

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANI GOUVEIA BERLEZE

**CALCÁRIO AGRÍCOLA CONVENCIONAL E GRANULADO NA PRODUTIVIDADE
E CARACTERÍSTICAS FITOMÉTRICAS DA SOJA**

IVAIPORÃ

2024

GIOVANI GOUVEIA BERLEZE

**CALCÁRIO AGRÍCOLA CONVENCIONAL E GRANULADO NA PRODUTIVIDADE
E CARACTERÍSTICAS FITOMÉTRICAS DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal do Paraná, como parte dos requisitos mínimos necessários à obtenção do grau em bacharelado em engenharia agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Denis Santiago da Costa

IVAIPORÃ

2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

Douglas Miguel Lopes dos Santos

INFLUÊNCIA DA CALAGEM E SUBSOLAGEM NA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO E NO TEOR DE CLOROFILA DO CAFÉ ARÁBICA

O presente trabalho em graduação foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:



Documento assinado digitalmente

SUELEN CRISTINA UBER

Data: 08/09/2024 17:05:54-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Suelen Cristina Uber
Instituto Federal do Paraná – Campus Ivaiporã



Documento assinado digitalmente

ELTON PAULO DOBROVOLISKI

Data: 09/09/2024 17:14:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esp. Elton Paulo Dobrovolski
Instituto Federal do Paraná – Campus Ivaiporã

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica pelo Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã.



Documento assinado digitalmente

DENIS SANTIAGO DA COSTA

Data: 09/09/2024 19:51:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coordenação do Curso Engenharia Agrônômica
Prof. Dr. Denis Santiago da Costa
Siape: 1400880



Documento assinado digitalmente

DENIS SANTIAGO DA COSTA

Data: 08/09/2024 17:00:06-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Denis Santiago da Costa (Orientador)
Siape: 1400880

Ivaiporã, 22 de agosto de 2024.

Dedico esse trabalho aos meus Pais

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha sincera gratidão a todos aqueles que contribuíram para a conclusão deste trabalho acadêmico. Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, Lúcia Helena e João Edson, pelo amor incondicional, apoio contínuo e incentivo inabalável ao longo de minha jornada educacional. Nada disso seria possível sem o seu apoio.

À minha querida namorada Ana Carolina, obrigado por estar ao meu lado em todos os desafios, por compreender minha ausência e por ser minha fonte diária de inspiração. Seu amor e paciência são a base para minha capacidade de me dedicar a este projeto.

Não posso deixar de expressar a minha profunda gratidão ao meu orientador do TCC, Dr. Denis Santiago da Costa, cuja orientação precisa, dedicação e conhecimentos valiosos foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua experiência e orientação são cruciais para concluir esta pesquisa da melhor maneira possível.

Agradeço ao IFPR por ter sido o ambiente propício para o desenvolvimento das minhas habilidades e por me proporcionar oportunidades valiosas. Aos meus professores, expresso minha mais profunda gratidão. Cada aula, cada conselho e cada desafio proposto foram peças essenciais na construção do meu conhecimento e no meu amadurecimento

A todos os amigos, familiares e colegas que de alguma maneira apoiaram e encorajaram durante esta jornada, meu muito obrigado.

"O solo é a base da agricultura, e a base
da vida."

Wendell Berry

RESUMO

A soja, (*Glycine max (L.) Merrill*), desempenha um papel vital na garantia da segurança alimentar e na condução da economia global. Contudo, a fertilidade do solo é um obstáculo para aumentar a produção de soja no Brasil. A calagem é a primeira operação a ser feita em uma área de cultivo agrícola, pois é a única forma de corrigir o pH do solo, além de uma boa fonte de cálcio e magnésio, neutraliza o alumínio do solo. Como visto a importância da calagem, com a alta difusão de corretivos agrícolas, no mercado surgem novos produtos granulados ou (peletizados) prometendo corrigir acidez do solo de forma eficiente e mais rápida em uma menor dose comparada ao calcário convencional. O objetivo geral deste ensaio foi avaliar os efeitos da aplicação de duas formas de calcário agrícola (convencional e granulado), aplicado em superfície e área de sistema plantio direto em diferentes períodos de aplicação, sobre os componentes de rendimento e produtividade da soja. O experimento foi realizado e instalado no município de Grandes Rios – PR na safra 2023/24, na chácara Fluminense. A cultivar escolhida foi a BMX Zeus IPRO, implantada no dia 28 de outubro de 2023, com uma densidade de 15 sementes por metro no espaçamento de 0,45m. O ensaio foi realizado em delineamento experimental de blocos ao acaso com 5 blocos e 5 tratamentos, totalizando 25 parcelas experimentais. Os tratamentos foram testemunha (sem aplicação), tratamento com calcário calcítico convencional 3 meses antes do plantio, tratamento com calcário granulado 3 meses antes do plantio, tratamento com calcário granulado 1,5 meses antes do plantio e tratamento com calcário granulado no plantio. A necessidade de calagem foi realizada conforme método da elevação da saturação por bases para o estado do Paraná adaptado para o valor desejado de 70%. Foi avaliado no trabalho efeitos da aplicação de calcário nos atributos químicos do solo (pH, Al, Ca, Mg, CTC e V%); população final de plantas; altura de plantas; altura da primeira vagem; número de nós no ramo principal; número de nós nos ramos laterais; número de vagens por planta; número de grãos por planta; massa de mil sementes; produtividade. Diante dos resultados, foi possível verificar que o calcário granulado foi eficiente nas características fotométricas da soja, principalmente o tratamento com 1,5 meses antes do plantio. A aplicação de calcário granulado 1,5 meses antes do plantio surgiu como o tratamento mais eficaz para o cultivo de soja. Este método levou a melhorias notáveis em vários fatores examinados no estudo, incluindo altura da planta, contagem de nós no ramo principal, número de nós nos ramos laterais, vagens por planta e o total de grãos produzidos por planta quando comparado ao grupo controle.

Palavras-chave: (*Glycine max (L.) Merrill*); Correção do solo; Produção de soja

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plays a vital role in ensuring food security and driving the global economy. However, soil fertility is an obstacle to increasing soybean production in Brazil. Liming is the first operation to be performed in an agricultural cultivation area, as it is the only way to correct soil pH. In addition to being a good source of calcium and magnesium, it neutralizes soil aluminum. Given the importance of liming, with the high diffusion of agricultural correctives, new granulated or (pelletized) products appear on the market promising to correct soil acidity efficiently and more quickly in a smaller dose compared to conventional limestone. The general objective of this trial was to evaluate the effects of applying two forms of agricultural limestone (conventional and granulated), applied to the surface and area of a no-tillage system in different application periods, on the yield and productivity components of soybean. The experiment was carried out and installed in the municipality of Grandes Rios - PR in the 2023/24 harvest, at the Fluminense farm. The cultivar chosen was BMX Zeus IPRO, planted on October 28, 2023, with a density of 15 seeds per meter at a spacing of 0.45 m. The trial was carried out in a randomized block experimental design with 5 blocks and 5 treatments, totaling 25 experimental plots. The treatments were control (without application), treatment with conventional calcitic limestone 3 months before planting, treatment with granulated limestone 3 months before planting, treatment with granulated limestone 1.5 months before planting, and treatment with granulated limestone at planting. The need for liming was determined according to the base saturation elevation method for the state of Paraná, adapted to the desired value of 70%. The effects of limestone application on soil chemical attributes (pH, Al, Ca, Mg, CTC, and V%) were evaluated in this study; final plant population; plant height; height of the first pod; number of nodes on the main branch; number of nodes on the lateral branches; number of pods per plant; number of grains per plant; mass of a thousand seeds; productivity. Given the results, it was possible to verify that granulated limestone was efficient in the photometric characteristics of soybean, especially the treatment 1.5 months before planting. The application of granulated limestone 1.5 months before planting emerged as the most effective treatment for soybean cultivation. This method led to notable improvements in several factors examined in the study, including plant height, node count on the main branch, number of nodes on the lateral branches, trips per plant and the total grains produced per plant when compared to the control group.

Keywords: (*Glycine max* (L.) Merrill); Soil correction; Soybean production

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização física (textura) e química do solo no talhão do experimento localizado no município de Grandes Rios – PR, 2023/24.....	19
Tabela 2 – Descrição dos tratamentos usados para o ensaio sobre calcários aplicados superficialmente em sistema de plantio direto.....	21
Tabela 3 – Caracterização dos atributos físico-químicos dos calcários aplicados em superfície em sistema de plantio direto.	21
Tabela 4 – Classificação dos estádios de desenvolvimento da soja.....	26
Tabela 5 – Caracterização química do solo no talhão do experimento localizado no município de Grandes Rios – PR, 03/24 a 20 cm de profundidade.....	34
Tabela 6 – Resumo análise estatística, população final de plantas (POPF), altura (ALT), altura primeira vagem (ALTV), número de nós no ramo principal (NNRP), número de nós no ramo lateral (NNRL) de plantas de soja submetidas à calagem..	36
Tabela 7 – Resumo análise estatística, Número de vagens por planta (NVP), Número de grãos por planta (NGP), Peso de mil sementes (PMS), Produtividade (PROD) de plantas de soja submetidas à calagem.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA.....	16
1.2	HIPÓTESE.....	16
1.3	OBJETIVOS.....	17
1.3.1	Objetivo geral.....	17
1.3.2	Objetivos específicos.....	17
2	DESENVOLVIMENTO	17
2.1	METODOLOGIA.....	17
2.1.1	Caracterização da área experimental.....	17
2.1.2	Implantação da lavoura e tratos culturais.....	19
2.1.3	Delineamento experimental e tratamentos.....	20
2.1.4	Parâmetros avaliados.....	22
2.1.4.1	População final de plantas.....	22
2.1.4.2	Altura de plantas, Altura da primeira vagem, Número de nós no ramo principal, Número de nós nos ramos laterais, Número de vagens por planta, Número de grãos por planta.....	23
2.1.4.3	Massa de mil sementes.....	23
2.1.4.4	Produtividade.....	24
2.1.5	Análises estatísticas.....	24
2.2	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.2.1	Importância sócio econômica da soja.....	24
2.2.2	Classificação botânica e morfologia.....	25
2.2.3	Estádios de desenvolvimento da planta de soja.....	26
2.2.4	Calagem.....	28
2.2.5	Calagem em sistema de plantio direto.....	31
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
3	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41

1.INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma planta originária da china, no Brasil inicialmente era utilizada inicialmente para produção de biomassa para alimentação animal na região sul do Brasil. Depois de mais de cinquenta anos da sua chegada ao Brasil passou a ter interesse científico e foram produzidas variedades adaptadas ao clima subtropical e tropical do Brasil. Hoje tornou-se uma das maiores commodities brasileiras e do mundo, utilizada tanto para alimentação humana quanto animal. Hoje o Brasil é o maior produtor de soja do mundo, seguido por Estados Unidos e Argentina.

A soja é uma planta de ciclo determinado, semi determinado ou indeterminado, dependendo da cultivar. Possui caule ereto e ramificações por todo seu caule, flores e vagens que podem possuir de três a cinco grãos. Sua raiz é pivotante podendo conter nódulos de nitrogênio devido sua relação com o *bradyrhizobium*, esses nódulos possibilitam a absorção de nitrogênio atmosférico.

Para que haja uma boa produtividade de soja é necessário uma boa adubação, para que ocorra um bom aproveitamento da adubação é necessário realizar uma boa calagem no solo. A calagem também é um processo de adubação, pois fornece cálcio e magnésio que são nutrientes essenciais para soja, mas também a calagem realiza uma função essencial no solo que é o aumento do pH e neutralização de elementos tóxicos para as plantas como alumínio e manganês, assim favorecendo o crescimento das raízes da soja, gerando plantas que possuem mais acesso a água e nutrientes.

Para que o calcário reaja em profundidade é necessário a incorporação do mesmo que pode ser feita utilizando grades de disco ou até mesmo arados aiveca. Para uma boa reação do calcário em profundidade e aproveitamento é necessário realizar três operações conjuntas como: Aplicação da quantidade necessária de calcário, gradagem, aração e gradagem, desta forma o calcário fica bem distribuído no solo. Porém, a eficiência do calcário não está ligada somente a sua forma de aplicação, mas também a sua granulometria, quanto mais fino o calcário mais rápida é sua reação e seu aproveitamento.

Contudo, se for levado em conta práticas conservacionistas como sistema de plantio direto, o citado acima não se encaixa nos pilares que são: rotação de culturas, não

revolvimento do solo e utilização de plantas de cobertura. Com isso, o calcário é aplicado de forma superficial no solo sem incorporação. Mesmo aplicado em superfície, o calcário apresenta uma boa eficiência nas camadas rasas do solo, disponibilizando Ca e Mg, corrigindo pH e aumentando CTC, V% e SB. Também a utilização de calcário gera um desenvolvimento de raízes, matéria seca e peso de mil sementes, o que traz um retorno financeiro muito significativo para o agricultor, tudo isso por um custo relativamente baixo.

Implementado pelo mercado, o calcário granulado vem com uma proposta de ser mais eficiente e com uma facilidade para aplicação também utilizado em menores quantidades, sendo solúvel, atingindo camadas mais profundas do solo, disponibilizando Ca e Mg em boas quantidades. O calcário granulado ou peletizado é composto por carbonatos de Ca e Mg, óxidos de Ca e Mg e silicatos com adição de gesso agrícola ou não. O calcário granulado possui uma facilidade muito grande para aplicação podendo utilizar máquinas a lanço, podendo também ser aplicado no sulco de plantio, porém como um custo maior. Esse tipo de produto não possui muitos estudos, principalmente no Brasil.

1.1 Problema

O uso de corretivos da fertilidade do solo vem aumentando a cada ano e isso faz com que novas formas de insumos sejam desenvolvidos pela indústria. No sistema de plantio direto, onde é preconizado o não revolvimento do solo, o uso de calcário superficial tem demandado estudos em relação às doses, fontes, local e épocas de aplicação. O calcário granulado (ou peletizado) tem sido apresentado aos agricultores como uma nova forma de insumo com promessas de redução da dose em relação ao calcário comum e facilidades de operacionalização da distribuição nas lavouras. Sendo assim, são necessários estudos para verificar os benefícios desse tipo de insumo em relação ao calcário comum utilizado pelos agricultores.

1.2 Hipótese

Ho: A aplicação de calcário agrícola superficial em sistema de plantio direto, independente da fonte e época, não altera os componentes de rendimento e a produtividade da soja.

Ha: A aplicação de calcário agrícola superficial em sistema de plantio direto, independente da fonte e época, altera os componentes de rendimento e a produtividade da soja.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste ensaio foi avaliar os efeitos da aplicação de duas formas de calcário agrícola (convencional e granulado), aplicado em superfície e área de sistema plantio direto em diferentes períodos de aplicação, sobre os componentes de rendimento e produtividade da soja.

1.3.2 Objetivos específicos

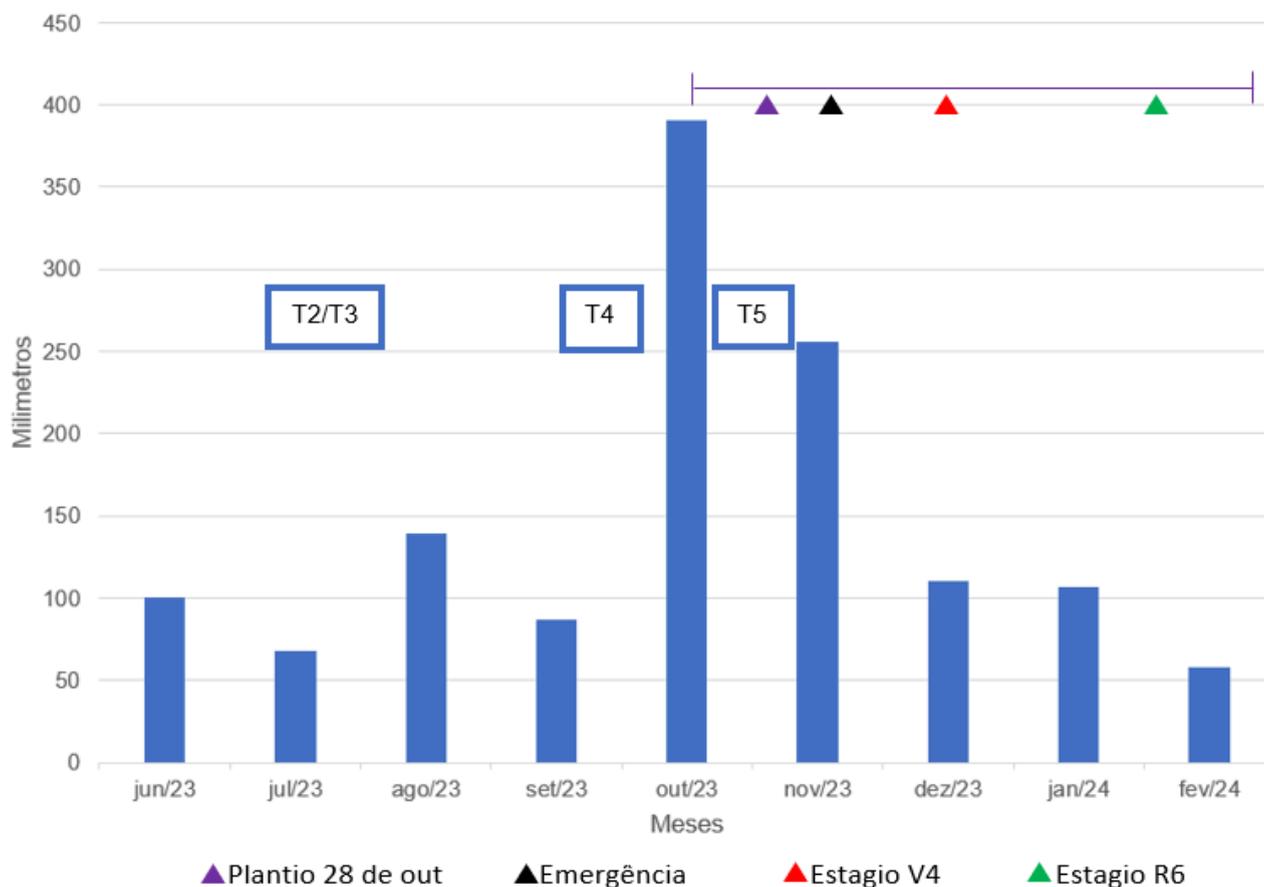
Avaliar os efeitos da aplicação de calcário nos atributos químicos do solo (pH, Al, Ca, Mg, CTC e V%); população final de plantas; altura de plantas; altura de inserção da primeira vagem; número de nós no ramo principal; número de nós nos ramos laterais; número de vagens por planta; número de grãos por planta; massa de mil sementes; produtividade.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado e instalado no município de Grandes Rios – PR na safra 2023/24, na chácara Fluminense, localizada nas coordenadas geográficas 24°08'59"S e 51°29'30"W com uma altitude de 573 metros. O solo na área é classificado como latossolo vermelho eutroférico típico (BHERING e SANTOS, 2008).

Gráfico 1 - Precipitação junho de 2023 a fevereiro de 2024

O experimento foi instalado na área cultivada soja no verão, aveia e trigo no inverno em sistema plantio direto (SPD) nos últimos anos. O solo da área foi caracterizado fisicamente (quanto a textura) e quimicamente por meio da coleta de amostras simples com 3 pontos usando um trado do tipo holandês nas profundidades de 0-20 e 20-40. As amostras simples foram alocadas em baldes plásticos e misturadas, obtendo-se uma amostra composta de onde foi retirado aproximadamente 500g e encaminhado para laboratório de análise de solos. Os resultados da caracterização estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização física (textura) e química do solo no talhão do experimento localizado no município de Grandes Rios – PR, 2023/24.

Características de textura do solo		
Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
68	14	18
Características químicas do solo		
Atributos analisados	Profundidade da análise	
	0-20 cm	20-40 cm
M.O. (%)	2,4	1,6
P (mg dm ⁻³)	3,3	3,6
pH (CaCl ₂)	4,8	5,1
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,00	0,00
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	5,6	5,4
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	1,2	1,2
K + (cmolc dm ⁻³)	0,25	0,08
SB (cmolc dm ⁻³)	7,1	6,9
CTC pH7,0 (cmolc dm ⁻³)	12,2	11,3
S - SO ₄ ²⁻ mg dm ⁻³	25,9	55,6
V (%)	58	61
m (%)	0	0
Sat. Ca (%)	46	48
Sat. Mg (%)	10	10
Sat. K (%)	2	1

2.1.2 Implantação da lavoura e tratos culturais

Inicialmente, o experimento foi desenhado para o uso do cultivar Pioneer 96R10, o qual teve a semeadura realizada em 7 de outubro de 2023. Por ocasião da falha no estabelecimento do estande inicial, foi realizada a ressemeadura usando o cultivar BMX Zeus IPRO, material precoce para a região, com grupo de maturação de 5.5, ciclo aproximado de 125 dias, resistente ao acamamento com boa capacidade de ramificação. .

A ressemeadura foi realizada no dia 28 de outubro de 2023, com uma densidade de 15 sementes por metro no espaçamento de 0,45m. A semeadura foi realizada de forma mecanizada por meio de uma semeadora adubadora da marca Kuhn modelo PG 900 com 9 linhas, possui conjunto de discos para distribuição do adubo, para distribuição de sementes possui o conjunto de discos (distribuição mecânica). O arraste da semeadora foi feito por um trator John Deere 6115J de 115cv, com velocidade de 6 km. h-1.

Na linha de semeadura foi realizada a adubação de base com 250 kg/ha da formulação 2-28-20 de NPK. Anterior a semeadura, a área foi dessecada usando glifosato 726g/ha mais Clethodim 240g/ha. Após a semeadura, a primeira limpeza foi feita utilizando Glifosato 726g/ha, mais fungicida para aplicação zero (aplicação que ocorre cerca de 25 a 30 dias após a emergência da soja) de Ciproconazol e o Difenconazol 80g/ha. Primeira de fungicida foi utilizada Prothioconazol a 87g/ha mais Cinetina ácido Giberélico 0,019g/ha e Dinotefuram a 60g/ha. Segunda de fungicida Fluxapiraxade 105g/ha, mais inseticida Bifentrina Carbosulfano 121g/ha. Terceira de fungicida Picoxistrobina, Ciproconazol 91g/ha. Todas aplicações foram feitas utilizando um pulverizador Ideal 800L com barra de 18 metros e volume de calda de 165L/ha.

2.1.3 Delineamento experimental e tratamentos

O ensaio foi realizado em delineamento experimental de blocos ao acaso com 5 blocos e 5 tratamentos, totalizando 25 parcelas experimentais. A área total do ensaio foi de 251,25 m² (25,125m x 10m), sendo que cada parcela apresentava 5 m de comprimento por 2,025m de largura. Os tratamentos de calagem superficial em sistema de plantio direto foram dimensionados de acordo com os resultados obtidos na análise do solo (Tabela 1) e característica dos calcários (Tabela 3), sendo eles descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos usados para o ensaio sobre calcários aplicados superficialmente em sistema de plantio direto.

Descrição dos tratamentos	Código dos tratamentos
Testemunha (sem aplicação)	T1
Calcário convencional 3 meses antes do plantio ¹	T2
Calcário granulado 3 meses antes do plantio ¹	T3
Calcário granulado 1,5 meses antes do plantio ²	T4
Calcário granulado no dia do plantio ³	T5

¹ 28/07/2023; ² 07/09/2023; ³ 07/10/2023

A necessidade de calagem foi realizada conforme método da elevação da saturação por bases para o estado do Paraná, Moreira *et al.* (2019), adaptado para o valor desejado de saturação por base de 70%. A quantidade de calcário foi calculada considerando as características químicas e granulométricas dos calcários considerando a PRNT de 83% para o calcário convencional e 103% para calcário granulado (Tabela 3). Onde o calcário convencional necessitou de 1.758 t/ha, já o granulado 1.413 t/ha.

Tabela 3. Caracterização dos atributos físico-químicos dos calcários aplicados em superfície em sistema de plantio direto.

Atributos físicos-químicos	Calcários aplicados em superfície	
	Calcário convencional	Calcário granulado
CaO	45,0%	43,62%
MgO	4,9%	0,83%
Poder de Neutralização	92%	103,42%
PRNT	83%	6,42%*
Solubilidade (g/L)	n.d.**	6

* Para fins de cálculo da necessidade de calagem do calcário granulado foi considerado o valor do poder de neutralização para PRNT; ** não determinado

As aplicações dos calcários foram realizadas manualmente através da distribuição em faixas nas datas registradas na Tabela 2. O período de 3 meses para a primeira

aplicação foi determinado conforme recomendado por Pauletti & Motta (2019) enquanto que os demais períodos foram estabelecidos conforme recomendações do fabricante do calcário granulado.

2.1.4 Parâmetros avaliados

Ao final do experimento uma nova análise de solo 0-20 foi realizada, onde, em cada parcela respectiva ao seu tratamento, amostras simples foram coletadas conforme descrito anteriormente. Esses resultados não foram usados para fins estatísticos por ser apenas uma caracterização final de cada tratamento, porém foram usados como base para discussão dos resultados.

Os parâmetros avaliados foram: População final de plantas, altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de nós no ramo principal, número de nós nos ramos laterais, número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de mil sementes e produtividade.

Figura 1. Avaliação de análise química do solo ao final do experimento



Fonte: Autor 2024

2.1.4.1 População final de plantas

Para a contagem da população final de plantas foi selecionado as duas linhas centrais de 2 metros de cada parcela, totalizando quatro metros lineares onde foi contabilizado o número de plantas.

2.1.4.2 Altura de plantas, Altura da primeira vagem, Número de nós no ramo principal, número de nós nos ramos laterais, número de vagens por planta, número de grãos por planta.

Para as avaliações desses parâmetros, 10 plantas aleatórias foram selecionadas de cada parcela totalizando 250 plantas. Com auxílio de uma fita métrica, graduada em centímetros, foram tiradas as medidas de altura de planta (considerado a partir do coleto até o último nó) como altura da inserção primeira vagem (considerado a partir do coleto até o primeiro nó com vagens). Adicionalmente, foi contabilizado o número de nós no ramo principal de cada planta e de nós nos ramos laterais. Por fim, foi realizada a contagem do número de vagens por planta e número de sementes por planta.

Figura 3. Avaliação de altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de nós no ramo principal, número de nós nos ramos laterais, número de vagens por planta, número de grãos por planta.



Fonte: Autor 2024

2.1.4.3 Massa de mil sementes

Para determinar a massa de mil sementes, foram 8 repetições de 100 sementes de cada parcela foram separadas e pesadas em balança de precisão da marca Bioscale modelo TMMMFA-2204-BA. Paralelamente, foi realizada a determinação do grau de umidade das sementes por meio do aparelho GEHAKA modelo G300. Os dados obtidos foram expressos em gramas corrigidos para 13% de umidade na base úmida.

2.1.4.4 Produtividade

Para determinação da produtividade foi selecionado as duas linhas centrais da cada parcela (2 metros) e realizada a colheita manual de todas as plantas. As plantas foram processadas e debulhadas manualmente e os grãos pesados em balança digital da marca Marte modelo MS30K Paralelamente, foi realizada a determinação do grau de umidade das sementes por meio do aparelho GEHAKA modelo G300. Os dados obtidos foram expressos em kg/ha corrigidos para 13% de umidade na base úmida.

Figura 4. Avaliação de produtividade de soja, cultivar BMX Zeus.



Fonte: Autor 2024

2.1.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a verificação dos pressupostos do modelo matemático e testados conforme os testes de normalidade (Teste Shapiro-Wilk), homocedasticidade (Teste de Bartlett) e independência dos erros (Teste de Durbin-Watson). A análise de variância foi realizada para aplicação do teste F e quando significativo, foi aplicado o teste de Tukey (5%). O software utilizado para as análises estatísticas foi o RStudio.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 Importância sócio econômica da soja

A soja (*Glycine max*) é uma cultura com considerável importância econômica em todo o mundo. Produz diversos subprodutos como farelo de soja, óleo de soja, proteína

de soja, próprios para consumo humano e animal. Originária da China, permaneceu durante anos uma planta de interesse científico (MANDARINO, 2017). Introduzida pelos Estados Unidos em 1882, a soja chegou ao Brasil e entrou em Salvador, na Bahia. No entanto, apenas mais de cinquenta anos depois é que os genótipos de soja americana foram avaliados quanto à sua adequação na Região Sul do Brasil. Inicialmente, o foco estava na utilização de germoplasma adaptado para gerar biomassa para alimentação do gado. Somente na década de 1940 é que a soja começou a fazer a transição da produção de biomassa para a produção de grãos (CATTELAN; DALL'AGNOL, 2018)

O início da próspera produção comercial de soja no Rio Grande do Sul ocorreu apenas entre os anos de 1920 e 1940. Posteriormente, a partir da década de 1970, os esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação relacionados ao cultivo da soja experimentaram expansão e avanços inovadores. O objetivo principal era gerar cultivares de soja adequadas aos climas subtropicais e tropicais do Brasil, suplantando assim as cultivares importadas dos Estados Unidos, que foram originalmente projetadas para diferentes regiões geográficas (GAZZONI, 2018).

Na safra 2022/23, a produção mundial de soja atingiu um marco inédito, conforme relatado pela Conab (2023). Impressionantes 154,6 milhões de toneladas, um aumento de 23,2% comparado à safra anterior cultivada em uma extensa área de 33,7 milhões de hectares. O domínio da produção de soja está concentrado em três nações: Estados Unidos, Brasil e Argentina. Coletivamente, esses países respondem por aproximadamente 80% da produção mundial de soja. Atualmente, o Brasil detém o título estimado de maior produtor mundial de soja, tendo coletado impressionantes 154,6 milhões de toneladas na temporada 2022/23 (CONAB, 2023).

2.2.2 Classificação botânica e morfologia

A soja, cientificamente conhecida como *Glycine max* (L.), é uma planta herbácea cultivada no Brasil para a produção de grãos. Pertence à classe Rosidaeae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae e gênero *Glycine* L. As principais variedades comerciais de soja apresentam caule coberto de pelos, ramificação mínima e sistema radicular composto por um eixo principal e numerosos ramos. Essas variedades apresentam folhas trifolioladas, com o primeiro par de folhas simples aparecendo acima do nó cotiledonar. As flores das plantas de soja sofrem

fertilização autógama, característica da subfamília Papilionoideae. Essas flores podem ser brancas, roxas ou uma combinação de ambas as cores. À medida que os frutos da planta da soja amadurecem, eles assumem uma forma progressivamente arqueada e mudam de cor do verde para o amarelo claro, marrom claro, marrom ou cinza. Dentro dessas vagens pode haver resultados de uma a cinco sementes lisas (EMBRAPA, 2007).

Nódulos podem ser observados nas raízes da planta, o que significa a relação simbiótica entre a soja e a bactéria *Bradyrhizobium*. Estas bactérias facilitam a conversão do nitrogênio atmosférico em uma forma utilizável (nitrato), que é então absorvida pela planta. Em troca, as bactérias recebem carboidratos da planta (ZILLI; CAMPO; HUNGRIA, 2010). A altura das plantas é influenciada por fatores ambientais e pela cultivar específica. Para possibilitar a colheita mecanizada e evitar o acamamento, é opcional que as plantas atinjam altura variando de 60 a 110 cm em cultivos comerciais (EMBRAPA, 2007).

O caule da cultura apresenta propriedades herbáceas, ficando ereto e coberto de pelos finos, ao mesmo tempo que se ramifica. Seu crescimento inicia-se a partir do eixo embrionário logo após o processo de germinação. O padrão de crescimento da planta pode ser classificado como determinado, semideterminado ou indeterminado, dependendo dos atributos do ápice primário do caule e da cultivar específica considerada (EMBRAPA, 2020).

Para definição e descrição dos estádios fenológicos da planta, considera duas principais fases durante todo o ciclo da cultura: a fase vegetativa, que abrange desde a germinação e emergência até o início do florescimento, e a fase reprodutiva que se inicia com o florescimento e se estende até a maturação fisiológica dos grãos.

2.2.3 Estádios de desenvolvimento da planta de soja

Tabela 4. Classificação dos estádios de desenvolvimento da soja.

Estádios Fenológicos	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Emergência da plântula, cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotiledonar	Cotilédones completamente abertos e folhas unifolioladas estendidas, de modo que as

		bordas não se tocam
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvidas
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvidas
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V5	Quinto nó	Quarta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V6	Sexto nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida
Vn	Enésimo nó	Ante enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida
R1	Início da floração	Uma flor aberta em qualquer nó do caule principal
R2	Floração plena	Uma flor aberta num dos 2 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvidas
R3	Início na formação de vagem	Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento dos grãos	Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R6	Grãos completamente desenvolvidos	Vagem com grãos verdes preenchendo a cavidade das vagens de um dos 4 últimos nós do caule com folha completamente

		desenvolvidas
R7	Início da maturação	Uma vagem normal no caule com coloração de madura
R8	Maturação plena	Maturação dos grãos com 95% das vagens com coloração madura

Fonte: Farias, et al. (2020)

2.2.4 CALAGEM

A calagem é um processo de correção da fertilidade do solo que tem como objetivos a elevação do pH do solo, fornecimento de Ca e Mg, redução ou eliminação dos efeitos tóxicos do Al, Mn e Fe, aumento da disponibilidade e maior aproveitamento de N, K, Ca, Mg, S e Mo, aumento do potencial de resposta à adubação, maior atividade microbiana, resultando na melhoria na mineralização da matéria orgânica e fixação de N, melhoria nas propriedades físicas do solo, implicando maior aeração e circulação de água, auxiliando no desenvolvimento das raízes e da planta, através do Ca principalmente, promove maior agregação do solo, diminuindo as perdas por erosão, bem como, desenvolvimento do sistema radicular e o desenvolvimento do sistema radicular aumenta a absorção de água e de nutrientes, permitindo à planta maior resistência à falta de água (PARAHYBA, 2013)

Ao neutralizar o alumínio no solo e fornecer cálcio e magnésio às plantas, o nível de pH é efetivamente aumentado. Este aumento é provocado pela introdução de cátions básicos (na forma de Ca^{2+}) e ânions (como CO_3^{2-}) que estão presentes no calcário. Esses íons são capazes de substituir o H^+ dos locais de troca no solo, resultando em última análise na formação de $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Os cátions recém-introduzidos preenchem o vazio anteriormente ocupado pelo H^+ no processo de troca, o que acaba levando a um aumento geral no pH do solo (AGEGNEHU, 2021).

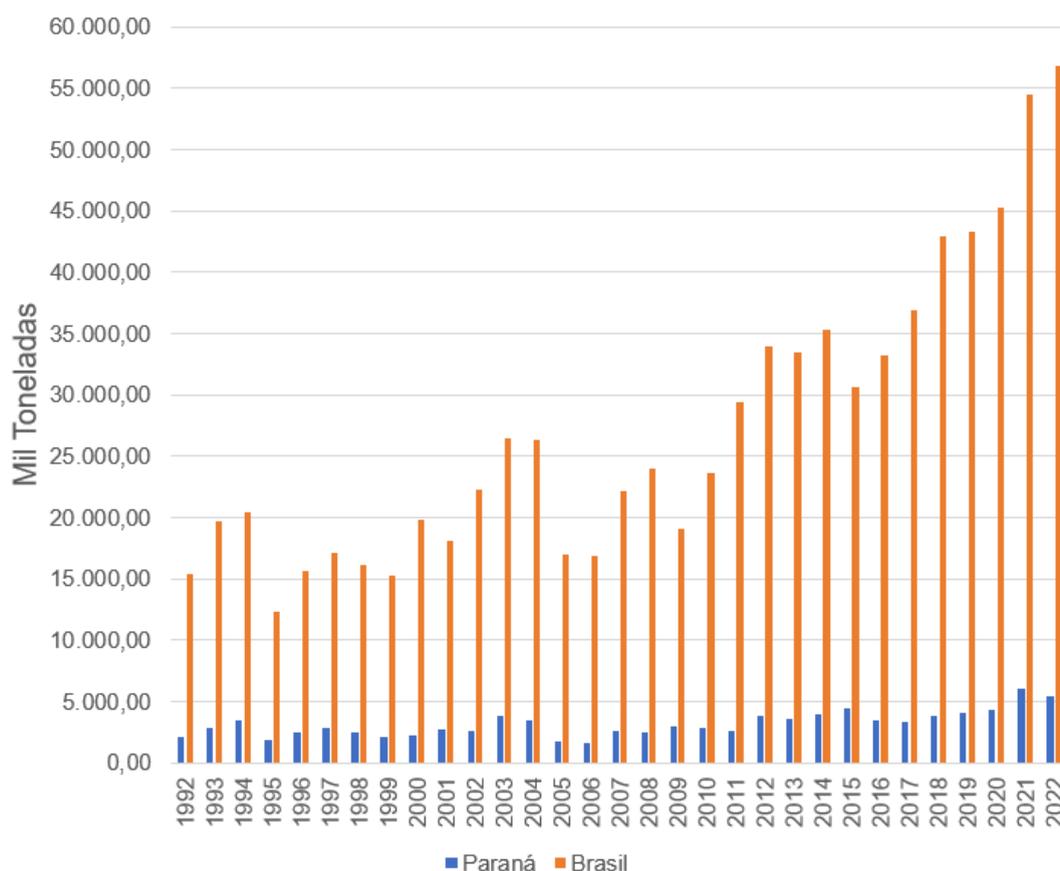
Além de alterar o pH do solo, o calcário pode ser a solução que o produtor rural pode ter para adicionar cálcio e magnésio em suas lavouras. Quando há deficiência de cálcio em plantas, os pontos de crescimento das raízes e dos botões são afetados; os sintomas aparecem nas partes mais jovens da planta, prejudicando o sistema radicular e matando os botões terminais. Também nas deficiências, as membranas tornam-se "porosas", rompendo os compartimentos celulares e perdendo a seletividade para os íons desejados e absorvendo os íons indesejados. Por outro lado, quando há deficiência de

magnésio, as folhas velhas apresentam clorose internerval (amarelo claro) e nervuras verdes claras. Como as transferases são enzimas que necessitam de magnésio para a síntese de proteínas, as plantas deficientes em magnésio apresentam proporções mais altas de nitrogênio solúvel/nitrogênio protéico (SFREDO, BORKERT, 2004).

Nos atributos do solo, tanto o calcário calcítico, dolomítico e magnesiano influenciam positivamente na neutralização de teores de H^+ Al, respondendo também muito bem ao pH, V% e CTC com os elementos Ca e Mg. A cultura da soja é muito responsiva aos efeitos da calagem, pois o efeito corretivo do mesmo afeta diretamente as raízes gerando um maior acúmulo de massa radicular com maior resposta a teores de 29% de CaO e 19% de MgO. Também a resposta é muito significativa quanto ao peso de mil sementes (LANGE et al., 2022)

Por razão dos seus benefícios para a correção da fertilidade do solo e na cultura da soja, o uso do calcário agrícola tem aumentado no Brasil. Estima-se que desde 1992 o uso de calcário vem cada vez sendo mais utilizado até os dias atuais (Gráfico 1)

Gráfico 2 - Evolução do uso de calcário no Brasil e Paraná:



Dada a baixa solubilidade do calcário, é recomendável que faça a incorporação do mesmo, pois o calcário possui uma baixa relação com a água assim dificultando sua chegada em camadas mais profundas do solo onde encontra-se os maiores teores de Al que limita o crescimento das raízes da soja. Contudo, é preferível que faça a incorporação do calcário para ter uma reação mais rápida e eficiente. Para obter uma incorporação satisfatória de calcário, são comumente utilizadas máquinas convencionais de preparação de solo, como as aivecas e arados de disco. Contudo, estas máquinas tendem a concentrar o calcário no fundo dos sulcos de aração. Outra opção popular é a utilização de grades de discos, que incorporam o calcário de forma mais superficial em comparação aos arados.(MOREIRA *et al.*, 2019).

Para doses de até 5 t/ha em solos cultivados, recomenda-se seguir uma sequência específica de operações após a distribuição do corretivo na superfície do solo. A sequência recomendada é a seguinte: aplicação de toda a dose, seguida de gradagem, aração e posterior gradagem. Esta sequência garante uma melhor distribuição do corretivo ao mesmo tempo que pré-incorpora a camada superficial do solo. A operação de aração incorpora então o corretor em profundidade. No caso de doses superiores a 5 t, deverá ser seguida a mesma sequência de operações, mas com uma ligeira modificação sendo ela metade do corretor deve ser aplicada antes da primeira gradagem, enquanto a outra metade pode ser aplicada nas etapas subsequentes (MOREIRA *et al.*, 2019).

Porém a eficiência do calcário e rápida reação não está somente ligada a incorporação, mas também a sua granulometria como citado por Lange *et al.*, (2022), partículas variando de 0,84 a 2,00 mm exibem apenas 20% de reação durante um período de três meses, resultando em um impacto prolongado. Por outro lado, partículas medindo entre 0,30 e 0,84 mm apresentam uma reação de aproximadamente 60% no mesmo intervalo de tempo. Já as partículas menores que 0,30 mm sofrem reação completa em um período de três meses.

Como resultado da questão da solubilidade do calcário comum, surgiram no mercado vários produtos que prometem corrigir a acidez do solo tanto na superfície como em profundidade. Esses produtos são compostos por carbonatos, silicatos, óxidos de Mg e Ca, associados ou não a sulfato de cálcio (gesso agrícola) na forma granulada. Esses produtos proporcionam uma série de benefícios aos produtores (BARBOSA, JÉSSICA ZANELATTO, 2020).

2.2.5 CALAGEM EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

A acidificação do solo é o processo natural de remoção de cátions de caráter básico do complexo de troca por cations de caráter ácido H^+ e Al^{3+} , isso normalmente ocorre naturalmente como resultado do desgaste do solo (chuva, altas temperaturas e atividade de microrganismos) devido ao baixo valor nutricional do solo. A acidez do solo também aumenta por conta do uso de fertilizantes nitrogenados e ao mau manejo do solo (BOSSOLANI *et al.*, 2021)

O sistema de plantio direto é uma forma de manejar áreas agrícolas que vem se desenvolvendo no mundo desde 1980, o SPD tem três princípios básicos que são: o não revolvimento do solo, rotação de culturas e que o solo esteja constantemente coberto por plantas em crescimento e resíduos vegetais. O objetivo desta cobertura é proteger o solo do impacto das gotas de chuva, do escoamento superficial e da erosão causada pela água e pelo vento. O plantio direto é essencialmente o ato de semear em solo não perturbado (CRUZ *et al.*, 2021). O não revolvimento do solo gera vários benefícios para o agricultor, como aumento de produtividade, menor riscos a erosão com isso uma melhor garantia da conservação do solo.

No caso da correção da acidez do solo em SPD (sistema de plantio direto), segundo Caires *et al.* (2006), a aplicação de calagem superficial não só oferece um maior retorno econômico, mas também mitiga o risco de erosão do solo, o que é particularmente crucial para solos fortemente degradados. Além disso, pesquisas de Castro e Crusciol (2013) demonstraram que a calagem superficial tem impacto positivo na disponibilidade de cálcio e magnésio para a cultura da soja cultivada pelo método de plantio direto consolidado. Além disso, a adição de calcário ao solo durante o plantio direto tem comprovado diminuir efetivamente os níveis de acidez na camada subterrânea e aumentar o rendimento de grãos da soja, conforme indicado por Miranda *et al.* (2005)

Em pesquisas realizadas por Gallo e Catani (1954) indicam que calcários com altos teores de cálcio apresentam uma solubilidade maior, enquanto calcários com altos teores de magnésio ocorre uma diminuição da solubilidade do mesmo. Assim foi possível verificar que calcários calcíticos possuem uma maior solubilidade comparado a calcários dolomíticos, pois os dolomíticos possuem maiores teores de magnésio. Visando a calagem em sistema de plantio direto é de extrema importância a utilização de calcários

mais solúveis para uma mais rápida reação no solo.

Em estudo realizado por Costa *et al.* (2016), constatou-se que a aplicação de calcário superficial teve impacto significativo na produtividade da soja. A produtividade de matéria seca da parte aérea das plantas aumentou, bem como a população de plantas de soja e o peso de 100 sementes, resultando em aumento direto na produtividade de grãos. Além disso, a calagem superficial teve efeito positivo na absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} na soja em sistemas de PD estabelecidos. A relação Ca:Mg no solo desempenhou um papel no cultivo da soja, influenciando aspectos vegetativos como altura da planta, tamanho da vagem, massa do sistema radicular e crescimento aéreo geral (LANGE *et al.*, 2021)

Para agricultores que procuram otimizar o seu investimento, ter uma velocidade de reação rápida é de extrema importância. Uma solução altamente benéfica que oferece proteção contra a deriva do vento é a utilização de calcário peletizado ou granulado, que envolve calcário finamente moído e comprimido em grânulos. Este método garante uma distribuição mais uniforme e eficiente da substância corretiva. Um dos aspectos mais atrativos do calcário peletizado é a sua compatibilidade com equipamentos de espalhamento convencionais, permitindo uma aplicação precisa e uniforme. Como resultado, apresenta-se como uma opção conveniente para os agricultores. Além disso, o calcário peletizado pode ser aplicado com menor custo, seja por lanço ou no sulco de semeadura. Embora haja poucas pesquisas sobre essa prática, principalmente no Brasil, estudos publicados revelam que a utilização de calcário peletizado em quantidades inferiores à necessária para a neutralização do solo não atinge os níveis desejados de redução da acidez (CAIRES; JORIS, 2016).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a caracterização do solo ao final do experimento, foram observadas poucas alterações em relação aos parâmetros químicos do solo (Tabela 1 e Tabela 5). O pH do solo não mostrou incremento, ficando próximo do valor observado inicialmente e abaixo do recomendado na literatura para a maioria das culturas (entre 5.5 e 6.0 em CaCl_2).

Conforme Malavolta (1980), o cultivo da soja se desenvolve melhor em solos com pH em água variando de 5,9 a 6,5. O nível de pH impacta diretamente a disponibilidade

de nutrientes, com a utilização de nitrogênio e potássio diminuindo abaixo da faixa ideal. Além disso, solo altamente ácido indica uma presença significativa de alumínio tóxico.

Por outro lado, em valores absolutos, foi observado maior saturação de cálcio e menor saturação de alumínio nas parcelas que receberam calcário. A maior saturação de cálcio e a similaridade na de magnésio ao final do experimento pode estar relacionada à porcentagem de CaO nos calcários utilizados (Tabela 2), o que pode ter contribuído para o incremento do teor desse elemento no solo. Apesar de não ser possível a análise estatística desses dados, esses resultados ajudam a entender as condições do solo nas quais o experimento ocorreu e como as plantas se desenvolveram.

O impacto do cálcio na produção da soja é duplo, com efeitos diretos e indiretos. Em termos de efeitos diretos, o cálcio desempenha um papel crucial na promoção da nodulação e na facilitação da fixação de nitrogênio. Indiretamente, contribui para a manutenção do pH ideal do solo e aumenta a disponibilidade de nutrientes essenciais para a planta da soja. Quando há deficiência de cálcio na soja, as consequências são imediatas e graves. A taxa de crescimento da planta é imediatamente comprometida, seguida por uma descoloração gradual das pontas das raízes, levando eventualmente ao desaparecimento da planta (BAGALE, 2021).

O alto teor de alumínio no solo inibe o crescimento das raízes da soja, uma vez que as raízes alcançam no solo uma área com alto teor de alumínio seu crescimento é inibido assim afetando toda a planta, pois a mesma possui menos acesso a água e nutrientes essenciais para seu desenvolvimento. Segundo estudos realizados por Sagala *et al.* (2018) o crescimento da soja foi impactado negativamente pela presença do alumínio, que permaneceu dentro das raízes. Danos ao tecido vegetal interromperam o crescimento das raízes. A presença de alumínio interrompeu os processos fisiológicos normais dentro das raízes, fazendo com que a plasmólise ocorresse diretamente.

Tabela 5. Caracterização química do solo na profundidade de 0-20 no talhão do experimento localizado no município de Grandes Rios – PR, 03/24 a 20 cm de profundidade.

Características químicas do solos	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
M.O. (%)	3,4	3,3	3,1	3,0	2,8
P (mg dm ⁻³)	5,9	4,1	5,9	6,2	5,5
pH (CaCl ₂)	4,5	4,7	4,6	4,6	4,6
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	6,1	6,4	6,5	6,9	6,2
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	1,4	1,6	1,5	1,5	1,4
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,23	0,16	0,18	0,16	0,14
SB (cmolc dm ⁻³)	7,8	8,1	8,2	8,6	7,7
CTC _{pH7,0} (cmolc dm ⁻³)	14,1	13,7	13,9	14,4	13,7
V (%)	55	59	59	60	56
m (%)	3	1	1	1	1
Sat. Ca (%)	44	47	46	48	45
Sat. Mg (%)	10	12	11	11	10
Sat. K (%)	2	1	1	1	1

T1 = Testemunha (sem aplicação); T2 = Calcário convencional 3 meses antes do plantio; T3 = Calcário granulado 3 meses antes do plantio; T4 = Calcário granulado 1,5 meses antes do plantio; T5 = Calcário granulado no dia do plantio.

Os parâmetros avaliados apresentaram condições que satisfizeram o modelo matemático de blocos ao acaso, apresentando normalidade, avaliada através do teste de Shapiro-Wilk, e de homocedasticidade (homogeneidade das variâncias), avaliada através do teste de Bartlett. Esse resultado permitiu a continuidade do planejamento inicial e realizar uma análise paramétrica dos dados através do teste de tukey a 5% de probabilidade. Foi observado pelos valores de coeficiente de variação que, com exceção do número de nós nos ramos laterais, todos os demais parâmetros obtiveram coeficiente de variação inferior a 20%. No área das experiências de campo com culturas agrícolas,

Pimentel-Gomes (2009) afirma que os valores de CV são classificados como baixos se ficarem abaixo de 10%, médios se ficarem entre 10 e 20%, altos se ficarem entre 20 e 30%, e muito elevados se excederem 30%.

Em relação ao estabelecimento das plantas e o crescimento, foi observado que os tratamentos de calagem não interferiram na população final de plantas, entretanto, alterações na altura da planta, número de nós no ramo principal e número de nós nos ramos laterais apresentaram diferenças, sendo o tratamento calcário granulado 1,5 meses antes do plantio superior a testemunha sem aplicação (Tabela 6). Relacionando esses dados com as características químicas do solo (Tabela 5) é possível associar esses resultados obtidos aos menores níveis de saturação por bases e saturação por cálcio encontrados no tratamento testemunha. Também, a saturação por alumínio apresentou valores absolutos superiores no tratamento testemunha em relação aos demais.

Tabela 6. Resumo análise estatística, população final de plantas (POPF), altura (ALT), altura de inserção primeira vagem (ALTV), número de nós no ramo principal (NNRP), número de nós no ramo lateral (NNRL) de plantas de soja submetidas à calagem.

Tratamentos	POPF (pl/m)	ALT (cm)	ALTV (cm)	NNRP (-)	NNRL (-)
..... Teste de Tukey					
Testemunha (sem aplicação)	9.3 a	59.5 b	9.8 a	13.84 b	3.78 b
Calcário convencional 3 meses antes do plantio ¹	9.0 a	63.2 ab	9.7 a	14.32 ab	4.56 ab
Calcário granulado 3 meses antes do plantio ¹	10.3 a	62.9 ab	10.2 a	14.4 ab	5.72 ab
Calcário granulado 1,5 meses antes do plantio ²	10.1 a	66.1 a	10.3 a	15.16 a	6.60 a
Calcário granulado no dia do plantio ³	10.8 a	64.2 ab	10.6 a	14.48 ab	4.18 ab
..... p - valor					
(Tratamentos)	0.114	0.076	0.596	0.084	0.018
(Blocos)	0.092	0.341	0.238	0.231	0.006
Coeficiente de Variação (%)	10.99	5.243	9.263	4.637	25.98

¹ 28/07/2023; ² 07/09/2023; ³ 07/10/2023

POPF = População final de plantas; ALT = Altura; ALTV = Altura primeira vagem; NNRP = Número de nós no ramo principal; NNRL = Número de nós no ramo lateral;

Para as características fitométricas foi observado que o número de vagens por plantas e número de grãos por planta foi superior para o tratamento calcário granulado 1,5 meses antes do plantio em comparação com a testemunha, calcário agrícola 3 meses antes do plantio e calcário granulado no dia do plantio (Tabela 7). Por outro lado, o tratamento de calcário granulado 3 meses antes do plantio não apresentou diferença com nenhum tratamento. Ainda que observada essa diferença, no parâmetro de produtividade não foram verificados efeitos significativos dos tratamentos.

Tabela 7. Resumo análise estatística, Número de vagens por planta (NVP), Número de grãos por planta (NGP), Peso de mil sementes (PMS), Produtividade (PROD) de plantas de soja submetidas à calagem.

Tratamentos	NVP (-)	NGP (-)	PMS (g)	PROD (kg/ha)
..... Teste de Tukey				
Testemunha (sem aplicação)	39.32 b	93.96 b	178.74 a	3644.1 a
Calcário convencional 3 meses antes do plantio ¹	40.28 b	95.94 b	177.31 a	3498.6 a
Calcário granulado 3 meses antes do plantio ¹	45.54 ab	109.04 ab	180.53 a	3659.0 a
Calcário granulado 1,5 meses antes do plantio ²	47.68 a	114.4 a	183.14 a	3953.1 a
Calcário granulado no dia do plantio ³	40.48 b	98.18 b	173.54 a	3728.2 a
..... p - valor				
(Tratamentos)	0.005	0.004	0.702	0.715
(Blocos)	0.001	0.001	0.994	0.631
Coefficiente de Variação (%)	8.258	8.041	6.065	13.774

¹ 28/07/2023; ² 07/09/2023; ³ 07/10/2023

NVP = Número de vagens por planta; NGP = Número de grãos por planta; PMS = Peso de mil sementes; PROD = Produtividade.

Segundo Guidorizzi *et al.* (2023), o período fenológico da soja que possui a maior extração de nutrientes compreende o intervalo de V₄ e R₆, onde a extração de cálcio, magnésio e enxofre são intensificadas absorvendo-se a quantidade máxima desses nutrientes. Ainda, de acordo com a EMBRAPA (2020), a soja leva de 3 a 5 dias entre um estágios vegetativos, também esse período de tempo vai diminuindo conforme a idade da planta. Portanto, foi verificado que no dia 8 de dezembro, as plantas de soja deste ensaio chegaram no estágio V₄ onde iniciou seu pico de extração de nutrientes, o qual terminou no dia 26 de janeiro chegando ao final do estágio R₆. Assim, considerando que o melhor resultado foi observado para o tratamento calcário granulado 1,5 meses antes do plantio e

adicionado mais um mês de cultivo referente ao início de V4, estima-se que o pico de disponibilização de nutrientes por esse calcário granulado ocorre com 2.5 a 3.5 meses após a aplicação. Se for considerado o mesmo intervalo de tempo para os tratamentos nos quais a aplicação ocorreu em junho, no momento de maior disponibilidade de nutrientes no solo (aproximadamente na semeadura), a planta não possuía sistema radicular suficiente para absorver os elementos minerais disponibilizados pelos corretivos. Por outro lado, partindo desse mesmo tempo de reação, o tratamento calcário granulado no dia do plantio teria a máxima disponibilização de nutrientes já no final do ciclo da soja, onde a maior demanda já havia ocorrido.

A solubilidade do calcário agrícola em água é baixa sendo de 0,014 g/L para CaCO_3 e 0,106 g/L para o MgCO_3 . Assim, o calcário agrícola tem um tempo de reação muito longo, podendo chegar a levar até 12 meses para completa reação (ANDA, 2005). Por outro lado, o calcário granulado usado neste ensaio apresentou solubilidade de 6 g/L (tabela 3), indicando que o produto tem um tempo de reação mais rápido que o calcário agrícola convencional. Entretanto, mesmo com a maior solubilidade, esse estudo indica que o momento correto para a aplicação do calcário granulado é por volta de 1,5 meses antes do plantio pois resulta em maior número de vagens por planta e sementes por planta. Estas condições alcançadas com o tratamento 4 foi possível também devido a alta incidência de chuvas ocorridas no período de aplicação do calcário (Gráfico 2).

Santos *et al.* (2010) em seus estudos utilizou incubação de calcário e gesso agrícola de forma superficial nas profundidades de (0-5, 5-10 e 10-15 cm) em sistema protegido por estufa. A incubação do calcário foi de 30, 90 e 150 dias após a aplicação do mesmo. O autor verificou que o calcário conseguiu reagir bem somente nas camadas superficiais do solo, mesmo em um ambiente adequado para reação do calcário, demonstrando assim a baixa solubilidade do mesmo. Isso ocorre pois o autor utilizou no experimento calcário dolomítico o mesmo possui altos teores de magnésio em sua composição, assim tendo uma diminuição na sua solubilidade.

Em pesquisas realizadas por Maraschin, Scaramuzza e Vieira (2020), o calcário foi incubado em casa de vegetação junto ao solo com textura média e textura argilosa por 40 dias e mantido em capacidade de campo, assim criando o ambiente perfeito para reação do calcário e observaram que em ambos os solos foram verificadas alterações em todas características químicas após aplicação de calcário, sendo elas, alteração nos teores de Ca, Mg, Al e Fe, e incremento no pH, CTC e V%. Adicionalmente, foi verificado também

que os solos com textura média exigem uma menor dose de calcário comparado aos solos com textura argilosa.

Jones et al. (2018) conduziram estudos sobre a granulometria do carbonato de cálcio puro e do calcário granulado, examinando seus efeitos em vários tipos de solos, como argilosos e arenosos. Os resultados mostraram que todos os tipos de calcário aumentaram efetivamente o pH do solo, mas em termos de velocidade, o carbonato de cálcio puro foi superior ao calcário granulado. Além disso, o calcário granulado ofereceu a vantagem de uma aplicação mais uniforme e rápida, distinguindo-o do calcário dolomítico que apresentava capacidades semelhantes de correção de pH.

Em estudo realizado por Lollato et al. (2013) durante quatro anos, o pesquisador utilizou calcário comum e calcário granulado para tratar a acidez do solo. O calcário comum, aplicado a lanço e incorporado a 8 cm de profundidade, mostrou-se mais eficaz no aumento do pH do solo tanto na superfície como em profundidade. Seu método de aplicação permitiu melhor distribuição no solo. Por outro lado, o calcário granulado, aplicado no sulco de plantio, também apresentou eficiência na correção da acidez do solo, mas em menor proporção quando comparado ao calcário comum. Além disso, os efeitos do calcário granulado foram mais localizados e diminuíram mais rapidamente do que os do calcário comum.

A pesquisa realizada por Cassol e Júnior (2018) revelou que o calcário convencional apresentou eficácia superior quando comparado a duas variações do calcário granulado. O calcário convencional apresentou desempenho superior em todos os aspectos químicos do solo, principalmente nos teores de cálcio e magnésio. Além disso, houve um aumento notável na saturação por bases e no pH do solo.

Uma alteração interessante para este trabalho seria sua curta duração, o que impediu a observação dos efeitos a longo prazo da reação do calcário e sua permanência no solo. A realização do estudo por um período mais longo teria permitido uma compreensão mais abrangente dos resultados, potencialmente produzindo resultados mais significativos em alterações no pH do solo. Além disso, a replicação do experimento serviria para validar os resultados obtidos.

3. CONCLUSÃO

O tratamento mais eficaz para o cultivo da soja foi a aplicação de calcário granulado 1,5 meses antes do plantio. Esse tratamento resultou em melhorias significativas em diversos aspectos analisados no estudo, como altura da planta, número de nós do ramo principal, número de nós do ramo lateral, número de viagens por planta e número de grãos por planta em relação a testemunha .

REFERÊNCIAS

AGEGNEHU, Getachew et al. Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, [S.L.], v. 71, n. 9, p. 852-869, 27 jul. 2021. Informa UK Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2021.1954239>. Acesso em: 24 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2023.

ALCARDE, José Carlos. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo - SP: Anda Associação Nacional Para Difusão de Adubos, 2005. 21 p. ANDA, Boletim Técnico, 6.

BAGALE, Suman. Nutrient management for soybean crops. **International Journal Of Agronomy**, [S.L.], v. 2021, p. 1-10, 6 set. 2021. Hindawi Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2021/3304634>.

BARBOSA, Jéssica Zanelatto et al. Uso de fertilizantes enriquecidos com cálcio no sulco de semeadura da cultura da soja. Cascavel, PR: **Cultivando O Saber**, 2020. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1029>. Acesso em: 24 ago. 2023.

BHERING, Silvio Barge et al. **Mapa de solos do estado do Paraná, legenda atualizada: xxxii congresso brasileiro de ciência do solo**. Paraná: Embrapa Solos, 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/513293/mapa-de-solos-do-estado-do-parana-legenda-atualizada>. Acesso em: 30 mar. 2024.

BOSSOLANI, João William et al. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas exchange and grain yield. **European Journal Of Agronomy**, [S.L.], v. 128, p. 126308, ago. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2021.126308>.

CAIRES, E.F. et al. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil And Tillage Research**, [S.L.], v. 89, n. 1, p. 3-12, ago. 2006. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.06.006>.

CAIRES, Eduardo Fávero; JORIS, Helio Antonio Wood. **Uso de corretivos granulados na agricultura**. Ponta Grossa, PR: Informações Agronômicas, 2016. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AFC5E096A1D1AABF83257FE7004DB5A9/\\$FILE/Page17-21-154.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AFC5E096A1D1AABF83257FE7004DB5A9/$FILE/Page17-21-154.pdf). Acesso em: 30 mar. 2024.

CASSOL, Alan Junior Staudt; ZANÃO JÚNIOR, Luiz Antônio. Viabilidade agronômica de modos de aplicação de fontes de cálcio na correção da acidez do solo. Santa Tereza do Oeste - PR. **Revista Técnico-Científica**, 2018. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/476>. Acesso em: 12 jul. 2024.

CASTRO, G.S.A.; CRUSCIOL, C.A.C.. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, [S.L.], v. 195-196, p. 234-242, mar. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.006>.

CATTELAN, Alexandre José; DALL'AGNOL, Amélio. The rapid soybean growth in Brazil. **Ocl**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 102, jan. 2018. EDP Sciences. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1051/ocl/2017058>.

CONAB. **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas. 2023.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 24 ago. 2023.

COSTA, Claudio Hideo Martins da et al. Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 51, n. 9, p. 1633-1642, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900063>. Acesso em: 24 ago. 2023.

CRUZ, José Carlos et al. **Plantio Direto**. 2021. Embrapa soja. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-direto>. Acesso em: 15

ago. 2024.

FARIAS, José Renato Bouças et al. **Ecofisiologia da soja**. Londrina, PR: Circular Técnica, 48, 2007. Embrapa Soja. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/470308>. Acesso em: 19 ago. 2023.

GALLO, J. Romano; CATANI, R . A .. **SOLUBILIDADE DE ALGUNS TIPOS DE CALCÁRIOS**. Campinas: Boletim Técnico da Divisão de Experimentação e Pesquisa, 1954. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/S7YjzNTgp7Q88j5ppsy7m4c/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 ago. 2024.

GAZZONI, Decio Luiz. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, [S.L.], v. 70, n. 3, p. 16-18, jul. 2018. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000300005>.

GUIDORIZZI, Fernando Vieira Costa et al. **Informações agronômicas nutrição de plantas: extração e exportação de nutrientes em cultivares de soja Enlist®, Xtend® e Roundup Ready®**. 20. ed. Piracicaba SP: Luís Ignácio Prochnow, 2023.

JONES, John D. et al. Influence of source and particle size on agricultural limestone efficiency at increasing soil pH. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.L.], v. 82, n. 1, p. 271-282, jan. 2018. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0207>.

LANGE, Anderson et al. Incubação de calcário finamente moído e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Matupá, MT, v. 10, n. 4, p. 585-594, dez. 2022. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/14146/13707>. Acesso em: 30 mar. 2024.

LANGE, Anderson et al. Relações cálcio: magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 294-301, 14 jul. 2021. Nativa. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v9i3.11526>.

LOLLATO, Romulo Pisa et al. Effect of alternative soil acidity amelioration strategies on

soil pH distribution and wheat agronomic response. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.L.], v. 77, n. 5, p. 1831-1841, set. 2013. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2013.04.0129>.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo - SP: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MANDARINO, José Marcos Gontijo. **Origem e história da soja no Brasil**. 2017. Embrapa Soja. Disponível em: <https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2017/04/05/origem-e-historia-da-soja-no-brasil/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

MARASCHIN, Lucas; SCARAMUZZA, José Fernando; VIEIRA, Cristiane Ramos. INCUBAÇÃO DO CALCÁRIO E AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS COM TEXTURAS DIFERENTES. **Nativa**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 43-51, 5 fev. 2020. Nativa. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i1.6908>.

MIRANDA, Leo Nobre de et al. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 40, n. 6, p. 563-572, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2005000600006>.

MOREIRA, Adônis et al. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. 289 p.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M.; FOLONI, J. S. S.; MORAES, L. A. C.; GONCALVES, S. L. *Tecnologias de produção de soja*. **Embrapa Soja**, p. 347. Londrina, 2020.

PARAHYBA, Ricardo Eudes. **Calcário agrícola**. 2013. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/400186529/Calcario-Agricola>. Acesso em: 19 ago. 2023.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

SAGALA, D et al. Effect of aluminum stress in early-stage growth of soybean. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 144, p. 012067, abr.

2018. IOP Publishing. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/144/1/012067>.

SALES, Rafael Pereira; PORTUGAL, Arley Figueiredo; MOREIRA, José Aloísio Alves; KONDO, Marcos Koiti; PEGORARO, Rodinei Facco. Physical quality of a Latosol under no-tillage and conventional tillage in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/nLsX4HpbSPWYZgwf8JpB7vh/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

SANTOS, Antonio Clementino dos *et al.* ALTERAÇÕES DE ATRIBUTOS QUÍMICOS PELA CALAGEM E GESSAGEM SUPERFICIAL COM O TEMPO DE INCUBAÇÃO. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 1, n. 23, p. 77-83, mar. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/1327/pdf>. Acesso em: 15 ago. 24.

SFREDO, Gedi Jorge *et al.* **Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/469334/1/Documentos231.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

SOBKO, Olena; HARTUNG, Jens; ZIKELI, Sabine; CLAUPEIN, Wilhelm; GRUBER, Sabine. Effect of sowing density on grain yield, protein and oil content and plant morphology of soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Plant, Soil And Environment**, [S.L.], v. 65, n. 12, p. 594-601, 31 dez. 2019. Czech Academy of Agricultural Sciences. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17221/346/2019-pse>.

ZILLI, Jerri Édson; CAMPO, Rubens José; HUNGRIA, Mariangela. Eficácia da inoculação de *Bradyrhizobium* em pré-semeadura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 45, n. 3, p. 335-337, mar. 2010. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2010000300015>. Acesso em: 24 ago. 2023.