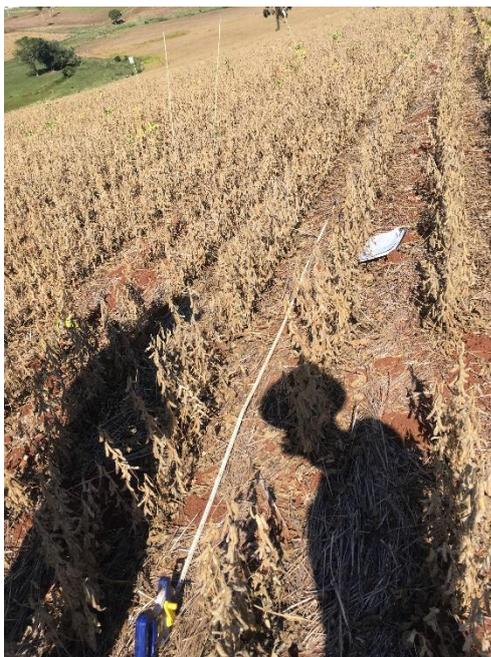


Figura 11: Medição de 3 metros lineares para a colheita da parcela.

Fonte: O autor, 2020



Figura 12: Colheita dos tratamentos.

Fonte: O autor, 2020



Figura 13: Determinação do número de grãos por vagem.

Fonte: O autor, 2020



Figura 14: Determinação do PMG (A) Escolha dos grãos de soja para a quantificação do PMG e (B) pesagem das amostras.

Fonte: O autor, 2020

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística consistiu em submeter os dados à análise de variância e, quando essa mostrou efeito significativo de algum fator de variação, as médias dos dados com fatores qualitativos, foram comparadas por teste de Tukey, considerando 5% de probabilidade de erro. As análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico Sisvar® 5.6 (FERREIRA, 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quanto à avaliação de matéria verde da cultura da soja, como pode ser visualizado no Gráfico 1, não foram observadas diferenças entre os tratamentos, sendo que eles variaram de 33,64 e 37,22 gramas por plantas. Em razão da importância do potássio para a regulação osmótica das plantas e, como o ano agrícola 2019/2020 foi marcado por déficit hídrico, a hipótese desse estudo era de que essa avaliação poderia evidenciar diferenças entre os tratamentos.

Os dados aqui apresentados são corroborados por Guareschi et al. (2011), que ao estudarem adubação antecipada na cultura da soja com cloreto de potássio revestidos por polímeros, verificaram ausência de diferença entre os tratamentos quanto à produção de matéria fresca na cultura da soja. Esses autores apenas constataram que a ausência de adubação potássica se tornou prejudicial ao desenvolvimento vegetativo da cultura.

Segundo Tanaka (1993) a ausência de adubação a base de K prejudica a produção de massa fresca. No entanto, essa não foi uma constatação desse estudo, já que o tratamento testemunha não diferiu dos demais.

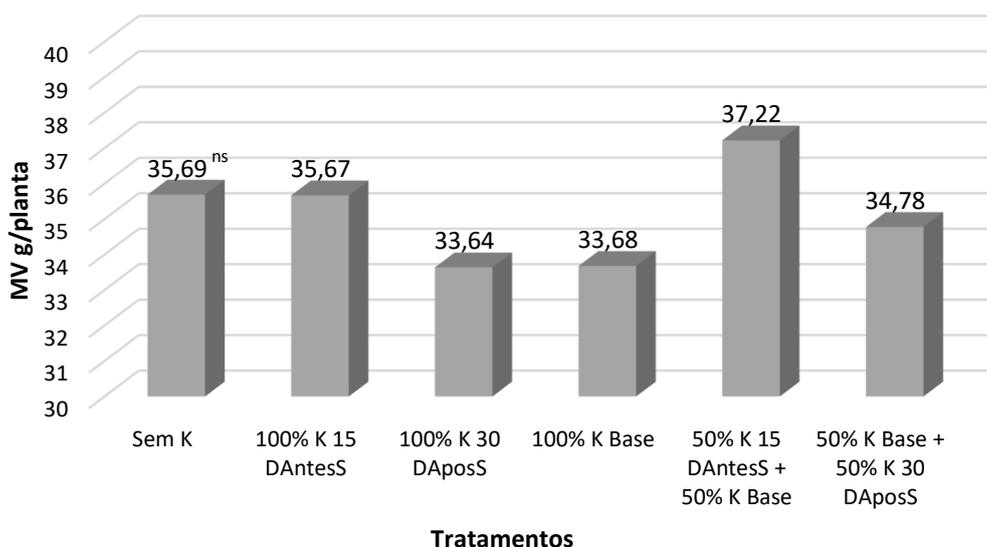


Gráfico 1. Produção de matéria verde (MV) no florescimento, em gramas por planta.

Fonte: O autor, 2020

De igual forma, a matéria seca da soja, coletada em pleno florescimento (Gráfico 2), não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Segundo Ferreira (2015), ao avaliarem o efeito da adubação com potássio sobre as características agrônômicas e a qualidade de sementes de soja, perceberam que os diferentes métodos de adubação potássica estudadas influenciaram na massa seca da parte aérea. Esses autores relatam que a adubação de K em pós semeadura promoveu uma maior produção de massa seca, enquanto a adubação a lanço em pré semeadura foi a menos eficiente no acúmulo de massa seca pelas plantas de soja.

Antigo et al. (2019), avaliando parâmetros agrônômicos da cultura soja em resposta a diferentes doses de adubação potássica, no que se refere à variável massa seca da parte aérea, verificaram que houve diferença significativa mediante o fornecimento de potássio, quando comparado com a testemunha. Tais resultados podem ser creditados ao fato de que o K influencia alguns processos metabólicos da planta, como por exemplo, a fotossíntese e a translocação de fotoassimilados (JÚLIO et al., 2016).

Sobre concentração adequada de potássio nas plantas, levando em consideração que este nutriente regula a abertura e fechamento estomático e que este por sua vez está ligado ao processo fotossintético, o fornecimento de potássio estimula uma melhor produção de fotoassimilados pela planta e, conseqüentemente, um melhor desenvolvimento vegetativo e reprodutivo no vegetal (NOVAIS et al., 2007). Tais resultados também foram encontrados em outras pesquisas e outras culturas, como por exemplo em Sampaio et al. (2016), que demonstraram a importância do potássio sobre o crescimento de plantas de eucalipto.

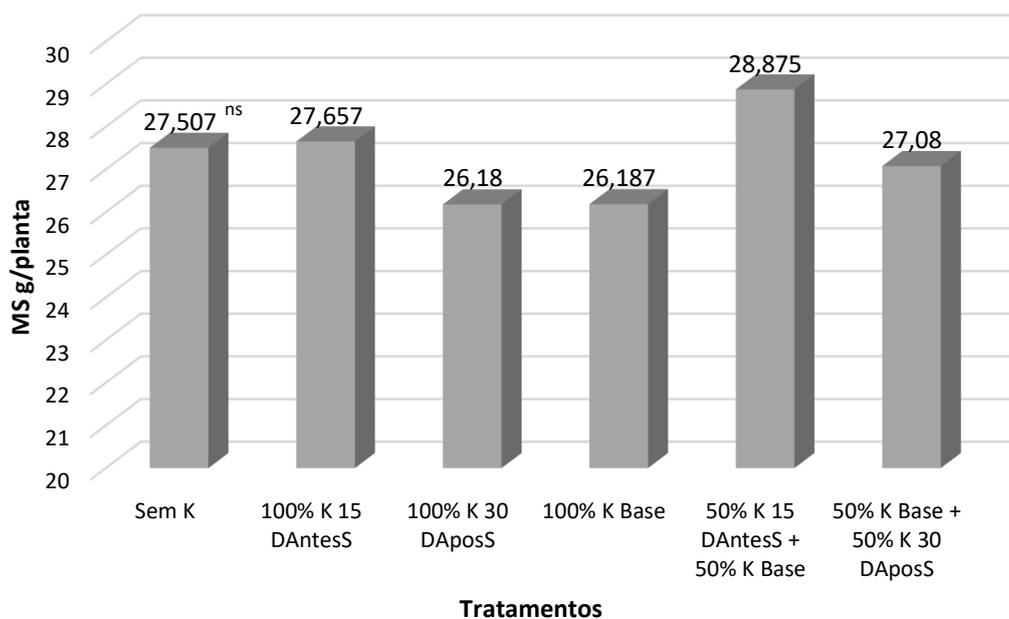


Gráfico 2. Produção de matéria seca (MS) no florescimento, em gramas por planta.

Fonte: O autor, 2020

A produção de matéria seca, em presença de fertilizantes potássicos aplicados diretamente no sulco de semeadura ou a lanço de forma antecipada, ou após a semeadura, tem fornecido subsídios interessantes, que podem auxiliar positivamente e servir como indicador do crescimento das plantas (CORDEIRO, 1980).

Assim, Cartter, Hopper & Togari, citados por HOWELL (1960), mostraram que o peso total da matéria seca e as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, continuam a aumentar até o período próximo à maturação. Depois desses períodos começa a haver um decréscimo no peso total da planta, ocorrendo o mesmo em relação ao peso das sementes.

No Brasil, MASCARENHAS (1972) constatou que entre 60 e 80 dias ocorre maior acúmulo de matéria seca na planta e o peso de matéria seca de vagens e sementes continua aumentando até a maturação, enquanto que na parte vegetativa, há diminuição após os 80 dias, devido as migrações dos nutrientes para as vagens e sementes e também pela queda de folhas. Ainda, o autor ressalta que a maior intensidade de absorção de macronutrientes ocorre durante o período de 60 a 80 dias, que compreende o fim do período de florescimento, até o início da formação de vagens.

Referente aos parâmetros avaliados: plantas por metro linear, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de mil grãos, como podemos observar na Tabela 1, nota-se também que não houve efeito significativo dos tratamentos.

Foi verificado por Mooy et al. (1999) que no início do crescimento, a absorção de nutrientes é relativamente maior do que a acumulação de matéria seca, causando como consequência, uma elevada concentração dos mesmos. Em estádios posteriores, quando se inicia a translocação dos nutrientes para as sementes, a concentração, nos vários tecidos, começa a decrescer.

Tabela 1. Componentes de rendimento de soja determinados em maturação fisiológica: número de plantas por área, número de vagem por planta, número de grão por vagem, peso de mil grãos (PMG) e rendimento de grãos de soja (kg ha^{-1}) safra 2019/2020.

Tratamentos	Maturação fisiológica			
	n° plantas metro linear	n° vagem planta ⁻¹	n° grão vagem ⁻¹	PMG (g)
Sem K	8,25 ^{ns}	46,37 ^{ns}	2,21 ^{ns}	136,67 ^{ns}
100% K 15 DA _{ntes} S	7,00	49,87	2,30	135,96
100% K 30 DA _{pós} S	7,25	60,75	2,35	138,90
100% K BASE	8,25	47,00	2,33	135,96
50% K 15 DA _{ntes} S + 50% K BASE	8,00	49,12	2,33	133,28
50% K BASE + 50% K 30 DA _{pós} S	8,00	50,12	2,60	136,97
Média	7,79	50,54	2,35	136,21
C.V. (%)	22,28	25,83	19,28	6,31

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Ns: não significativo

Fonte: O autor, 2020

Na avaliação de plantas de soja por metro linear, podemos observar que houve um baixo número de plantas estabelecidas, como pode ser observado na Tabela 1, não havendo diferença significativa entre os tratamentos. A recomendação de estande de plantas para essa cultivar seria entre 12 a 14 plantas por metro linear, segundo consta no catálogo de cultivares da empresa DONMARIO. Nota-se que o estabelecimento de plantas no experimento ficou muito abaixo do número ideal.

Tal observação pode ser justificada pelo fato de que a área teve incidência do tombamento de plantas/damping off, que pode ser causado principalmente pelos fungos *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora* e as condições de ambiente favoráveis para o desenvolvimento desse fungo, que ocorreram durante a fase inicial de condução do

experimento, como solos excessivamente encharcados e temperaturas amenas (entre 15 e 20°C) (AMORIN et al., 2011), podem ter contribuído para o baixo estande de plantas. Assim, não foi possível correlacionar a variável aos modos de aplicação de potássio, sendo que esses não interferiram no estabelecimento final de plantas, pois as doses aplicadas na linha de semeadura não excederam os recomendados pela EMBRAPA. Cavalin et al. (2018), avaliando resposta da soja a épocas de aplicação de potássio em cobertura, observaram que também não houve diferença no número de plantas por metro linear.

Apesar de neste trabalho não ter encontrado diferença significativa entre os tratamentos para variável vagens por planta, Cavalin et al. (2018) estudando a resposta da soja a épocas de aplicação de potássio em cobertura, observou que a variável vagens por plantas foi aumentada no tratamento em que a adubação ocorreu via superfície a lanço 50 % da dose no plantio + 25% da dose 5 dias após o plantio + 25% da dose 30 dias após o plantio, produzindo uma média de 59,10 vagens por planta. No presente estudo, observou-se uma média de 50,54 vagens por planta.

Outros resultados repertoriados na literatura, como em Ávila (2018) no estudo sobre diferentes épocas e formas de aplicação de KCl na cultura da soja, mostram tendência a maior número de vagens quando a aplicação do fertilizante ocorreu 15 dias após semeadura. Já, Bharati et al. (1986) relatam que o maior número de vagens por planta foi observado quando a adubação potássica foi parcelada.

Guareschi (2011), estudando a adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros, observaram que ao utilizar fertilizante convencional na semeadura foram obtidos maiores valores de número de vagens por planta, enquanto que com o emprego de fertilizante revestido por polímero, o número de vagens por planta, foram estatisticamente iguais entre as épocas de aplicação. Diante disso, é possível verificar que os tipos de fertilizantes, os modos de aplicação e as condições experimentais dos locais exercem forte influência sobre a dinâmica do nutriente no solo, pois as perdas por lixiviação e a fixação do nutriente em sítios de troca regem sua eficiência (VIEIRA e TEXEIRA, 2004).

Nas médias dos tratamentos quanto ao número de grãos por vagem e peso de mil grãos, apresentado na Tabela 1, fica evidenciado que nenhum dos tratamentos influenciou significativamente. Em média geral, no presente estudo observou-se 2,35 grãos por vagem e PMG de 136,21 g.

Fouani (2020) estudando produtividade da soja submetida a diferentes formas de adubação, constatou que a variável grãos por vagem não apresentou diferença significativa independente do tratamento realizado. Esse comportamento também foi identificado por Guareschi et al. (2008). Vale ressaltar que essa é uma das variáveis mais importantes para a elevada produção de soja (Fontoura, 2005).

Fouani 2020, para a variável peso de mil grãos, não encontrou diferença significativa entre os tratamentos. Peter et al. (2016), também não encontrou diferença considerável nessa variável. Autores com estudos realizados a respeito do peso de mil grãos, com doses de fósforo e potássio, relataram que não encontraram diferença significativa nessa variável (FILHO et al., 2011). Guareschi et al. (2008), a partir do estudo de diferentes formas de adubação em soja, não detectou diferença significativa para peso de 1000 grãos.

Outros estudos sobre a temática modos de aplicação de potássio e os efeitos sobre o número de grãos por vagem, como os de Bharati et al. (1986), Coale e Grove (1990) e Lana et al. (2000) apontam que o parcelamento da adubação potássica aumenta o número de vagens e o número de grãos por vagem. No entanto, essa informação não pode ser corroborada no presente estudo. O mesmo ocorreu para a variável PMG, que não diferiu entre os modos de aplicação de K, assim como nos achados de Cavalini et al. (2018) e Antigo et al. (2019). Muito embora estudos comprovem maior PMG quando a adubação potássica foi realizada em cobertura 15 e 30 dias após a semeadura (AVILA et al., 2018; SALIB et al., 2012).

Os principais apontamentos para que as variáveis matéria verde e seca, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de mil grãos não terem apresentado diferença significativas, seriam que o nível elevado de K no solo (alto) pode ter sido suficiente para manter o crescimento vegetal, fornecendo todo aporte de K necessário para o desenvolvimento da cultura. Outra possibilidade seria de que os tratamentos sofreram várias interferências climáticas durante o período de desenvolvimento do experimento, dentre elas pode-se destacar num primeiro momento as baixas temperaturas e excesso de chuva, e a partir da metade do ciclo da cultura, a estiagem. Os dados de temperaturas máximas e mínimas (T °C) e precipitação (mm) ocorridos durante o ciclo da cultura da soja safra (2019/2020) no município de Ibirubá-RS, os dados foram retirados da estação experimental do INMET localizada no IFRS-campus Ibirubá e estão apresentados no Gráfico 3.

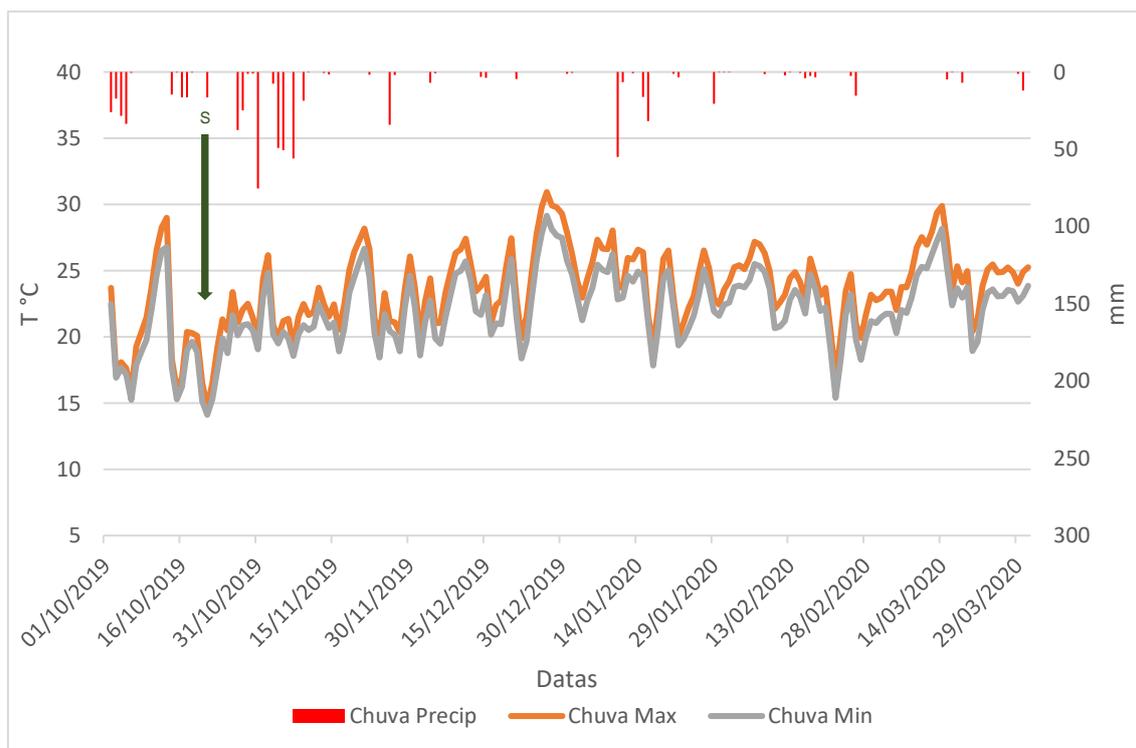


Gráfico 3. Temperaturas máximas e mínimas ($T^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm) ocorridos durante o ciclo da cultura da soja safra (2019/2020) no município de Ibirubá-RS. Semeadura da soja foi realizada em 24/10/2019.

Fonte: Estação experimental do INMET localizada em Ibirubá.

Como demonstrado no Gráfico 3 nota-se que no período inicial do experimento, na aplicação dos tratamentos T2 (100% K 15 dias antes da semeadura) e T5 (50% K 15 dias antes da semeadura + 50% K na linha de semeadura) que previam aplicação antecipada de K, esses tratamentos sofreram com a incidência de frequentes e volumosas precipitações, que podem ter colaborado para que houvesse a perda de K aplicado, através do processo de lixiviação, que ocorrem ao longo do perfil do solo, ou seja em profundidade e tanto superficialmente, as chamadas perdas por escoamento superficial, resultando em diminuição do K disponível às plantas (YAMADA; ROBERTS, 2005). Entre os dias 09/10/2021 e 14/11/2019, houve um somatório de 408 mm. O mesmo pode ter acontecido no tratamento T4 (100% K BASE), pois logo após a semeadura registraram-se as maiores precipitações que ocorreram durante todo o ciclo da cultura (Gráfico 3).

A partir de 15/11/2019 constatou-se uma grande redução nos índices pluviométricos na área, ocasionando uma severa estiagem, que afetou drasticamente o desenvolvimento da cultura e consequentemente os componentes de rendimento (Tabela

1) e a produtividade de grãos (Gráfico 4). A disponibilidade da água é importante, principalmente em dois períodos de desenvolvimento da soja, como germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar uma boa germinação. Nesta fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total de água disponível nem ser inferior a 50% (EMBRAPA, 2009).

Segundo Casagrande et al. (2001), a falta de água na cultura soja pode afetar o processo fotossintético, tanto de forma direta, com a desidratação do citoplasma como indiretamente devido ao fechamento dos estômatos. Borrmann (2009), em estudos sobre as respostas fisiológicas da cultura da soja sob déficit hídrico, afirma que na fase de enchimento dos grãos na soja o estresse hídrico pode causar redução no tamanho, e no peso dos grãos, além da retenção da cor verde, pois a falta de água prejudica a atividade das enzimas responsáveis pela degradação da clorofila, o que resulta em alto teor de grãos verdes.

A necessidade de água na cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos, decrescendo após esse período. Neste período em que a demanda é máxima, a ocorrência de déficit hídrico, provoca alterações fisiológicas nas plantas, causando a queda prematura de folhas, de flores e abortamento de vagens, resultando em menor rendimento de grãos (NELSON, 2005).

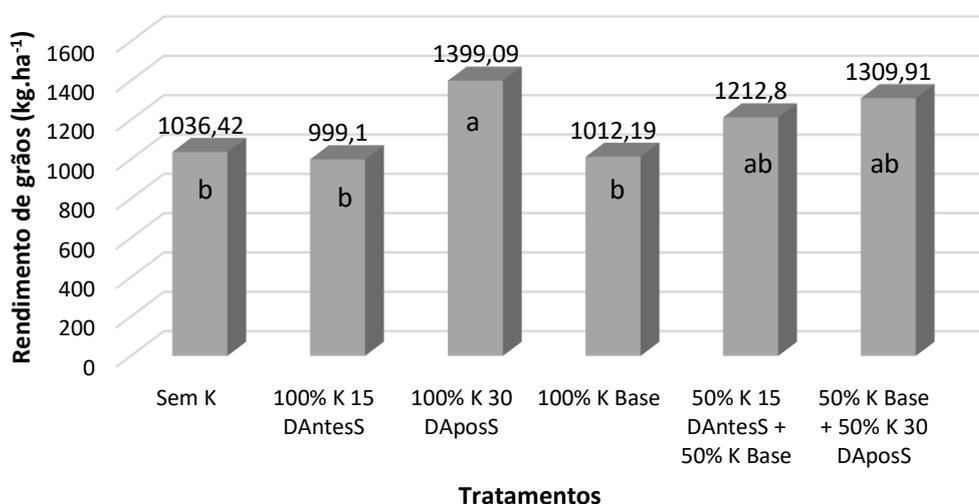


Gráfico 4: Rendimento de grãos de soja (kg ha⁻¹) safra 2019/2020.

Fonte: O autor, 2020

De acordo o Gráfico 4, a aplicação de potássio a lanço 30 dias após a semeadura (T3) apresentou maior produção de grãos. Mesmo sendo observada diferença entre os tratamentos, podemos constatar uma baixa produtividade média da cultura (1161,58 kg ha⁻¹). Na safra agrícola (2019/2020) o estado do RS registrou rendimento médio de 1.839 kg de grãos ha⁻¹, uma redução na produção estadual de 40% quando comparada à safra anterior em razão da estiagem (CONAB, 2019).

De acordo com Neumaier et al. (2000) a ocorrência de estresse hídrico em todo o subperíodo de início de enchimento de grãos e início do estágio de grãos verdes, pode reduzir drasticamente o rendimento da soja, pois quase metade dos nutrientes necessários ao enchimento de grãos provém do solo e da fixação biológica de nitrogênio. Segundo esses autores, durante a fase de enchimento de grãos a ocorrência de deficiências hídricas, acompanhadas de altas temperaturas, pode causar enrugamento dos grãos de cultivares sensíveis, reduzindo o rendimento e a qualidade da soja.

O resultado observado nesse estudo pode ser atribuído ao histórico climático ocorrido na safra 2019/2020, cujos dados obtidos pela estação meteorológica do Campus são expressos no Gráfico 3. Supõem-se que o grande volume de precipitação registrado antes e na primeira semana após a semeadura (datada em 24/10/2019) interferiu nos resultados experimentais.

Ainda os tratamentos com adubação a lanço em pré semeadura, receberam grandes quantidades de chuva logo após sua aplicação, e em razão do potássio ser um macronutriente muito móvel no solo e de fácil lixiviação (ROSOLEM et al., 2006), o ocorrido pode ter culminado para que ele ficasse pouco disponível para as plantas quando essas o demandaram.

Já na adubação potássica realizada em pós semeadura, os menores volumes de chuva registrados possibilitou menor lixiviação e oportunizou que o sistema radicular já estabelecido pudesse melhor absorver e assimilar o nutriente, o qual tem função de regulação osmótica (TAIZ; ZEIGER, 2013), especialmente importante em situação de estresses hídricos como o ocorrido no ano em questão, o que pode ter contribuído para maior rendimento em relação aos tratamentos que receberam adubação única em pré-semeadura ou única na base.

5.CONCLUSÃO

Os diferentes modos de aplicações de potássio não influenciaram as variáveis massa verde e massa seca em pleno florescimento, bem como nenhum dos componentes de rendimento avaliados (número de plantas por metro linear, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de mil grãos).

Maior rendimento de grãos de soja foi observado quando a adubação potássica foi aplicada a lanço de forma manual 30 dias após a semeadura da cultura da soja (100% K 30 DA_{pósS}). Não houve diferença entre esse modo de aplicação e quando houve o parcelamento da adubação potássica (50% K 15 DA_{ntesS} + 50% K BASE e 50% K BASE + 50% K 30 DA_{pósS}).

Pode-se também constatar um baixo rendimento de grãos da cultura da soja, cuja média foi de 1160,58 kg.ha⁻¹, justificável pelas condições climáticas ocorridas da safra agrícola 2019/2020, onde registrou-se um severo déficit hídrico durante o final do ciclo da cultura.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I.C. et al. **Adubação potássica: fontes e doses no cultivo da soja.**2015. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/907.pdf>
- BERNARDI, A. C. de C. et al. **Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.
- BORKERT, C. M. et al. **Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em latossolo roxo álico.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 32, n. 11, p. 1119-1129, nov. 1997a.
- BORKERT, C. M. et al. **Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em latossolo roxo distrófico.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 32, n. 12, p. 1235-1249, dez. 1997b.
- BORKERT, C. M.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA-JUNIOR, A. **O potássio na cultura da soja.** In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, POTAFÓS, 2005a. p. 671-713.
- BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; FARIAS, J. R. B.; TUTIDA, F.; SPOLADORI, C. L. **Resposta da soja a adubação e disponibilidade de potássio em Latossolo Roxo eutrófico.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 32, n. 12, p. 1235-1249, 1997
- BORKERT, C. M.; YAMADA, T. **Resposta da soja à adubação potássica em oxissolo de baixa fertilidade.** Informações Agrônômicas, 92 – POTAFOS – Dez. 2000.
- BROCH, D. et al. **Estado Nutricional e Produtividade de Soja em resposta a Doses e Fontes de Potássio.** 2015. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1008.pdf>
- CAMPANTE, E. **Sementes é Tecnologia,** Especial ABRASEM, 2014 Disponível em . Acesso em: fev. 2020.
- CARMO, C. A. F. S. et al. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Circular técnica, 6).
- CARVALHO, M. C. S. et al. **Nutrição, calagem e adubação.** In: BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de (Orgs.). O Agronegócio do algodão no Brasil. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 679-789.
- CASTOLDI, G. et al. **Manejo da adubação em sistema plantio direto.** Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas, v. 6, n. 1, p. 62-74, 2012.
- CELOTO.F.; **Cultura da Soja: Nutrição e Adubação.** Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitotecniatecnologiadealimentosesocioeconomia716/edsonlazarini/nutricao-adubacao.pdf>
- CHUEIRI, W.A.; CARDOSO JÚNIOR, O. & REIS JÚNIOR, R.A. **Manejo do potássio na adubação de semeadura.** Manah, 2004. 4p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO –RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 2016

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra 2019/20.** V. 7 n. 08. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/31816_8205b9f47c0cc1c35be2d0a2cc5c7322 Acesso em: 25 out. 2020.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Acomp. safra bras. grãos, v. 4 Safra 2016/17 - Nono levantamento, Brasília, p. 1-161 junho 2017.

DIERINGS, W. **Recuperação do potássio adicionado em solos com diferentes teores e o efeito na disponibilidade às plantas.**2012. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Dissertacoes/WAGNER-DIERINGS.pdf>

EMBRAPA. **A importância estratégica do potássio para o Brasil.** 2003. Disponível em em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568191/1/doc100.pdf>

EMBRAPA. **Cultivares de soja – regiões sul e central do Brasil.** Londrina, Embrapa Soja. 62 p. 2010. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/FolhetoSoja.pdf>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja região Central do Brasil 2005.** Embrapa Soja. Sistema de Produção, n. 6, 2005

EMBRAPA. **Soja em números (safra 16/17).** Html (Embrapa Soja, Atualizado em junho de 2017) disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 19/20).** Html (Embrapa Soja, Atualizado em junho de 2020) disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>.

EMBRAPA. **Soja. 2020.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>>. Acesso em: dez. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil,** 2007. Londrina: Embrapa, 2006. 225p.

EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas: princípios e perspectivas.** Londrina, editora planta. 2004. 403p

EUSTÁQUIO, M. S.; BUZZETI, S. (Eds.). **Importância da adubação na qualidade de produtos agrícolas.** São Paulo: Ícone, 1994. p. 189-215.

FAQUIM, V. **Nutrição Mineral de plantas.**2005. Disponível em: http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquim/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf

FOLONI, José Salvador Simoneti; ROSOLEM, Ciro Antônio. **Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 32, n. 4,

p.1549-1561, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000400019>.

FOUANI, A.K. **Produtividade da soja submetida a diferentes formas de adubação**,2020. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/7379/1/FOUANI%20Arthur%20Kil%3b%20BARALDO%20Wermerson%20Marcos.pdf>.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. **Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 29, n. 4, p. 769-774, 2008.

JUNIOR, A.O.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.; **Potássio: manutenção do equilíbrio nutricional da soja**, 2019. Disponível em : <https://maissoja.com.br/potassio-manutencao-do-equilibrio-nutricional-da-soja/>

LAZARINI, E. **Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja**. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 2, p. 222-227, 2012.

MALAVOLTA, E. **O potássio e a planta**. Piracicaba: POTAFOS, 1982. 61 p. (POTAFOS. Boletim Técnico, 1).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MANTOVANI, A.; RIBEIRO, J.F.; VEIGA, M.; ZILIO, M.; FELICIO, T.P.; **Métodos de aplicação de potássio na soja em nitossolo vermelho**.2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/235124323.pdf>.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. **Calagem e adubação da soja**. In: Fundação Cargil. A soja no Brasil central. 2. ed. Campinas: fundação Cargil, 1982. p. 137-211.

MATOS, M.A.; SALVI, J.V.; MILAN, M. **Pontualidade na operação de semeadura e a antecipação da adubação e suas influências na receita líquida da cultura da soja**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.2, p.493-501, 2006.

MATOS, A.K.V.; **Revolução verde, biotecnologia e tecnologias alternativas**,2010. Cadernos da FUCAMP, v.10, n.12. Disponível em <http://fucamp.edu.br/editora/index.php/cadernos/article/viewFile/134/120>.

MELLO, F. **Fertilidade do solo**. Piracicaba, 1987.223p.

MELO, C.; **Melhoramento genético e ambientes de produção de soja**. Workshop Desafio para aumentos da produtividade da soja, 2016. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355202/1529289/CARLOS+LASARO_Workshop++melhoramento+x+produtividade+25-10-16final/738af129-cdb6-4d1a-a9c1-4f5d6d6e308e?version=1.0

MIELNICZUK, J. & SELBACH, P. **Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul**. R. Bras. Ci. Solo, 2:115-120, 1979.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos.** Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre – RS, 2005.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F.A. de; JORDÃO, L.T. **Adubação potássica da soja: cuidado no balanço de nutrientes.** Informações agronômicas n. 143 sets/2013. IPNI 1 a 10

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C. **Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa - MG, v. 34, n. 4, p. 1137-1145, 2010

PEREIRA, H. **Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados.** 2009. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade04.pdf>

PRADO, R. **Nutrição de plantas.** São Paulo, 2008. 161p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.

RODRIGUES, V.; **Reatividade e eficiência agronômica do hidropotássio e do pó de rocha sienítica ultrapotássica como fontes de silício e potássio para as plantas,** 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20689/1/ReatividadeEfici%c3%aanciaAgronomicaHydropotassio.pdf>.

ROSOLEM, C, A; CALONEGO, J, C; FOLONI, J S, S. **Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida.** Revista Brasileira. Ciência do Solo, v.15, nº.21, p.5-9, 2003.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; RIBEIRO, D. B. O. **Formas de potássio no solo e nutrição potássica da soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 12, n. 1, p. 121-125, 1988.

ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J.; MACHADO, J. R.; YAMADA, T. **Adubação potássica da soja em Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1319-1326, 1984.

SÁ, M. E. **Importância da adubação na qualidade de semente.** In: SÁ, M.E.; BUZZETI, S. eds. Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas. São Paulo: Ícone, 1994. p. 65-98.

SALIB, G. C.; PERIN, A.; RIBEIRO, J. M. M.; RATKE, R. F.; SILVEIRA, F. O.; JUNIOR, N. J. S. **Desempenho da cultura da soja submetida ao parcelamento da adubação potássica.** Instituto federal de educação, ciência e tecnologia. Rio Verde – GO, 2012.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. **Melhoramento da soja.** In: BORÉM A. **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: Editora UFV, 2005. p. 553- 603.

SENGIK, E. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas,** 2003. Disponível em: <http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>

SILVA, Amilton Ferreira; LAZARINI, Edson. **Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura.** *Semina: Ciências Agrárias*, [s.l.], v. 35, n. 1, p.179-188, 26 fev. 2014. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p179>.

SILVA, J. et al. **Métodos de aplicação de potássio na cultura da soja.** 2013. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/341.pdf>

SILVA, N. M. et al. **Estudo do parcelamento da adubação potássica do algodoeiro.** *Bragantia, Campinas*, v. 43, n. 1, p. 111-124, 1984.

SILVA, N. M.; KOONDO, J. I.; SABINO, N. P. **Importância da adubação na qualidade do algodão e outras plantas fibrosas.** In:

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. **Influência da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 36, n. 10, p. 1269-1275, 2001.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. **Nutrição mineral da soja.** In: *CULTURA DA SOJA NOS CERRADOS*. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 105-135.

VEIGA, A. D. et al. **Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de semente de soja.** *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v. 34, n. 4, p. 953-960, 2010.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G.; SILVA, J. E. **Adubação potássica.** In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 169-183.

WERLE, R. et al. **Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo.** 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n6/v32n6a09.pdf>

ZANCANARO, L.; HILLESHEIM, J.; HOOGERHIDE, H.; VERONESE, M.; VILELA, L.; FRANCISCO, E. A. B. **Manejo do solo, adubação e nutrição da cultura da soja.** In: HIROMOTO, D. M.; CAJU, J.; CAMACHO, S. A. (Ed.). *Boletim de pesquisa de soja 2009*. Rondonópolis: Fundação MT, 2009. n. 13. p. 270-285.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. C.; HILLESHEIM, J. **Adubação fosfatada e potássica da soja no cerrado.** Potafos: *Informações agrônômicas* n. 98, 2002.