CRISTIANE SEGATTO

NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO VIA TRATAMENTO DE SEMENTES E ADUBAÇÃO FOLIAR NA CULTURA DO MILHO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina - CAV/UDESC, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Clovis Arruda de Souza

2020

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da Biblioteca Setorial do CAV/UDESC, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Segatto, Cristiane NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO VIA TRATAMENTO DE SEMENTES E ADUBAÇÃO FOLIAR NA CULTURA DO MILHO / Cristiane Segatto. -- 2020. 172 p.

Orientador: Clovis Arruda de Souza Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2020.

 Nanotecnologia. . 2. Germinação. 3. Folha. 4.
 Rendimento. 5. Nutriente. I. Arruda de Souza, Clovis. II.
 Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. III. Título.

CRISTIANE SEGATTO

NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO VIA TRATAMENTO DE SEMENTES E ADUBAÇÃO FOLIAR NA CULTURA DO MILHO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

BANCA EXAMINADORA:

Orientador:

Prof. Dr. Clovis Arruda de Souza

Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membro:

Prof. Dr. Luís Sangoi Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membro: Alvarohoragliefic

Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membro externo:

Prof. Dr. Cristiano Reschke Lajús

Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ)

Membro externo:

Prof. Dr. Márcio Antônio Fiori Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ)

Lages, 07 de julho de 2020.

Os meus pais Nilvo e Marilde, pelo apoio incondicional, incentivo pela minha formação, carinho e amor. A minha amada nona Maria (*in memoriam*) pelos ensinamentos.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por andar sempre comigo e ajudar-me a superar todas as dificuldades, não me deixando desistir, mesmo nos momentos mais difíceis, direcionando-me no caminho certo.

As minhas irmãs Mônica, Andressa e Angela Maria pelo incentivo e carinho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Clovis Arruda de Souza pelo incentivo, amizade e confiança, pelas excelentes orientações, pelos ensinamentos agronômicos, por sempre me tirar da zona de conforto.

Aos Professores Dr. Cristiano Reschke Lajús, PhD Márcio Antônio Fiori, nos quais os admiro muito pelo profissionalismo, pelos valiosos ensinamentos, por todas às vezes que forneceram suporte nos momentos de fragilidade e principalmente pelo apoio incondicional. "Quando se admira o mestre, o coração dá ordens à inteligência para aprender o que o mestre faz" (Rubens Alves).

Aos Professores Dr. Luciano Luiz Silva - UNOCHAPECÓ, Dr. Humberto Gracher Riella - ENQ/UFSC, pelas orientações e auxílios durante a pesquisa.

A UNOCHAPECÓ, pelo incentivo e por conceber meu afastamento profissional, para a realização do doutorado.

Aos Colegas de laboratório, pelo auxílio durante toda a pesquisa, a Camila e Franciele, pelo apoio e risadas e sem vocês, certamente não seria possível a conclusão desta pesquisa.

Aos motoristas por deixar as longas viagens até o experimento em Caxambu do Sul divertidas e pela ajuda, ao tratorista Sandir por sempre estar disposto a ajudar, muito obrigada.

Ao Marcelo Segatto e família, pela disponibilidade da área de terra concedida a mim para que pudesse conduzir a pesquisa de campo com sucesso.

As pessoas que conheci durante o doutorado que contribuíram de forma especial, deixando nesta etapa mais leve.

A Capes pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que, direita ou indiretamente, contribuíram para que pudesse chegar ao fim de mais uma etapa com sucesso, meus sinceros agradecimentos.

"Milho...

Punhado plantado nos quintais. Talhões fechados pelas roças. Entremeado nas lavouras, baliza marcante nas divisas.

Milho verde.

Milho seco.

Bem granado, cor de ouro".

"Cora Carolina"

RESUMO

O magnésio é um macronutriente indispensável para a cultura do milho. A nanotecnologia é uma estratégia que pode ser utilizada para aumentar a eficiência de absorção e utilização deste nutriente. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a eficiência de diferentes fontes de nanopartículas de óxido de magnésio via tratamento de sementes e adubação foliar sobre o desempenho agronômico do milho. Os experimentos envolvendo tratamento de sementes (TS) foram realizados em laboratório (teste de germinação), ambiente protegido (resposta fotossintética e rendimento biológico das plantas), e as avaliações em condições de campo ((desempenho agronômico em três locais de cultivo, Caxambu do Sul, Lages (Tambo e Fecav)). As sementes foram tratadas do hibrido P4285HYR, com três fontes de magnésio, nanopartículas de óxido magnésio (NPsMgO), nanopartículas na forma de núcleo-casca de óxido de magnésio e carbono (NPsMgO@C) e nitrato de magnésio (Mg(NO₃)₂), e seis concentrações 0; 37,5; 75; 150; 300 e 600 mg L⁻¹. Os experimentos de adubação foliar foram realizados concomitantemente e de maneira similar ao TS. As aplicações das fontes de Mg foram sobre as plantas nos estádios V10 e V12. Os resultados em função do TS, indicaram que as concentrações 75 e 150 mg L⁻¹ de NPsMgO e NPsMgO@C, aumentaram aproximadamente 6% na germinação das sementes sob tempo de armazenamento de 90-150 dias. Em ambiente protegido, a aplicação de Mg via TS favoreceu o aumento da área foliar. Sendo observada alteração do ciclo, particularmente nos estádios fenológicos V4 e V5, pois as aplicações de nanopartículas sobre as sementes possibilitaram certa aceleração de quatro dias, no desenvolvimento fenológico das plantas, fato também observado na condição de campo. As concentrações de 150 e 300 mg L-1 de NPsMgO e NPsMgO@C proporcionaram aumento no rendimento de 38% a 57% em relação às testemunhas. O Mg(NO₃)₂ as concentrações 75 e 150 mg L⁻¹ proporcionaram aumento Em ambiente protegido, a aplicação foliar com nanopartículas de 2% e 6%. proporcionou aumento na área foliar e na massa seca em relação ao nitrato. Em condições a campo, houve incremento no rendimento de 14% a 31% nas concentrações de 75 e 300 mg L-1 de NPsMgO e NPsMgO@C. O Mg(NO₃)₂ na concentração de 150 mg L⁻¹ obteve-se aumento de 0,4% em relação a testemunha. Conclui-se que a germinação de sementes tratadas com nanopartículas pode ser considerado um benefício agregado pelo processo de TS e pelo tempo de armazenamento. Em ambiente protegido em função ao TS com nanopartículas aumenta área foliar e altera a fenologia da planta, havendo aceleração do ciclo. Essa aceleração foi confirmada em condições de campo. A utilização de nanopartículas de magnésio é uma estratégia viável para aumentar o rendimento de grãos do milho tanto via tratamento de sementes quanto na adubação foliar.

Palavras-chave: Nanotecnologia. Germinação. Folha. Rendimento. Nutriente.

ABSTRACT

Magnesium is an essential macronutrient for maize crops. Nanotechnology is a strategy that can be used to increase the efficiency of absorption and use of this nutrient. This work was carried out with the objective of evaluating the efficiency of different sources of magnesium oxide nanoparticles via seed treatment and foliar fertilization on the agronomic performance of corn. The experiments involving seed treatment (TS) were carried out in the laboratory (germination test), protected environment (photosynthetic response and biological yield of plants), and evaluations in field conditions ((agronomic performance in three cultivation sites, Caxambu do Sul, Lages (Tambo and Fecav)) The seeds were treated with the P4285HYR hybrid, with three sources of magnesium, magnesium oxide nanoparticles (NPsMgO), nanoparticles in the form of a magnesium oxide and carbon shell (NPsMgO @ C) and magnesium nitrate (Mg (NO₃) ₂), and six concentrations 0; 37.5; 75; 150; 300 and 600 mg L⁻¹. The experiments of foliar fertilization were carried out concomitantly and in a similar way to TS. Of the sources of Mg were on the plants in the stages V10 and V12. The results as a function of TS, indicated that the concentrations 75 and 150 mg L⁻¹ of NPsMgO and NPsMgO@C, increased approximately 6% in the seed germination under time of 90-150 days storage. In a protected environment, the application of Mg via TS favored an increase in leaf area. Being observed alteration of the cycle, particularly in the phenological stages V4 and V5, because the applications of nanoparticles on the seeds allowed a certain acceleration of four days, in the phenological development of the plants, a fact also observed in the field condition. The concentrations of 150 and 300 mg L-1 of NPsMgO and NPsMgO@C provided an increase in yield of 38% to 57% in relation to the controls. The Mg (NO₃) ₂ concentrations 75 and 150 mg L⁻¹ provided an increase of 2% and 6%. In a protected environment, leaf application with nanoparticles provided an increase in leaf area and dry mass in relation to nitrate. Under field conditions, there was an increase in yield of 14% to 31% in the concentrations of 75 and 300 mg L⁻¹ of NPsMgO and NPsMgO@C. Mg (NO₃)₂ at a concentration of 150 mg L⁻¹ increased by 0.4% compared to the control. It is concluded that the germination of seeds treated with nanoparticles can be considered an added benefit by the TS process and by the storage time. In a protected environment due to TS with nanoparticles, the leaf area increases and changes the phenology of the plant, with acceleration of the cycle. This acceleration was confirmed

under field conditions. The use of magnesium nanoparticles is a viable strategy to increase the grain yield of corn both through seed treatment and in foliar fertilization.

Keywords: Nanotechnology. Germination. Leaf. Yield. Nutrient.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Estrutura morfológica do grão na cultura do milho33
Figura 2 -	Escala de desenvolvimento fenológico da cultura do milho39
Figura 3 -	Fluxograma representativo das principais etapas do tratamento de
	sementes com as nanopartículas de óxido de magnésio e nitrato de
	magnésio54
Figura 4 -	Percentual de germinação de sementes de milho em função do tratamento
	de sementes com nanopartículas de óxido de magnésio, nanopartículas
	núcleo-casca de óxido de magnésio e carbono e nitrato de magnésio e de
	tempo de armazenamento6
Figura 5 -	Percentual de germinação e plântulas anormais de sementes de milho en
	função das concentrações, fontes e do tempo de armazenamento de
	sementes de milho (a) zero dia; (b) 30dias; (c) 60 dias; (d) 90 dias; (e) 15
	dias69
Figura 6 -	Área foliar de plantas de milho em função ao tratamento de sementes con
	concentrações de magnésio, na média das fontes (nanopartículas de
	óxido de magnésio, nanopartículas núcleo-casca de óxido de magnésio
	carbono e nitrato de magnésio) em ambiente protegido primeiro ano (a
	segundo ano (b)75
Figura 7 -	Teor de magnésio nas estruturas morfológicas entrenó basal, mediano e
	apical em plantas de milho, no estádio fenológico R3, função de
	tratamento de sementes com fontes de nanopartículas de óxido de
	magnésio e nitrato de magnésio, cultivadas em ambiente protegido7
Figura 8 -	Teor de fósforo na bainha basal, bainha mediana e bainha apical en
	plantas de milho função do tratamento de sementes com fontes de
	nanopartículas de óxido de magnésio e nitrato de magnésio no estádio
	fenológico R3 em ambiente protegido78
Figura 9 -	Relação do número de grãos por espigas obtido de plantas de milho en
	função do uso de fonte e concentrações crescentes de magnésion
	fornecidos via tratamento de sementes com nanopartículas de óxido de
	magnésio, nanopartículas núcleo-casca de óxido de magnésio e carbone
	e nitrato de magnésio. Lages/SC – Fecav8

Figura 10 - Relação da massa de mil grãos obtidas de plantas de milho em t	iunção do
uso de fontes e concentrações de Mg fornecidas via tratar	mento de
sementes com nanopartículas de óxido de magnésio, nano	partículas
núcleo-casca de óxido de magnésio e carbono e nitrato de mag	jnésio em
Caxambu do Sul/SC a), Lages/SC Tambo b) e Fecav c)	83
Figura 11 - Relação do percentual de umidade dos grãos no momento da co	lheita das
plantas de milho com fonte e concentrações de nanopartículas	de óxido
de magnésio, nanopartículas núcleo-casca de óxido de ma	ignésio e
carbono e nitrato de magnésio em Caxambu do Sul/SC (a), l	Lages/SC
(Tambo) (b)	86
Figura 12 - Relação do percentual de umidade dos grãos oriundos das p	lantas de
milho tratadas com fonte e concentrações de nanopartículas de	óxido de
magnésio, nanopartículas núcleo-casca de óxido de magnésio	e carbono
e nitrato de magnésio nos estádios a) R5,b) R6e c) momento da	a colheita.
Lages/SC- Fecav.	87
Figura 13 - Relação do rendimento de grãos das plantas de milho tratadas o	com fonte
e concentrações de nanopartículas de óxido de magnésio, nano	partículas
núcleo-casca de óxido de magnésio e carbono e nitrato de mag	nésio nos
locais: a) Caxambu do Sul/SC, b) Lages Tambo e c) Lages (Fed	av)92
Figura 14 - Teor de cálcio nos grãos de milho oriundos de plantas tratadas c	om fontes
e concentrações de nanopartículas de óxido de magnésio e	nitrato de
magnésio	94
Figura 15 - Teor de potássio nos grãos oriundos de plantas de milho trata	
fontes e concentrações de nanopartículas de óxido de magnésic	o e nitrato
de magnésio	
Figura 16 - Fluxograma representativo das principais etapas do desenvolvin	
experimentos em função da adubação via foliar	
Figura 17 - Área foliar de plantas de milho em função a adubação via f	
concentrações, na média das fontes: nanopartículas de	
magnésio, nanopartículas núcleo-casca de óxido de magnésio	
e nitrato de magnésio em ambiente protegido a) primeiro ano e b	
ano	•
Figura 18 - Massa seca total das plantas de milho em função a adubação	
com concentrações com nanopartículas de óxido de r	

	nanoparticulas nucleo-casca de oxido de magnesio e carbono e nitrato de
	magnésio em ambiente protegido primeiro ano114
Figura 19 -	- Índice SPAD nas folhas de plantas de milho no estádio VT em função da
	adubação foliar e de concentrações, na média das fontes: nanopartículas
	de óxido de magnésio, nanopartículas na forma núcleo-casca de óxido de
	magnésio e carbono e nitrato de magnésio. Caxambu do Sul/SC117
Figura 20 -	- Massa de mil grãos (MMG) de milho em funções das doses crescentes de
	adubação via foliar com magnésio, média das fontes, na forma de
	nanopartículas de óxido de magnésio, nanopartículas na forma de núcleo-
	casaca de óxido de magnésio e carbono e nitrato de magnésio em
	Caxambu do Sul/SC a) e Lages/SC (Fecav) b)121
Figura 21 -	- Umidade dos grãos no momento da colheita em função de diferentes
	fontes e concentrações de magnésio aplicado via adubação foliar na forma
	de nanopartículas de óxido de magnésio, nanopartículas na forma de
	núcleo-casca de óxido de magnésio e carbono e nitrato de magnésio em
	Caxambu do Sul/SC
Figura 22 -	- Rendimento de grãos de milho em função da adubação foliar com
	concentrações crescentes de nanopartículas de óxido de magnésio,
	nanopartículas na forma de núcleo-casca de óxido de magnésio e carbono
	e nitrato de magnésio, obtido em experimento em condições de campo em
	Caxambu do Sul/SC
Figura 23 -	- Rendimento de grãos de milho em função da adubação foliar com
	concentrações crescentes de nanopartículas de óxido de magnésio,
	nanopartículas na forma de núcleo-casca de óxido de magnésio e carbono
	e nitrato de magnésio, obtido em experimento em condições de campo em
	Lages (Tambo)
Figura 24 -	- Rendimento de grãos de milho em função da adubação foliar com
	concentrações crescentes de nanopartículas de óxido de magnésio,
	nanopartículas na forma de núcleo-casca de óxido de magnésio e carbono
	e nitrato de magnésio, obtido em experimento em condições de campo em
	Lages (Fecav)126
Figura 25 -	- Teor de cálcio nos grãos de milho em função da adubação via foliar com
	concentrações crescentes de nanopartículas de óxido de magnésio e
	nitrato de magnésio

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Comparação da produção e do consumo mundial do milho nas safras
	2018/19 e 2019/2031
Tabela 2 -	Teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo nos nó, entrenó, bainha e
	folhas em função do tratamento de sementes com magnésio, na média
	das fontes de nanopartículas de óxido de magnésio e nitrato de magnésio
	em plantas de milho no estádio fenológico R3 cultivada em ambiente
	protegido76
Tabela 3 -	Leitura SPAD no estádio V6 nas folhas de plantas de milho em função do
	tratamento submetidas às fontes de nanopartículas de óxido de
	magnésio, estruturas de núcleo casca de óxido de magnésio e carbono e
	nitrato de magnésio, Caxambu do Sul/SC80
Tabela 4 -	Teor de magnésio nos grãos oriundos de plantas de milho tratadas com
	de nanopartículas de óxido de magnésio e nitrato de magnésio95
Tabela 5 -	Teor de fósforo nos grãos oriundos de plantas de milho tratadas com
	fontes de nanopartículas de óxido de magnésio e nitrato de magnésio.96
Tabela 6 -	Área foliar de plantas de milho em função a adubação via foliar com fontes
	com nanopartículas de óxido de magnésio, nanopartículas núcleo-casca
	de óxido de magnésio e carbono e nitrato de magnésio em ambiente
	protegido, primeiro e segundo ano111
Tabela 7 -	Massa seca total de plantas de milho em função a adubação via foliar com
	fontes com nanopartículas de óxido de magnésio, nanopartículas núcleo-
	casca de óxido de magnésio e carbono e nitrato de magnésio em
	ambiente protegido, primeiro e segundo ano113
Tabela 8 -	Teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo nas estruturas
	morfológicas em nó, entrenó, bainha e folhas, subdivididas em basal,
	mediana e apical em plantas de milho função da adubação via foliar com
	fontes de nanopartículas de óxido de magnésio e nitrato de magnésio no
	estádio fenológico R3 em ambiente protegido115
Tabela 9 -	Teores de cálcio, magnésio e potássio nó, entrenó e bainha em plantas
	de milho função da adubação via foliar com fontes de nanopartículas de
	óxido de magnésio e nitrato de magnésio no estádio fenológico R3 em
	ambiente protegido116

Tabela 10 – Número de grão por espiga (NGE) das plantas de milho em função da adubação foliar em função das nanopartículas de óxido de magnésio, nanopartículas em forma de núcleo-casca de óxido de magnésio e carbono e nitrato de magnésio em Caxambu do Sul/SC.......119

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% Porcento

ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Ag Prata

AIE Altura da inserção da espiga

Al Alumínio

AP Altura de planta

ATP Adenosina trifosfato (Adenosine TriPhosphate)

B Boro

C3 Três carbonos

C4 Quatro carbonos

Ca Cálcio

CAV Centro de Ciências Agroveterinárias

Cfa Clima subtropical úmido com chuvas bem distribuídas no verão

Cl Cloro

cm² Centrímento quadrado

CO₂ Gás carbônico

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento

CTC Capacidade de troca de cátions

Cu Cobre

CuO Óxido de Cobre

D.I.C Delineamento inteiramente casualizado

DC Diâmetro do colmo

dm⁻³ Decímetro cúbico

DNA Ácido Desoxirribo nucléico

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

Fe Ferro

g Grama

g L Grama por litro

GL Graus de liberdade

h Hora

Ha Hectare

IOWA Iowa State University Extension

K Potássio

kg Quilograma

kg ha Quilograma por hectare

Litro

m Metro

mg L Miligrama por litro

Mg Magnésio

Mg(NO₃)₂ Nitrato de magnésio

min Minuto

Mn ManganêsMo MolibdênioN Nitrogênio

NDVI Índice de vegetação por diferença normalizada

NFG Número de fileiras de grãos na espiga

NGE Número Grãos por espiga

NGF Número de grãos por fileira na espiga

nm Nanômetro

NPs Nanopartículas

NPsMgO Nanopartículas de óxido de magnésio

NPsMgO@CNanopartículas na forma de núcleo-casca de óxido de magnésio e

carbono

O₂ Oxigênio

°C Grau Celsius

P Fósforo

PEP Fosfo-enol-piruvato

pH Potencial hidrogeniônico

R Estádios reprodutivos

R1 Florescimento

R² Coeficiente de determinação

R2 Grão leitoso

R3 Grão pastoso

R4 Grão farináceo

R5 Grão farináceo duro

R6 Maturidade fisiológica

RNA Ácido ribonucléico

S Enxofre

SBCS Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

t Tonelada

TS Tratamento de sementes

TSI Tratamento industrial de semente

USDA United States Departament of Agriculture
UDESC Universidade do Estado de Santa Catarina

V Estádios vegetativos

V1 Primeira folha totalmente expandida

V10 Décima folha totalmente expandida

V12 Décima segunda folha totalmente expandida

V15 Décima quinta folha totalmente expandida

V18 Décima oitava folha totalmente expandida

V2 Segunda folha totalmente expandida

V3 Terceira folha totalmente expandida

V4 Quarta folha totalmente expandida

V5 Quinta folha totalmente expandida

V6 Sexta folha totalmente expandida

V7 Sétima folha totalmente expandida

V8 Oitava folha totalmente expandida

V9 Nona folha totalmente expandida

VE Germinação e emergência

VT Pendoamento

Zn Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	.23
1.1	HIPÓTESES	.28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:	.29
2.1	CULTURA DO MILHO NO MUNDO E BRASIL	.30
2.2	MORFOLOGIA E FENOLOGIA DA PLANTA DE MILHO	.32
2.3	IMPORTÂNCIA E APLICAÇÃO DOS NUTRIENTES NA CULTURA	DO
	MILHO	.36
2.4	TRATAMENTO DE SEMENTES	.40
2.5	ADUBAÇÃO FOLIAR	.41
2.6	USO DA NANOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA	.43
2.6.1	Tratamento de sementes com nanopartículas	.46
2.6.2	Adubação foliar com nanopartículas	.47
3	TRATAMENTO DE SEMENTES COM NANOPARTÍCULAS	.49
3.1	RESUMO	.49
3.2	ABSTRACT	.50
3.3	INTRODUÇÃO	.51
3.4	METODOLOGIA	.53
3.4.1	Definição da semente e das nanopartículas	.54
3.4.2	Tratamentos das sementes	.55
3.4.2.1	Tratamento da semente de milho com nanopartículas e nitrato de magne	
3.4.3	Experimentos Realizados	
3.4.3.1	Qualidade das sementes tratadas com NPsMgO, NPsMgO@C e Mg(NC	-
3.4.3.2	Avaliação do desempenho agronômico de plantas oriundas de semen	
	tratadas com nanopartículas – em ambiente protegido	
	Digestão ácida e quantificação do magnésio, cálcio, fósforo e potássio	
3.4.3.4	Avaliação do desempenho agronômico de plantas oriundas de semen	
	tratadas com nanopartículas – em condições de campo	
	Digestão ácida e quantificação do magnésio, cálcio, fósforo e potássio	. 65
3.5	RESULTADO E DISCUSSÃO	.66

3.5.1	Desempenho de sementes de milho tratadas e armazenadas com
	NPsMgO, NPsMgO@C e Mg(NO ₃) ₂ 66
3.5.2	Desempenho, em ambiente protegido, de plantas de milho oriundas do
	tratamento de sementes com NPsMgO, NPsMgO@C e Mg(NO ₃) ₂ 73
3.5.2.1	Leitura SPAD V6, V10, folha índice e oposta, altura de planta, altura de
	inserção de espiga, diâmetro de colmo, massa seca de planta e número de
	grãos73
3.5.2.2	Área foliar74
3.5.2.3	Teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo76
3.5.3	Desempenho agronômico, em condições de campo, de milho em função
	do tratamento de sementes com nanopartículas e nitrato de magnésio
	79
3.5.3.1	Índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI no estádio V779
3.5.3.2	Leitura SPAD79
3.5.3.3	Altura de planta e altura de inserção de espiga80
3.5.3.4	Número de grãos por espiga81
3.5.3.5	Massa de mil grãos82
3.5.3.6	Umidade dos grãos84
3.5.3.7	Rendimento de grãos90
3.5.3.8	Teor de cálcio nos grãos93
3.5.3.9	Teor de magnésio nos grãos94
3.5.3.10	0 Teor de potássio nos grãos95
3.5.3.1	1 Teor de Fósforo nos grãos96
3.6	CONCLUSÃO98
4	ADUBAÇÃO FOLIAR COM NANOPARTÍCULAS DE MAGNÉSIO E
	NITRATO DE MAGNÉSIO99
4.1	RESUMO99
4.2	ABSTRACT100
4.3	INTRODUÇÃO101
4.4	MATERIAIS E MÉTODOS
4.4.1	Adubação foliar e desempenho agronômico de plantas de milho em
	ambiente protegido104
4.4.2	Digestão e quantificação do cálcio, magnésio, potássio e fósforo em
	plantas de milho com aplicação via foliar106

4.4.3	Desempenho agronômico de milho em condições de campo	107
4.4.4	Digestão e quantificação do Ca, Mg, K e P nos grãos	109
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	110
4.5.1	Desempenho em ambiente protegido de plantas de milho em funç	ão da
	adubação foliar com NPsMgO, NPsMgO@C e Mg(NO₃)₂	110
4.5.1.1	Área foliar	111
4.5.1.2	? Massa seca total da planta	113
4.5.1.3	B Teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo	114
4.5.2	Desempenho agronômico em condições de campo, de milho em fu	ınção
	da adubação foliar com NPsMgO, NPsMgO@C e Mg(NO ₃) ₂	116
4.5.2.1	NDVI em plantas no estádio V11, índice SPAD em plantas no estádio	V11 e
	R3	116
4.5.2.2	? Índice de clorofila em plantas no estádio VT	117
4.5.2.3	B Altura de planta e altura da inserção da espiga	118
4.5.2.4	1 Número de grão por espiga	119
4.5.2.5	5 Massa de mil grãos	120
4.5.2.6	S Umidade dos grãos no momento da colheita	122
4.5.2.7	7 Rendimento de grãos de milho	123
4.5.2.8	3 Teor de cálcio nos grãos	127
4.5.2.9	7 Teor de Magnésio nos grãos	128
4.5.2.1	10 Teor de potássio nos grãos	129
4.5.2.1	11 Teor de fósforo nos grãos	130
4.6	COMPARAÇÃO ENTRE O TRATAMENTO DE SEMENTE CO	M A
	ADUBAÇÃO VIA FOLIAR DE NPsMgO, NPsMgO@C E Mg(NO ₃) ₂ USA	ANDO
	A UMIDADE DOS GRÃO NO MOMENTO DA COLHEITA COMO VARI	ÁVEL
	RESPOSTA	131
5	CONCLUSÃO GERAL	138
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	139
	REFERÊNCIAS	141
	APÊNDICES.	152