

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

MARINEZ CARPISKI SAMPAIO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, PRODUTIVIDADE DA SOJA E DO CÁRTAMO
CULTIVADOS SOB DOSES DE CALCÁRIO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2021

MARINEZ CARPISKI SAMPAIO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, PRODUTIVIDADE DA SOJA E DO CÁRTAMO
CULTIVADOS SOB DOSES DE CALCÁRIO**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientador: Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Sampaio, Marinez Carpiski

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, PRODUTIVIDADE DA SOJA E DO CÂRTAMO CULTIVADOS SOB DOSES DE CALCÁRIO / Marinez Carpiski Sampaio; orientador(a), Paulo Sérgio Rabello de Oliveira; coorientador(a), Reginaldo Ferreira Santos, 2021.

92 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.

1. Correção da acidez. 2. Nutrição de plantas. 3. Fertilidade. I. Oliveira, Paulo Sérgio Rabello de. II. Santos, Reginaldo Ferreira. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

MARINEZ CARPISKI SAMPAIO

Atributos químicos do solo, produtividade da soja e do cártamo cultivados sob doses de calcário

Tese apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência, conforme Resolução nº 052/2020 – CEPE, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Orientador - Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Eurides Küster Macedo Junior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Doglas Bassegio

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Alfredo Richart

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - Toledo (PUC-Toledo)

Jean Sergio Rosset

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)

Neumarcio Vilanova da Costa
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 26 de fevereiro de 2021

“Dedico este trabalho a Deus, que sempre foi o autor da minha vida, do meu destino e o meu maior apoio nos momentos difíceis”.

AGRADECIMENTOS

A Deus todo poderoso que em sua infinita bondade e amor, sempre esteve ao meu lado dando-me força e discernimento em todos os momentos, sem Ele nada seria possível.

A meus pais Dejalma e Elsa Carpiski por todo o apoio, cuidado e carinho. Vocês são meus exemplos de vida.

A meu esposo Adelar A. Sampaio por sempre estar ao meu lado, me apoiando e incentivando.

A meus filhos Everton e Aurelio Sampaio pelo carinho e compreensão.

Ao meu orientador Paulo Sergio Rabello de Oliveira e ao coorientador Reginaldo Ferreira Santos pelas orientações, ensinamentos, convivência, parceria e apoio.

À Universidade Estadual do Oeste de Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), pela oportunidade de realização do Doutorado.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da UNIOESTE, Câmpus de Marechal Cândido Rondon pelos ensinamentos transmitidos.

Ao GEPSIA (Grupo de Estudo e Pesquisa em Sistema de Integração Agropecuária) pelo auxílio e suporte concedidos.

Aos colegas de doutorado pela convivência e amizade, especialmente Eloisa Mattei, Carlos A. R. M. Rego, Jeferson T. Piano e Lucas da Silveira. A amizade, parceria e apoio foram fundamentais para que eu chegasse até aqui, muito obrigada.

A todos os funcionários e estagiários dos laboratórios de Química Agrícola e Ambiental, Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas e Física do Solo da UNIOESTE pela ajuda na realização das análises.

A direção e funcionários do Núcleo de Estações Experimentais pelo apoio na realização do experimento.

E a todos aqueles que não foram citados, mas que direta ou indiretamente contribuíram na realização desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

MUITO OBRIGADA!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

SAMPAIO, Marinez Carpiski, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro – 2021. **Atributos químicos do solo, produtividade da soja e do cártamo cultivados sob doses de calcário.** Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Coorientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos.

A maioria dos solos brasileiros são naturalmente ácidos e essa acidez é responsável pela deterioração química do solo, devido à escassez em cátions básicos e o efeito tóxico do alumínio (Al) para as plantas, dificultando o desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, causando toxidez na parte aérea das culturas, prejudicando a produtividade. Objetivou-se avaliar a eficiência da aplicação superficial de doses de calcário calcítico nas propriedades químicas do solo em profundidade, e sua influência no desenvolvimento das variáveis agrônômicas das culturas da soja e do cártamo durante dois anos de cultivo agrícola. O estudo foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho Eutroférico, utilizando-se de um delineamento experimental em blocos casualizados, com oito repetições, com parcelas de 30 m², em uma área total de 960 m². Os tratamentos empregados foram doses de calcário calcítico (48% CaO e 3% MgO), com PRNT de 75%, sendo: 0, 3, 6 e 9 ton. ha⁻¹, os quais foram distribuídos sem incorporação mecânica. Foram avaliados os atributos químicos do solo aos 12 e aos 24 meses após a implantação do experimento nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, e determinado os atributos químicos: pH, acidez potencial (H+Al), Al, cálcio (Ca), magnésio (Mg), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). Após adoção dos tratamentos foram realizados dois anos de cultivos de soja e de cártamo, das quais foram avaliadas o desenvolvimento das características agrônômicas bem como os teores foliares de Ca, Mg e K na cultura da soja. Com relação aos atributos químicos, constatou-se efeitos significativos das doses de calcário sobre o pH do solo em todas as camadas estudadas, bem como para Al, H+Al, Ca, V% e m% nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m com 1 ano e 2 anos após adoção dos tratamentos. Para a cultura da soja, as doses de calcário calcítico não interferiram no desenvolvimento das características agrônômicas da cultura, com exceção da altura de plantas no segundo ano de cultivo, quando foi observado as máximas alturas de plantas com uso da dose de 3,9 ton. ha⁻¹. No tecido foliar houve aumento nos teores de Ca e redução nos teores de K. Na cultura de cártamo não foi observado efeito das doses de calcário calcítico, a

não ser no acúmulo de matéria seca de caule com a dose de 6,5 ton. ha⁻¹. Os resultados demonstram a eficiência do uso do calcário calcítico no aumento dos teores de Ca, por meio da neutralização do efeito tóxico do Al e da elevação do pH do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, promovendo melhorias na fertilidade do solo.

Palavras-chave: Correção da acidez. Nutrição de plantas. Fertilidade.

ABSTRACT

SAMPAIO, Marinez Carpiski, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February – 2021. **Soil chemical attributes, productivity of soybean and safflower crop under calcite doses.** Advisor: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Co-Advisor: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos.

Most Brazilian soils are naturally acid, and this acidity is responsible for chemical deterioration of the soil, due to the scarcity of basic cations and the toxic effect of aluminum(Al) on plants hindering root development and consequently causing toxic symptoms in the aerial part of crops negatively affecting productivity. This study evaluates the efficiency of surface application of calcite doses on chemical properties of soil in depth and its influence on the development of agronomic characteristics of the soybean and safflower crops during two years of agricultural cultivation. The study happened in an Eutroferic red latossol using a trial design in randomized blocks with eight replicates of 30 m² in a total area of 960 m². The treatments were doses of calcite (48% CaO and 3% MgO), with 75% PRNT, these being: 0, 3, 6 and 9 ton. ha⁻¹, distributed without mechanical incorporation. The soil chemical attributes were evaluated at 12 and 24 months after the experiment at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm, and the chemical attributes were: pH, H+Al, Al, Ca²⁺, Mg²⁺, V% and m%. After applying treatments there were two years of soybean and safflower crops, which development of agronomic and nutritional contents of Ca, Mg and K in soybean leaves were assessed. When it comes to chemical attributes, significant effects of doses on the pH were found at all studied depths, as well as for Al, H+Al, Ca²⁺, V% and m% at depths of 0-5 and 5-10 cm with 1 year (12 months) and 2 years (24 months) after application of treatments. For the soybean crop, the doses of calcite did not interfere in the development of the agronomic characteristics of the crop, except for the height of plants in the second year of cultivation, when the maximum plant heights were observed using the 3.9 t ha⁻¹ dose. There was an increase in Ca contents in the foliar tissue and a reduction in K contents. There was no interference of calcite doses in the development of safflower crop, providing increase only in the accumulation of dry mass of plants stem in the use of the dose of 6.5 t ha⁻¹. The results demonstrate the efficiency of the use of calcite in the

improvement of the Ca contents, neutralization of the toxic effect of Al and the elevation of the pH, increasing the availability of nutrients, raising soil fertility.

Keywords: Correction of acidity. Plant nutrition. Fertility.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 - Médias em decêndios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar ocorrida durante primeiro ano após a aplicação dos tratamentos. 13
- Figura 2 - Médias em decêndios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar ocorrida durante o segundo ano após a aplicação dos tratamentos. 14
- Figura 3 – Teores de Al no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico nas camadas de 0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B). 17
- Figura 4 – Teores de pH no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico nas camadas de 0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B) e 0,10-0,20 m (C). 19
- Figura 5 – Valor de acidez potencial (H+Al) do solo após aplicação de doses de calcário calcítico na camada de 0-0,05 m (A) e 0,05-0,10 m (B). 20
- Figura 6 - Teores de Ca^{2+} no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico na camada de 0-0,5 m (A) e 0,05-0,10 m (B). 21
- Figura 7 – Valores da saturação de bases (V%) no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico na camada de 0-0,05 m (A) e 0,05-0,10 m (B)... 23
- Figura 8 – Saturação por alumínio (m%) no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico na camada de 0-0,05 m (Figura A) e 0,05-0,10 m (Figura B). 23

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Médias em decêndios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período de condução experimental para a safra 2017/2018. 36
- Figura 2 - Médias em decêndios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período de condução experimental para a safra 2018/2019. 37
- Figura 3 - Efeito de doses de calcário calcítico sob altura de plantas de soja nas safras 2017/2018 (ano 1) e 2018/2019 (ano 2). 43
- Figura 4 - Teor de Cálcio em de plantas de soja submetidas a doses de calcário calcítico em superfície nos anos agrícolas 2017/18 e 2018/19. 47

Figura 5 - Teor de Potássio em plantas de soja submetidas a doses de calcário calcítico em superfície nos anos agrícolas 2017/18 e 2018/18.....48

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Médias em decênios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período de condução experimental para a safra 2017/2018.60

Figura 2 - Médias em decênios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período de condução experimental para a safra 2018/2019.61

Figura 3 - Massa seca de caules de plantas de cártamo cultivadas sob doses elevadas de calcário calcítico em superfície.....67

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1 - Características químicas e granulométricas do solo do local de realização do experimento antes de sua implantação, na camada de 0-0,20 m..... 13
- Tabela 2 - Análise de variância para pH, Al, H+Al, Ca, Mg, K, V e m nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após aplicação de calcário calcítico em superfície 16
- Tabela 3 – Valores médios dos atributos químicos do solo sob efeito da calagem nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m com um e dois anos após a aplicação superficial de calcário calcítico.24

CAPÍTULO 2

- Tabela 1 - Características químicas e granulométricas do solo do local de realização do experimento antes de sua implantação, na camada de 0-0,20 m.....39
- Tabela 2 - Quadrados médios de altura de planta (AP), número de plantas por hectare (NPha-1), diâmetro de caule (DC), número de vagem por planta (NVPL).....40
- Tabela 3 - Quadrados médios de número de grãos por planta (NGPL), massa de mil grãos (MMG), produtividade (kg ha⁻¹).....40
- Tabela 4 - Número de plantas por hectare (Npl/ha⁻¹), diâmetro de caule (DC), número de grãos por planta (Ngpl), massa de mil grãos (Mmg) e produtividade (kg ha⁻¹) de soja para os anos agrícolas 2017/18 (1) e 2018/19 (2) no Município de Marechal Cândido Rondon - PR45
- Tabela 5 – Quadrados médios dos teores foliares de Ca, Mg e K em folhas de soja após aplicação de doses de calcário calcítico46

CAPÍTULO 3

- Tabela 1- Características químicas e granulométricas do solo do local de realização do experimento antes de sua implantação, na camada de 0-0,20 m.....64
- Tabela 2 - Análise de variância para altura de planta (AP), número de galhos (NG), número de capítulos por planta (NCAP), diâmetro de caule (DC), matéria seca de galho (MSG).....64
- Tabela 3 - Quadrados médios para matéria seca de capítulos (MSCAP), matéria seca de caule (MSC), massa de mil grãos (MMG), produtividade por hectare (PROD) e teor de óleo (ÓLEO).....65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
2	CAPÍTULO 1: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS	
	APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DOSES DE CALCÁRIO CALCÍTICO	8
2.1	INTRODUÇÃO	10
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	12
2.2.1	Localização, clima e solo da área experimental	12
2.2.2	Delineamento experimental	14
2.2.3	Amostragem do solo	14
2.2.4	Análise estatística	15
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
2.4	CONCLUSÕES	27
2.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
3	CAPÍTULO 2: COMPONENTES AGRONÔMICOS E NUTRIÇÃO	
	MINERAL DE SOJA CULTIVADA APÓS DOSES DE CALCÁRIO CALCÍTICO	32
3.1	INTRODUÇÃO	34
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.2.1	Localização, clima e solo da área experimental	36
3.2.4	Semeadura da soja	38
3.2.5	Amostragem foliar	38
3.2.6	Componentes de produção	38
3.2.7	Análise estatística	39
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.4	CONCLUSÕES	49
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
4	CAPÍTULO 3: COMPONENTES AGRONÔMICOS DA CULTURA DO	
	CÁRTAMO APÓS APLICAÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO CALCÍTICO	55
4.1	INTRODUÇÃO	57
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	60
4.2.1	Localização, clima e solo da área experimental	60
4.2.2	Delineamento experimental	61
4.2.3	Semeadura do cártamo	61

4.2.4	Componentes de produção.....	62
4.2.5	Teor de Óleo.....	62
4.2.6	Análise estatística.....	63
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.4	CONCLUSÕES.....	68
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
5	APÊNDICE.....	73

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo aumento da produtividade é algo frequente na produção agropecuária, tendo em vista vários fatores incluídos neste processo, desde a aquisição de insumos, condições climáticas e, principalmente a fertilidade do solo, entre outros fatores. Os solos brasileiros em sua grande maioria são naturalmente ácidos, e essa acidez é responsável pela degradação química do solo, devido a relativa escassez em cátions bases, afetando os elementos básicos como cálcio, magnésio, potássio e sódio, além da pela presença de alumínio trocável (Al) em sua solução (KOCHIAN et al., 2015). O Al é tóxico para as plantas impedindo o desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, provocando também sintomas tóxicos na parte aérea das plantas (SCHMITT; WATANABE; JANSEN, 2016).

O uso do calcário visa recuperar os solos ácidos, disponibilizando Ca, Mg, elevando o pH, a saturação por bases (V%), proporcionando aumento na disponibilidade de nutrientes, reduzindo a toxidez do Al e Mn^{2+} criando ambiente favorável para o desenvolvimento do sistema radicular (HOLLAND et al., 2018).

A acidez do solo é originária de vários fatores, desde o elevado teor de matéria orgânica, minerais de argila, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, bem como de sais solúveis, além uso frequente de fertilizantes nitrogenados em cultivos agrícolas (CAIRES, 2013), dificultando a implementação e ampliação de novas formas de produção (BOJÓRQUEZ-QUINTAL et al., 2017; TANDZI et al., 2018). Solos que devido ao seu material de origem não apresentem acidez, passam a ser ácidos pela extração das bases trocáveis das superfícies dos coloides, através da ação da água da chuva, da troca iônica das raízes, das alterações dos minerais de argila e também pela decomposição de restos culturais (NATALE et al., 2012).

A otimização e compreensão da agricultura com base no desenvolvimento sustentável leva em consideração a fertilidade do solo, evidenciando o detalhamento dos parâmetros químicos, proporcionando melhor uso dos fertilizantes e corretivos, visando o favorecimento do sistema de produção das culturas através do uso eficiente do manejo do solo (ROSA et al., 2015; SILVA et al., 2015).

Quando o solo tem sua acidez corrigida quimicamente, passa a apresentar alto potencial agrícola viabilizando o uso de tecnologias que proporcionam maior rentabilidade. Assim, a determinação dos parâmetros químicos visando a correção do pH deve ser enfatizada, já que a acidez do solo, determinada pelo valor do pH,

interfere diretamente na disponibilidade dos nutrientes, bem como na presença do Al na solução do solo (CAIRES, 2013; SCHMITT; WATANABE; JANSEN, 2016; GHIMIRE; MACHADO; BISTA, 2017).

A caracterização das propriedades químicas do solo é necessária para maximizar a eficiência dos corretivos de acidez, sendo de fundamental importância a análise química do solo para determinar a necessidade de calagem para melhoria da produção agrícola (ARRUDA; MOREIRA; PEREIRA, 2014).

Em geral, um solo ácido apresenta condições desfavoráveis para o desenvolvimento da maioria das plantas, com presença de forma tóxica do Al e manganês (Mn), acompanhados dos baixos teores de Ca e Mg trocável, molibdênio (Mo), fósforo (P) e baixa soma e saturação de base (MIGUEL et al., 2016; TANDZI et al., 2018; COSTA et al., 2016; MALUF et al., 2015; YANG et al., 2013; MALUF et al., 2018).

Maior disponibilidade de nutrientes e melhor retenção de água no solo proporcionam ambiente favorável para que as plantas manifestem seu potencial produtivo. Com a elevação pH, diminui-se a acidez do solo, com anulação do efeito tóxico do Al, aumentando a concentração de Ca e Mg, assim como maior resistência ao estresse hídrico (ZANDONÁ, et al., 2015; SHI; LI; NI, 2019).

O manejo do solo é fundamental para proporcionar condições favoráveis desde a semeadura, desenvolvimento e produção das plantas, aliado as condições ambientais ideais para todas as culturas, com destaque para a cultura da soja (*Glycine max* L.), que, através da utilização de uma cultivar com excelente potencial genético, em um solo corrigido e com boa fertilidade, proporcionará maior rentabilidade (SENTELHAS et al., 2015).

A soja teve rápida expansão da Ásia para as demais regiões do mundo, chegando ao Brasil na metade do século XIX. Sua boa adaptabilidade aos diferentes tipos de solos e ao clima brasileiro, tornou o Brasil um dos maiores produtores e, conseqüentemente exportadores de grãos da cultura, com destaque para a região Centro-Oeste (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2020; SILVA et al., 2018; SILVA; NETO, 2019). Mundialmente, a cultura da soja é considerada como a principal oleaginosa na produção agrícola e a de maior consumo humano (FAO, 2018).

A correção da acidez do solo é fundamental para melhoria da fertilidade e aumento da produtividade. Através da neutralização da acidez solo, o uso do calcário promove a liberação das cargas negativas presentes no complexo de troca

do solo sendo posteriormente ocupado por Ca, Mg e K responsável por uma produção agrícola eficiente e sustentável (HOLLAND et al., 2018).

Caires et al. (2008) ao estudarem os efeitos da calagem nos atributos químicos do solo e o comportamento da soja pela aplicação superficial de calcário, não constataram efeito sob a produtividade da cultura.

Zandoná et al. (2015) avaliando os atributos químicos do solo, a produtividade do milho e da soja com o uso do gesso agrícola, com e sem calcário, em sistema plantio direto (SPD), constataram que o calcário proporcionou incremento na produtividade da soja, provavelmente devido ao aumento dos teores de Ca e Mg bem como do pH na camada de 0-0,10 m.

Miranda et al. (2005) estudando os efeitos e formas de aplicação do calcário na correção da acidez do solo e na produtividade das culturas da soja e do milho, sob sistemas de rotação, em plantio convencional e SPD constataram que o aumento das doses de calcário promove melhorias significativas da produtividade da soja cultivada sob a palhada. Ressaltam ainda que o efeito do calcário está sujeito ao tempo de aplicação e da camada do solo a ser corrigido.

A soja destaca-se também como importante fonte de energia renovável, tema esse de muitos estudos e pesquisas (CALZA et al., 2015; TAPANES et al., 2013), que visam aumentar a disponibilidade de fontes alternativas para esse recurso, a qual também vem se destacando a cultura do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), considerada importante opção de cultivo alternativo como fonte renovável para geração de energia.

Assim como a soja, o cártamo também pode ser utilizado como fonte de energia renovável, com a possibilidade de inserção nos sistemas de produção já consolidados, podendo ainda ser utilizada como opção de rotação de culturas no período de outono-inverno devido a característica de ser mais tolerante ao estresse hídrico, sendo interessante tanto para o ramo alimentício como industrial (SANTOS; BASSEGIO; SILVA, 2017). É uma oleaginosa que desperta o interesse dos pesquisadores devido a concentração (30 a 45%) e qualidade de óleo apresentadas em suas sementes, sendo excelente para produção de biodiesel, além disso, com o óleo podendo ser utilizado no consumo humano (SILVEIRA et al., 2017), apresentando altos níveis de ácidos oleico e linoleico (SACKS et al., 2017).

Cultivada em vários países, a cultura do cártamo vem sendo motivo de estudos para aumentar a produtividade e o teor de óleo de suas sementes (ZANÃO

JÚNIOR et al., 2017; PALUDO, 2018). No Brasil, o cártamo ainda possui baixa expressão econômica (GALANT; SANTOS; SILVA, 2015), talvez devido a ausência de cultivares com adaptabilidade genética, além de maior conhecimento técnico-científico que promovam melhorias no seu manejo (GALANT; SANTOS; SILVA, 2015). Embora existam pesquisas desenvolvidas que demonstram a capacidade produtiva da cultura no país (SILVA et al., 2015; BONFIM-SILVA et al., 2015; PALUDO et al., 2018).

Além do uso para produção de óleo, alimentação humana e fins industriais, o cártamo também pode ser utilizado para alimentação animal, podendo ser utilizada como planta forrageira servindo e opção para produção de silagem de boa qualidade (POSSENTI et al. 2016).

Os benefícios da calagem como corretivo de solo, pode ir além da correção da acidez e neutralização do efeito tóxico do Al, aumentando disponibilidade de Ca e Mg e melhorando o sistema radicular, fundamentais para máxima expressão do potencial produtivo das culturas.

Assim, o presente trabalho, teve por objetivo avaliar a eficiência da aplicação superficial de doses de calcário calcítico nos atributos químicos do solo em profundidade e sua influência no desenvolvimento das características agrônomicas das culturas da soja e do cártamo durante dois anos de cultivo agrícola. Para a apresentação dos resultados, esta tese, foi dividida em três capítulos:

O capítulo 1 intitulado “Atributos químicos do solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico.”

O capítulo 2 intitulado “Componentes agrônomicos e nutrição mineral da soja cultivada após doses de calcário calcítico.”

O capítulo 3 intitulado “Componentes agrônomicos da cultura do cártamo após aplicação de doses de calcário calcítico.”

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA JÚNIOR J. J. et al. Análise das variáveis tecnológicas na cultura da soja (*glycine max*) com utilização de remineralizador de solo como fertilizante. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.8, p. 56835-56847, 2020.

ARRUDA, M. R.; MOREIRA, A.; PEREIRA, J. C. R. **Amostragem e cuidados na coleta de solo para fins de fertilidade**. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 18p. 2014.

BOJÓRQUEZ-QUINTAL, E. et al. Aluminum, a friend or foe of higher plants in acid soils. **Frontier in Plant Science**, v.8, n.1767, p.1-18, out. 2017.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Development of safflower subjected to nitrogen rates in Cerrado soil. **American Journal of Plant Science**, v. 6, n.13, p. 2136-2143, 2015.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, IPNI, n. 141, p.1-13, mar. 2013.

CAIRES, E. F. et al. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 57-64, jan. 2008.

CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 35, n. 6, p. 990-997, nov/dez. 2015.

CATTELAN, A. J.; CÂMARA, G. M. de S. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 264p. (Sistemas de Produção, 15). Out. 2011.

COSTA, C. H. M. et al. Residual Effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1633-1642, 2016.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo – Fomentando la resiliência climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición**. Roma, 2018.

GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; SILVA, M. A. Melhoramento de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). **Acta Iguazu**, v. 4, n.1, p. 14–25, 2015.

GHIMIRE, R.; MACHADO, S.; BISTA, P. Soil pH, Soil Organic Matter, and Crop Yields in Winter Wheat–Summer Fallow Systems. **Agronomy Journal**, v.109, n. 2, p. 706-717, 2017.

HOLLAND, J. E.; et al. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. **Science of The Total Environment**. v.610-611, n. 1, p. 316-332, 2018.

KOCHIAN, L. V. et al. Plant Adaptation to Acid Soils: The Molecular Basis for Crop Aluminum Resistance. **Annual Review Plant Biology**, v.66, n.98, p. 571-598, jan. 2015.

MALUF, H. J. G. M.; et al. Disponibilidade e recuperação de nutrientes de resíduos culturais em solos com diferentes texturas. **Revista Brasileira Ciencia do Solo**, vol.39, n.6, p.1690-1702, nov./dec. 2015.

MALUF, H. J. G. M. et al. Adsorption and availability of phosphorus in response to humic acid rates in soils limed with CaCO₃ or MgCO₃. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n.1, p.7-20, jan./feb.2018.

MIGUEL, P. S. B. et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v.24, n.1, p.13-29, abr. 2016.

MIRANDA, L. N. et al. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40 n.6, p.563-572, jun. 2005.

NATALE, W. et al. Acidez do solo com calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p.1294-1306, dez. 2012.

PALUDO, J. T. S. et al. Agronomic performance of Safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) under different soil bulk density levels in the Oxisol of the Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 3, p. 407-412, mar. 2018.

POSSENTI, R. A. et al. Avaliação nutritiva da silagem de cártamo, produção de biomassa, grãos e óleo. **Boletim de Indústria Animal**, v.73, n.3, p.236-243, set. 2016.

ROSA, M.G. et al. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.6, p.1544-1553, nov./dez. 2015.

SACKS, F. M. et al. Dietary Fats and Cardiovascular Disease: A Presidential Advisory from the American Heart Association. **Circulation**, v. 136, n. 3, p.1-23, jun. 2017.

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; SILVA, M. A. Productivity and production components of safflower genotypes affected by irrigation at phenological stages. **Agricultural Water Management**, v. 186, p. 66-74, 2017.

SCHMITT, M.; WATANABE, T.; JANSEN, S. **The effects of aluminium on plant growth in a temperate and deciduous aluminium accumulating species**. *AoB Plants*. v.8, p.1-13, 2016.

SENTELHAS, P. C. et al. The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v. 153, p. 1394-1411, 2015.

SHI, R.; LI, J.; NI, N. Understanding the biochar's role in ameliorating soil acidity. **Journal of Integrative Agriculture Chinese Academy of Agricultural Sciences**, v.18, n.7, 2019.

SILVA, A. F. et al. Simulação sequencial de atributos diagnósticos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.5, p.418-425, 2015.

SILVA, M. L. da. et al. Padrão de especialização do comércio internacional agrícola brasileiro: uma análise por meio de indicadores de competitividade. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.11, n.2, p. 385-408, 2018.

SILVA, L. L.; NETO, N. Análise de eficiência de diferentes fungicidas no controle do fungo *Phakopsora Pachyrhizi* na cultura da soja. **Ciência & Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 44-51, 2019.

SILVEIRA, L. et al. Influência alelopática do extrato aquoso de folhas de Citronela (*Cymbopogon*) sobre a germinação e desenvolvimento inicial de quatro genótipos conhecidos de Cartamo (*Carthamus tinctorius* L.). **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 5, p. 197-206, ed. esp. 2017.

TANDZI, L. N. et al. Breeding maize for tolerance to acid soils: A review. **Agronomy**, v.8, n.6, p.1-21, 2018.

TAPANES, N. D. L. O. et al. Biodiesel no Brasil: matérias-primas e tecnologias de produção. *Acta Scientiae et Technicae*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 119-125, 2013.

YANG, S. et al. Effect of fulvic acid on the phosphorus availability in acid soil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.13, n.3, p.526-533, 2013.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Seed productivity, oil content and accumulation of macronutrients in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes in subtropical region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1254-1260, 2017.

ZANDONÁ, R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito de déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.2, p.128-137, 2015.

2 CAPÍTULO 1: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DOSES DE CALCÁRIO CALCÍTICO.

RESUMO

O calcário é o material corretivo mais utilizado na agricultura com o qual busca-se a correção da acidez do solo por meio da elevação do pH, aumentando os teores de Ca, Mg, a saturação por bases e neutralizando o Al tóxico. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência da aplicação superficial de doses de calcário calcítico nos componentes químicos do solo em profundidade. O estudo foi desenvolvido na área experimental da UNIOESTE, câmpus Marechal Cândido Rondon, em um Latossolo Vermelho eutroférico empregando doses de calcário calcítico (0, 3, 6 e 9 ton. ha⁻¹) distribuído a lanço sem incorporação. Foram realizadas coletas de amostras de solo aos 12 meses e aos 24 meses após a implantação do experimento nas camadas de 0-0,5, 0,5-0,10 e 0,10-0,20 m, e determinado os atributos químicos: pH, H+Al, Al, Ca, Mg, V% e m%. Com o aumento das doses de calcário calcítico, houve aumento do pH, ficando próximo da neutralidade, aumento no teor de Ca e elevação do V%, reduzindo o teor de alumínio, saturação por alumínio e da acidez potencial, evidenciando benefícios com o uso do calcário calcítico na fertilidade do solo.

Palavras-chave: Correção da acidez. Nutrientes. Manejo do solo.

SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AFTER SUPERFICIAL APPLICATION OF DOSES OF CALCITE.

ABSTRACT

Aglime is the most widely used corrective material in agriculture to correct soil acidity by raising pH, increasing Ca, and Mg levels, base saturation and neutralizing toxic Al. The objective of the work was to evaluate the efficiency of superficial application of calcite doses in the chemical components of the soil in depth. The objective of the work was to evaluate the efficiency of the superficial application of limestone doses in the soil chemical attributes in depth. The study was developed in the experimental area of UNIOESTE, Marechal Candido Rondon campus, in an eutroferric red Oxisol employing calcite doses (0, 3, 6 and 9 ton. ha⁻¹) distributed by launch without incorporation. Soil samples were collected at 12 months and 24 months after the experiment at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm, and determined the chemical attributes: pH, H+Al, Al, Ca, Mg, V% and m%. With the increase of the calcite doses, there were improvements in the pH, getting close to neutrality, increase in the Ca content and increase in the V%, reducing the Al content and the potential acidity, showing effectiveness in the use of the calcite in the V% increase and m% reduction.

Keywords: Correction of acidity. Nutrients. Soil management.

2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande extensão de solos com diferentes formações, sendo que cerca de 70% são considerados ácidos ou que possuem problemas com acidez e baixa disponibilidade de nutrientes (SANTOS et al., 2018). A presença de hidrogênio (H) e alumínio (Al) na solução do solo são responsáveis pela acidez do mesmo, conseqüentemente pela redução em até 40% na produtividade, em especial nas regiões tropicais e subtropicais (QUAGGIO, 2000).

O manejo inadequado dos recursos naturais, dos sistemas agrícolas e da adubação do solo podem resultar em danos na produção, pois interferem diretamente nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (MELLO; BRUM, 2013).

A acidez pode ser gerada tanto pelo material de origem, como também pelo clima, intemperismo, organismos, além da atividade agrícola responsável pela extração dos nutrientes, que devido ao manejo empregado, os nutrientes essenciais não são repostos em quantidade correta (NATALE et al., 2012). A acidez pode influenciar em diferentes reações e processos químicos no solo, o que interfere na disponibilidade dos macronutrientes e micronutrientes, na atividade biológica do solo, com conseqüente alterações na dinâmica da decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) liberando ácidos orgânicos e inorgânicos (VIEIRA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2005).

Os solos podem ser naturalmente ácidos, causado pela degradação química do solo, devido à escassez de cátions básicos, o que afeta a disponibilidade de vários elementos, como Ca, Mg, K e Na, além da presença de Al trocável em sua solução (KOCHIAN et al., 2015). Esse processo causa toxidez para as plantas, o que impede o desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, sintomas na parte aérea (SCHMITT; WATANABE; JANSEN, 2016).

Considerados altamente eficientes na correção do solo, os corretivos de acidez do solo estão diretamente ligados aos conceitos amplamente aceitos e estudados para os solos de cada região, enfatizando a análise do solo como instrumento para estimar a necessidade de calagem e a quantidade recomendada (ARRUDA; MOREIRA; PEREIRA, 2014).

A prática da calagem para correção do solo é uma das formas mais utilizada. Porém, seu efeito tem ação restrita ao local de aplicação, com redução da acidez do

solo mais demorada para as camadas mais profundas, ocorrendo com maior eficiência quando há a incorporação do corretivo ou lixiviação dos carbonatos ao longo do perfil do solo, proporcionando melhorias físicas e químicas e maiores produtividades agrícolas (BLUM; CAIRES; ALLEONI, 2013; SHI; LI; NI, 2019).

A aplicação do calcário (CaCO_3 e MgCO_3), tem se mostrado eficaz na recuperação dos solos ácidos, o que proporciona melhorias nos teores de Ca, Mg, elevação do pH, da saturação por bases (V%), com conseqüente aumento na disponibilidade de nutrientes, além de reduzir a ação tóxica do Al e Mn criando ambiente favorável para o desenvolvimento do sistema radicular (HOLLAND et al., 2018). Estes benefícios têm reflexo na melhoria da capacidade de retenção de água, diminuição da susceptibilidade a compactação e erosão do solo, proporcionando maior tolerância ao estresse hídrico (SHI; LI; NI, 2019).

Pauletti et al. (2014) trabalhando com aplicação superficial de doses de calcário de 0 e 3,42 ton. ha^{-1} , constataram aumento do pH na camada de 0-0,10 m nos primeiros 36 meses após a aplicação, sendo esse aumento também verificado na camada de 0,10-0,20 m após 72 meses de aplicação, efeito esse que pode estar relacionado a baixa solubilidade do corretivo e da lenta movimentação em profundidade do Ca e Mg nas camadas do solo (CAIRES et al., 2006; RHEINHEIMER et al., 2000).

Biazatti et al. (2020) ao trabalharem com doses de 3 e 6 ton. ha^{-1} de calcário dolomítico, constataram melhorias na disponibilidade de Mg e P, e ao utilizarem doses acima de 7 ton. ha^{-1} verificaram ação negativa na relação Ca:Mg. Os autores observaram acréscimo do Mg até a dose de 8,8 t ha^{-1} , no qual a partir desta dose, o Mg passou a ser menos solúvel devido à alta concentração de Ca na CTC do solo, interferindo a agregação do K e do Mg aos colóides do solo os quais passam a ser facilmente lixiviados (ANDA, 1971).

Souza et al. (2012) ao avaliarem os atributos químicos do solo manejado em SPD e sistema de preparo convencional (SPC), além do efeito residual de gesso, com correção inicial do solo através da aplicação de 4,5 ton. ha^{-1} de calcário, após 55 meses de implantação dos tratamentos, constataram benefícios da aplicação do calcário em superfície. Os autores destacam ainda que, para que ocorra ação do corretivo nas camadas subsuperficiais, é necessário a utilização de maiores doses de calcário. Entretanto, essa técnica pode ocasionar desequilíbrios nos teores de Ca,

Mg e K, além de maior elevação do pH, resultando em deficiência de Mn, Fe, Zn e Cu, bem como a deficiência de P (NATALE et al., 2012).

Vários são os benefícios do uso do calcário como corretivo de solo, pois além da correção da acidez e neutralização do efeito tóxico do Al^{+3} , proporciona maior disponibilidade de Ca e Mg, sendo fundamentais a máxima expressão do potencial produtivo das culturas. Porém, o uso de altas doses do corretivo, pode levar ao desequilíbrio nutricional. Diante disso, segue-se a hipótese de que o aumento das doses de calcário pode resultar em efeitos negativos aos atributos químicos do solo. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência da aplicação superficial de doses de calcário calcítico sobre os componentes químicos do solo em diferentes profundidades.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização, clima e solo da área experimental

O presente trabalho foi realizado em condições de campo, nos anos de 2017, 2018 e 2019, na Fazenda Experimental “Professor Antônio Carlos dos Santos Pessoa”, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, localizada no município de Marechal Cândido Rondon, Estado do Paraná, sob as coordenadas 24°31'58.24" S e 54°01'11.08" W e com altitude de 390 metros.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, mesotérmico úmido subtropical de inverno seco, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano e verões quentes. A temperatura média anual está entre 22 e 23 °C, e o total anual médio de precipitação de 1600 a 1800 milímetros (ALVARES et al. 2014). O solo da área experimental está classificado como um Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) (SANTOS et al., 2018) e de textura argilosa, apresentando teor de argila de 585,50 g kg⁻¹ (Tabela 1).

A área estava sendo manejada em sistema de semeadura direta na palha. Previamente à implantação do experimento, realizou-se a coleta de uma amostra composta do solo para a caracterização química (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo do local de realização do experimento antes de sua implantação, na camada de 0-0,20 m.

Camada	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC
m	CaCl ₂	mg dm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----						
0-0,20	5,03	34,29	0,44	2,94	1,28	0,15	6,29	4,66	11,35
Camada	V	m	MO	Argila	Silte		Areia		
m	-----%-----	g dm ⁻³		----- g kg ⁻¹ -----					
0-0,20	41,06	3,12	32,81	585,5	361,61		52,79		

P e K – Extrator Mehlich-1; Al, Ca e Mg – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al – pH SMP (7,5).

Fonte: Laboratório de Análise Química Ambiental e Instrumental.

Os dados meteorológicos referentes aos períodos experimentais foram obtidos junto da Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE, localizada próximo à área experimental (Figuras 1 e 2).

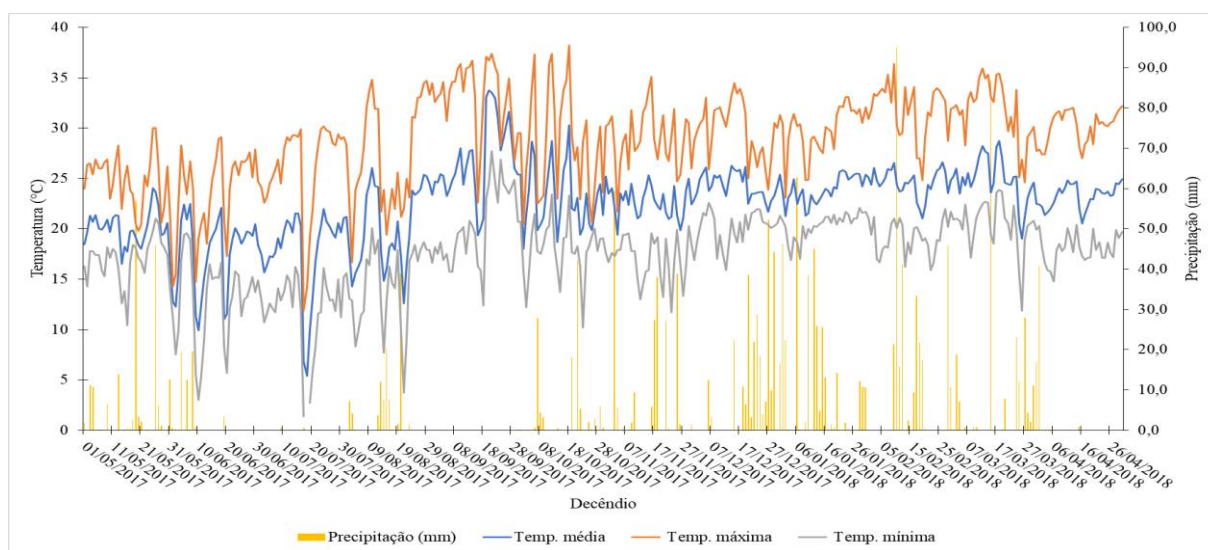


Figura 1 - Médias em decêndios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar ocorrida durante primeiro ano após a aplicação dos tratamentos.

Fonte: Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE – PR.

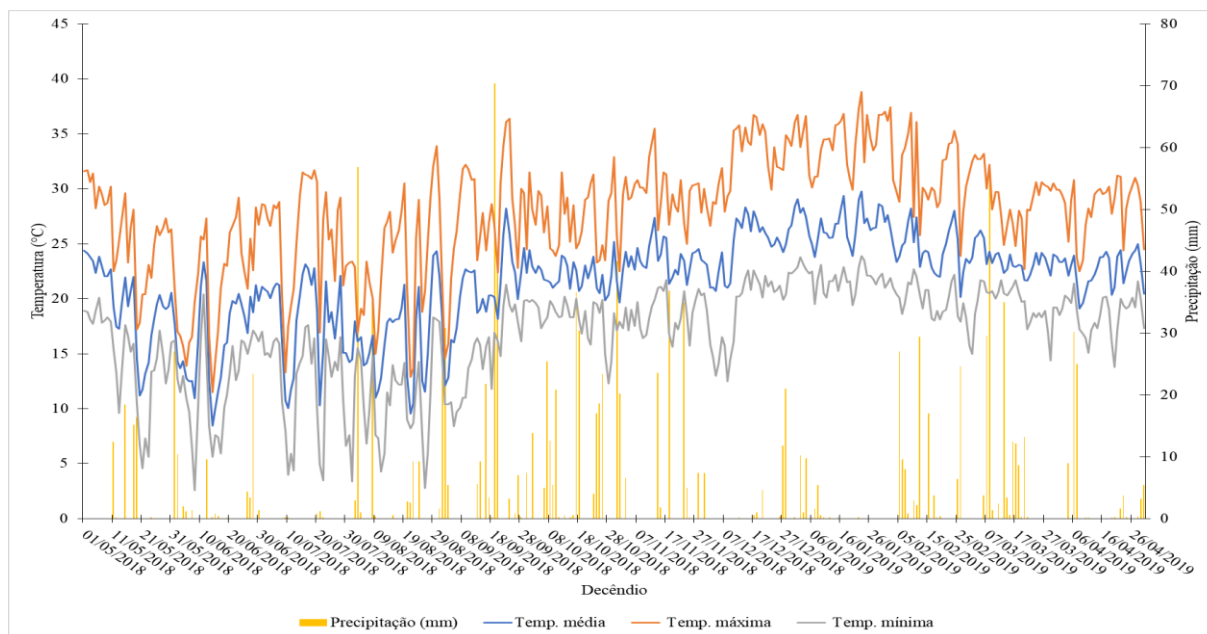


Figura 2 - Médias em decêndios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar ocorrida durante o segundo ano após a aplicação dos tratamentos.

Fonte: Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE – PR.

2.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com oito repetições. A parcela experimental possuía dimensões de 7,5 m de comprimento por 4 m de largura (30 m²), com área total de 960 m². Os tratamentos foram doses de calcário calcítico (48% CaO e 3% MgO), com PRNT de 75%, sendo: 0, 3, 6 e 9 ton. ha⁻¹, os quais foram distribuídas sem incorporação mecânica no dia 10 de maio de 2017. Em seguida, foi realizada semeadura da cultura da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) BRS 139 como planta de cobertura e após trinta dias se realizou adubação a lanço com sulfato de amônio (250 kg ha⁻¹) com distribuição uniforme em área total.

2.2.3 Amostragem do solo

Com 1 ano (12 meses) e 2 anos (24 meses) após a implantação dos tratamentos, no dia 10 de maio de 2018 e 2019 foram realizadas coletas de amostras de solo deformadas utilizando trado holandês, sendo 5 amostras simples para representar cada parcela nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Após a coleta, o solo foi seco ao ar, passado em peneiras de 2,0 mm e

aconicionados em sacos plásticos e enviados ao Laboratório de Análise Química Ambiental e Instrumental pertencente a UNIOESTE, *Câmpus* de Marechal Cândido Rondon, sendo determinados os seguintes atributos químicos: pH, acidez potencial (H+Al), Al, Ca, Mg, V% e m%.

2.2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F ($p < 0,05$) e efetuou-se a análise conjunta dos dados nos diferentes anos de cultivo. Havendo significância para ano, utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação entre as médias e quando dose ou interação dose x ano foi significativo, realizou-se a análise de regressão. As análises estatísticas foram processadas com auxílio do aplicativo computacional SISVAR® (FERREIRA, 2011).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos atributos do solo avaliados foram observados efeitos significativos para doses nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m para pH, Al, H+Al, Ca, V% e m%, e na camada 0,10-0,20 m para pH. Na comparação entre anos de cultivo, houve efeito na camada 0-0,05 m para pH, Al H+Al, e V%, na camada de 0,05-0,10 m para pH, Al, H+Al, V e m, e na camada de 0,10-0,20 m para pH, Al, H+Al, Ca e V. Houve efeito significativo para interação ano e dose na camada de 0-0,05 m para o pH (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância para pH, Al, H+Al, Ca, Mg, K, V e m nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m após aplicação de calcário calcítico em superfície.

Camada 0-0,05 m - QM									
FV	GL	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	V	m
Blocos	14	0,06	0,03	0,58	1,74	0,61	0,11	78,65	15,01
Doses (D)	3	0,79**	0,23**	4,74**	16,48**	0,33	0,05	616,81**	96,59**
Ano	1	10,17**	0,18*	154,23**	2,26	0,001	1,23**	3651,18**	46,72
Ano*Doses	3	0,35*	0,03	0,13	16,05	0,17	0,12	26,77	9,05
Erro	42	0,12	0,040	0,63	11,74	0,21	0,06	67,11	17,98
CV(%)		6,89	221,46	16,33	21,83	24,22	37,43	13,42	248,16
Média		5,07	0,09	4,87	4,96	1,88	0,68	61,05	1,70
Camada 0,05-0,10 m – QM									
FV	GL	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	V	m
Blocos	14	0,05	0,05	0,74	1,15	0,66	0,21	104,96	21,03
Doses	3	1,01**	0,44**	5,12**	8,47**	0,12	0,32	532,07**	157,43**
Ano	1	7,59**	0,57**	160,97**	2,60	0,001	2,66**	3790,40**	126,31*
Ano*Doses	3	0,33	0,02	0,08	0,77	0,21	0,31	46,06	8,59
Erro	42	0,16	0,08	0,76	0,94	0,26	0,11	76,70	29,36
CV(%)		8,23	147,45	17,24	21,8	28,36	48,42	15,05	153,56
Média		4,99	0,19	5,05	4,43	1,80	0,67	58,19	3,52
Camada 0,10-0,20 m – QM									
FV	GL	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	V	m
Blocos	14	0,10	0,12	0,94	1,93	0,49	0,27	114,16	59,30
Doses	3	0,49*	0,04	2,04	2,42	0,05	0,07	208,98	22,84
Ano	1	3,48**	0,81**	141,46**	11,39**	0,001	1,59**	2316,02**	191,96
Ano*Doses	3	0,19	0,15	0,59	1,79	0,15	0,16	151,90	98,32
Erro	42	0,15	0,11	0,83	1,63	0,24	0,07	112,25	51,38
CV(%)		8,08	112,97	16,96	31,82	30,96	47,78	19,74	128,32
Média		4,84	0,28	5,38	4,01	1,59	0,57	53,66	5,58

FV – Fonte de variação; * - Significativo a 5% pelo teste F; ** - Significativo a 1% pelo teste F. GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação; QM: Quadrado médio; pH - Potencial hidrogeniônico; Al – Alumínio; H+Al – Acidez potencial; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; K – Potássio; V – Soma de bases; m - Saturação por alumínio.

Nos teores de Al houve efeito significativo das doses de calcário nas camadas de 0-0,05 m (Figura 3A) e 0,05-0,10 m (Figura 3B). De acordo com o aumento das doses de calcário, houve redução no teor de Al até em torno a dose de 6,26 ton. ha⁻¹, quando o Al foi neutralizado na camada de 0-0,05 m e posteriormente o corretivo passou a perder o poder de neutralização (Figura 3A). Já para a camada de 0,05-0,10 m também houve redução do Al até por volta da dose 5,93 ton. ha⁻¹, porém não chegando a neutralizar o elemento de forma total (Figura 3B).

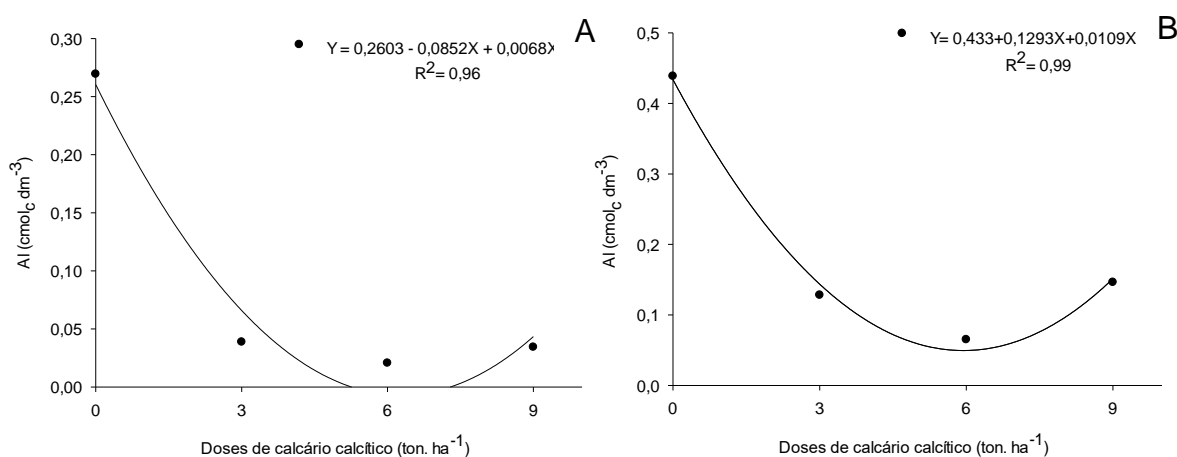


Figura 3 – Teores de Al no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico nas camadas de 0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B).

Não foram observados na literatura resultados semelhantes ao do presente estudo para explicar esse aumento na concentração do Al. No momento que se aplica o calcário no solo, busca-se anular o efeito tóxico do Al neutralizando os íons hidrogênio (H) livres da solução do solo, que logo em seguida é recolocado da fase sólida para assim manter o equilíbrio (VITTI; LUZ, 1997).

Vários estudos tratam do efeito da calagem em diferentes condições de solo da substituição do Al por íons de Ca, levando os íons carbonato de cálcio a reagir com a solução do solo, promovendo excesso de íons de hidroxilas (OH), que reagem com o H formando água (MEERT et al., 2016; PAULETTI et al., 2014; CRAVO; SMYTH; BRASIL, 2012; CAIRES, 2013; FLORES et al., 2008; FREIRIA et al., 2008). De acordo com Malavolta (1985), a água é responsável pela remoção das bases dos complexos de troca, permitindo a troca por íons de H, favorecendo a transformação química e física dos minerais de argila causando o aparecimento de Al acidificando o solo. Desta forma, infere-se que, a alta dosagem de calcário aplicada (9 ton. ha⁻¹) tenha promovido o excesso de íons de hidroxilas, a ponto de ocorrer a lixiviação das bases levando ao aumento dos teores de Al.

Pode ser ainda que o extrator da análise tenha superestimado a amostra do solo, pois de acordo com CUNHA et al. (2015) o cloreto de potássio 1 mol L^{-1} utilizado como extrator pode superestimar os teores de Al, extraindo outras formas de Al, além da trocável, o que pode ter sido favorecido pelo aumento das doses de calcário. O autor ressalta ainda que nem todo o Al determinado pelo KCl 1 mol L^{-1} faz parte das ligações de troca no sistema coloidal do solo, fazendo com que o Al trocável seja superestimado e, conseqüentemente, a saturação por alumínio.

Outra suposição é de que devido a área do estudo ser trabalhada em sistema de semeadura sobre a palha, e possuir $32,81 \text{ g dm}^{-3}$ de matéria orgânica (MO), o uso do calcário pode ter favorecido a disponibilidade de maior quantidade de nutrientes, intensificando a atividade das bactérias na decomposição da MO, liberando amônia (NH_3), sendo posteriormente convertida em nitrato (NO_3^-) liberando maior quantidade de H^+ (CANELLAS; SANTOS, 2005), razão pela qual pode ter promovido aumento no teores de Al.

São várias as causas que podem interferir nos teores de Al, elevando os valores de coeficiente de variação, dificultando a verificação da normalidade da distribuição dos dados devido a diversidade na composição do solo em profundidade e no sentido horizontal, sendo essa a principal fonte de variação do solo (REICHARDT, 1987), destacando no presente estudo a ocorrência de variação do Al no solo entre $0,00-1,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (dados coletados a campo), que justifica o alto valor de coeficiente de variação.

Para os valores de pH, não houve ajuste para o ano 1, porém houve interação para dose e ano com ajuste linear significativo para o ano 2 na camada 0-0,05 m (Figura 4A), e efeito significativo para as doses nas camadas 0,05-0,10 e 10-20 m (Figuras 4B e 4C), respectivamente.

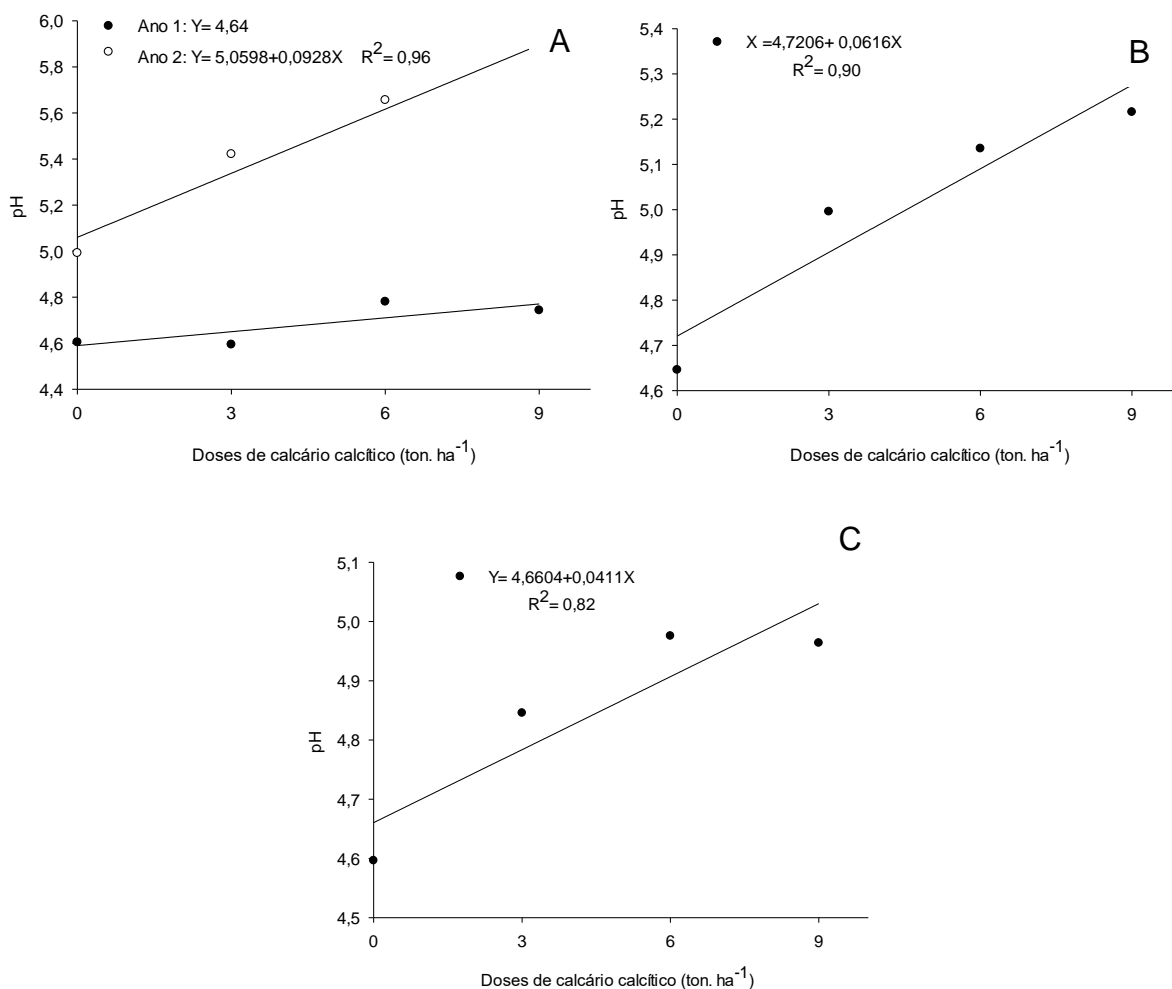


Figura 4 – Valores de pH no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico nas camadas de 0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B) e 0,10-0,20 m (C).

O aumento da concentração de Ca disponibilizado ao solo pelo aumento das doses de calcário associado a baixa solubilidade do corretivo proporcionou elevação linear do pH somente após 24 meses da aplicação (Figura 4A). Pauletti et al. (2014) ao estudarem a aplicação de gesso e calcário em SPD, constataram que a aplicação de calcário em superfície sem incorporação proporcionou aumento do pH na camada de 0-0,10 m após 36 meses e na camada de 0,10-0,20 m após 72 meses.

Ocorreu aumento linear do pH conforme o incremento das doses de calcário nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, justificando a redução do Al apresentada na Tabela 3. Esses resultados corroboram com Holland et al. (2018) nos quais relatam que a elevação do pH reduz a ação tóxica do Al. Esse aumento no valor do pH confirma os resultados apresentados por Biazatti et al. (2020) e Meert et al. (2016) que doses crescentes de calcário proporciona acréscimo do pH nas camadas subsuperficiais do solo após certo período de tempo.

De acordo com Broch e Ranno (2012), o pH ideal para a produção de grãos da maioria das culturas está na faixa de 5,8 a 6,2, pois é nessa faixa que ocorre a maior disponibilidade dos elementos na solução do solo para absorção pelas plantas. A calagem, além de elevar o pH do solo e ser responsável pela redução da toxicidade do Al e acréscimo na disponibilidade de nutrientes, também pode ocasionar redução da disponibilidade de micronutrientes (Zn, Cu, Mn e Fe) quando o pH fica acima de 7,0, sendo importante seguir critérios, como a análise de solo, se atentando as dosagens necessárias, evitando o uso de quantidades que irão interferir diretamente na fertilidade do solo.

Para a acidez potencial (H+Al), houve significância nas doses de calcário, conforme aumento das doses observa-se redução linear da acidez potencial na camada 0-0,05 m até a dose máxima utilizada (Figura 5A), e uma redução na camada 0,05-0,10 m até a dose de 6,9 ton. ha⁻¹ (Figura 5B).

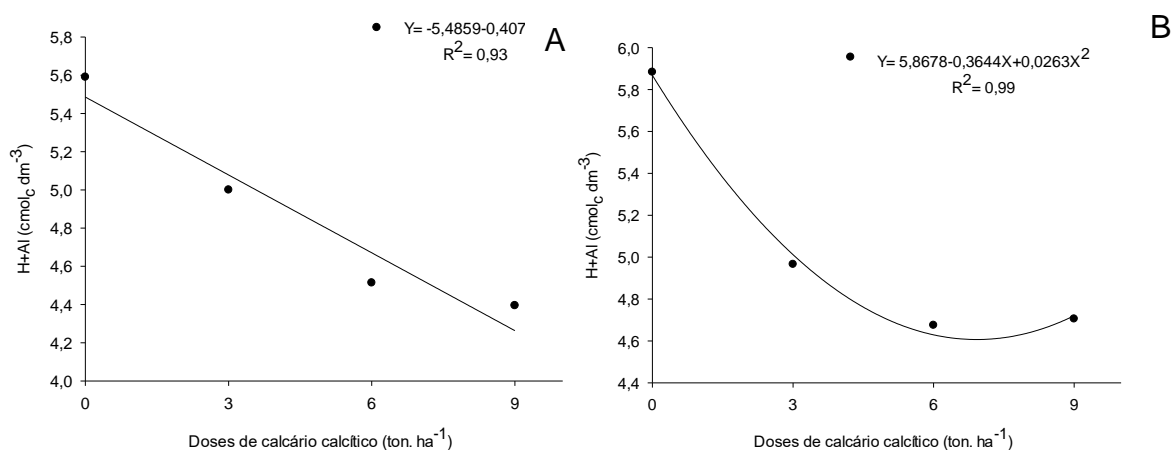


Figura 5 – Valor de acidez potencial (H+Al) do solo após aplicação de doses de calcário calcítico nas camadas de 0-0,05 m (A) e 0,05-0,10 m (B).

Essa elevação da concentração da acidez potencial a partir da dose de 6,9 t ha⁻¹ pode estar relacionada ao comportamento apresentado pelo Al, já que a mesma está relacionada a soma do Al e H⁺ adsorvidos aos colóides do solo (EBELING et al., 2008).

A acidez potencial foi influenciada pelas doses do corretivo, pois de acordo com Biazatti et al. (2020), o calcário faz a correção do solo através da liberação de hidroxila que tem reação com hidrogênio formando água reduzindo o nível de acidez do solo. Essa redução está relacionada com o aumento do pH que foi observado na Figura 4, e do acréscimo dos teores de Ca (Figura 6), ressaltando a eficiência da

calagem na redução da acidez potencial, corroborando com Alleoni et al. (2016) e Kaminski et al. (2005).

Soratto e Crusciol (2008) fazendo aplicação de doses crescentes de calcário, constataram redução da acidez potencial na camada 0-0,05 m aos 3 meses, na camada 0,05-0,10 m aos 6 meses e na camada 0,10-0,20 m aos 12 meses após aplicação. Resultados semelhantes foram relatados também por Biazatti et al. (2020) e Freiria et al. (2008).

Os teores de Ca do solo apresentaram aumento linear de acordo com as doses aplicadas, o que deve estar relacionado ao tipo do corretivo utilizado no estudo, com concentração de 48% CaO (Figura 4A e B). Importante destacar que o uso do calcário calcítico, embora esse efeito, nas duas primeiras camadas, não foi observado na camada de 0,10-0,20 m.

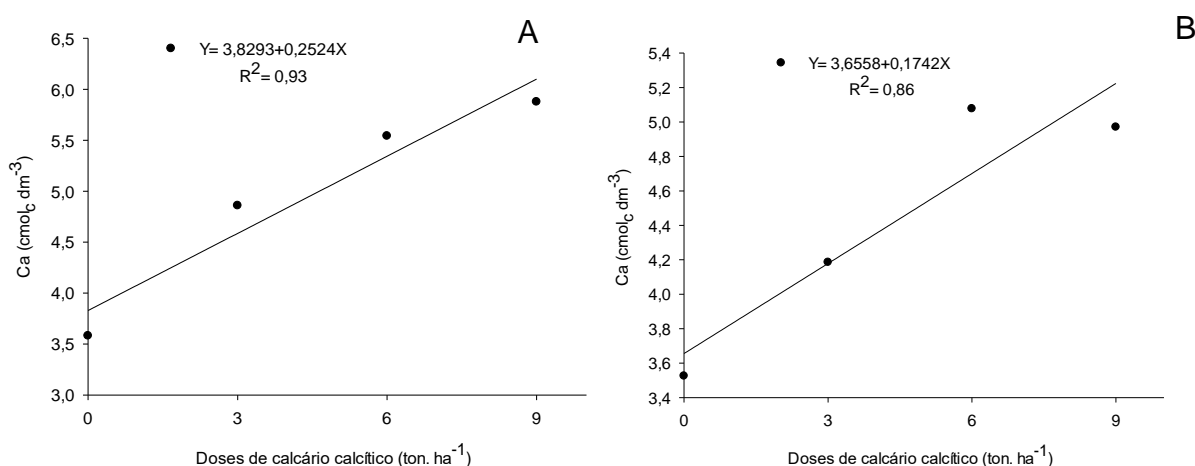


Figura 6 - Teores de Ca no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico nas camadas de 0-0,05 m (A) e 0,05-0,10 m (B).

Esse aumento linear dos teores de Ca corrobora com Bambolim et al. (2015) o qual com aplicação de doses crescentes de calcário também verificaram acréscimos nos teores do nutriente. Maraschin et al. (2020) ao avaliarem os atributos químicos de solos com texturas arenosa e argilosa, também constataram acréscimos nos teores de Ca conforme aumento das doses de calcário, variando entre 0,18 a 3,05 cmol_c dm⁻³ e 0,00 a 4,15 cmol_c dm⁻³ respectivamente, com doses variando de 0,0 a 20,0 ton. ha⁻¹. Flores et al. (2008) relataram efeito da calagem após 12 meses da aplicação até a profundidade de 0,25 m, com essa modificação expressiva até os 24 meses, apresentando ação positiva do aumento das doses de calcário em relação ao Ca.

Cravo; Smyth e Brasil (2012) relataram melhorias nos atributos químicos do solo com aumento da concentração de Ca até a profundidade de 0,60 m de acordo com o aumento das doses de calcário até 48 meses após aplicação, sendo que o corretivo possuía uma concentração de 19,8% CaO e de 10,8% MgO, incorporado ao solo.

O uso do calcário promove acréscimo na concentração de Ca e da força iônica no solo, propiciando aumento e maior estabilidade dos agregados, conseqüentemente da condutividade hidráulica, resultando em efeitos benéficos para o reestabelecimento das plantas quando do estresse hídrico, aumentando sua tolerância (GOULDING, 2016). Entretanto, de acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (1971), o uso demasiado do corretivo pode ser prejudicial, o que ocasiona precipitação de nutrientes como P e Mg.

No presente estudo, os teores de Mg não apresentaram diferenças significativas para ano, doses e nem interação doses e anos, o que pode estar ligado ao tipo de corretivo utilizado (3% MgO), como pode ser observado na análise de variância apresentado na Tabela 2. De acordo com Amaral Castro, Crusciol e Menegale (2012) o Mg não fica aderido aos coloides do solo ficando suscetível à lixiviação. Vale ressaltar a possível competição entre o Ca e Mg pelos sítios de adsorção (SALVADOR et al., 2011).

As médias encontradas para os teores de Mg nas doses 0, 3, 6 e 9 ton. ha⁻¹ foram 1,72, 1,87, 1,78, 1,67 cmol_c dm³ respectivamente, considerado alto conforme o Manual de Adubação e Calagem do Paraná (1,1-2,0 cmol_c dm³) (PAVINATO et al., 2017).

Biazatti et al. (2020) estudando a ação da calagem constataram efeito crescente nos teores de Mg do solo até a aplicação de 8,8 ton. ha⁻¹, com posteriores decréscimos na disponibilidade com aumento das doses. Vários estudos realizados mostraram a eficiência do calcário no acréscimo dos teores de Mg decorrentes da ação positiva da aplicação de doses de calcário dolomítico (SORATTO; CRUSCIOL, 2008; FLORES et al., 2008; MELO et al., 2019).

Para a saturação por bases (V%), houve efeito significativo para as doses, tendo aumento linear conforme o acréscimo das doses de calcário na camada 0-0,05 m (Figura 7A). Já na camada 0,05-0,10m houve comportamento quadrático, com um ponto de máxima de V% na dose de 6,8 ton. ha⁻¹ com 62,8% (Figura 7B).

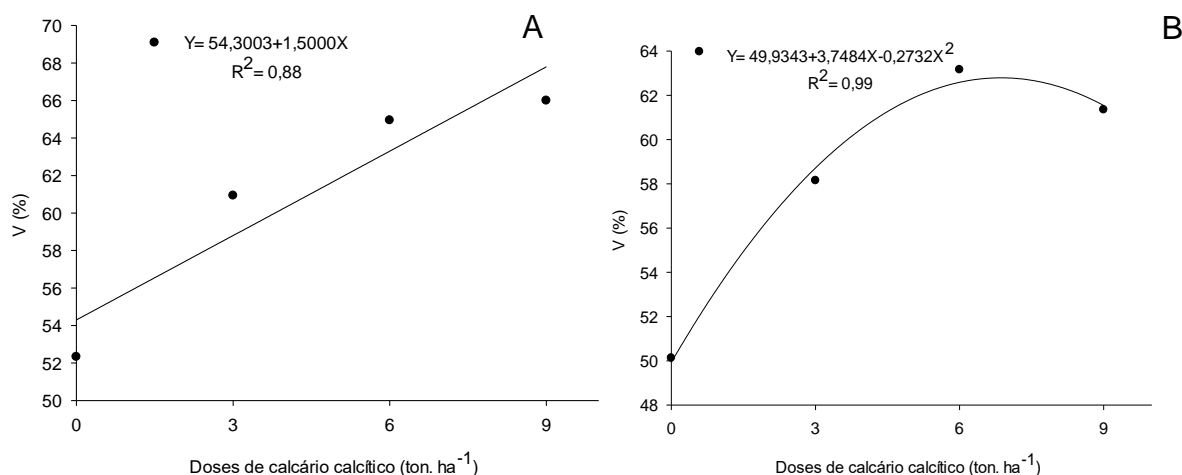


Figura 7 – Valores da saturação de bases (V%) no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico nas camadas de 0-0,05 m (A) e 0,05-0,10 m (B).

A adição do calcário promove aumento nos teores de Ca (Figuras 6A e B) e redução da acidez potencial, como observado no estudo. Estes fatores, de acordo com Freiria et al. (2008) influenciam no comportamento das bases%.

Caires (2013) ao verificar a influência da aplicação de doses de calcário sem incorporação em um Latossolo Vermelho de textura média, constataram o melhor potencial no cultivo em torno de cinco anos após a aplicação, com V de 65%. Este valor é próximo ao encontrado neste presente estudo com 24 meses após aplicação.

Houve influência das diferentes doses de calcário na saturação por alumínio (m%) nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, com comportamento quadrático em ambas as camadas, com neutralização total da m% em 0-0,05 m na dose de 6,2 ton. ha⁻¹ (Figura 8A), e máxima redução até a dose de 5,9 ton. ha⁻¹ na camada de 0,05-0,10 m, com saturação por alumínio de 0,7% (Figura 8B).

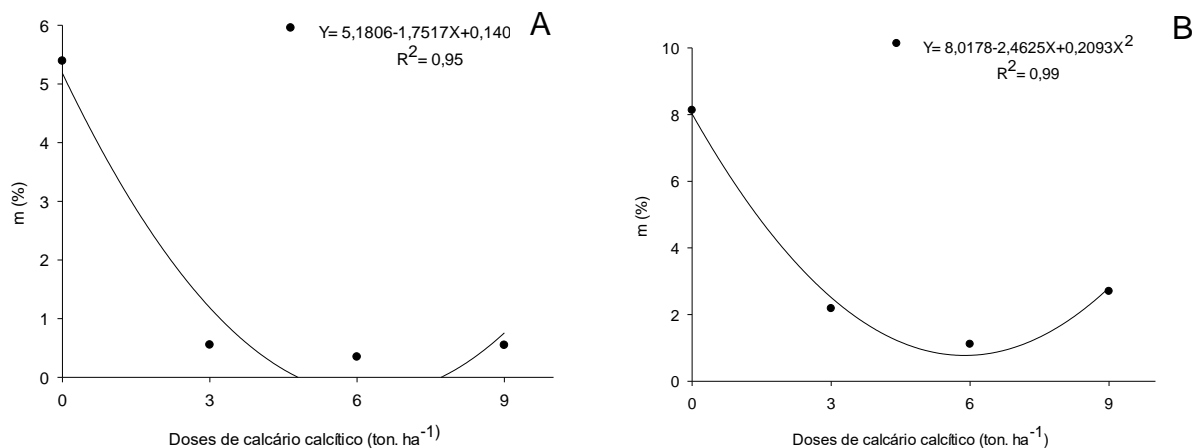


Figura 8 – Saturação por alumínio (m%) no solo após aplicação superficial de doses de calcário calcítico nas camadas de 0-0,05 m (Figura A) e 0,05-0,10 m (Figura B).

O comportamento da m% está relacionada com a reação do Al no solo, os quais foram semelhantes. Não foi possível encontrar na literatura estudos os quais pudessem explicar este comportamento.

Na Tabela 3 pode ser observado os valores médios obtidos para pH, Al, H+Al, K e V% com 1 e 2 anos após a aplicação das doses de calcário (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios dos atributos químicos do solo sob efeito da calagem nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m com um e dois anos após a aplicação superficial de calcário calcítico.

Ano	pH	Al	H + Al	K	V
	CaCl ₂	-----cmol _c dm ³ -----			%
0-0,05 m					
1	--	0,14a	6,43a	0,55b	53,50b
2	--	0,04b	3,32b	0,82a	68,60 ^a
0,05-0,10 m					
1	4,65b	0,29a	6,64a	0,47b	50,50b
2	5,34a	0,10b	3,47b	0,88a	65,89 ^a
0,10-0,20 m					
1	4,61b	0,40a	6,87a	0,42b	47,65 ^a
2	5,08a	0,18b	3,90b	0,73a	59,69b

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste F (5%).

Conforme houve aumento do pH do solo nas três camadas avaliadas do primeiro para o segundo ano, também foi constatada redução do Al nas três camadas de solo no segundo ano de estudo, que confirma a colocação de Zandoná et al. (2015) e Holland et al. (2018) que a elevação do pH reduz a ação tóxica do Al.

O mesmo comportamento pode ser observado para acidez potencial, ou seja, o corretivo tem efeito positivo sobre a acidez potencial, através da liberação de hidroxila reagindo com hidrogênio formando água reduzindo acidez do solo (BIAZATTI et al., 2020). Essa redução da acidez potencial está relacionada também com o aumento do pH corroborando com Alleoni et al. (2016) e Kaminski et al. (2005).

Em relação a saturação de bases (V%), também houve aumento nos valores do primeiro para o segundo ano de avaliação. Esse aumento pode estar relacionado ao aumento da concentração de K, umas das bases influenciadas positivamente

pela adição do calcário. Lembrando que doses elevadas de calcário podem originar desbalanço na disponibilidade dos elementos químicos do solo (NOLLA et al. 2020).

Houve efeito de ano também para o K, que apresentou acréscimo em sua concentração de um ano para outro. Nolla et al. (2020) também relataram que maiores doses de calcário promoveram acréscimo na disponibilidade de K, que pode ser justificado pela neutralização da toxidez do Al, que resulta em maior adsorção do K no sistema coloidal (BISSANI et al., 2008).

Os teores de Ca nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,10 m não apresentaram efeitos para ano, com média de 4,96 e 4,44 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$, respectivamente, para o ano 1 e 2. Porém apresentou efeito na camada de 0,10-0,20 m, na qual, no segundo ano, houve decréscimo na concentração comparado com o primeiro ano (4,43 para 3,58 $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$). Esse fato pode estar relacionado com a reação lenta do calcário que acontece ao longo do tempo após a aplicação, devido à baixa solubilidade do corretivo no perfil do solo (PAULETTI et al., 2014; MEERT et al., 2016), o que pode ter acentuado no presente estudo pela forma de aplicação, sem incorporação.

Outra hipótese pode estar associada às condições químicas do solo anterior a implantação do experimento (Tabela 1), na qual, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o Paraná, os teores de Ca encontravam-se em alta concentração (2,1-6,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), e a saturação por alumínio, em baixa concentração (<5%) (PAVINATO et al., 2017).

Esse resultado é oposto aos resultados observados em vários estudos que tratam da eficiência do calcário em relação a concentração do Ca: Flores et al. (2008) e Soratto e Crusciol (2008), 12 meses após a distribuição. Caires et al. (2003), 11 meses após aplicação superficial ou incorporada de calcário. Tiritan et al. (2016), 6 meses da implantação dos tratamentos.

Outros estudos comprovaram a lenta reação do calcário na modificação dos atributos químicos do solo: Caires et al. (2004); Cravo; Smyth e Brasil (2012) e Caires et al. (2013) que verificaram melhoras na correção do solo após 46, 48 e 60 meses, respectivamente, após a aplicação do calcário ao solo, devido a lenta lixiviação do Ca no perfil do solo. Esses resultados ressaltam que a reação do corretivo é dependente do tempo após sua aplicação (PAULETTI et al., 2014).

A saturação por alumínio (m%) não apresentou significância para os anos de cultivo nas camadas de 0-0,05 e 0,10-0,20 m, apresentando média de 1,70 e 5,58% respectivamente. Estes valores, de acordo com Manual de Adubação e Calagem do

Paraná são considerados muito baixo e baixo, respectivamente (PAVINATO et al., 2017). Já na camada de 0,05-0,10 m pode-se constatar aumento significativo de 2,12% para 4,93%, com média de 3,52%. Embora havendo essa diferença significativa entre os dois anos, os valores também são classificados como muito baixos, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem do Paraná (PAVINATO et al., 2017).

De acordo com Nicolodj; Anghinoni e Gianello (2008) em estudos sobre as relações entre os tipos de acidez do solo e seus principais indicadores em diferentes camadas de solo em SPD, relatam que a intensidade da saturação por alumínio tem maior relação com a concentração das bases no solo, estando também relacionada com a adição de matéria orgânica, responsável por modificações na maior disponibilidade de nutrientes. Reichardt (1987) destaca que a heterogeneidade do solo em profundidade e também no sentido horizontal, é a principal fonte de variação das concentrações de nutrientes no solo.

Com a prática da calagem ocorre adequação do pH e na disponibilidade dos nutrientes no solo, regulando equilíbrio entre os teores de bases no solo, proporcionando melhoria na disponibilidade nutricional para as culturas (OLIVEIRA et al., 2015; CARMO e SILVA 2016). A aplicação de calcário em superfície proporciona melhorias nos atributos químicos, preferencialmente nas primeiras camadas do solo (PAULETTI et al., 2014).

Para alcançar resultado promissor com uso da calagem, é necessário conhecer as características do tipo de corretivo utilizados, a dose necessária, além de manejar a melhor forma de aplicação e o momento ideal para aplicação, sempre levando em consideração a cultura a ser implantada e o tipo do solo. Desta forma, as plantas possuem condições de expressar seu maior potencial produtivo através do maior aproveitamento dos nutrientes disponíveis, sem o risco da ocorrência de toxidez (MARASCHIN et al., 2020).

2.4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados alcançados foram observados benefícios nos atributos do solo através da calagem com calcário calcítico após 2 anos, proporcionando melhorias ao ambiente radicular até a camada de 0,20 m, com aumento do pH e saturação por bases, além da redução nos teores de Al e H+Al.

Houve aumento linear nos teores de Ca nas duas primeiras camadas avaliadas.

As doses de calcário calcítico não influenciaram os teores de Mg no solo.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEONI, L. R. F.; et al. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, V.de F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e Mineralogia do Solo**: parte II- aplicações, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1ed. Viçosa, Minas Gerais, 685p. 2016.
- ALVARES, C. A.; et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- AMARAL CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; MENEGALE, M. L. Calagem e silicatagem superficiais e a disponibilidade de cátions hidrossolúveis em culturas anuais e braquiária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 740-748, 2012.
- ARRUDA, M. R.; MOREIRA, A.; PEREIRA, J. C. R. **Amostragem e cuidados na coleta de solo para fins de fertilidade**. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 18p. 2014.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA FIDUSÃO DE ADUBOS (ANDA), **Manual de Adubação**, AVE MARIA, ed. 1, São Paula, 268p. 1971.
- BAMBOLIM, A. et al., Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo, **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p.34–38, 2015.
- BIAZATTI, R. M.; et al. Fitomassa do Capim-Braquiária e atributos químicos de um latossolo sob compactação induzida e doses de calcário. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.8, p. 55368-55387. 2020.
- BISSANI, C. A.; et al. **Fertilidade dos Solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 328 p. 2008.
- BLUM, S. C.; CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n. 2, p. 279-300. 2013.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. [S. l.]: Fundação MS, 39p. 2012.
- CAIRES, E.F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p.275-286, 2003.
- _____. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004.
- _____. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência Solo**, n. 30, v. 1, p. 87-98, 2006.
- _____. **Correção da acidez do solo em sistema plantio direto**. Informações agrônomicas, Piracicaba – SP, n. 141, p. 1-13, março, 2013.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. de A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, UENF. 348p. 2005.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.10, p.1762-1772, 2016.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; BRASIL, E. C. Calagem em latossolo amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 895-907, 2012.

CUNHA, G. O. M. et al. Formas de alumínio em solos ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de Al extraível com KCl. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.39, n. 5, p.1362-1377, 2015.

DE SOUZA, F. R.; JUNIOR E.; FIETZ, C. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 1717–1732, set. 2012.

EBELING, A. G.; et al. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 429-439, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: Um Sistema Computacional de Análise Estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p.1039-1042, 2011.

FLORES, J. P. C.; et al. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 6, p. 2385-2396, 2008.

FREIRA, A. C.; et al., Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 285-291, 2008.

GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 3, p. 390–399, 2016.

HOLLAND, J. E.; et al. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. **Science of The Total Environment**. v.610-611, n. 1, p. 316-332, 2018.

KAMINSKI, J.; et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n. 4, p. 573-580, 2005.

KOCHIAN, L. V.; et al. Plant Adaptation to Acid Soils: The Molecular Basis for Crop Aluminum Resistance. **Annual Review Plant Biology**, v.66, p. 571–598, 2015.

MALAVOLTA, E. **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Campinas, Fundação Cargill, 367p. 1985.

MARASCHIN, L.; SCARAMUZZA, J. F.; VIEIRA, C. R. Incubação do calcário e as características químicas de solos com texturas diferentes. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 1, p. 43-51, 2020.

MEERT, L.; et al. Atributos químicos do solo e resposta do trigo à calagem superficial em sistema plantio direto. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v.9, n.3, p. 45-51, 2016.

MELLO, E. S. de; BRUM, A. L. O direito ao desenvolvimento e a produção local: O plantio direto da soja como uma alternativa de desenvolvimento econômico. **Revista gestão e desenvolvimento em contexto** - GEDECON, v.1, n. 01, p.133-154, 2013.

MELO, R. M.; et al. Calagem e textura do substrato afetam o desenvolvimento de *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. **Revista de Ciências Agrárias**. vol.42 n.1, 2019.

NATALE, W.; et al. Acidez do solo com calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2012.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do planalto do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1217-1226. 2008.

NOLLA, A.; et al. Correção da acidez e disponibilização de fósforo e potássio em latossolo vermelho distrófico típico submetido à calagem incorporada e superficial. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**. v. 3, n. 3, p. 2478-2487, 2020.

OLIVEIRA, I. P.; et al. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Montes Belos-GO, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2005.

ORSOLETTA, D. J. D.; CUNHA, G. O. de M.; ALMEIDA, J. A. de.; BARBOZA, B. B. **Teores de alumínio extraídos pelos métodos do Cloreto de potássio 1 mol L⁻¹, Cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ tamponado a pH5 e por Oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹**. In. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Florianópolis, SC. 2015.

PAULETTI, V.; et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.2, p. 495-505, 2014.

PAVINATO, P. S.; et al. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira Ciência do Solo. 289 p. 2017.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000.

REICHARDT, K. **A água nos sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, n. 30, v. 2, p. 263-268, 2000.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**. Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SANTOS, H. G.; et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 5^o ed. 355p. 2018.

SCHMITT, M.; WATANABE, T.; JANSEN, S. **The effects of aluminium on plant growth in a temperate and deciduous aluminium accumulating species.** AoB Plants. 2016.

SHI, R.; LI, J.; NI, N. Understanding the biochar's role in ameliorating soil acidity. **Journal of Integrative Agriculture.** v. 18, n. 7, p. 1508-1517, 2019.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SOUZA, F.R. et al. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias,** v. 33, n. 5, p. 1717-1732, 2012.

TIRITAN, C. S.; et al. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures, **Soil and Tillage Research,** Volume 155, n. 1, p. 437-447, 2016.

VIERA F. S.; DE CASTRO, O.; TIECHER, T. Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil and Tillage Research,** v. 193, n. 26, p. 27–41, out. 2019.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C. Calagem e uso do gesso agrícola em pastagens. **Anais do 3o Simpósio sobre Ecossistema de Pastagens.** Jaboticabal, p.63-136. 1997.

ZANDONÁ, R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito de déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical,** v.45, n.2, p.128-137, 2015.

3 CAPÍTULO 2: COMPONENTES AGRONÔMICOS E NUTRIÇÃO MINERAL DE SOJA CULTIVADA APÓS DOSES DE CALCÁRIO CALCÍTICO

RESUMO

A realização de calagem em superfície do solo associada à semeadura sobre a palhada pode maximizar a produtividade de grãos. O objetivo do trabalho foi avaliar os componentes agronômicos da cultura, bem como a influência na absorção dos nutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) no tecido foliar da soja, em duas safras agrícolas no município de Marechal Cândido Rondon, PR. O estudo foi desenvolvido na área experimental da UNIOESTE, *câmpus* Marechal Cândido Rondon, em um Latossolo Vermelho Eutroférico, empregando doses de calcário calcítico (0, 3, 6 e 9 ton. ha⁻¹) distribuído a lanço sem incorporação. Foram avaliados os componentes agronômicos: número de plantas por hectare, altura de plantas, diâmetro do caule, número de grãos por planta, massa de mil grãos, além da produtividade e os teores de nutrientes foliares: Ca, Mg e K em duas safras agrícolas 2017/2018 e 2018/2019. Os componentes agronômicos da cultura da soja foram pouco influenciados pelas doses de calcário calcítico, interferindo apenas na altura de plantas, que no segundo ano de cultivo, na dose de 3,9 ton. ha⁻¹ proporcionou maiores valores para altura de plantas. Houve maior acúmulo de Ca no tecido foliar quando aplicada a dose de 6,82 ton. ha⁻¹ de calcário. Houve redução nos teores de K conforme aumento das doses de calcário. As doses de calcário calcítico não interferiram nos teores de Mg, o qual apresentou maior concentração em plantas do segundo ano agrícola.

Palavras-chave: Calagem. Teores de Nutrientes. Produtividade.

AGRONOMIC COMPONENTS AND MINERAL NUTRITION OF SOYBEAN CROP AFTER CALCITE DOSES.

ABSTRACT

The realization of liming on the surface of the soil associated with sowing on straw can maximize grain productivity. Therefore, the objective of the work was to evaluate the agronomic characteristics of the soybean crop, as well as the influence on the absorption of Ca, Mg and K nutrients in two crops in the city of Marechal Cândido Rondon. The study was developed in the experimental area of UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon campus, in an eutroferric red Oxisol employing calcite doses (0, 3, 6 and 9 ton. ha⁻¹) distributed by launch without incorporation. Agronomic characters evaluated were: height of plants, number of plants per hectare, stem diameter, number of grains per plant, mass of one thousand grains, as well as productivity and foliar nutrient contents: Ca, Mg and K in two crops 2017/2018 and 2018/2019. Calcite doses slightly influenced agronomic characteristics of soybean crop, interfering only in the height of plants, which in the second year of cultivation, on the dose of 3.9 ton. ha⁻¹ provided maximum heights of plants. There was greater accumulation of Ca in the foliar tissue with the dose of 6.82 ton. ha⁻¹ of calcite. There was reduction in the K levels according to the increase of calcite doses. Calcite doses did not interfere in the content of Mg, which presented greater concentration in plants of the second agricultural year.

Keywords: Liming. Nutrient contents. Productivity.

3.1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é cultura de destaque agrícola no Brasil, com grande relevância para a economia, com grande potencial de expansão no país, com capacidade de dobrar a produção perante ao mercado consumidor devido sua cadeia agroindustrial, já que é matéria-prima para diversos produtos, como por exemplo produção de óleo, alimentação humana e matéria-prima para rações na alimentação animal (QUEIROZ; SÁGIO; TEIXEIRA JUNIOR, 2020; VANDOIR, 2017). Porém, devido à acidez encontrada em grande parte dos solos brasileiros (NATALE, et al., 2012), tem-se forte impedimento para o desenvolvimento desta cultura devido a toxidez do alumínio (Al) no solo, baixa saturação por bases e baixos teores de fósforo (P) (CAIRES et al., 2005).

A soja é uma cultura exigente em macronutrientes, requerendo solos com quantidades suficientes e equilibradas de nutrientes para absorção e utilização eficiente dos mesmos quando presentes no solo, principalmente nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), P, magnésio (Mg) e enxofre (S), nos quais desempenham funções metabólicas essenciais no desenvolvimento das plantas. (DOMINGOS; LIMA; BRACCINI, 2015).

A absorção de nutrientes pela cultura da soja está dividida em três etapas durante seu desenvolvimento, ocorrendo uma baixa absorção da emergência até o trigésimo dia, após ocorre a fase de maior assimilação que segue até o enchimento de grãos, em seguida volta a diminuir próximo a maturação fisiológica (CARMELLO; OLIVEIRA, 2006).

O Ca tem ação direta na formação das paredes celulares, germinação do grão de pólen, desenvolvimento dos tubos polínicos, crescimento das raízes, respiração e resistência ao estresse hídrico e a toxicidade (MARSCHNER, 2012; KUMAR et al., 2013; PRIMAVESI, 2018; LIMA et al., 2018). O Mg é responsável pela produção de energia e glicose, considerado maior ativador enzimático, importante para absorção do P pela planta, e participação no processo de formação da adenosina-trifosfato (ATP) durante a fotossíntese (PRIMAVESI, 2018; LIMA et al., 2018). O K tem função de abertura e fechamento dos estômatos, respiração e fotossíntese, além de ser regulador osmótico e transportador de carboidratos, proporcionando resistência ao acamamento e danos causados por insetos, sendo que cultura da soja responde de forma rápida a sua disponibilidade (TAIZ; ZEIGER,

2017; ZORB; SENBAYRAM; PEITER, 2014; CAVALCANTE et al., 2018; GABRIEL; BUENO; SANTOS, 2016).

A disponibilidade de nutrientes é fundamental para o sucesso no desenvolvimento das culturas, obtido através do uso de corretivo de solo. Para tanto deve-se levar em conta o tempo, a dose, a cultura, o clima, forma de aplicação, tipo do solo e histórico de manejo da área. Quando a semeadura é realizada sob a palhada, o corretivo é aplicado em superfície sem que haja o revolvimento do solo, o que acarretará efeitos restritos as camadas superficiais em curto prazo de ação (CASTRO; CRUSCIOL, 2013; CAIRES et al., 2015; RHEINHEIMER et al., 2018). Ademais, devido à baixa mobilidade do calcário no solo, a cultura poderá ter seu desenvolvimento afetado de forma negativa devido indisponibilidade dos nutrientes (VERONESE et al., 2012).

A calagem busca corrigir a acidez do solo via elevação do pH, com consequente aumento da disponibilidade de nutrientes, garantindo maior rendimento através da melhoria da CTC efetiva, auxiliando na redução dos elementos tóxicos (CRUSCIOL et al., 2016; JORIS et al., 2016; CAIRES et al., 2015). Rampim et al. (2011) ressaltam que o uso do calcário é a melhor forma de diminuir a toxidez por Al no solo, enfatizando a calagem como melhor forma de aumentar a qualidade e a produtividade de grãos. O corretivo não só faz a correção da acidez do solo, como também proporciona melhorias na absorção de nitrogênio (N), Ca e Mg, favorecido pela mineralização da matéria orgânica, potencializando melhorias em várias características agronômicas das culturas (SANTOS et al., 2010; SÁVIO et al., 2011).

Miranda et al. (2005) estudando os efeitos e formas de aplicação do calcário na correção da acidez e na produtividade da soja e do milho, sob diferentes formas de plantio, constataram que o aumento das doses de calcário promove melhorias significativas da produtividade da soja cultivada sob a palhada. Ressaltam ainda, que o efeito do calcário está sujeito ao tempo de aplicação e do volume de solo corrigido.

Porém, os benefícios da calagem sem incorporação têm-se mostrado bastante eficientes na redução da acidez do solo, proporcionando incrementos na produtividade, salientando que cada cultivar possui um comportamento diferente perante as exigências nutricionais, bem como a exigência hídrica, estando também relacionada ao tipo de solo em questão (ASTERA, 2014).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como hipótese de que o aumento de doses calcáreo interfere no desenvolvimento da cultura da soja. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento dos componentes agrônômicos da cultura da soja, bem como na absorção de Ca, Mg e K pelas plantas em duas safras agrícolas, após a aplicação de doses de calcário em superfície.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização, clima e solo da área experimental

A localização da área de estudo está apresentada no item 2.2.1 do Capítulo 1 (p. 12).

Os dados meteorológicos referentes aos períodos experimentais foram obtidos junto da Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE, localizada próximo à área experimental (Figuras 1 e 2).

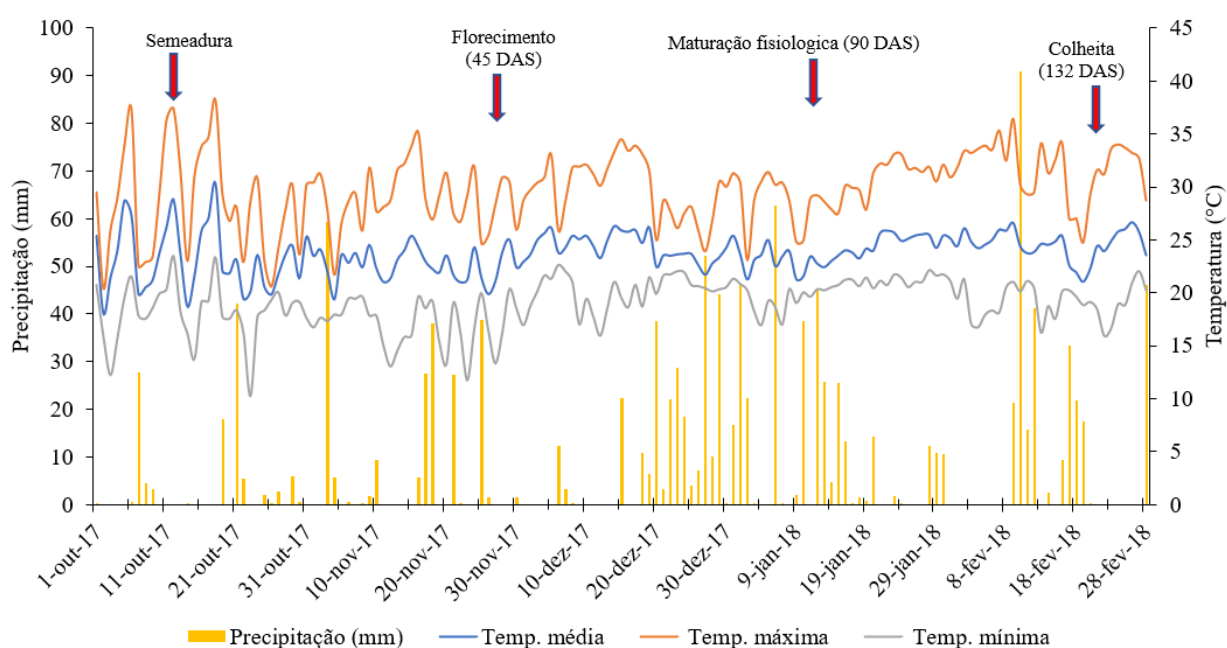


Figura 1 - Médias em decêndios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período de condução experimental para a safra 2017/2018.

Fonte: Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE – PR.

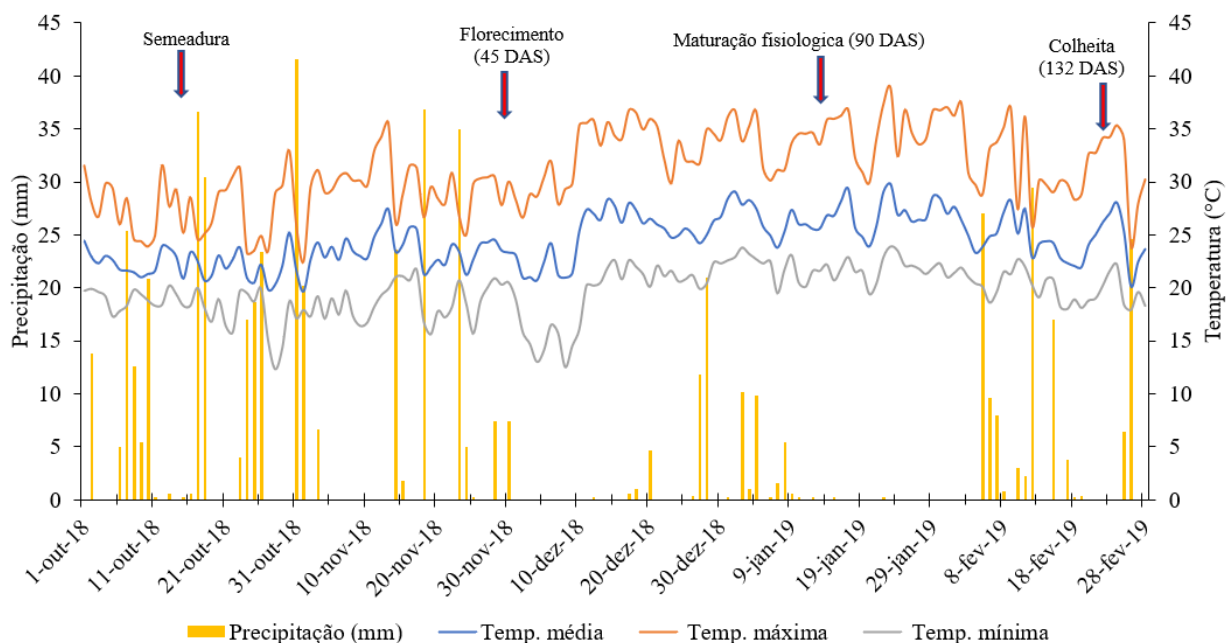


Figura 2 - Médias em decêndios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período de condução experimental para a safra 2018/2019.

Fonte: Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE – PR.

3.2.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental do estudo está apresentado no item 2.2.2 do Capítulo 1 (p. 14)

3.2.3. Implantação e manejo da cultura da aveia

No dia 12 de maio de 2017 foi realizada a semeadura da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) BRS 139 como planta de cobertura e no dia 12 de junho de 20xx foi realizada adubação de cobertura com sulfato de amônio (250 kg ha^{-1}) de maneira uniforme na área. Cerca de 30 dias antes da semeadura da soja, foi realizado a dessecação da aveia utilizando Glifosato-sal de Isopropilamina + Clethodim na dose de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ e $0,40 \text{ L ha}^{-1}$ de produto comercial contendo 480 g L^{-1} e 240 g L^{-1} de ingrediente ativo, respectivamente.

3.2.4 Semeadura da soja

Para a safra de 2017/2018, a soja foi semeada na primeira quinzena de outubro de 2017, em sistema de semeadura direta na palha, utilizando-se a cultivar NIDERA 5909 RR, com espaçamento de 0,45 m entre linhas, a 4 cm de profundidade e 15 sementes por metro. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium*. Para a adubação de base utilizou-se 310 kg ha⁻¹ do formulado comercial 02-20-18 (N, P₂O₅, K₂O).

Durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, foram realizados tratos culturais com aplicações de fungicidas Piraclostrobina + Fluxaproxade na dose de 300 mL ha⁻¹, de produto comercial; e inseticidas: Neonicotinoide + Piretroide e Benzoilureia, nas doses de 250 ml ha⁻¹ e 300 mL ha⁻¹, de produto comercial, respectivamente, com volume de calda de 250 L ha⁻¹. A colheita da soja foi realizada de forma manual, na segunda quinzena de fevereiro de 2018.

Para a safra de 2018/2019, a semeadura foi realizada na primeira quinzena de outubro de 2018, com mesmo sistema de semeadura, cultivar e tratos culturais, com a colheita realizada na segunda quinzena de fevereiro de 2019.

3.2.5 Amostragem foliar

Ao pleno florescimento da cultura (estádio R2), foram coletadas amostras de tecido foliar para quantificação dos teores de Ca, Mg e K (MIYAZAWA et al., 2009), sendo coletadas um total de 30 trifólios com pecíolos por parcela, que foram lavadas com água corrente e colocadas para secar em estufa com ventilação forçada de ar, sob temperatura de 65°C por 72 horas, foram moídas em moinho tipo Willey e preparadas para análise laboratorial sendo realizadas após digestão nitroperclórica (MIYAZAWA et al., 1999). O K foi determinado por fotometria de chama; Ca e Mg por titulação e quelatometria do EDTA (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

3.2.6 Componentes de produção

A colheita dos grãos foi realizada de forma manual, na área útil de cada parcela, na segunda quinzena de fevereiro para ambas as safras de cultivo, quando as plantas se encontravam no estágio R8. Neste momento, foram coletadas dez

plantas por parcela, para realização das avaliações dos componentes de produção: altura de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por planta, diâmetro do caule. Para a produtividade, foram coletadas 3 linhas de 5 metros (6,75 m²) sendo realizada a debulha e beneficiamento dos grãos, sendo os mesmos pesados e a umidade determinada e corrigida para 13%, com posterior determinação da massa de mil grãos (BRASIL, 2009).

3.2.7 Análise estatística

Análise estatística do estudo está apresentado no item 2.2.4, do Capítulo 1 (p. 15).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observados efeitos significativos para ano para as variáveis altura de planta, número de plantas por hectare, diâmetro de caule, número de vagem por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade para a cultura da soja nos cultivos da safra de 2017/2018 e 2018/2019 (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 - Quadrados médios de altura de planta (AP), número de plantas por hectare (NPha⁻¹), diâmetro de caule (DC), número de vagem por planta (NVPL).

FV	GL	AP	NPha ⁻¹	DC	NVPL
Bloco	14	0,001	680818881,00	1,65	776,47
Ano	1	2,14**	62731695810,00**	45,33**	15422,48**
Doses	3	0,002	245413237,00	0,56	29,07
Ano*Doses	3	0,004**	725522976,00	0,73	46,93
Erro	42	0,001	734778736,56	0,71	168,36
CV(%)		4,60	12,23	10,38	15,63
Média		0,68	221585,60	8,12	83,03

FV – Fonte de variação; CV – Coeficiente de variação; ** - Significativo a 1% pelo teste F.

Tabela 2 - Quadrados médios de número de grãos por planta (NGPL), massa de mil grãos (MMG), produtividade (PROD).

FV	GL	NGPL	MMG	PROD
Bloco	14	6592,88	60,11	816802,90
Ano	1	271489,90**	9147,65**	321170963,10**
Doses	3	61,77	53,21	53849,20
Ano*Doses	3	2117,96	13,35	65839,50
Erro	42	1342,16	33,06	231844,40
CV(%)		16,99	4,23	10,59
Média		215,65	135,89	4548,50

FV – Fonte de variação; CV – Coeficiente de variação; ** - Significativo a 1% pelo teste F.

Na tabela 3 pode ser observado os valores médios obtidos para plantas por hectare, diâmetro de caule, número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade tanto no primeiro quanto no segundo ano após aplicação das doses de calcário (Tabela 3).

Tabela 3 - Número de plantas por hectare (Npl/ha-1), diâmetro de caule (DC), número de grãos por planta (Ngpl), massa de mil grãos (Mmg) e produtividade por hectare (PROD - kg ha⁻¹) de soja para os anos agrícolas 2017/18 (1) e 2018/19 (2) no Município de Marechal Cândido Rondon – PR.

	Npl/ha ⁻¹	DC(mm)	Ngpl	Mmg(g)	PROD – kg ha ⁻¹
Ano					
1	252.894a	7,28b	282,58a	147,92a	6.949 ^a
2	190.278b	8,96a	146,50b	122,01b	2.303 ^b
		Doses (ton. ha ⁻¹)			
0	216.782	8,08	213,08	136,95	4.385
3	220.949	8,39	217,34	136,99	4.808
6	222.338	7,96	211,07	132,98	4.431
9	226.273	8,06	220,88	136,93	4.559

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste F (5%).

De acordo com Marcandalli (2015), a aplicação do calcário em superfície promove melhorias nas primeiras camadas do solo logo após sua distribuição, proporcionando aumento nos teores de Ca e Mg e aumentando o valor do pH do

solo. Importante frisar que a soja é exigente em Ca, sendo este nutriente de grande importância estrutural no desenvolvimento fisiológico da soja (SILVA et al., 2017).

É perceptível que o desenvolvimento da cultura da soja no primeiro ano foi notadamente favorecido pelas condições pluviométricas (Figura 1), que associadas a fertilidade já existente na área do experimento, que apresentava alto teor de matéria orgânica 32,81 g dm³ (Tabela 1) sendo considerada como indicador de qualidade do solo (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2015). Além disso, através da disponibilidade dos nutrientes oriundos da calagem nas camadas superficiais também proporcionaram melhor desenvolvimento em altura de planta.

Vale ressaltar que as respostas positivas dos demais componentes agrônômicos podem estar ligados aos fatores genéticos da cultivar, e possivelmente às condições ambientais durante o período de cultivo. Tais considerações devem-se ao fato que no primeiro ano de cultivo as condições pluviométricas (Figura 1) foram favoráveis ao desenvolvimento da cultura, o que não ocorreu durante o segundo ano de cultivo (Figura 2), notadamente pelas menores médias observadas nas características avaliadas nesse período. A presença de déficit hídrico em qualquer período durante o crescimento vegetativo, pode afetar negativamente sua expressividade produtiva. Sendo que em relação aos acontecimentos climáticos não há como intervir, podendo ocorrer em vários níveis e frequências nas diferentes regiões do país (SENTELHAS et al., 2015).

Durante o ciclo da soja existe um período conhecido como “período crítico”, quando a planta consegue realizar a absorção de forma mais rápida, que corresponde do início do florescimento até o enchimento de grãos. Vale destacar ainda que fatores adversos como estiagem, deficiência nutricional, pragas e doenças podem interferir negativamente na produtividade (TATTO, et al., 2018).

No presente estudo, a média máxima de disponibilidade de água encontrada durante o período citado foi de 4,8 mm dia⁻¹ o que pode ter resultado em alterações fisiológicas na planta com provável queda antecipada de folhas e flores e abortamento das vagens sendo responsável pela redução da produtividade do segundo ano de cultivo (CATTELAN; CÂMARA, 2011).

No segundo ano de cultivo pode-se verificar maior diâmetro de caule que é influenciado diretamente pelo estande de plantas, sendo que quando há maior número de plantas por área, a disponibilidade de recursos para desenvolvimento da planta é menor, promovendo competição entre as plantas de soja por água, luz e

nutrientes. Além disso, a competição por radiação solar promove maior crescimento em altura, resultando em menor diâmetro de caule, promovido pelo alongamento da haste em busca de maior incidência de luz solar. Este resultado corrobora com Balbinot Junior et al. (2015) quando estudando densidade de plantas de soja constataram uma redução significativa no diâmetro do caule quando do aumento do stand de plantas. O autor destaca ainda que essa redução se deve ao fato de haver uma diminuição na quantidade de nutrientes disponível para a formação da planta conforme o aumento de indivíduos por área.

O aumento do diâmetro de caule pode estar relacionado ao maior acúmulo de assimilados nas folhas e caule, resultando em melhor desenvolvimento das estruturas das plantas (ANDRIOLO, 1999). Outra característica da planta que pode ser influenciada pelo déficit hídrico é a redução da área foliar, senescência e queda das folhas.

Os resultados positivos das demais variáveis no primeiro ano de cultivo, pode estar relacionado ao melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis devido as melhores condições ambientais encontradas durante o período de cultivo, que associada a fertilidade do solo foram favoráveis a cultura da soja (SOUZA et al., 2010).

Em relação ao número de grãos por planta e massa de mil grãos estes apresentaram maiores resultados no primeiro ano de cultivo, o que novamente pode se ressaltar o favorecimento pelas condições pluviométricas adversas de um ano para o outro, já que estatisticamente não houve influência dos tratamentos aplicados.

A soja durante seu desenvolvimento consegue absorver e armazenar nutrientes disponíveis nas partes vegetativas e mais tarde remobilizá-los para a formação de vagens e de grãos (GASPAR et al., 2017). Durante a fase de formação ocorre alterações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas que acontecem até as sementes alcançarem o ponto de maturidade fisiológica, ocasião em que as mesmas deixam de receber nutrientes da planta mãe, ressaltando que fatores abióticos como temperatura e condições hídricas predominantes durante as fases de florescimento e frutificação podem determinar a qualidade das sementes (PESKE; BARROS; ACHUCH, 2012; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Foram observados efeitos significativos na interação dos anos agrícolas e doses de calcário para altura de planta (Figura 3)

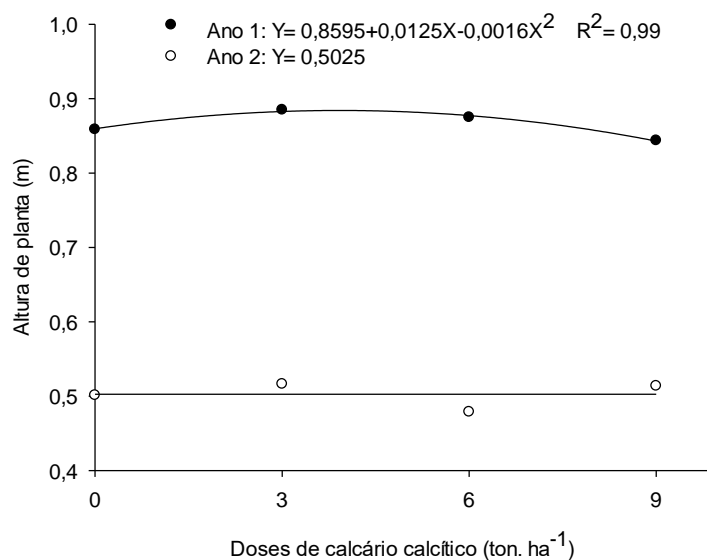


Figura 3 - Efeito de doses de calcário calcítico sob altura de plantas de soja nas safras 2017/2018 (ano 1) e 2018/2019 (ano 2).

O ano agrícola 2017/2018 (Ano 1) apresentou plantas com maiores alturas, proporcionando uma resposta quadrática com máxima altura de planta observada em 3,9 ton. ha⁻¹, a partir dessa dosagem a calagem passa a reduzir a altura das plantas de soja, devido ao desequilíbrio nutricional promovido pela alta quantidade do corretivo depositada no solo, já que concentração em excesso de um nutriente pode desequilibrar disponibilidade nutricional (SCHEER, et al., 2017).

Mascarenhas et al. (2000) estudando o efeito de doses de calcário e potássio na cultura da soja constataram aumento na altura de plantas quando aplicadas de forma equilibrada. De acordo com Novais et al. (2007) o uso da calagem em demasia tanto pode ser benéfico como pode ser prejudicial, em excesso pode inibir a absorção de fósforo pelas plantas. Maset et al. (2019) verificaram que o uso de 2.800 kg ha⁻¹ calcário proporcionou incremento na altura de plantas de soja.

Como não foram observados efeitos das doses isoladas e a interação das doses e os anos, para as variáveis agrônômicas estudadas, com exceção da altura de planta, considera-se estar relacionado com o efeito tampão do solo, já que este apresenta alto teor de argila (585 g kg⁻¹) ou também pelo teor de matéria orgânica contida no solo (32,81 g dm³) como responsável pela disponibilidade de nutrientes em quantidade suficiente para o desenvolvimento das plantas, que de acordo com Cunha; Mendes e Giongo (2015) é conceituada como um dos indicadores da qualidade do solo.

Portanto, pode-se considerar que o efeito tamponante do solo argiloso associado à baixa solubilidade do calcário dificultou a disponibilidade dos nutrientes para absorção pelas raízes das plantas.

Caires et al. (2005, 2006) e Soratto e Crusciol (2008) salientam que devido à baixa solubilidade e mobilidade do calcário, seus efeitos ficam restritos ao local de aplicação. Assim, o desenvolvimento do sistema radicular fica restrito às camadas superficiais, impedindo que as plantas possam realizar a absorção dos nutrientes nas camadas mais profunda do solo (CAIRES et al., 2008).

A produtividade apresentada no primeiro ano de foi de 115 sacas por hectare, produtividade essa semelhante a obtida na propriedade rural em Mangueirinha, quando o produtor na safra 2019/2020 alcançou uma produtividade de 115,82 sacas por hectare, ressaltando que a média das lavouras brasileiras é de 50 sacas por hectare. Em uma propriedade rural localizada em Ponta Grossa, Paraná, na safra 2014/2015, foi obtido uma produtividade de 141,79 sacas por hectare, fazendo uso da cultivar NIDERA 5909 (CESB, 2018), a mesma utilizada no estudo.

Oliveira (2018) em seu estudo em que avaliou alterações dos componentes de produção da cultura da soja, influenciadas por diferentes doses de calcário e gesso e culturas de cobertura, observou um incremento linear na produtividade da soja chegando a produzir 5.300 kg ha^{-1} , a mesma ressalta a relação entre distribuição hídrica e nutrientes, pois a palhada contida sob o solo consegue manter a umidade na superfície do solo através da redução da perda por evaporação (GAVA et al., 2013).

De acordo com a CONAB (2019) a produtividade da soja no Paraná safra 2018/2019 foi de 2.989 kg ha , representando uma diminuição de 14,8% comparada com a safra de 2017/2018, resultado esse que se assemelha ao do presente estudo (2.303 kg ha^{-1}). Essa redução está relacionada aos baixos índices pluviométricos registrados no período de cultivo, bem como pela presença de temperatura elevada, baixa umidade relativa do ar e maior incidência dos raios solares, com destaque para as regiões oeste e sudeste.

O cultivo da soja assim como qualquer outra cultura, está sujeito a períodos de escassez de água, que podem levar a planta ao estresse hídrico, fenômeno esse, responsável pela redução de grãos, se ocorrendo principalmente no período reprodutivo da cultura (SENTELHAS et al., 2015).

A água é essencial para o desenvolvimento da planta, sendo crucial sua disponibilidade em quantidades equilibradas. No caso da soja, essa disponibilidade hídrica é essencial especialmente em duas fases do ciclo de desenvolvimento: na fase inicial (germinação e emergência) e na fase de florescimento e formação de grãos. Quando deste desequilíbrio, pode ocorrer desuniformidade no stand de plantas e baixa produtividade, ressaltando que a soja necessita em torno de 7 a 8 mm dia⁻¹ do início da floração ao enchimento de grãos (CATTELAN; CÂMARA, 2011).

Como descrito anteriormente, a redução da disponibilidade de água pode afetar direta e indiretamente os processos fisiológicos das plantas. Segundo Teixeira et al. (2016) em seu estudo sobre o perfil da expressão gênica em sementes verdes de soja, o autor relata a relação fisiológicas da soja exposta ao déficit hídrico sendo responsável pela redução no tamanho e na massa de grãos, enfatizando a maior presença de grãos verdes devido à falta de água prejudicando a degradação da clorofila afetando negativamente a produtividade da cultura. A ocorrência de sementes verdes não foi objetivo do presente estudo, mas foi observado a presença de sementes esverdeadas nos grãos colhidos na safra 2018/2019, podendo também ter influenciado na menor produtividade.

Foram encontrados efeitos significativos das doses para os teores de Ca, efeito de ano para o Mg e interação ano e doses para o K em folhas de plantas de soja após aplicação de doses de calcário calcítico (Tabela 4).

Tabela 4 – Quadrados médios dos teores foliares de Ca, Mg e K em folhas de soja após aplicação de doses de calcário calcítico.

FV	GL	Ca	Mg	K
Bloco	14	0,08	0,17	4,001
Ano	1	0,18	0,79**	2,016
Doses	3	0,21**	0,001	4,582
Ano*Doses	3	0,04	0,02	11,33**
Erro	42	0,05	0,03	2,639
CV(%)		9,67	8,27	7,97
Média		2,31	2,11	20,38

FV – Fonte de variação; ** - Significativo a 1% pelo teste F.

Foi observado efeito dos anos para o magnésio, efeito das doses para o cálcio e interação das doses e os anos para o potássio. Em relação ao magnésio ocorreu aumento na quantidade absorvida pela planta no segundo ano (Tabela 5).

Tabela 5 - Teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) no tecido foliar da soja no estádio R2 em função das doses de calcário calcítico para os anos agrícolas 2017/18 (1) e 2018/19 (2) no município de Marechal Cândido Rondon - PR.

	Ca	Mg	K
Ano	g kg		
1	2,36	1,99 b	20,21
2	2,25	2,23 a	20,55
Doses			
0	2,14	2,12	20,77
3	2,32	2,10	19,86
6	2,40	2,10	20,95
9	--	2,11	--

*Médias seguidas de letra minúscula na coluna diferem estatisticamente pelo teste F (5%).

O maior teor de Mg no tecido vegetal foi observado para o segundo ano de cultivo, confirmando a colocação de Pauletti et al. (2014) em que os efeitos da calagem sob palhada surgem ao longo do tempo após a aplicação, devido à baixa solubilidade do calcário, movimentação lenta de Ca e Mg ao longo do perfil do solo que é influenciada pelas condições climáticas.

O Ca, Mg e o K são alguns dos elementos minerais essenciais para o desenvolvimento das plantas, com funções importantes não podendo ser substituído por outro (FONTES, 2014). De acordo com o Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (PAVINATO et al., 2017) a faixa de teores dos nutrientes consideradas adequadas para Ca, Mg e K é de 8 a 11, 3,0 a 4,8 e 22 a 27 g kg⁻¹, respectivamente, indicando que no presente estudo esses nutrientes ficaram abaixo da faixa considerada ideal para a cultura, que pode estar relacionado à baixa solubilidade do corretivo que associado a forma de aplicação (em superfície) dificultou sua reatividade no solo (AMARAL; ANGHINONI; DESCHAMPS, 2004; ALLEONI; CAMBRI; CAIRES, 2005).

O teor de Ca no tecido foliar foi influenciado pelas doses de calcário utilizadas, onde o maior teor de Ca no tecido foliar encontrado foi de 2,41 g kg⁻¹

quando os resultados observados apresentaram comportamento quadrático com máximo acúmulo do nutriente no ponto de 6,82 ton. ha⁻¹ de calcário, a partir desse ponto a quantidade de calcário passou a não ter efeito sobre a absorção desse nutriente no tecido vegetal (Figura 4).

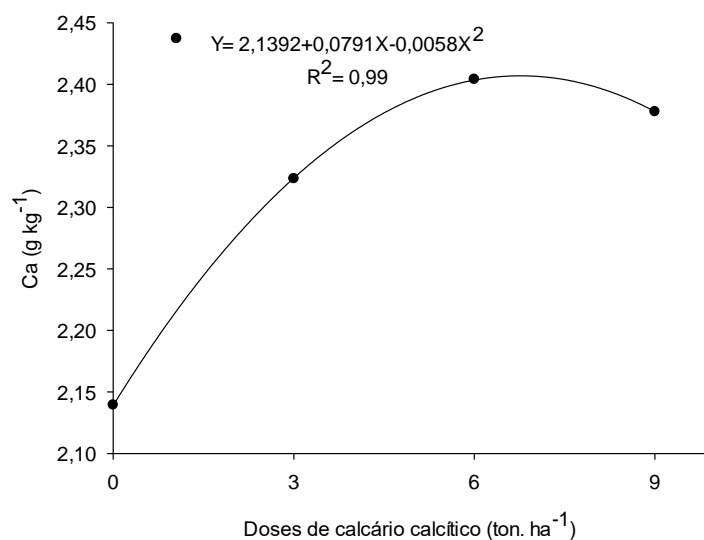


Figura 4 - Teor de Cálcio em plantas de soja submetidas a doses de calcário calcítico em superfície nos anos agrícolas 2017/18 e 2018/19.

Segundo Souza et al. (2011), a calagem apresenta a capacidade de promover o incremento de Ca e Mg nas plantas, devido aos elementos presentes em sua composição. No entanto, no presente estudo, esse comportamento foi observado apenas para o Ca, provavelmente pela composição do corretivo utilizado (calcário calcítico), que possui maior concentração de óxido de cálcio (CaO) e baixo teor de óxido de magnésio (< 5% MgO).

Provavelmente o Ca teve prioridade em relação aos demais por se encontrar em maior concentração no solo, devido ao tipo de corretivo usado no estudo. Rodrighero, Barth e Caires (2015) trabalhando com duas fontes de calcário, calcítico e dolomítico, constataram que as doses de calcário promoveram aumento linear nos teores de Ca e Mg nas folhas de soja, sendo que o aumento do teor de cálcio foi maior com uso de calcário calcítico, enquanto que o teor de Mg foi superior com o uso de calcário dolomítico. Medeiros et al. (2008) afirmam que quanto maior a disponibilidade de cálcio no solo, maior é sua aproximação às raízes das plantas, sendo absorvido de forma preferencial aos demais nutrientes.

O teor de K no tecido foliar da soja não apresentou diferença no ano agrícola 2017/18 (Ano 1), apresentando uma média de 20,21 g kg⁻¹, enquanto que para o ano agrícola 2018/19 (Ano 2) houve diferença entre as doses de calcário utilizadas, com menor acúmulo de K nas plantas observado na dose 7,71 ton. ha⁻¹ e na ausência do corretivo houve um acúmulo máximo de aproximadamente 22 g kg⁻¹ (Figura 5).

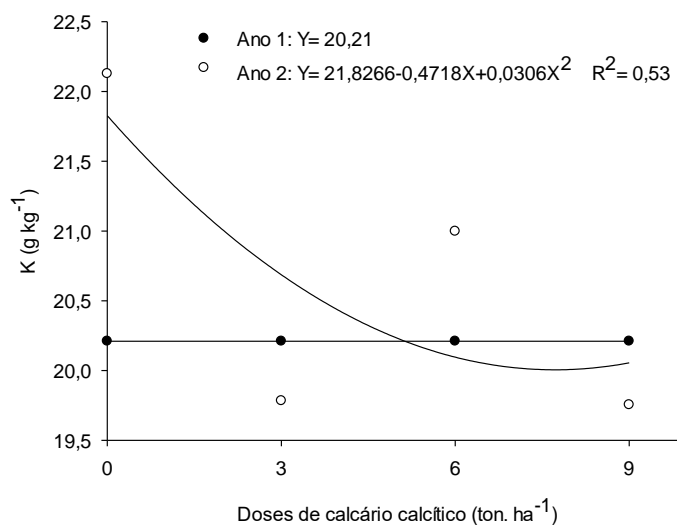


Figura 5 - Teor de Potássio em plantas de soja submetidas a doses de calcário calcítico em superfície nos anos agrícolas 2017/18 e 2018/18.

Essa diferença para o segundo ano de cultivo, pode estar relacionada ao maior tempo de reação do corretivo ao solo. Sem a adição do calcário ao solo o K se encontrava dentro da faixa considerada ideal (PAVINATO et al., 2017) demonstrando que a adição do corretivo passou a ser prejudicial à absorção do nutriente pelas plantas, corroborando com Pintro et al. (2005) e Moreira; Carvalho e Evangelista (1999).

Em solos calcariados a neutralização do Al e a redução da concentração do Mn, os cátions Ca e Mg passam a ter maior concentração no solo devido ao corretivo utilizado, ficando mais disponíveis para as plantas, com predominância para o Ca, enquanto que o K se encontra em menor concentração em relação ao Ca e o Mg (BROCH; RANNO, 2012).

Com o aumento da concentração de Ca no solo em relação ao K devido à calagem é possível que ocorra um desequilíbrio entre os nutrientes causando interferência na absorção e disponibilidade de K (MASCARENHAS et al., 2000).

O desequilíbrio nutricional no solo pode dificultar a absorção de nutrientes pelas plantas, ou seja, quando um nutriente se encontra em quantidade superior a outro acaba gerando inibição competitiva, que consiste na diminuição da absorção de um elemento devido à presença de outro. De acordo com Faquin (2005) uma forma comum de inibição competitiva ocorre entre o Ca, Mg e K. Assim, a realização da calagem e da adubação em quantidades adequada promove a manutenção de teores equilibrados destes cátions no solo, evitando a deficiência de algum deles nas plantas (SILVA; TREVIZAM, 2015).

3.4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados alcançados, doses elevadas de calcário calcítico não interferiram no desenvolvimento da cultura da soja, exceto para altura de plantas no segundo ano de cultivo quando a dose de 3,9 ton. ha⁻¹ proporcionou máximas alturas de plantas.

Houve aumento nos teores foliares de Ca com ponto máximo de absorção na dose de 6,82 ton. ha⁻¹.

Teores foliares de K foram afetados negativamente pelo aumento das doses de calcário calcítico.

Doses de calcário calcítico não interferiram nos teores de magnésio nas plantas.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de Cerrado sob plantio direto de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.

ALVARES, C. A.; et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, p.711–728, 2014.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n. 1, p.115-123, 2004.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 142p. 1999.

ASTERA, M. **Cation Exchange Capacity in Soils, Simplified**. 2014. Disponível em:<http://www.soilminerals.com/Cation_Exchange_Simplified.htm>. Acesso em: 05 de outubro de 2020.

BALBINOT JR., A. A.; et al. **Densidade de plantas na cultura da soja**. 1.ed. Londrina: Embrapa, v.1. n. 364, 36p. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 398p. 2009.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. [S. I.]: Fundação MS, 39p. 2012.

CAIRES, E. F.; et al. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 3, p. 791–798, 2005.

_____. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in southern Brazil. **Soil Tillage Research**. v. 89, n. 1, p. 3–12. 2006.

_____. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use Management**, v. 24, n. 3, p. 302-309, 2008.

_____. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 66, p. 41–53, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.02.008>.

CARMELLO, Q. A. de C.; OLIVEIRA, F. A. de. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. Solos. Fertilidade. **Visão Agrícola**, v. 3, n. 5, 2006.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. Jaboticabal: FUNEP, 5º ed., 590p. 2012.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade e nutrição mineral de soja, milho e capim-ruziziensis influenciados por calcário e escória de siderurgia. **Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília**, v.48, n.6, p.673-681, 2013.

CATTELAN, A. J.; CÂMARA, G. M. de S. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 264p. (Sistemas de Produção, 15). 2011.

CAVALCANTE, A. C. P.; et al. Physiology of Paluma guava plants fertilized with potassium and calcium. **Idesia**, v. 36, n. 2, p. 163-172, 2018.

COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA NO BRASIL – CESB. **Soja: quebrando recordes**: CESB: 10 anos de máxima produtividade / Realização Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB); Patrocinadores Basf, Bayer, Syngenta et al. – Brasil: [s.n.], 216 p.:il. 2018.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro** – grãos: Nono levantamento, junho 2019 – safra 2018/2019. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. v. 6 n. 9 - SAFRA 2018/19, 2019.

CRUSCIOL, C. A.; et al. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, Amsterdam, v. 137, p. 87-99, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.09.009>.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. **Matéria orgânica do solo**. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, 2015. Embrapa Semiárido - Capítulo em livro científico, cap. 9, p. 273-293, 2015.

DOMINGOS, C. da S.; LIMA, L. H. da S.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**. v. 14, n. 3, p. 132-140, 2015.

FAQUIM, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 100f. Textos acadêmicos - Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a distância Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas do Agronegócio - UFLA/FAEPE, Lavras - MG, 2005.

FONTES, P. C. R. Nutrição mineral de hortaliças: horizontes e desafios para um agrônomo. **Horticultura Brasileira**. v.32, n. 3, p. 247-253, 2014.

GABRIEL, S. G.; BUENO, A. C.; SANTOS, R. F. dos. Resposta da soja (*Glycine max*) à duas diferentes fontes de potássio. **Revista Uningá Review**, v. 25 n. 1, p. 5-9, 2016.

GASPAR, A. P.; et al. Dry matter and nitrogen uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. **Crop Science**, v. 57, n. 4, p. 2170-2182, 2017.

GAVA, R.; et al. Soil water evaporation under densities of coverage with vegetable residue. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n.1, p. 89-98, 2013.

JORIS, H. A. W.; et al. Liming in the conversion from degraded pastureland to a no-till cropping system in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 162, p. 68–77, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.009>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.^a ed. Piracicaba, POTAFÓS, 319p. 1997.

MARCANDALLI, L. H. A calagem no sistema de plantio direto. In: 33º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. São Paulo, **Anais**, 2015.

MARSCHNER, P. **Marchner's mineral nutrition of higher plants**. 3º ed. New York, Academic Press. 651p. 2012.

MASCARENHAS, H. A. A.; et al. Calcário e potássio para a cultura da soja. **Scientia Agrícola**, v.57, n. 3, p. 445-449, 2000.

MASET, M. A.; et al. Calagem e gessagem na soja em área de pastagem degradada. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.8, n.1, p.114-125, 2019.

MEDEIROS, J. C.; et al. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MIRANDA, L. N. et al. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40 n.6, p.563-572, jun. 2005.

MIYAZAWA, M.; et al. **Análise química de tecido vegetal**. Embrapa Informática Agropecuária, In: SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p., p. 190-233, 2009.

MIYAZAWA, M.; et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia / Rio de Janeiro: Embrapa Solos / Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, p.171-223, 1999.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Influence of calcium:magnesium ratio in limestone on nodulation, dry matter yield and mineral composition of alfalfa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n. 2, p. 249–255, 1999.

NATALE, W.; et al. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2012.

NOVAIS, R. F.; et al. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1 ed., p. 205-274, 2007.

OLIVEIRA, M. P. **Características físicas do solo e produção de soja influenciadas por plantas de coberturas e doses de calcário e gesso**. 2018 “Dissertação” (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso Do Sul, Campus de Chapadão do Sul – MS. 2018.

PAULETTI, V.; et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.2, p. 495-505, 2014.

PAVINATO, P. S.; et al. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira Ciência do Solo. 289 p. 2017.

PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A.; ACHUCH, L. O. B. **Produção de Sementes**. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MANEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3^o ed. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, p.13-100, 2012.

PINTRO, J. C.; et al. Mineral composition and dry mass production of corn plants affected by different phosphate sources and different soil aluminum saturation levels. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 27, n. 12, p. 2149-2158, 2005.

PRIMAVESI, A. **A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal**. / Ana Primavesi e Artur Primavesi (Org.). 1. ed. São Paulo: Expressão Popular, 608p. 2018.

QUEIROZ, A. S. B.; SÁGIO, S. A.; TEIXEIRA JUNIOR, T. Doses de fósforo no desenvolvimento da cultura da soja na Região central do Tocantins. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 6, n. 4, p. 7-30, 2020.

RAMPIM, L. et al. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, 2011.

RHEINHEIMER D. S.; et al. Residual effect of surfaceapplied lime on soil acidity properties in a long- term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**; v. 313, p. 7–16, 2018.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1723- 1736, 2015.

SANTOS, A. C. dos.; et al. Alterações de atributos químicos pela calagem e gessagem superficial com tempo de incubação. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 77–83, 2010.

SAS INSTITUTE INC. **SAS University Edition: instalation guide**. Cary; SAS Institute, 2014. Disponível em: < https://www.sas.com/pt_br/home.html >. Acessado: 20 de set. 2019.

SÁVIO, F. L.; et al. Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. **Revista Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 19-31, 2011.

SCHEER, M. B.; et al. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e de adubação. **Revista Floresta**. v. 47, n. 3, p. 279 - 287, 2017.

SENTELHAS, P. C.; et al. The soybean yield gap in Brazil: Magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**. v. 153, n. 8, p. 1394–1411, 2015.

SILVA, M. L. S.; TREVIZAM A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações agrônômicas**. n. 149, p. 10-16, 2015.

SILVA, R. F. da; et al. O cálcio e a tolerância da soja aos danos causados por *Pratylenchus brachyurus* em propriedades de Primavera do Leste – MT. Edição Especial: II Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura **Acta Iguazu**, v. 6, n. 5, p. 207-216, 2017.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SOUZA, C. A; et al. Relationship Between Plant Density and Soybean Roundup Ready™ Genotypes. **Revista Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 887-896, 2010.

SOUZA, H. A.; et al. Calagem e adubação borratada na produção de feijoeiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 2, p. 249-257, 2011.

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

TATTO, L.; et al. Desempenho de sementes de soja tratadas com bioestimulante sob diferentes condições de potencial osmótico. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v.4, n.3, p. 397-408, 2018.

TEIXEIRA, R. N.; et al. Gene expression profiling of the green seed problem in Soybean. **BMC Plant Biology**, London, v. 1, p. 16–37, 2016.

VANDOIR, M. **Uso dos herbicidas pré-emergentes na cultura da soja**. 1 ed. Nortox. 6p. Informativo Técnico Nortrox, 2017.

VERONESE, M.; et al. Cover crops and liming in the implementation of no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 8, p. 1158-1165, 2012.

ZORB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture-status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

4 CAPÍTULO 3: COMPONENTES AGRONÔMICOS DA CULTURA DO CÁRTAMO APÓS APLICAÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO CALCÍTICO.

RESUMO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) devido suas condições de adaptabilidade, qualidades e aplicações apresenta grande potencial de inserção de cultivo nos solos brasileiros, mas faltam estudos técnicos científicos sobre seu manejo e cultivares adaptadas. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento da cultura do cártamo em aplicação superficial de doses de calcário calcítico. O estudo foi desenvolvido na área experimental da UNIOESTE, câmpus Marechal Cândido Rondon, em um Latossolo Vermelho Distrófico utilizando doses de calcário calcítico (0, 3, 6 e 9 ton. ha⁻¹) distribuído a lanço em superfície. Foram avaliados os efeitos das doses em dois anos de cultivo 2018 e 2019 quando foram analisados caracteres agronômicos como altura de plantas, número de capítulo, diâmetro de caule, matéria seca de capítulo, matéria seca de caule, no momento em que as plantas apresentavam em torno de 50% de florescimento pleno. Quando as plantas se encontravam em plena maturação foi verificado a massa de mil grãos, produtividade e teor de óleo das sementes. Não foi constatado influência das doses de calcário calcítico nas características agronômicas das plantas de cártamo, com exceção da matéria seca de caule que apresentou o máximo acúmulo na dose de 6,5 ton. ha⁻¹.

Palavras chaves: Calagem. *Carthamus tinctorius* L. Teor de Óleo.

AGRONOMIC COMPONENTS OF SAFFLOWER CROP AFTER APPLICATION OF CALCITE DOSES.

ABSTRACT

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), presents great potential for insertion of cultivation in Brazilian soils due to its adaptability conditions, qualities and applications, but there are few technical scientific studies on its management and adapted cultivars. Thus, the objective of the work was to evaluate the development of safflower culture in face of superficial application of calcite doses. The study was developed in the experimental area of UNIOESTE, Marechal Candido Rondon campus, in an eutroferic red Oxisol employing limestone doses (0, 3, 6 and 9 ton. ha⁻¹) distributed by launch without incorporation. The effects of the doses in two years of cultivation 2018 and 2019 on agronomic characters such as height of plants, number of chapters, diameter of stem, dry matter of chapter, dry matter of stem, when plants presented around 50% of full bloom. When plants were in full maturation the verification was on: mass of a thousand grains, productivity and oil content of the seeds were. There was no Influence of calcite doses on agronomic characteristics of safflower plants, except for dry mass of stem, that presented the maximum accumulation on the dose of 6.5 ton. ha⁻¹.

Key words: Liming. *Carthamus tinctorius* L. Oil content.

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura do cártamo, também é conhecida como “açafraão bastardo” ou “açafraão”, com provável origem do Irã, Índia, Afeganistão ou Etiópia. Pertencente à família *Asteraceae*, gênero *Carthamus* e espécie *Carthamus tinctorius* L., cultivada há mais de dois milênios. Originária do Mediterrâneo oriental, tendo o Irã, Índia e Afeganistão como prováveis centros de origem (MOURA et al., 2015; KHALID et al.; 2017; BRITANNICA ACADEMIC, 2019).

A cultura do cártamo se destaca mundialmente entre as oleaginosas devido seu potencial na produção e da qualidade do óleo de suas sementes, que pode ser utilizado na fabricação de diversos produtos, como por exemplo, na produção de biodiesel, tintas, vernizes e cosméticos. (SHARIFI et al., 2017).

O óleo de cártamo também pode ser usado no ramo farmacêutico, na produção de estimulantes do sistema nervoso central (SNC), agindo como acelerador do metabolismo promovendo a produção de energia gerada pela queima de gordura corpórea (SOLEYMANI, 2017), podendo ainda ser utilizado como preventivo de problemas cardiovasculares (JADHAV; JOSHI, 2015).

Suas sementes podem chegar a produzir até 50% de teor de óleo, sendo considerado uma importante fonte de ácidos graxos insaturados (AMBREEN et al., 2015). A qualidade do óleo é destaque devido sua composição, em torno de 75% de ácido graxo linoleico, 16 a 20% de ácido oleico, 2 a 3% de ácido esteárico e 6 a 8% de ácido palmítico, ressaltando que o óleo de cártamo não se oxida com facilidade e não causa problemas de colesterol no sangue (MÜNDEL et al., 2004).

O resíduo resultante da extração do óleo (torta) pode ser utilizado na alimentação de ruminantes e monogástricos. A torta de cártamo é composta de cerca de 35% de proteína e muita fibra, sendo que no Canadá grande parte da produção de cártamo é utilizado como alpiste na alimentação de pássaros (AUGUSTINHO, 2013; MÜNDEL et al., 2004).

Além da produção e qualidade do óleo e seu uso na alimentação animal, o cártamo chama atenção por apresentar-se pouco sensível as variações de fotoperíodo, tolerância ao déficit hídrico e a temperaturas amenas no início do ciclo vegetativo, podendo assim ser considerada como boa opção de cultivo na região Sul do Brasil (SINGH; NIMBKAR, 2007).

É uma planta que possui adaptabilidade em solos profundos, bem drenados com pH próximo da neutralidade, necessitando da ocorrência de precipitação mínima de 350 a 400 mm anual, tendo seu desenvolvimento favorecido por precipitação em torno de 600 mm e altitudes que variam do nível do mar em até 2000 m. Mantém-se bem em variações de temperaturas entre -7 a 40°C, de acordo com seu estágio de desenvolvimento, superando temperaturas negativas quando no início ciclo vegetativo (OELKE et al., 2011), pois possui a capacidade de recuperação e consegue se desenvolver normalmente. Todavia, caso ocorra intempéries como a ocorrência de geada na fase de enchimento de grãos, poderá ocorrer uma drástica redução na produtividade e teor de óleo das sementes (GRACIA et al., 2010; ERIE; FRENCH, 1969).

São necessários maiores estudos sobre adaptabilidade, produtividade, qualidade de semente, nutrição e variedades que apresentam bom desenvolvimento, para a preservação e expansão da cultura do cártamo (BELLÉ et al., 2012; SILVA 2013).

A planta extrai do solo os nutrientes necessários para seu desenvolvimento suprindo sua exigência nutricional. Portanto, a quantidade disponível no solo deve equiparar-se com a necessidade da cultura. Os nutrientes disponíveis no solo são distribuídos em dois grupos: macronutrientes, que são absorvidos em maiores proporções, e os micronutrientes que são absorvidos em menor quantidade (ZANÃO JÚNIOR, et al., 2018).

Estudos desenvolvidos com a utilização de 18 genótipos de cártamo no Oeste do Estado do Paraná mostraram que em relação aos macronutrientes a extração realizada pela cultura segue a seguinte ordem: N>K>Ca>P>Mg>S; já em relação a extração dos micronutrientes foi observado a seguinte ordem: Fe>Zn>Mn>Cu>B, alcançando uma produtividade média de até 4.532 kg ha⁻¹ (ZANÃO JÚNIOR, et al., 2018).

A quantidade de nutrientes disponíveis no solo para absorção das plantas varia de acordo com a condição química do mesmo. Quando o solo apresenta a presença do Al (alumínio) em concentrações consideradas tóxicas e baixos teores de Ca e Mg, afeta de forma negativa o desenvolvimento do sistema radicular e disponibilidade de água e nutrientes. Uma forma de intervenção e correção desse problema é por meio da realização da calagem, que busca elevar a saturação por bases do solo ao ponto em que favoreça o desenvolvimento da cultura. E se

tratando da cultura do cártamo, estudos indicam que a saturação por bases seja de 60% para obtenção de seu melhor potencial produtivo (ANICÉSIO, et al., 2015).

Alguns componentes agronômicos são determinantes para avaliar o potencial produtivo da cultura do cártamo, como estande de planta, número de capítulos por planta, número de grãos por capítulo e massa de grãos, lembrando que esses componentes podem ser influenciados pelas condições ambientais, temperatura, água, genótipos, manejo e pela disponibilidade do nitrogênio (GILBERT; TUCKER, 1967; KOUTROUBAS; PAPAKOSTA; DOITSINIS, 2008).

Bonfim-Silva et al. (2016) estudando as características e a diagnose visual de plantas de cártamo sob ausência de macro e micronutrientes, puderam constatar que falta de cálcio em plantas de cártamo influenciaram negativamente no seu desenvolvimento não conseguindo completar seu ciclo de cultivo.

O magnésio tem por principais funções compor a clorofila, atuar no processo da fotossíntese e fixação do gás carbônico, considerado como maior ativador enzimático tendo papel importante na absorção do P pela planta, e participação no processo de formação do ATP durante a fotossíntese (PRIMAVESI, 2018; LIMA, et al., 2018).

A calagem é uma das formas de promover maior disponibilidade de nutrientes para as plantas e aumentar a eficiência da adubação. O desempenho das plantas perante a tolerância ou sensibilidade às condições de acidez do solo pode variar entre espécies e cultivares de plantas (MALAVOLTA, 2006).

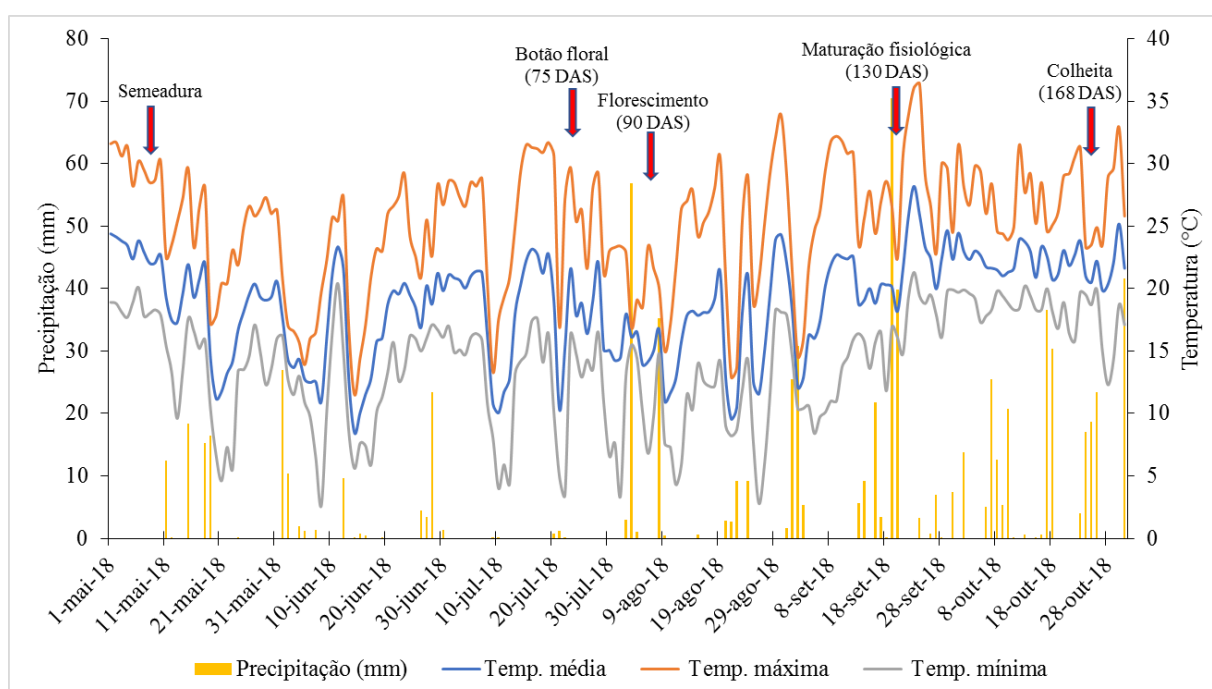
Devido ao predomínio da acidez nos solos brasileiros, a prática da calagem é indispensável para sanar um dos maiores entraves para estabelecimento de novos sistemas agrícolas. Portanto, segue-se a hipótese de que doses elevadas de calcário possam ser prejudiciais ao desenvolvimento da cultura do cártamo. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento das características agronômicas da cultura do cártamo perante aplicação superficial de doses elevadas de calcário.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização, clima e solo da área experimental

Os dados de localização e solo da área experimental estão descritos no item 2.2.1, capítulo 1 (p. 13).

Os dados meteorológicos referentes aos períodos experimentais foram obtidos junto da Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE, localizada próximo à área experimental (Figura 1 e 2).



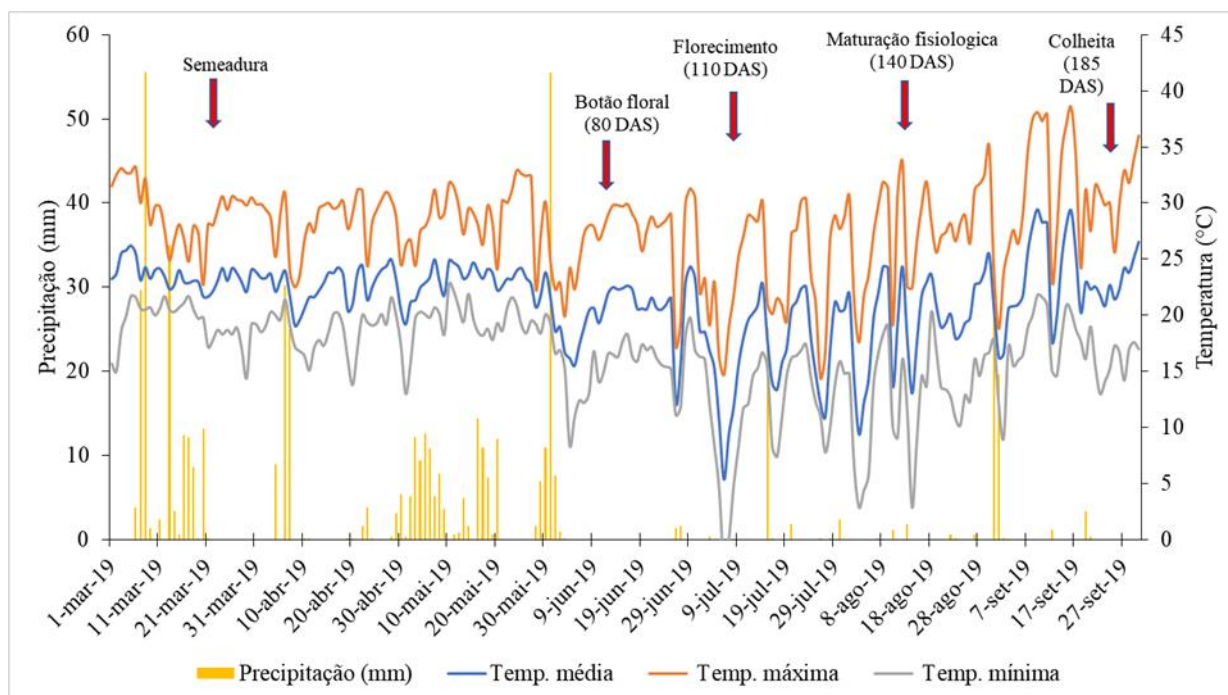


Figura 2 - Médias em decêndios de precipitação pluviométrica acumulada, temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período de condução experimental para a safra 2018/2019.

Fonte: Estação Climatológica Automática do Núcleo de Estações Experimentais da UNIOESTE – PR.

4.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental está descrito no item 2.2.2, capítulo 1 (p. 15).

4.2.3 Semeadura do cártamo

Para a safra de 2018, a semeadura do cártamo foi realizada na primeira quinzena de maio. Houve um atraso na época de semeadura devido à estiagem que ocorreu no período, ressaltando que a época indica para a semeadura do cártamo é até a segunda quinzena de março. Para a safra 2019, a semeadura foi realizada dentro do prazo recomendado, na segunda quinzena de março. Foi utilizado genótipo IAPAR. As sementes foram distribuídas com espaçamento de 0,50 m entre linhas, a 4 cm de profundidade e 20 sementes por metro linear, seguindo procedimento de pesquisa realizada por Sampaio et. al. (2017). Ressaltando que não existe uma recomendação técnica para a cultura do cártamo no Brasil. Para o tratamento de sementes foi utilizado Standark Top + Cropstar (3 ml kg de sementes). Para adubação de base utilizou-se 675 kg ha⁻¹ do formulado comercial 10 15 15 (N,

P₂O₅, K₂O). Em torno de 40 dias após a emergência das plântulas foi realizado adubação de cobertura com ureia (100 kg ha⁻¹) de maneira uniforme na área.

Durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, foram realizados tratamentos culturais com aplicações de Engeo Pleno (Tiametoxam + Lambda-Cialotrina) - 0,3 L ha⁻¹, para controle de *Diabrotica speciosa* (vulgarmente conhecida por vaquinha) a qual houve maior incidência nos estádios de roseta e alongamento do caule.

4.2.4 Componentes de produção

Devido à ausência de informações mais precisas sobre os estádios fenológicos do cártamo e também devido a desuniformidade na maturação o registro das características agrônômicas foi realizado quando as parcelas apresentavam cerca de 50% das plantas no estágio de florescimento pleno. Foram coletadas 10 plantas da área útil de cada parcela e verificadas as variáveis: diâmetro do caule, com auxílio de um paquímetro digital na região basal do caule, aferindo as unidades em milímetros, número de galhos ou ramificações principais e número de capítulos. Ainda no campo foi mensurada a altura de plantas, com auxílio de uma régua foi aferido da base do caule até o ápice das plantas.

Ao término das avaliações, as partes das plantas foram condicionadas separadamente (caule, galhos e capítulos) em sacos de papel e levados ao laboratório e colocados para secar em estufa com ventilação forçada de ar, sob a temperatura de 65°C por cerca de 72 horas e posteriormente pesadas para verificar o peso de matéria seca.

Para determinação da produtividade foram coletadas uma área de 1,5 m² quando as plantas se encontravam em plena maturação. As plantas coletadas foram levadas para um galpão pertencente a estação experimental e realizada a debulha manual de todos os capítulos. As sementes foram pesadas e a umidade determinada e corrigida para 13%, e verificada a massa de mil grãos (RAS, 2009).

4.2.5 Teor de Óleo

A extração do teor de óleo das sementes de cártamo foi realizado com o auxílio de um espectrômetro de ressonância magnética nuclear de baixo campo (TD-NMR), Bruker Minispec mq-20, equipado com um ímã permanente de 0,47 T

(observando o núcleo ^1H a 19,95 MHz) e com uma sonda de diâmetro de canal único de 18 mm. A temperatura do ímã, incluindo a sonda, foi mantida constante a 40°C. Para isso uma curva de calibração contendo seis pontos com diferentes quantidades de óleo de cártamo (10-35% m/m) foi realizada cobrindo o teor médio de óleo de cártamo descrito na literatura (21% m/m). Depois, cerca de 3,0 g de cada amostra de sementes de soja foi transferido para tubos de RMN de 18 mm e submetida a análise TD-RMN e o teor de óleo nas sementes foi determinada representando graficamente a intensidade de sinal em função da curva de calibração. As medições foram realizadas em triplicata com auxílio da sequência de pulso spin-eco que consistia em um pulso de 90°_x , seguido por um tempo τ de 3,5 ms, um pulso de 180°_y , outro tempo τ , a aquisição e um retardo de reciclagem de 2 s e 16 varreduras.

4.2.6 Análise estatística

Análise estatística do estudo está apresentado no item 2.2.4, do Capítulo 1 (p. 15).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito significativo das doses para as variáveis analisadas, com exceção da matéria seca de caule, havendo também efeito significativo para ano (Tabela 1 e 2).

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), número de galhos (NG), número de capítulos por planta (NCAP), diâmetro de caule (DC), matéria seca de galho (MSG).

FV	GL	AP	NG	NCAP	DC	MSG
Bloco	14	138,15	3,18	27,68	3,75	0,0002
Doses	3	315,28	0,41	9,66	2,84	0,0004
Ano	1	6814,50**	0,42	268,14**	12,18**	0,00004
Ano*Doses	3	38,78	1,10	18,55	0,42	0,00007
Erro	42	251,08	1,97	15,77	1,85	0,00009
CV(%)		14,70	17,98	23,6	11,75	38,85
Média		107,78	7,82	16,82	11,57	0,02

FV – Fonte de variação; ** - Significativo a 1% pelo teste F.

Tabela 2 - Quadrados médios para matéria seca de capítulos (MSCAP), matéria seca de caule (MSC), massa de mil grãos (MMG), produtividade por hectare (PROD – kg ha⁻¹) e teor de óleo (ÓLEO).

FV	GL	MSCAP	MSC	MMG	PROD – kg ha ⁻¹	ÓLEO
Bloco	14	0,00011	0,00004	0,00001	147224,42	12,6028
Doses	3	0,00002	0,00003**	0,00001	15733,1617	3,3621
Ano	1	0,00278**	0,00021**	0,0156**	3620289,26**	9983324**
Ano*Doses	3	0,00002	0,000006	0,00001	28105,54	9,4172
Erro	42	0,00003	0,000017	0,00001	47451,28	6,0612
CV(%)		31,42	21,52	15,51	38,2	13,65
Média		0,02	0,02	0,03	570,21	18,04

FV – Fonte de variação; ** - Significativo a 1% pelo teste F.

Não houve efeito da interação e efeitos de ano ou doses para as variáveis número de galhos e matéria seca de galhos as quais apresentaram média de 7,82 e 0,025 (g pl), respectivamente.

As características altura de planta, número de capítulo, diâmetro e produtividade apresentaram melhores resultados no primeiro ano de cultivo, o qual apresentou melhores condições ambientais para o desenvolvimento das plantas. Já

para matéria seca de capítulo, massa de mil grãos e teor de óleo os melhores resultados foram obtidos no segundo ano de cultivo (Tabela 3).

Tabela 3 - Altura de planta (AP), número de capítulo (NCAP), diâmetro de caule (DC), matéria seca de capítulo (MSCAP), matéria seca de caule (MSC), massa de mil grãos (MMG), produtividade (PROD) e teor de óleo (%) de plantas de cártamo para os anos agrícolas 2017/18 no Município de Marechal Cândido Rondon – PR.

Ano	AP (cm)	NCAP	DC (mm)	MSCAP (kg pl)	MSC (kg pl)	MMG (g)	PROD (Kg ha ⁻¹)	ÓLEO %
1	118.10 a	18.88 a	12.01 a	0.01 b	0.017 b	0.02 b	808.06 a	14.09 b
2	97.46 b	14.78 b	11.14 b	0.03 a	0.021 a	0.03 a	332.78 b	21.99 a

*Médias seguidas de letra minúscula na coluna diferem estatisticamente pelo teste de F (5%).

Pela análise dos dados meteorológicos para os dois períodos de cultivo, pode-se considerar que o ano 1 foi favorecido. Apesar da semeadura ter sido realizada tardiamente devido à falta de umidade no solo, fator fundamental para que ocorra uma adequada germinação das sementes. Já é constatado que a falta ou baixa umidade do solo para a cultura do cártamo no momento da semeadura, é responsável por atraso na germinação e redução no índice de comprimento de planta e vigor de sementes (OBA et al., 2015; KHOMARI; SOLTANI-NEZHAD; SEFGHI, 2014).

Mesmo o ano 1 sendo favorecido pelas condições climáticas quando comparado ao ano 2, ambos os anos apresentaram um desempenho abaixo do potencial produtivo citado na literatura, em torno de 1000 e 3000 kg ha⁻¹ (POSSENTI et al. 2016). Vale ressaltar que além das condições climáticas outros fatores como genótipo, manejo, fertilidade do solo, disponibilidade hídrica e temperatura podem interferir no desenvolvimento da cultura (SANTOS; SILVA, 2015).

O desempenho abaixo da média apresentado pela cultura pode estar relacionado à média pluviométrica que foi abaixo do mínimo exigido pela cultura anualmente, em torno de 350 – 400 mm (OELKE et al., 2011), que nos anos de estudo foi de 156 mm (2018) e 103 mm (2019), destacando que no período de cultivo foi de 126 mm e 85 mm, respectivamente (Figura 1 e 2). Pode-se ainda destacar a temperatura mínima apresentada nesse período, principalmente na fase de formação do botão floral e florescimento quando a temperatura ficou abaixo de 5 °C, ressaltando que no cultivo do ano 2 chegou a -2,4 °C, havendo ocorrência de uma forte geada, o que de acordo com Gracia et al., (2010) e Erie e French (1969) pode ser considerado como fator principal responsável pela baixa produtividade.

Embora seja uma cultura tolerante a seca (MAJIDI et al., 2011), o cártamo

em seu estágio vegetativo de alongamento e formação de galho, que é considerado o período mais extenso da cultura (GRACIA et al., 2010; ERIE; FRENCH, 1969), se submetido ao estresse hídrico poderá responder negativa em relação a produção de matéria seca, podendo ser esse a causa da baixa concentração de matéria seca encontrada no estudo, devido ao esgotamento das reservas de água no solo antes da maturação fisiológica, levando ao menor rendimento, bem como redução na altura de planta (OZTURK; OZER; POLAT, 2008).

Além da influência das condições ambientais, outro fator que pode interferir na concentração de matéria seca de capítulos e caule é a competição entre plantas de cártamo devido ao número de plantas por área, quanto maior o stand de planta menor será a quantidade de nutriente armazenado pela planta (SAMPAIO et al., 2018). No presente estudo o número de plantas por área para o ano 1 foi maior que o número de plantas por área no ano 2 (267.000 e 151.000 plantas por hectare respectivamente).

Estudo realizado por Bellé et al. (2012) constataram redução de matéria fresca de plantas em torno de 50% quando do aumento do número de plantas por área. Essa redução de matéria seca também foi relatada por Albuquerque et al. (2011) trabalhando com espaçamento entre linhas e densidade de semeadura de sorgo forrageiro.

A altura da planta é uma característica agrônômica que vem acompanhada da genética da planta, embora sofra grande influência das condições ambientais que é submetida, supostamente associado a um menor período de crescimento e baixas temperaturas, bem como com redução da disponibilidade de nutrientes e água (ÖZTÜRK et al., 2008). Sampaio et al. (2018) coloca que a cultura do cártamo é responsivo as condições climáticas.

Gracia et al. (2010) e Erie e French (1969) destacam que temperatura muito baixa acompanhada de ocorrência de geada também causa redução no teor de óleo das sementes de cártamo, o que não corrobora com este estudo, o qual mesmo com a ocorrência de temperatura negativa no ano 2, o valor do teor de óleo encontrado nas sementes foi superior ao ano 1 (21,99 e 14,09% respectivamente), quando não foi constatado temperatura negativa. Hang e Evans (1985) descrevem que o teor de óleo da semente está mais relacionado ao genótipo do que ao estresse hídrico.

O teor de óleo das sementes de cártamo varia de 23 a 36% de acordo com o genótipo e as condições climáticas (KHALID et al., 2017), já o teor de óleo

encontrado no estudo é semelhante aos encontrados por Elfadl et al. (2009) que variou em torno de 19,0 a 26,1 %.

Omidi et al. (2012), estudando os efeitos dos níveis de irrigação em plantas de cártamo constataram redução na produtividade e no número de capítulos quando da interrupção da irrigação antes do florescimento. Vale destacar que há uma associação entre os componentes de produtividade (CAMAS; CIRAK; ESENDAL, 2007) e no presente estudo foi verificada uma relação entre o número de capítulos e a produtividade, fato esse também observado por Beyyavas et al. (2011). Dajue e Mundel (2002) colocam que cada capítulo produz em média 15 a 30 sementes, o que pode também ter influenciado para a maior produtividade no ano 1, que apresentou uma média de 18,88 capítulos por planta, enquanto no ano 2 a média de capítulos por planta foi de 14,78.

Para matéria seca de caule (MSC) foi observado efeito para doses, onde apresentou um efeito quadrático com a maior dose sendo observada no ponto de máxima de 6,5 kg ha⁻¹ com um acúmulo de matéria seca de 0,02 gramas por planta. Após essa dosagem o corretivo passou a ser prejudicial para as plantas em relação a matéria seca de caule (Figura 3).

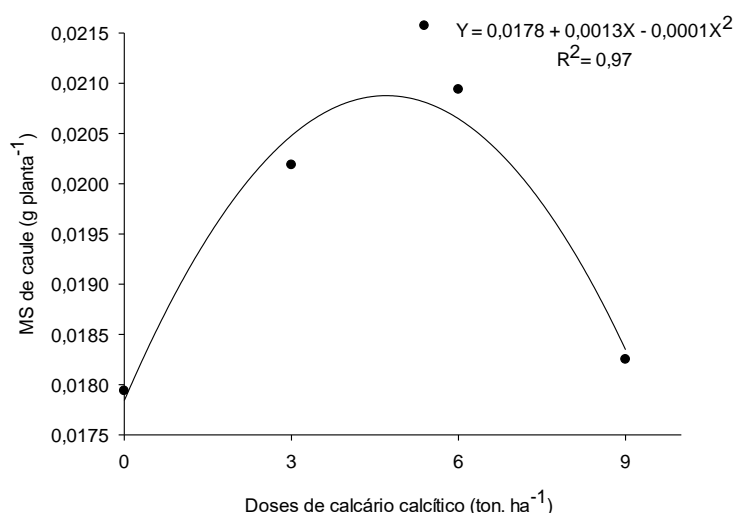


Figura 3 – Matéria seca de caules de plantas de cártamo cultivadas sob doses elevadas de calcário calcítico em superfície.

Brito et al. (2014) avaliando a produção da matéria seca da parte aérea e de raiz de cártamo corrigido por doses de calcário e silicato em diferentes solos não encontraram efeito para nenhuma das variáveis analisadas.

A falta de estudos relacionados ao uso da calagem no cultivo do cártamo e dadas as condições físicas e químicas da maior parte dos solos brasileiros, nos

oportuniza a prática da calagem como amplo campo de pesquisa em busca de conhecimento técnico científico para favorecer o cultivo da cultura em nosso país.

Estudos realizados com outras culturas mostram que doses de calcário proporciona acréscimo na matéria seca de caule (CAMPOS et al. 2013). Babalar et al. (2010) ao estudarem o efeito de nitrogênio e calcário constataram acréscimo no desenvolvimento de planta com aplicação de até 5 ton. ha⁻¹, a partir dessa dose o efeito passou a ser prejudicial ao desenvolvimento. Supanjani et al. (2005) encontraram efeito positivo no desenvolvimento de plantas com aplicação de até 2 ton. ha⁻¹, e a aplicação de dose superior foi prejudicial.

O efeito positivo do crescimento e rendimento das plantas até 5 ton. ha⁻¹ de calcário pode estar relacionado com o aumento de Ca e Mg trocável, aumento de Mo disponível, e a redução de Al, Mn e toxicidade de metais pesados devido a elevação do pH e melhoria das características do solo (QUAGGIO et al., 2004; BAKKER; RODENBURG; BODEGOM, 2005; RAJASEKARAN, 2005). Já a ação negativa pode estar associada ao excesso Ca no solo que resulta em precipitação de P, S e Zn (BAKKER; RODENBURG; BODEGOM, 2005; RAJASEKARAN, 2005).

As prováveis causas da falta de efeito na utilização do calcário são várias. De acordo com Volkweiss et al. (1984) o uso de quantidades insuficiente ou em excesso, aplicação desuniforme, corretivo de baixa qualidade e ainda cultivo de plantas tolerantes à acidez. A tolerância à acidez pode ser o fato mais provável da falta de efeito das doses de calcário no presente estudo. Estudo realizado por KIZIL et al. (2008) demonstra que o cártamo é uma cultura com elevada tolerância a solos salinos com boa adaptação as condições adversas (OELKE et al., 2011). Portanto, a calagem é uma prática que merece maior atenção no cultivo do cártamo na região do estudo.

4.4 CONCLUSÕES

As doses de calcário não interferiram nas características de altura de planta, número de galhos e capítulos, diâmetro de caule, matéria seca de galho, de capítulos e de caule, nem na massa de mil grãos, na produtividade e no teor de óleo.

Houve maior acúmulo de matéria seca de caule de plantas de cártamo quando da aplicação de 6,5 ton. ha⁻¹ de calcário.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. J. B.; et al. Row spacing and sowing density of forage sorghum in the northern region of Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**. v.35, n.3, p.494-501, 2011.
- AMBREEN, H.; KUMAR, S.; VARIATH, M. T.; JOSHI, G.; BALI, S.; GOEL, S. Development of genomic microsatellite markers in *Carthamus tinctorius* L. (Safflower) using next generation sequencing and assessment of their cross-species transferability and utility for diversity analysis. **Plos One**, v. 10, n. 8, p. 1-22, 2015.
- ANICÉSIO, E. C. A.; et al. Dry mass, nutrient concentration and accumulation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) influenced by nitrogen and potassium fertilizations. **Australian Journal of Crop Science**. v.9, n.12, p. 552-560. 2015.
- AUGUSTINHO, E. T. **Silagem e torta de cártamo na alimentação de ovinos como alternativa à silagem de milho e farelo de soja**. Nova Odessa. 2013. 58p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) - Instituto de Zootecnia, APTA/SAA, Nova Odessa, SP, 2013.
- BABALAR, M.; et al. Effects of Nitrogen and Calcium Carbonate on Growth, Rosmarinic Acid Content and Yield of *Satureja hortensis* L. **Journal of Agricultural Science**. v.2, n. 3, p. 92–98. 2010.
- BAKKER, C.; RODENBURG, J.; BODEGOM, P. Effects of Ca- and Fe-rich seepage on P availability and plant performance in calcareous dune soils. **Plant Soil**, v. 275, n. 1, p. 111-122, 2005.
- BELLÉ, R. A.; et al. Safflower grown in different sowing dates and plant densities. **Ciência Rural**, v.42, n.12, p. 2145-2152, 2012.
- BEYYAVAS, V.; et al. Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars, lines and populations under the semi-arid conditions. **African Journal Of Biotechnology**. v. 10, n. 4, p. 527-534, 2011.
- BONFIM-SILVA, E. M.; et al. Biometric characteristics and visual diagnosis of safflower plants under macro and micronutrient omission. **International Journal of Current Research**, v. 8, n. 5, p. 31071-31076, 2016.
- BRITO, G. L.; et al. **Produção da massa seca da parte aérea e da raiz do cártamo corrigido por proporções de calcário e silicato em diferentes solos**. FertBio, Araxá – MG, 1 p. 15–19, 2014.
- BRITANNICA ACADEMIC (2019). **Safflower**. Disponível em: <<https://academic-ebbritannica.ez87.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/safflower/64715>> Acesso em: 10 de março de 2021.
- CAMAS, N.; CIRAK, C.; ESENDAL, E. Seed yield, oil content and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown in Northern Turkey conditions. **Journal of Faculty Agriculture Omu**. v.22, n.1, p. 98-104, 2007.
- CAMPOS, M. F de, et al. **Desenvolvimento da Mandioca em Função da Calagem e Adubação Com Zinco**. VII workshop Agroenergia, São Paulo, p.1-6, 2013.

- DAJUE, L.; MÜNDEL, H. Safflower. *Carthamus tinctorius* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.7. **Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute**, Rome, Italy. 83 p. 2002.
- ELFADL, E.; et al. Optimizing of nitrogen rate and seed density for safflower (*Carthamus tinctorius*, L.) production under low-input farming conditions in temperate climate. **Field Crops Research**. v. 114, v. 1, p. 2-13, 2009.
- ERIE, L. J.; FRENCH, O. F. Growth, yield and yield componentes of safflower as affected by irrigation regimes. **Agronomy Journal**, v.61, n.1, p. 111-113, 1969.
- GILBERT, N. W.; TUCKER, T. C. Growth, yield, and yield components of safflower as affected by source, rate and time of application of nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v.59, n. 1, p.54–55, 1967.
- GRACIA, A. B.; et al. **Guia para produzir cártamo em Sinaloa**. Fundación Produce, Sinaloa México, 22p. 2010.
- HANG, A. N.; EVANS, D. W. Deficit sprinkler irrigation of sunflower and safflower. **Agronomy Journal**. v. 77, n. 4, p. 588-592, 1985.
- JADHAV, B. A.; JOSHI, A. A. Extraction and quantitative estimation of bioactive component (yellow and red carthamin) from dried safflower petals. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 8, n. 16, p. 1-5, 2015.
- KHALID, N.; et al. A comprehensive chacterisation os safflower oil for its potential applications as a bioactive food ingredient - A review. **Elsevier, Trends in Food Science & Technology**. v. 66, p. 176-186, 2017.
- KHOMARI, S.; SOLTANI-NEZHAD, M.; SEFGHI, M. Effect of seed vigour and Pretreatment on Germinability and Seedling Growth of Safflower under Drought and Salinity Conditions. **International Journal of Farming and Allied Sciences**, v. 3, n. 12, p. 1229-1233, 2014.
- KIZIL, S; et al. Comprehensive study on Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in semi-arid conditions. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v.4, n.1, p. 947-953, 2008.
- KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; DOITSINIS, A. Nitrogen utilization efficiency of safflower hybrids and open-pollinated varieties under Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 107, n. 1, p. 56–61, 2008.
- LIMA, E.; et al. XIII – Cálcio e Magnésio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. de; SANTOS, L. A. (Org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 ed. Viçosa – Minas Gerais, p. 465-490, 2018.
- MAJIDI, M. M.; et al. Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus* Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. **Australian Journal of Crop Science**. v. 5, n. 8, p. 1055-1063. 2011.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 638 p. 2006.

- MOURA, P. C. S.; et al. Características gerais e ecofisiologia do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). **Journal of Agronomic Sciences**, v.4, n. especial, p.136-150, 2015.
- MÜNDEL, H. H.; BLACKSHOW, R. E.; BYERS, J. R.; HUANG, H. C.; JOHNSON, D. L.; KEON, R. **Safflower production on the Canadian Prairies**. Lethbridge: Agriculture and Agri-Food Canada, 36p. 2004.
- OBA, G. C.; et al. Alguns testes de velocidade de germinação em sementes de *Carthamus tinctorius* L. para a avaliação do efeito do nível de água do substrato. 17 Workshop de Plantas Medicinais do Mato Grosso do Sul, 7 Empório Da Agricultura Familiar, 2015. **Anais...** Dourados: UFGD, 2015.
- OELKE, E. A.; et al. Safflower: alternative field crops manual. Wisconsin: Cooperative Extension, 2011. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/safflower.html>>. Acesso em: 06 jul.2020.
- OMIDI, A. H.; et al. Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Turkish Journal of Field Crops**, Turkey, v. 17, n.1, p.10-15, 2012.
- OZTURK, E., OZER, H.; POLAT, T. Growth and yield of safflower genotypes grown under irrigated and non-irrigated conditions in a highland environment. **Plant Soil Environ**. v. 54, n. 10, p. 453-460. 2008.
- POSSENTI, R. A.; et al. Avaliação nutritiva da silagem de cártamo, produção de biomassa, grãos e óleo. **Boletim de Indústria Animal**. Nova Odessa, v.73, n.3, p.236-243, 2016.
- PRIMAVESI, A. **A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal**. / Ana Primavesi e Artur Primavesi (Org.). 1. ed. São Paulo: Expressão Popular, 608 p. 2018.
- QUAGGIO, J. A.; et al. Peanut response to lime and molybdenum application in low pH soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 28, n. 4, p. 659-664. 2004.
- RAJASEKARAN, G. Sulphate attack and ettringite formation in the lime and cement stabilized marine clays. **Ocean Engineering**, v. 32, n. 8-9, p. 1133-1159, 2005.
- SAMPAIO, M. C.; et al. Comparison of Safflower Cultivation in Two Seasons in the South of Brazil. **Journal of Agricultural Science**; v.10, n.5; p. 92-99, 2018.
- SAMPAIO, M.C. et al. Effect of plant density on oil yield of safflower. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n.25, p. 2147-2152, 2017.
- SANTOS, R. F.; SILVA, M. A. *Carthamus tinctorius* L.: uma alternativa de cultivo para o Brasil. **Acta Iguazu**, v.4, n.1, p. 26-35, 2015.
- SHARIFI, R. S.; NAMVAR, A.; SHARIFI, R. S. Grain filling and fatty acid composition of safflower fertilized with integrated nitrogen fertilizer and biofertilizers. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n. 4, p. 236-243, 2017.
- SILVA, C. J. **Caracterização agrônômica e divergência genética de acessos de cártamo**. 2013. 51p. **Tese** (Doutorado em Agronomia - Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SINGH, V; NIMBKAR, N: Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), In: SINGH, R, J: **Genetic Resources Chromosome Engineering, and Crop Improvement: Oil Crops**, Boca Raton, p.168-194, 2007.

SOLEYMANI, A. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed vigor tests for the prediction of field emergence. **Industrial Crops and Products**, v. 131, n.1, p. 378-386, 2017.

SUPANJANI; TAWAHA, A. R. M.; YANG, M. S.; HAN, H. S.; LEE, K. D. Role of calcium in yield and medicinal quality of *Chrysanthemum Coronarium* L. **Journal of Agronomy**. v.4, n. 3, p. 186-190, 2005.

VOLKWEISS, S. J. et al. **Levantamento dos teores de nutrientes das plantas em solos do Rio Grande do Sul**. Embrapa Trigo. S.l.: s.n., 4 p. 1984.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; et al. **Adubação e nutrição em cártamo**. In: SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D. (Org.). **Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.): alternativa de cultivo para o Brasil**, Cascavel, PR: EDUNIOESTE, p. 87- 98, 2018.

5 APÊNDICE







Semeadura



Emergência - Controle de *Diabrotica speciosa*



Fase de roseta



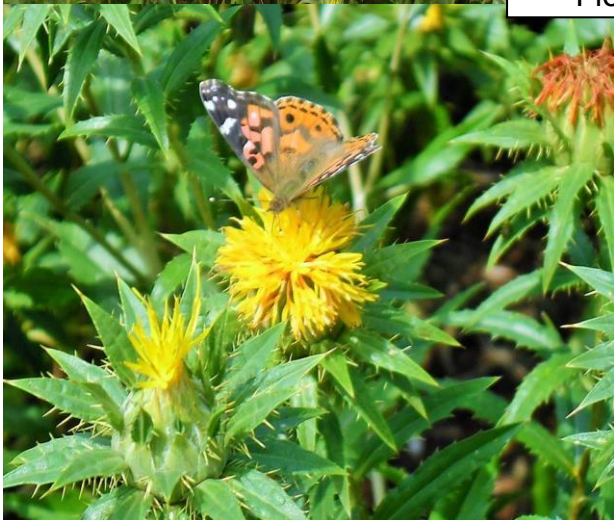
Alongamento do caule



Ramificação



Floracão



Colheita (Sem dessecação)