

“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Pós-graduação em Agronomia – Sistemas de Produção

Mário João Moretti Neto

**CINZA DE BIOMASSA DE EUCALIPTO COMO
CORRETIVO DE ACIDEZ DE SOLO E FONTE
DE NUTRIENTES PARA O CAPIM MASSAI
INOCULADO OU NÃO COM *Azospirillum*
*brasilense***

ILHA SOLTEIRA – SP
SETEMBRO-2020

Mário João Moretti Neto

Engenheiro Agrônomo

**CINZA DE BIOMASSA DE EUCALIPTO COMO
CORRETIVO DE ACIDEZ DE SOLO E FONTE
DE NUTRIENTES PARA O CAPIM MASSAI
INOCULADO OU NÃO COM *Azospirillum*
*brasiliense***

Orientador: *Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho*

**Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia, Unesp – Câmpus de
Ilha Solteira, para obtenção do título
de Mestre em Agronomia –
Especialidade: Sistemas de Produção.**

ILHA SOLTEIRA – SP
SETEMBRO-2020

Ficha Cartográfica

Moretti Neto, Mario João.

M845c Cinza de biomassa de eucalipto como corretivo de acidez de solo e fonte de nutrientes para o capim massai inoculado ou não com *Azospirillum brasilense* / Mario João Moretti Neto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
142 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2020

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Thiago Assis Rodrigues Nogueira

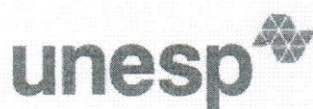
Inclui bibliografia

1. Bactérias promotoras de crescimento. 2. *Megathyrus maximum*. 3. Resíduo agroindustrial. 4. Calcário dolomítico. 5. Produção de matéria seca. 6. Exportação de nutrientes.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção

Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Cinza de biomassa de eucalipto como corretivo de acidez de solo e fonte de nutrientes para o capim Massai inoculado ou não com *Azospirillum brasilense*

AUTOR: MÁRIO JOÃO MORETTI NETO

ORIENTADOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

COORIENTADOR: THIAGO ASSIS RODRIGUES NOGUEIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, área:
Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. RONALDO DA SILVA VIANA

Curso de Engenharia Agrônoma / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP

Prof. Dr. CLEITON GREDSON SABIN BENETT

Universidade Estadual de Goiás (UEG), Unidade Universitária de Ipameri

Ilha Solteira, 27 de julho de 2020

*A felicidade é um problema individual. Aqui, nenhum conselho é válido.
Cada um deve procurar, por si, tornar-se feliz.*

Sigmund Freud

DEDICO

Aos meus pais Fernando e Cristina, que me deram não somente a vida, mas a minha educação e apoio nos momentos difíceis, pelo exemplo de humildade, pelo carinho, dedicação, confiança, paciência e acima de tudo, o amor que vocês me deram em todas as fases que passei. Por isso, devo muito à vocês pela pessoa que sou hoje. Minha gratidão, amo vocês!

Agradeço também meu irmão Rafael Ovejaneda Moretti, namorada Thalita Monteiro Araújo, aos meus tios Nicolino Lia Jr e Márcia Aparecida Ovejaneda Lia pela educação que me foi provida, sempre me apoiando durante todas as fases da vida e aos meus avós maternos José (in memorian) e Clarice, e paternos Mario e Elvira(in memorian).

OFEREÇO

Ao meu avó Mário João Moretti, eu não posso explicar com palavras o quanto foi importante em minha vida, eu o agradeço por tudo, minha maior paixão nessa vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pela dedicação, apoio e compreensão que me fortalecem a cada dia. À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (SP), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FEIS/UNESP, pela oportunidade concedida para realização deste curso, permitindo a realização de um sonho pessoal.

Aos professores Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, um agradecimento especial pelo exemplo de pessoa, pelo incentivo e interesse demonstrado como orientador na universidade e grande amigo.

À todos os amigos(as) pela amizade e agradável convivência (Arshad Jalal, Fernando Shintate Galindo, Lucas Ferrera, Isabella Malaquias, Leonardo Biagini, Danielle Bolandim Costa, -Daniela Araújo) pelo respeito e contribuição que ofereceram o meu crescimento como ser humano e prazer das vivências divididas nesse período oportuno.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em especial à Faculdade de Engenharia, campus de Ilha Solteira, por proporcionar excelentes condições de aprendizado aos alunos da instituição.

Ao técnico e amigo Marcelo Rinaldi da Silva, do laboratório de nutrição de plantas da UNESP - Ilha Solteira pela ajuda e suporte dados no desenvolvimento deste experimento, e pela boa vontade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela bolsa de estudos e apoio financeiro.

À empresa Cargill pelo capital oferecido para realização do experimento, e interesse na pesquisa agropecuária, servindo como exemplo de empresa que investe em pesquisa

RESUMO

A cogeração de energia térmica através da queima de biomassa vegetal do eucalipto em diversas indústrias gera uma alta quantidade de cinza de biomassa de eucalipto. Portanto, o destino correto desse resíduo agroindustrial é de suma importância para o ambiente e dispõe de preocupação das empresas produtoras quanto ao acúmulo de resíduos. Tanto a calagem como a inoculação com *Azospirillum brasiliense* podem maximizar e/ou antecipar os benefícios deste subproduto da Cargill em gramíneas forrageiras. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito das doses de cinza de biomassa de eucalipto como corretivo de acidez, associado ou não a aplicação de calcário, com ou sem a inoculação de *Azospirillum brasiliense*, na nutrição e produção de capim Massai. Assim como, analisar o efeito dos tratamentos sobre os principais atributos químicos de um solo de textura arenosa. O experimento foi conduzido em cultivo protegido, em Ilha Solteira – SP. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 5x2x2, sendo cinco doses de cinza de biomassa de eucalipto (0; 10,3; 20,60; 30,75 e 41,35 t ha⁻¹), com ou sem aplicação de calcário dolomítico visando elevar a saturação de bases a 70%, com ou sem a inoculação com *Azospirillum brasiliense* via semente. Ficou evidente que a cinza de biomassa de eucalipto melhora os atributos químicos do solo, pois diminuiu a acidez potencial e aumentou o pH, CTC e V%. A cinza de biomassa de eucalipto pode gerar o mesmo efeito que a calagem isolada no solo, as doses mais baixas utilizadas propiciam o mesmo efeito da calagem para pH e CTC, enquanto que para acidez potencial e V% necessita das doses mais altas. O uso da cinza junto com o calcário potencializa ainda mais os efeitos de neutralização, aumento de bases trocáveis e CTC em comparação com o uso de cinza isolado. Apesar do teor de nutrientes nesta cinza ser menor em relação a outras cinzas utilizadas por diversos autores, a mesma foi eficiente em aumentar os teores dos nutrientes no solo, com exceção do S. O volume e matéria seca de raízes do capim Massai aumenta em função das doses de cinza, da calagem ou da inoculação com *A. brasiliense*, porém desde que aplicados isoladamente. De modo geral, analisando os três cortes da forrageira, tanto a calagem como o incremento das doses aumentam os acúmulos de macronutrientes. Porém, a maior dose de cinza não propicia o maior acúmulo de nutrientes na planta, tanto aplicada isolada ou com calagem. O acúmulo de K no capim Massai é maior com a inoculação de *A. brasiliense*. Contudo, esta bactéria não influencia o desenvolvimento e produção desta forrageira irrigada e cultivada em vaso. O teor de proteína bruta da forrageira pode eventualmente aumentar com a inoculação de *A. brasiliense* e calagem, e até diminuir com o aumento das doses de cinza. O incremento da cinza de eucalipto aumenta o ICF, o IAF e a produção de matéria fresca e matéria seca do capim Massai, podendo substituir a calagem.

Palavras-chave: Bactérias promotoras de crescimento. *Megathyrus maximum*. Resíduo agroindustrial. Calcário dolomítico. Produção de matéria seca. Exportação de nutrientes.

ABSTRACT

Cogeneration of thermal energy through the burning of eucalyptus plant biomass in several industries generates a high amount of eucalyptus biomass ash. Therefore, the correct destination of this agroindustrial waste is of utmost importance for the environment and has concern of the producing companies regarding the accumulation of waste. Both liming and inoculation with *Azospirillum brasiliense* can maximize and / or anticipate the benefits of this Cargill sub-product in forage grasses. Given the above, the objective of this research was to evaluate the effect of eucalyptus biomass ash doses as soil acidity corrective, associated or not with limestone application, with or without *Azospirillum brasiliense* inoculation, on Massai grass nutrition and production. As well as, analyze the effect of treatments on the main chemical attributes of a sandy soil. The experiment was conducted in a greenhouse in Ilha Solteira - SP. The experimental design was a randomized block design with four replications, in a 5x2x2 factorial scheme, with five doses of eucalyptus biomass ash (0; 10.3; 20.60; 30.75; 41.35 t ha⁻¹). with or without application of dolomitic limestone to increase base saturation until 70%, with or without seed inoculation with *Azospirillum brasiliense*. Eucalyptus biomass ash can generate the same effect as liming isolated on the soil, the lower doses used provide the same effect as liming for pH and cation exchange capacity, while for potential acidity and bases saturation it needs the highest doses. The use of ash along with limestone further enhances the effects of neutralization, increased exchangeable bases and cation exchange capacity compared to the use of isolated ash. Although the nutrients content in this ash is lower in relation to other ash used by other authors, it was efficient in increasing the nutrients contents in the soil, with the exception of S. The volume and dry matter of roots of Massai grass increases in function ash doses, liming or inoculation with *A. brasiliense*, however provided they are applied alone. In general, analyzing the three cuts of forage, both liming and increasing of ash doses increase the accumulation of macronutrients in the plant. However, the highest dose of ash does not provide the greatest accumulation of nutrients, either applied alone or with liming. The accumulation of K in Massai grass is greater with the inoculation of *A. brasiliense*. However, this bacterium does not influence the development and production of this forage irrigated and grown in pot. The crude protein content of the forage may eventually increase with the inoculation of *A. brasiliense* and liming, and even decrease with the increase of ash doses. The increase in eucalyptus ash increases the ICF, the IAF and the production of fresh and dry matter of Massai grass, which can replace the use of liming.

Keywords: Plant-growth promoting bacteria. *Megathyrus maximum*. Agroindustrial residue. Dolomitic limestone. Dry matter production. Nutrients removed.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 -** Umidade relativa do ar e temperaturas máximas, médias e mínimas obtidas durante o experimento com capim Massai em casa de vegetação, à estação meteorológica situada na UNESP - Campus de Ilha Solteira. Período de outubro de 2018 a maio de 2019.....**36**
- FIGURA 2 -** Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto nos atributos químicos do solo: pH, acidez pontencial (H+Al), saturação de bases (V%) e CTC pH 7.0, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....**44**
- FIGURA 3 -** Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de fósforo no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....**47**
- FIGURA 4 -** Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de potássio no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....**48**
- FIGURA 5 -** Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de cálcio no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....**49**
- FIGURA 6 -** Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de magnésio no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....**51**
- FIGURA 7 -** Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de magnésio no solo, com e sem aplicação de *A.brasiliense*, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....**52**
- FIGURA 8 -** Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de enxofre no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....**53**

FIGURA 9 -	Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de boro no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	55
FIGURA 10 -	Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de cobre no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	57
FIGURA 11 -	Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de manganês no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	58
FIGURA 12 -	Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de zinco no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	60
FIGURA 13 -	Volume de raízes e matéria seca de raízes do capim Massai em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto, com ou sem aplicação da calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	62
FIGURA 14 -	Volume de raízes e matéria seca de raízes do capim Massai, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação <i>A.brasilense</i> . Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	64
FIGURA 15 -	Acúmulos de Mg, P e S na parte aérea do capim Massai no terceiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto sem interação.....	68
FIGURA 16 -	Acúmulos de P e K na parte aérea do capim-massai no primeiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	69
FIGURA 17 -	Acúmulos de K e P na parte aérea do capim Massai no primeiro corte realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de <i>A. brasilense</i> . Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	70
FIGURA 18 -	Acúmulo de Fe na parte aérea do capim Massai no primeiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	74

FIGURA 19 -	Acúmulos de Mg, P e S na parte aérea do capim Massai no terceiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto sem interação.....	77
FIGURA 20 -	Acúmulos de K, P, Ca e Mg na parte aérea do capim Massai no segundo corte realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	79
FIGURA 21 -	Acúmulo de K na parte aérea do capim Massai no segundo corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de <i>A. brasilense</i> . Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	81
FIGURA 22 -	Acúmulo de Zn na parte aérea do capim Massai no segundo corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	83
FIGURA 23 -	Acúmulos de Mg, P e S na parte aérea do capim Massai no terceiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto sem interação.....	85
FIGURA 24 -	Acúmulos de K e Mg na parte aérea do capim Massai no terceiro corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	86
FIGURA 25 -	Acúmulo de K na parte aérea do capim Massai no terceiro corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de <i>A. brasilense</i> . Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	88
FIGURA 26 -	Acúmulos de cobre e Fe na parte aérea do capim Massai no terceiro corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	90
FIGURA 27 -	Altura do capim Massai no segundo corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de <i>A. brasilense</i> . Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	93
FIGURA 28 -	Índice de área foliar do capim Massai no segundo corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de <i>A. brasilense</i> . Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	96

FIGURA 29 -	Índice de clorofila foliar (ICF) do capim Massai no terceiro corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	99
FIGURA 30 -	Número de perfilhos do capim Massai no primeiro corte realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	102
FIGURA 31 -	Produção de matéria fresca do capim Massai dos três cortes realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$)	105
FIGURA 32 -	Produção de matéria seca do capim Massai do primeiro e segundo cortes realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	106
FIGURA 33 -	Produção de matéria seca acumulado de capim Massai em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	110
FIGURA 34 -	Teor de proteína bruta na parte aérea do capim Massai no segundo corte realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05$).....	115

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Atributos químicos de cinza de biomassa utilizada por diversos autores.....	23
TABELA 2 -	Descrição dos tratamentos utilizados na pesquisa.....	33
TABELA 3 -	Atributos químicos do solo antes de implantação do experimento.....	34
TABELA 4 -	As características físico-químicas da cinza de biomassa de eucalipto obtida junto à Cargill de Três de Lagoas – MS, conforme análise na ESALq, UNESP – Campus de Ilha Solteira e o laboratório Hidrolabor.....	34
TABELA 5 -	Cronograma periódico do experimento.....	36
TABELA 6 -	Atributos químicos do solo no final do experimento, realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	41
TABELA 7 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente ao teor de fósforo no solo. Ilha Solteira – SP.....	46
TABELA 8 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente ao teor de cálcio no solo. Ilha Solteira – SP.....	50
TABELA 9 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente ao teor de magnésio no solo. Ilha Solteira – SP.....	52
TABELA 10 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente ao teor de enxofre no solo. Ilha Solteira – SP.....	54
TABELA 11 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente ao teor de boro no solo. Ilha Solteira – SP.....;	56
TABELA 12 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente ao teor de manganês no solo. Ilha Solteira – SP.....	59
TABELA 13 -	Volume de raízes (VR) e matéria seca de raízes (MSR) do capim Massai, realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	61
TABELA 14 -	Acúmulo de macronutrientes na parte aérea do capim Massai no primeiro corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	67

TABELA 15 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente aos acúmulos de P e K da parte aérea capim Massai no primeiro corte. Ilha Solteira – SP.....	71
TABELA 16 -	Acúmulos de micronutrientes na parte aérea do capim Massai no primeiro corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação <i>Azospirillum brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	73
TABELA 17 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente aos acúmulos de Cu, Mn e Zn na parte aérea do capim Massai no primeiro corte. Ilha Solteira – SP.....	75
TABELA 18 -	Acúmulos de macronutrientes na parte aérea do capim Massai no segundo corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	76
TABELA 19 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente aos acúmulos de K ,P e Mg da parte aérea capim Massai no segundo corte. Ilha Solteira – SP.....	80
TABELA 20 -	Acúmulos de micronutrientes na parte aérea do capim Massai no segundo corte realizado em função da calagem, inoculação com <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	82
TABELA 21 -	Acúmulos de macronutrientes na parte aérea do capim Massai no terceiro corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	84
TABELA 22 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente aos acúmulos de K e Mg da parte aérea do capim Massai no terceiro corte. Ilha Solteira – SP.....	87
TABELA 23 -	Acúmulos de micronutrientes na parte aérea do capim Massai no terceiro corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	89
TABELA 24 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente aos acúmulos de cobre, Fe e Mn na parte aérea do capim Massai no terceiro corte. Ilha Solteira – SP.....	91
TABELA 25 -	Altura do capim Massai dos três cortes realizado em função da calagem, inoculação com <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	92

TABELA 26 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente a altura do capim Massai no primeiro corte. Ilha Solteira – SP.....	93
TABELA 27 -	Índice de área foliar do capim Massai dos três cortes realizado em função da calagem, inoculação com <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	95
TABELA 28 -	Índice de clorofila foliar (ICF) do capim Massai dos três cortes realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	97
TABELA 29 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente ao índice de clorofila foliar do capim Massai no terceiro corte. Ilha Solteira – SP.....	98
TABELA 30 -	Número de perfilho da parte aérea do capim Massai dos três cortes realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	100
TABELA 31 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente ao número de perfilhos do capim Massai no primeiro e terceiro cortes. Ilha Solteira – SP.....	101
TABELA 32 -	Produção de matéria fresca do capim Massai dos três cortes (ciclos) realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	104
TABELA 33 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente a matéria fresca do capim Massai no primeiro e segundo cortes. Ilha Solteira – SP.....	105
TABELA 34 -	Produção de matéria seca do capim Massai dos três cortes (ciclos) realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	108
TABELA 35 -	Desdobramento da interação calagem e inoculação com <i>A. brasilense</i> , da análise de variância referente a matéria fresca do capim Massai no primeiro corte. Ilha Solteira – SP.....	108
TABELA 36 -	Produção de matéria seca (MS) acumulada de capim Massai em relação a calagem, inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	112
TABELA 37 -	Teor de proteína bruta na parte aérea do capim Massai dos três cortes realizado em função dos fatores calagem, inoculação com <i>A. brasilense</i> e doses de cinza de eucalipto.....	114

Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO LITERATURA	21
2.1	Cinza de biomassa de eucalipto	24
2.2	Capim Massai.....	26
2.3	Características do gênero <i>Azospirillum</i>	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	Local de condução do experimento.....	32
3.2	Tratamentos e delineamento experimental.....	32
3.3	Condução do experimento.....	33
3.4	Gráfico climático.....	36
3.5	Avaliações realizadas	37
3.6	Análises estatísticas.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1	Atributos químicos do solo no final do experimento.....	41
4.1.1	<i>Desdobramentos para os teores de macronutrientes no solo</i>	<i>45</i>
4.1.2	<i>Desdobramentos para os teores de micronutrientes no solo</i>	<i>54</i>
4.2	Volume e massa seca de raízes do capim Massai.....	60
4.3	Acúmulo de nutrientes na parte aérea do capim-Massai.....	65
4.3.1	<i>Acúmulo de macronutrientes no primeiro corte do capim-Massai.....</i>	<i>75</i>
4.3.2	<i>Acúmulo de micronutrientes no primeiro corte do capim-Massai.....</i>	<i>72</i>
4.3.3	<i>Acúmulo de macronutrientes no segundo corte do capim Massai.....</i>	<i>75</i>
4.3.4	<i>Acúmulo de micronutrientes no segundo corte do capim-Massai.....</i>	<i>81</i>
4.3.5	<i>Acúmulo de macronutrientes no terceiro corte do capim-Massai.....</i>	<i>83</i>
4.3.6	<i>Acúmulo de micronutrientes no terceiro corte do capim Massai.....</i>	<i>88</i>

4.4 Avaliações do capim Massai.....	92
4.4.1 <i>Altura de planta</i>	92
4.4.2 <i>Índice de área foliar</i>	94
4.4.3 <i>Índice de clorofila foliar (ICF)</i>	96
4.4.4 <i>Perfilhamento</i>	99
4.4.5 <i>Matéria fresca do capim Massai</i>	102
4.4.6 <i>Matéria seca do capim Massai</i>	113
4.4.8 <i>Proteína bruta</i>	113
5 CONCLUSÕES	116
REFERÊNCIAS	117
APÊNDICES	132

1 INTRODUÇÃO

Devido aos altos custos de fertilizantes e por ser uma prática não adotada por grande parte dos agricultores quando esse manejo é dirigido a forrageiras além dos diversos processos que interferem nas perdas desses insumos quando aplicados ao solo como a lixiviação, desnitrificação, volatilização e complexação pesquisas com intuito de tornar essa prática menos onerosa aos pecuaristas são de suma importância para recuperação dessas áreas, visando que as jazidas de fertilizantes tendem a se esgotar e o custo desse insumos aumentar conforme o tempo, os resíduos agroindustriais e o uso de bactérias promotoras de crescimentos, nesse intuito podem ser uma prática e prol de uma agricultura sustentável e menos onerosa.

Estimativas indicam que o Brasil detém cerca de 160 milhões de hectares de pastagens (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2018), dos quais grande parte apresenta algum grau de degradação (DIAS-FILHO, 2014). As causas da degradação de pastagens se deve a ausência ou incorreto manejo de pastejo, superlotação da área, falta de reposição de nutrientes ao solo, espécie forrageira inadequada para a região de cultivo, presença de pragas e plantas daninhas, etc. Como consequência há perda da capacidade de suporte e ganho de peso do animal ao longo do tempo, evidenciando a necessidade de reposição nutricional (LIMA, 2018).

A crescente preocupação com o desenvolvimento de sistemas agropecuários mais sustentáveis e menos poluente, há a busca de alternativas para reduzir o impacto ambiental dos fertilizantes minerais (COSTA *et al.*, 2015), sem causar perdas na produtividade.

A prática de utilização de cinza de caldeira vem ganhando proporção nos sistemas agrícolas como uma alternativa para redução no emprego de insumos, já que os mesmos se tornam um problema à medida que não são corretamente administrados. Quando usado de forma adequada na agricultura, reduz os impactos ambientais, a necessidade de adubos inorgânicos e consegue-se gerar uma série de benefícios no solo e no crescimento vegetal.

Por esse motivo, cinzas de caldeira, bioprodutos alcalinos, são classificadas como alternativas, tecnicamente, viáveis às fontes de calcário tradicionais, as quais são qualificadas como insumos, relativamente, onerosos a atividades agrícolas conduzidas, principalmente, em regiões tropicais, onde a reatividade do corretivo é intensificada pelas condições climáticas predominantes, elevadas temperaturas e precipitações pluviais (BOUGMON *et al.*, 2011; TARELHO *et al.*, 2011). Essa problemática é menos pronunciada em cinzas de madeira, que apresentam baixa reatividade e, portanto, perduram por tempo prolongado no solo, ampliando seu efeito residual, condição desejável às culturas de longo período em campo (SANTALLA *et*

al., 2011), como as gramíneas forrageiras.

A cinza da biomassa florestal contém cátions como o K, Ca e Mg, e pode ser usada para repor nutrientes em solos de florestas. Por outro lado, a cinza produzida também pode conter elementos traços como Cd e Zn, embora o teor desses íons na cinza de madeira seja geralmente baixo (OSTERAS *et al.*, 2005). Esse resíduo tem como características principais, altos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio e uma relação C/N de 30/1 (BELLOTE *et al.*, 1998). O uso agrônômico de resíduos da indústria de celulose, mais especificamente a cinza de biomassa florestal, além de nutrir as plantas, ainda pode resolver problemas da indústria com a alocação deste resíduo, imprimindo sustentabilidade nos sistemas de produção, com interação agricultura/indústrias (PRADO *et al.*, 2002).

A utilização benéfica de inoculantes microbianos também se destaca como alternativa viável, especialmente sob condições de baixa fertilidade do solo (CARVALHAIS *et al.*, 2013; HUNGRIA *et al.*, 2013). Essas bactérias, conhecidas como bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV), são responsáveis por realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) atmosférico (MARQUES *et al.*, 2017) e capacidade de incrementar o crescimento vegetal. Portanto, a sua utilização vem sendo muito estudada para avaliar os efeitos na produtividade e qualidade de gramíneas tropicais.

Um dos principais mecanismos é o estímulo fornecido por essas bactérias para a produção de fitohormônios, dentre estes auxina, giberelina, citocianina, entre outras substâncias promotoras de crescimento. O fitohormônio quantitativamente mais importante é o ácido 3-indol-acético (STEENHOUDT; VANDERLEYDEN, 2000; BASHAN *et al.*, 2004).

O destino correto de resíduos agroindustriais é muito importante para o meio ambiente e a empresa produtora. Neste sentido, após análise química da cinza de biomassa de eucalipto obtida após a combustão da madeira para secagem de grãos, verificou-se que a mesma apresenta alto pH e nutrientes em sua constituição. Logo, com base em outros trabalhos semelhantes da literatura e em função da busca por sustentabilidade nos sistemas produtivos, mais pesquisas são necessárias, com calibração de doses de cinza de biomassa para uma maior nutrição e produção de gramíneas forrageiras. Com o intuito de viabilizar comercialmente o uso desta cinza como corretivo de acidez de solo e fonte de nutrientes, associado ou não a aplicação de calcário, para reduzir a dose aplicada por área, e com ou sem a inoculação com *Azospirillum brasiliense*. Bactéria esta que pode maximizar e antecipar os benefícios deste subproduto da Cargill em gramíneas forrageiras.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de doses de cinza de biomassa de eucalipto como corretivo de acidez de solo, associado ou não a aplicação de calcário, com ou sem a inoculação via semente com *Azospirillum brasiliense*, na nutrição e

produção de capim Massai em três cortes. Assim como, analisar o efeito dos tratamentos sobre os atributos químicos de um solo de textura arenosa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cinza de biomassa de eucalipto

O Brasil alcançou, no ano de 2018, um total de 7,83 milhões de hectares em área com florestas plantadas, apresentando um crescimento de 13,1% em relação ao ano de 2017, além de atingir uma receita no setor de R\$ 89,6 bilhões (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2019). A área com eucalipto corresponde a 5,7 milhões de ha desse total, sendo que a maior parte está localizada nos Estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (16%), com destaque para o Estado do Mato Grosso do Sul que liderou a expansão de áreas nos últimos anos com uma taxa média de crescimento de 7,4% ao ano (IBÁ, 2019).

O eucalipto apresenta elevada mobilização de nutrientes em função do seu rápido crescimento. A colheita da madeira é realizada aos sete anos e em ciclos que variam de 7 até 21 anos (1 a 3 ciclos produtivos). A exportação de biomassa resulta em grande exportação de nutrientes, reduzindo consequentemente sua disponibilidade para as futuras plantações. Essa situação se torna ainda mais agravante pelo fato de que a maioria dos plantios se concentra em solos de baixa fertilidade natural (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000), geralmente na região de Cerrado, onde o déficit nutricional é acentuado principalmente para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro e zinco (SGARBI, 2002). Além de apresentar altos teores de alumínio e baixa disponibilidade hídrica, podendo comprometer a produtividade do eucalipto ao longo dos anos.

A cultura do eucalipto apresenta grande resposta às doses relativamente baixas de adubos, principalmente N, P, K e B, com alta produtividade de matéria seca (MS), associado ao pequeno consumo de nutrientes, demonstrando que o eucalipto é pouco exigente em termos de adubação, se comparado com outras culturas (OKADO, 2010). Essa característica permite o estabelecimento de algumas espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus*, inclusive em condições edáficas adversas. Mas, independente da espécie ou do produto final desejado, é importante o correto manejo do solo e dos resíduos da cultura, considerando os aspectos químicos, físicos e biológicos do solo, pois o manejo é que irá garantir a produtividade e a continuidade da produção florestal ao longo dos anos, sendo que um dos pontos importantes na busca da “sustentabilidade” florestal que consiste na adequada fertilização para realizar exploração do eucalipto sem reduzir a fertilidade do solo ou teores de nutrientes deste

(TIYUAN *et al.*, 2010).

Com base no exposto e considerando que grande quantidade de madeira de eucalipto é utilizado em usinas, indústrias e olarias, para cogeração de energia e vapor através de sua combustão. Desse modo, é gerado uma grande quantidade de cinza de biomassa de eucalipto, este subproduto deve ser usado de forma sustentável. Portanto, o destino correto deste resíduo agroindustrial é muito importante para o ambiente e tem preocupação das empresas acumuladoras.

Väätäinen *et al.* (2011) destacaram que a cinza de biomassa pode ser utilizada como agente condicionante do solo, uma vez que pode repor os nutrientes removidos pela biomassa colhida. Sendo assim, a aplicação de cinza em solos é uma forma conveniente para reciclar parte dos nutrientes exportados pelas plantas (DEMEYER *et al.*, 2001; ERNFORS *et al.*, 2010). Cabe ressaltar que o efeito da cinza de biomassa em solos é gerido pela composição e quantidade de cinza aplicada e pelo tipo de solo (PITMAN, 2006).

O conhecimento da composição química do solo e da cinza é essencial para avaliar a viabilidade da aplicação da cinza de biomassa florestal em solos agrícolas e evitar desequilíbrios nutricionais às plantas (VOUNDINKANA *et al.*, 2002; MAEDA *et al.*, 2007). Segundo Moro e Gonçalves (1995) e Jordan *et al.* (2002), a cinza produzida durante a combustão da madeira e casca, possui em sua composição elementos orgânicos e inorgânicos que podem ter efeitos positivos nos solos, especialmente naqueles com maior deficiência nutricional e com baixo teor de matéria orgânica, e possui nutrientes como o Ca, Mg, K e P (BELLOTE *et al.*, 1994; DEMEYER *et al.*, 2001; MANDRE *et al.*, 2006). Geralmente a cinza de biomassa possui altos teores de Ca e K, comparado aos demais elementos químicos. Todavia, os teores de Ca e Mg são inferiores aos existentes nos corretivos de acidez utilizados na agricultura (DEMEYER *et al.*, 2001). Entretanto, Pitman (2006), ao avaliar cinzas de biomassa provenientes de diferentes locais, constatou diferenças na sua composição, com teores de Ca que variam de 7,4 a 33%, de Mg de 0,7 a 2,2%, de K de 1,7 a 4,2%, de P de 0,3 a 1,4%.

As cinzas produzidas durante a queima da biomassa florestal possuem compostos orgânicos e inorgânicos que podem ter efeitos favoráveis para a planta, especialmente naqueles solos com menores teores disponíveis de nutrientes (JORDAN *et al.*, 2002).

A cinza de biomassa possui em sua composição química elementos capazes de neutralizar a acidez do solo (SANTOS *et al.*, 1995a). Desse modo, a cinza possui efeito fertilizante e corretivo do solo (DAROLT *et al.*, 1993). Resultados obtidos em estudo feito por Osaki e Darolt (1991) mostraram uma relação Ca/Mg superior a três e teores de K₂O entre 6 e 7% em amostras de cinza analisadas. Os autores observaram grande variação nos teores de micronutrientes nas amostras estudadas, com uma amplitude de 50 a 250 mg kg⁻¹ de Zn, de 100

a 150 mg kg⁻¹ de Cu, e de 2.600 a 10.800 mg kg⁻¹ de Mn.

As pesquisas indicam teores muito distintos no teor dos nutrientes contidos na cinza de biomassa vegetal. O conteúdo das cinzas dependem de uma série de fatores, desde adubação empregada no cultivo da espécie cuja o resíduo será utilizado, processo de combustão da madeira, local e tempo de armazenamento deste resíduo.

A composição química de cinzas de biomassa apresentada por diversos autores pode ser verificada na (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos de cinza de biomassa utilizada por diversos autores

Característica	Moro e Gonçalves (1995)	Dallago (2000)	Vogel <i>et al.</i> (2003)	Maeda, Silva e Cardoso (2008)	Silva <i>et al.</i> (2009)
PN (%)	*	*	*	*	6,5
N (g kg ⁻¹)	1,5	4,9	3,93	1,04	1,6
P (g kg ⁻¹)	1,1	3,5	3,50	3,02	1,8
K (g kg ⁻¹)	4,5	7,4	17,48	11,95	13,0
Ca (g kg ⁻¹)	18,4	391,0	64,08	26,02	19,0
Mg (g kg ⁻¹)	1,6	9,6	7,94	4,18	5,3
S (g kg ⁻¹)	0,5	6,5	*	0,62	1,0
Fe (g kg ⁻¹)	*	*	*	15,48	1,0
Mn (g kg ⁻¹)	*	*	*	1,16	1,1
Cu (mg kg ⁻¹)	*	*	*	34,00	39,0
Zn (mg kg ⁻¹)	*	*	*	48,20	100,0
B (mg kg ⁻¹)	*	*	*	59,80	*
Na (mg kg ⁻¹)	*	*	*	1.002,00	768,0
Cd (mg kg ⁻¹)	*	*	*	*	0,3
Cr (mg kg ⁻¹)	*	*	*	35,00	40,0
Ni (mg kg ⁻¹)	*	*	*	*	22,0
Pb (mg kg ⁻¹)	*	*	*	*	4,0

Fonte: (ARRUDA *et al.*, 2016)

Dentre os constituintes da cinza, destacam-se óxidos e carbonatos de Ca e K, os quais tem ação de elevar pH do meio, após reagirem com H⁺ (FERREIRO *et al.*, 2011; PERNÁ *et al.*, 2013).

Avaliando os efeitos da aplicação de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar e co-combustão de madeira nos padrões de crescimento da cultura do milho e propriedades físico-químicas de solo, Pita *et al.* (2012) verificaram incrementos de pH, de 5,1 para 5,9 unidades, em solo arenoso háplico, e 5,3 para 6,0 unidades, em Cambissolo háplico. Segundo os pesquisadores em questão, as cinzas apresentaram potencial de correção de acidez similar aos calcários, calcítico e dolomítico, resultando em acréscimo de produtividade de grãos igual a 32%, em solo arenoso háplico, e 11%, em Cambissolo háplico, demonstrando que, além de atuar como condicionando

de solos ácidos, este resíduo orgânico pirogênico é capaz de desempenhar funções análogas às exercidas por fertilizantes minerais, disponibilizando macro e micronutrientes para desenvolvimento vegetal, principalmente, P e K (OCHECOVA *et al.*, 2016).

Ferreiro *et al.* (2011) reportaram que a aplicação das doses de 1 e 12 t ha⁻¹, intensificou a disponibilidade de P, Ca e Mg em amostra de solo, em decorrência da adequação de pH, que permaneceu estável durante, aproximadamente, quatro anos consecutivos. Os referidos autores enfatizam que a liberação gradativa de Ca e Mg, provenientes de componentes de cinza de baixa solubilidade, contribuiu com a disponibilidade destes macronutrientes, no ambiente de cultivo, por tempo prolongado, e que a maior concentração de P no solo, após aplicação de cinzas de madeira, foi resultado da elevação de pH, favorável à ocorrência de íon fosfato (H₂PO₄⁻²), o qual é absorvido pelo sistema radicular, principalmente, na presença de fungos micorrízicos arbusculares, intensificando a concentração foliar de P.

Segundo Ferreiro *et al.* (2011), doses de cinzas de madeira equivalentes a 6 e 12 t ha⁻¹ aumentaram as concentrações de N, P, S, Mg e Fe em folhas de pastagens. Contudo, embora apresente incommensuráveis benefícios às propriedades físicas de solo e à nutrição vegetal, o excesso de cinzas pode prejudicar a microbiota, causar fitotoxidez e limitar a disponibilidade de nutrientes minerais, devido à alcalinidade excessiva (SAARSALMI *et al.*, 2012; SCHEEPERS; TOIT, 2016), como os micronutrientes catiônicos.

A elevação de pH altera a mineralogia, dinâmica de cargas elétricas e poder tampão de solo. Em alguns casos, o aumento de pH induzido pela aplicação de cinzas de caldeira pode comprometer a oferta de macro e micronutrientes, refletindo crescimento vegetativo limitado e redução da produtividade, justificando, a pesquisa com doses de cinza de eucalipto.

Em estudos prévios, Herbert (1983) e Schönaue Herbert (1982) exemplificaram os efeitos deletérios de alcalinidade excessiva ao crescimento vertical de plantas de *Eucalyptus* sp., aplicando doses de calcário equivalentes a 5 e 10 t ha⁻¹, respectivamente. Pesquisadores afirmam que, dependendo do grau de alcalinidade de cinzas, é possível que haja volatilização de N, devido à elevação de pH acima do padrão desejável, atribuindo procedência à causa responsável pela redução circunstancial de porte de plantas que recebem aplicação de cinzas em taxas elevadas (SCHWENKE *et al.*, 2014; SCHEEPERS; TOIT; 2016). Além de possível deficiência de micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn).

Avaliando a dinâmica N e C, lixiviação e fertilidade de solo em plantação de *Pinus* spp., Gómez-Rey *et al.* (2013) comprovaram que a aplicação de cinzas de madeira (11 t ha⁻¹) melhorou a qualidade química do ambiente, em relação aos teores de K, Mg e Ca, reiterando as constatações desta pesquisa, considerando-se que a dose, 10 t ha⁻¹, associou-se às médias mais representativas destes macronutrientes, que podem permanecer no solo por até três décadas,

dependendo de estratégias de manejo adotadas à condução de área florestal, condições climáticas e propriedades físico-químicas de cinzas (SAARSALMI *et al.*, 2012). A exemplo do estudo inicial que realizamos previamente junto a Cargill, estes pesquisadores reportaram melhorias na capacidade de trocas catiônicas, saturação por bases e pH de solo em camadas superficiais, após aplicação de cinzas de madeira em floresta de *Pinus* spp (BARATELLA *et al.*, 2019).

Ensaio conduzidos, no Brasil, indicaram resposta positiva de *E. grandis* à aplicação de doses de cinzas compreendidos entre 0 e 25 t ha⁻¹, havendo inexpressivos acréscimos de produtividade acima de 15 t ha⁻¹, no qual, plantas estabelecidas em áreas sujeitas à aplicação de 20 e 25 t ha⁻¹ resultaram em médias menos interessantes de índice de clorofila, matéria seca total, altura de planta e, principalmente, rendimento de madeira com casca por unidade de área cultivada. Reconhece-se que os efeitos da aplicação de cinzas em florestas comerciais, ou experimentais, são inconstantes e que, devido a esta não-linearidade, deve-se efetuar a seleção do tipo e dose de cinzas de caldeira, baseando-se nas exigências de cada classe de solo e finalidade de matéria-prima (MERINO *et al.*, 2017).

Solla-Gullón *et al.* (2008) verificaram o aumento de Ca, Mg, K e P no solo, após a aplicação de até 10 t ha⁻¹ de cinza de biomassa. Constataram que a disponibilidade de Ca e Mg às plantas, persistiu até o quinto ano de crescimento de *Pinus radiata*. A lenta solubilização da cinza de biomassa libera gradativamente os nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, o que é uma característica desejável, tendo em vista às perdas de nutrientes por lixiviação (HARRISON *et al.*, 2003; NOLASCO *et al.*, 2000). Além das alterações nos atributos químicos, o uso de resíduos pode alterar os atributos físicos do solo (DEMEYER *et al.*, 2001). A aplicação de cinzas resultantes de combustão de madeira melhoram, consideravelmente, as propriedades físicas de solos, especialmente, daqueles que apresentam textura, predominantemente, arenosa, reconhecidos pela maior propensão à perda de nutrientes por lixiviação e baixa capacidade de retenção e manutenção de água, situações que podem ser contornadas pelo emprego de matérias orgânicas pirogênicas, as quais se enquadram no grupo de resíduos florestais hidrofílicos, favorecendo a preservação e disponibilização de água às espécies vegetais (SANTALLA *et al.*, 2011; SCHEEPERS; TOTT, 2016). Além de atuar como corretivo e fertilizante de solo, deduziu-se que as cinzas de caldeira podem desempenhar papel fundamental na mitigação de impactos de efeito estufa, pois estimulam a atividade de microrganismos promotores de mineralização de matéria orgânica, tornando estável o CO₂ no solo (UKWATTAGE *et al.*, 2013).

A aplicação da cinza de biomassa também pode influenciar a aeração, a capacidade de retenção da água e a salinidade dos solos, podendo assim, favorecer o crescimento das plantas

(DEMEYER *et al.*, 2001) e aumentar a produtividade das culturas, principalmente em sistemas onde a disponibilidade de nutrientes é limitante (PARK *et al.*, 2005). Incrementos na produtividade de culturas, bem como efeitos benéficos no solo, corroboram a possibilidade de utilização da cinza em substituição aos adubos minerais ou como suplementação da adubação mineral e orgânica (BELLOTE *et al.*, 1994). Além disso, a crescente demanda por fertilizantes têm elevado os custos com a correção e a fertilização química do solo, forçando os agricultores na busca de fontes alternativas de nutrientes com menor custo

2.2 Capim Massai

O gênero *Megathirus* (syn. *Panicum*) pertencem à família Poacea e representam cerca de 81 gêneros e mais de 1460 espécies. São recomendadas como forrageiras para sistemas baseados em pastagens em diversas regiões tropicais e subtropicais do mundo, onde grandes áreas de pastagens cultivadas e representam papel importante na produção de ruminante a pasto (HERLING *et al.*, 2000). Esse gênero esta dentre as gramíneas mais utilizadas em sistemas de produção animal, devido justamente a sua adaptação climática (GOMES *et al.*, 2011).

O *Megathirus maximum* é uma das gramíneas forrageiras conhecida mundialmente por sua alta produtividade, qualidade e adaptação a diferentes condições climáticas, sua abundante produção de folhas longas, porte elevado e aceitabilidade pelos animais das mais variadas categorias e espécies de ruminantes (JANK *et al.*, 2010). Esse gênero Nativo da África, ocorre naturalmente no nível do mar até 1800 m de altitude, em uma ampla faixa do globo terrestre, desde 40° S até 50° N de latitude, com predominância na zona equatorial úmida (20° N a 20° S), que corresponde à regiões como a África, América Central e do Sul, norte da Austrália, Índia, sudeste da Ásia às ilhas do pacífico (EMBRAPA, 2001).

O capim Massai lançado em 2001 pelo Centro Nacional de Pesquisa em Gado de Corte (EMBRAPA, 2003), forma touceiras de até 60 cm de altura, possui folhas quebradiças, sem cerosidade e largura média de 9 mm (LEMPP *et al.*, 2001). De acordo com os autores sua produtividade pode chegar a patamares de 15,6 t ha⁻¹, concentração de proteína bruta em torno de 12% nas folhas e 8,5% no colmo. Silva (2016) relatou que seu uso tem sido indicado para áreas de pastagem cujo solo possui característica arenosa e baixa fertilidade natural, devido ao seu alto potencial de perfilhamento e taxa de alongamento foliar, contrariando as recomendações para outros capins do gênero *Megathirus*.

De acordo com Lopes (2012) o capim Massai é uma gramínea promissora para uso intensivo, devido suas características relevantes e desejáveis, como alta produção de biomassa foliar, baixa produção de colmo em relação a produção foliar, alta capacidade de perfilhamento

e adequada cobertura do solo. A cultivar Massai em relação as outras cultivares de *Megathyrsus maximum*, apresenta diferenças morfológicas acentuadas como maior tolerância a acidez e a baixa fertilidade dos solos e a outros estresses ambientais, porém seu valor nutritivo é inferior a de outros capins do gênero *Megathyrsus* (VALENTIM *et al.*, 2001; BRÂNCIO *et al.*, 2003).

Dentro do gêneros *Megathirsus*, o variedade Massai se destaca, por apresentar melhor cobertura de solo e conseqüentemente, menor presença de plantas invasoras no pasto, sendo uma promissora opção para o sistema de produção intensivo (EUCLIDES *et al.*, 2008; VALLE *et al.*, 2009). No entanto, o manejo inadequado das pastagens pode alterar suas características quantitativas e qualitativas. Maiores intervalos de corte incrementam a massa total de forragem, porém, tende a reduzir o valor nutricional (COSTA *et al.*, 2007).

Apesar da cultivar Colônia apresentar maior porte podendo chegar a 150 cm de altura, a produtividade do cv. Massai chega a valores superiores, mesmo com menor altura quando comparado a cv. Colônia sob as mesmas condições, sendo essa produtividade atribuída a capacidade de produção maior de folhas em relação a produção de colmos, maior rebrota e menor estacionalidade. A cv. Massai é um capim precoce, seu florescimento é rápido, intenso agrupado, sendo sua época de maior produtividade em maio, podendo atingir uma produção de matéria seca de folhas em parcelas (15,6 t ha⁻¹) semelhante à cv. Colônia (14,3 t ha⁻¹), apesar do porte de apenas 60 cm de altura, em contraste com os 150 cm do Colônia, nas mesmas condições. Essa alta produção em relação ao Colônia é por causa da capacidade 30% maior que este tem de produzir folhas em relação aos colmos, e 83% maior de rebrota após os cortes (EMBRAPA, 2003).

Brâncio *et al.* (2003) ao avaliar as cultivares *P. maximum*, Tanzânia, Mombaça e Massai, concluiu que a cv. Massai apresentou maior densidade de área seca verde e relação folha/colmo, do que as demais. Entretanto, a cv Massai em relação as cvs. Mombaça e Tanzânia, apresentou menor valor nutritivo (Brâncio *et al.*, 2002).

Em experimento realizado por Valentim *et al.* (2001) foram observados produções de MS do capim Massai crescentes no período chuvoso, variando de 1,83 t ha⁻¹ em 4 semanas a 6,70 t ha⁻¹ em 12 semanas. As taxas de acúmulo de forragem variaram de 65 para 80 kg ha⁻¹ dia de MS entre 4 e 12 semanas de crescimento, respectivamente. No período seco apresentou produções de MS variando de 0,88 t ha⁻¹ em 4 semanas a 3,76 t ha⁻¹ em 16 semanas, apesar das taxas de acúmulo de forragem terem sido prejudicadas pelo déficit hídrico.

Em estudo realizado por Vargas Júnior *et al.* (2013) para comparar os cultivares *Megathyrsus maximus* (Aruana), *Megathyrsus maximus* Jacq. (Massai) e *Brachiaria* híbrida (Mulato), verificaram maior matéria seca total no capim Massai, com indícios de melhor ajuste de produção entre os períodos seco (4619 kg ha⁻¹) e das águas (5161 kg ha⁻¹). No entanto,

observaram que o capim Massai apresentou componentes morfológicos de menor valor nutricional em relação ao Aruana, aproximando-se do valor nutricional de espécies do gênero *Brachiaria* sp. Benício *et al.* (2011) avaliaram diferentes cultivares de *Megathyrsus maximus* cultivados sob diferentes fontes de fertilizantes fosfatados e constataram a potencialidade de perfilhamento do cultivar Massai. Por sua vez, Emerenciano Neto *et al.* (2013) compararam os cultivares Aruana, Marandu, Massai e Piatã e verificaram que o capim Massai, apresentou os melhores resultados de acúmulo de forragem (3296 kg ha⁻¹) e taxa de acúmulo de folhas (51,3 kg ha⁻¹ dia⁻¹), com estrutura do dossel na época das águas mais favorável para animais criados a pasto, devido a maior massa de folhas e relação folha/colmo.

2.3 Características do gênero *Azospirillum*

O gênero *Azospirillum* apresenta grande distribuição ecológica, podendo ser encontrado em raízes de plantas de clima tropical e temperado, neste grupo são encontradas diversas espécies como *Azospirillum brasilense*, *A. lipoferum*, *A. amazonense*, *A. irakense*, *A. halopraeferans*, *A. largimobile* e *A. dobereinera*. (PATRIQUIN *et al.*, 1983; REIS JÚNIOR *et al.*, 2002).

Essas bactérias do gênero *Azospirillum* spp. são gram negativas de vida livre, e são encontradas em quase todos os biomas; há relatos, também, de que as bactérias desse gênero podem ser endofíticas facultativas (HUERGO *et al.*, 2008), com metabolismo de carbono e nitrogênio bastante versáteis, apresentando alta competitividade durante os estágios de colonização, utilizam para seu metabolismo fontes de nitrogênio como amônia, nitrato, nitrito, nitrogênio molecular e aminoácidos e sua temperatura ótima de desenvolvimento varia entre 28 e 41 °C (ECKERT *et al.*, 2001; QUADROS, 2009; TRENTINI, 2010).

Bactérias promotoras de crescimento as (BPCP) assim como *A. brasilense*, possuem a capacidade de colonizar a superfície das raízes, rizosfera, filosfera e outros tecidos internos das plantas (DAVISON, 1988; KLOEPPER; LIFSHITZ; ZABLOTOWICZ, 1989). Roesch *et al.* (2006) verificaram que a quantidade de bactérias encontradas nas raízes é sempre superior à quantidade encontrada no solo e no colmo, os autores relatam que isso pode ocorrer devido as pequenas quantidades de fontes de carbono disponíveis para essas bactérias no solo, tais como, umidade, pH, atividade de água, salinidade e a competição com a biota. De acordo com Cantarella (2007) existe uma relação bastante específica entre a estirpe da bactéria utilizada com a cultivar do vegetal que se deseja produzir; a este evento se denomina especificidade planta-bactéria e é uma das principais causas de inconsistência de ganhos produtivos com a utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal.

Diversas pesquisas recentes tem sido realizadas buscando microorganismos capazes de

beneficiar as plantas, como ocorre na cultura da soja com as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. Porém diferentemente da *Bradyrhizobium*, o *Azospirillum* é um microrganismo endofítico associativo, que em geral não provocam alterações, como por exemplo a formação de nódulos nas raízes. No entanto, a bactéria *Azospirillum* tem grande potencial de resposta em associação com culturas da família Poácea (DIDONET, 2007).

O Brasil tem uma longa tradição em pesquisa em fixação biológica de nitrogênio com bactérias do gênero *Azospirillum* em associações com gramíneas, mas foi somente em 2004, como resultado de um projeto de parceria entre a Embrapa Soja e a U FPR, que foram apresentados e aprovados pela Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola - RELARE, os primeiros resultados comprovando eficiência agrônômica pela inoculação de milho (*Zea mays* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) com estirpes selecionadas de *Azospirillum brasilense* (HUNGRIA, 2016).

O uso do *Azospirillum* que promove o desenvolvimento de plantas e é capaz de contribuir para a nutrição de plantas tem aumentado e tende a aumentar nos próximos anos, devido ao alto valor financeiro investido anualmente com fertilizantes e em relação ao que se chama de Agricultura Sustentável (HUNGRIA *et al.*, 2010). É fundamental encontrar alternativas para uso mais eficientes dos fertilizantes, o mercado brasileiro de fertilizantes é ténue e com grande dependência das importações, o que encarece o preço final, gerando uma menor intensificação na recuperação de áreas degradadas cuja fertilidade está fragilizada, nesse contexto, alguns microorganismos, como bactérias promotoras de crescimento de plantas, os fungos micorrízicos, entre outros, podem desempenhar um papel relevante e estratégico para garantir altas produtividades a baixo custo e com menor dependência de importação de insumos (HUNGRIA, 2011).

Dentre as contribuições do uso do *Azospirillum brasilense* para o desenvolvimento de plantas destacam-se a fixação biológica de N (FUKAMI *et al.*, 2016), induz a produção de hormônios vegetais pela planta como auxinas, giberelinas e citocininas (CAVALETT *et al.* 2000), aumento nos parâmetros fotossintéticos das folhas com maior produção de clorofila e condutância estomática (HUNGRIA, 2011), solubilização de fosfato, maior desenvolvimento radicular (KAZI *et al.*, 2016), além de alterações na atividade fotossintética das plantas (GORDILLO-DELGADO *et al.*, 2016), maior teor de prolina na parte aérea e raízes, melhoria no potencial hídrico, incremento no teor de água do apoplasto, maior elasticidade da parede celular (BARASSI *et al.*, 2008). Hungria (2011) ainda salienta que essa bactéria quando cresce dentro da planta, podem aumentar a atividade da enzima nitrato redutase.

Essas contribuições quando ocorrem auxiliam na taxa de acúmulo de matéria seca,

aumento na biomassa e altura, aceleração na taxa de germinação e benefícios no sistema radicular, proporcionando consequentemente aumento na produtividade final.

(DALLA SANTA *et al.*, 2004; HUNGRIA, 2010; VOGEL *et al.*, 2014).

A adubação com fertilizantes industrializados sintéticos é a prática mais comum para o suprimento de nitrogênio (N) às culturas agrícolas. Apesar de apresentar alta solubilidade, e consequentemente rápida disponibilidade à absorção, é um nutriente com grandes potenciais de perdas no ambiente (TEIXEIRA FILHO *et al.*, 2010) e, consequentemente, grandes quantidades do nutriente são necessárias às culturas, principalmente às gramíneas, o que eleva os custos de produção. Como alternativa ao N na forma sintética, há a possibilidade da utilização de inoculantes à base de bactérias fixadoras de N, principalmente do gênero *Azospirillum* (MILLÉO; CRISTÓFOLO, 2016).

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é realizada por bactérias diazotróficas que possuem o complexo enzimático da nitrogenase, capaz de catalizar a fixação do nitrogênio atmosférico (DÖBEREINER *et al.*, 1995; DIDONET, 2007).

A espécie *Azospirillum brasilense* se destaca por apresentar maior abundância e maior potencial em estudos, uma vez que esta bactéria apresenta resultados satisfatórios quando associados a plantas da família poáceae, estudos mostram que o uso desta bactéria associada a pequenas doses de N tem demonstrado alta eficácia tanto em relação a aspectos morfológicos quanto em produtividade, com resultados semelhantes a tratamentos com altas doses deste nutriente (VOGEL *et al.*, 2014).

Galindo (2015), estudando inoculação com *Azospirillum brasilense* associado à doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) e fontes de N (Ureia e Super N) nas culturas do milho e trigo irrigado em região de Cerrado verificou maior eficiência agrônômica das fontes de N aplicadas e redução na quantidade de N a ser aplicada em cobertura com a utilização de *A. brasilense*, justificando maiores estudos acerca da inoculação em condições semelhantes. Fancelli (2010) reportaram que a inoculação de *Azospirillum* tem potencial para gerar a economia de 30 a 50 kg ha⁻¹ de fertilizantes minerais nitrogenados na cultura do milho. Hungria (2009) em seus estudos constatou que o uso de *Azospirillum brasilense* propiciou incremento médio de 25 a 30% na produtividade de milho.

A conversão do N atmosférico em amônio (NH₄⁺) através da ação do complexo nitrogenase, o que envolve uma série de genes como nifH, nifK, nifA, gltDB, dentre outros, nos processos de fixação, regulação e assimilação do N (STEENHOUDT; VANDERLEYDEN, 2000). A atividade da nitrogenase em vários microrganismos diazotróficos também é inibida pela adição de NH₄⁺ de forma rápida e reversível. A expressão da atividade da FBN está sob o controle genético e, em adição, é regulada por fatores ambientais. Esse controle se faz

necessário em virtude do alto custo energético da redução de N₂ (REIS; TEIXEIRA, 2005).

Diversos fatores edafoclimáticos podem afetar a sobrevivência e atividade de bactérias do gênero *Azospirillum* spp. Em geral, essas bactérias são microaeróbias, fixam N₂ quando não há acúmulo de oxigênio em torno delas. De acordo com Oliveira *et al.* (2008), o ótimo crescimento em relação a temperatura está entre 32 e 37 °C, sendo que *A. halopraeferens* tem crescimento ótimo a 41 °C. Segundo Dobereiner (1990) há evidências que a FBN, medida de maneira indireta através da redução do acetileno, sofre queda abrupta com temperaturas superiores a 37 °C para a espécie de *A. brasilense* Sp7, chegando a valor igual a zero quando a temperatura foi de 39 e 41°C. As estirpes 6, 7 e 14, todas de *A. brasilense* mostraram-se mais tolerantes a elevadas temperaturas, considerando que a atividade da nitrogenase zerou quando a temperatura ambiente foi de 41, 44 e 44 °C, respectivamente.

Estudos realizados na Índia, indicaram que a máxima taxa de crescimento para *Azospirillum* spp. ocorre com pH entre 7 e 8, da mesma forma a máxima fixação de nitrogênio e produção de ácido indol acético ocorre nessa faixa de pH. As bactérias em pH entre 3 e 4 apresentaram baixa taxa de crescimento, entretanto, foram capazes de fixar nitrogênio e produzir fitohormônios em valores mais modestos quando comparados aos demais (RAVIKUMAR *et al.*, 2002).

Na literatura existem vários trabalhos confirmando que *Azospirillum* sp. produz fitohormônios que estimulam o crescimento das raízes de diversas espécies de plantas. Tien *et al.* (1979) verificaram que os componentes responsáveis pelo estímulo do crescimento de raízes liberados por *A. brasilense* eram o ácido indol-acético (AIA), giberilinas e citocininas. O maior desenvolvimento das raízes pela inoculação com *Azospirillum* pode implicar em vários outros efeitos, foram relatados incrementos na absorção da água e minerais, maior tolerância a estresses como salinidade e seca, resultando em uma planta mais vigorosa e produtiva (STEENHOUDT; VANDERLEYDEN, 2000; BASHAN *et al.*, 2004).

Radwan *et al.* (2004) ao estudar estirpes de *Azospirillum* sp. testadas no milho e na soja, verificaram que as mesmas produziram de três a sete vezes mais compostos indólicos (entre 300 a 500µM) que as do gênero *Herbaspirillum* spp.

Nesse contexto, Verma *et al.* (2011) demonstraram que a população de *Azospirillum* spp., de ocorrência natural, declina de forma linear em função da diminuição dos níveis de carbono no solo. Solos com 0,2-0,4% de carbono apresentaram em média 12,5 x 10⁵ UFC/mL contra uma população bacteriana de 91,4 x 10⁵ UFC/mL para solos com mais de 1,0% de carbono.

Libório *et. al* (2016) constataram que a formulação líquida e turfosa ambas interferiram positivamente na produtividade de grãos de milho, além de ser observado redução na dose de

N associada a inoculação, seja na formulação líquida ou turfosa nas doses de 200 mL de inoculante por hectare, respectivamente, foi eficiente agronomicamente.

Apesar da especificidade com relação ao hospedeiro ser baixa e devido a atividade dessas bactérias no solo e na planta serem fortemente influenciadas por stress físicos, químicos e biológicos podendo diminuir as unidades formadoras de colônia e sua (BALDANI *et al.*, 1999). Resultados bastante diversificados entre esta associação com *Azospirillum* em gramíneas tem sido observado, porém as pesquisas com o gênero *Megathirsus*, foi muito pouco estudado até o momento, sendo necessários mais pesquisas neste sentido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido em cultivo protegido com tela antiafídeo e cobertura de tela de sombreamento 50%, no Campus II (Agronomia) pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada no município de Ilha Solteira – SP, o período de condução do experimento foi de 28 de dezembro de 2018 até o mês maio de 2019.

O município de Ilha Solteira localiza-se no noroeste do Estado de São Paulo, a 650 km da capital, com coordenadas geográficas 20°38'44" de Latitude Sul e 51°06'35" de Longitude Oeste. Segundo o sistema de Köppen, o clima é classificado como AW (tropical), o índice pluvial médio anual é de 1.300 mm e a temperatura média anual é de 28 °C. As altitudes regionais variam de 280 a 380 metros, com média de 350 m.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 5x2x2, sendo cinco doses de cinza de biomassa de eucalipto (0; 10,3; 20,60; 30,75 e 41,35 t ha⁻¹), com ou sem aplicação de calcário dolomítico visando elevar a saturação de bases de para 70%, com ou sem a inoculação com *Azospirillum brasilense* via semente. No total foram 20 tratamentos (Tabela 2) e 80 vasos (unidades experimental).

As doses de cinza de biomassa de eucalipto foram definidas com base em uma pesquisa prévia (BARATELLA *et al.*, 2019) realizada para a Cargill com capim Marandú, esta mesma cinza de biomassa de eucalipto e classe de solo (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados na pesquisa.

Tratamentos	Calagem	Doses Cinza de biomassa t ha ⁻¹	Inoculação
1	Ausência	A0	Ausência
2	Ausência	A1	Ausência
3	Ausência	A2	Ausência
4	Ausência	A3	Ausência
5	Ausência	A4	Ausência
6	Ausência	A0	Presença
7	Ausência	A1	Presença
8	Ausência	A2	Presença
9	Ausência	A3	Presença
10	Ausência	A4	Presença
11	Presença	A0	Ausência
12	Presença	A1	Ausência
13	Presença	A2	Ausência
14	Presença	A3	Ausência
15	Presença	A4	Ausência
16	Presença	A0	Presença
17	Presença	A1	Presença
18	Presença	A2	Presença
19	Presença	A3	Presença
20	Presença	A4	Presença

Fonte: Próprio autor

3.3 Condução do experimento

O solo coletado para o experimento foi coletado da camada de 0 – 0,20 m de um solo de região de baixa fertilidade natural de Cerrado (semelhante ao da região de Três Lagoas – MS), classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico, textura arenosa (17,2% argila, 79,4% areia e 34% silte), de acordo com a classificação da Embrapa (2018). Este solo foi obtido da fazenda da UNESP na região de Selvíria localizado na latitude de 20°21'53'' S e longitude 51°24'53''. O Após coleta esse solo foi peneirado (de malha 4 mm) para separação de restos de material vegetal e colocado em vasos de polietileno com capacidade para 15 dm³ de solo. Os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m, foram determinados antes da instalação do experimento, segundo metodologia proposta por Raij *et al.* (2001) e apresentaram os seguintes resultados.

Sendo realizada as determinações química, segundo metodologia de Raij *et al.* (2001): para P, K, Ca e Mg utilizando-se o método da resina trocadora de íons; S-SO₄²⁻ pela extração com solução de fosfato de cálcio; pH em CaCl₂; matéria orgânica por colorimetria; H⁺Al com solução tampão SMP; Al em KCl, e granulométrica (ALMEIDA *et al.*, 2012).

Tabela 3. Atributos químicos do solo antes de implantação do experimento.

Prof	P	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V	S-SO ₄	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0,2 m	resina mg dm ³	g dm ³	em CaCl ₂							%	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³				
					mmol _c dm ³				mmol _c dm ³						mg dm ³	
	1,0	11	4,2	0,2	3,0	2,0	25,0	8,0	30,2	17	4,5	0,07	0,8	20	2,1	1,0

Fonte: Souza (2016), ¹⁻ Metodologia de Raij *et al.* (2001).

As cinzas foram coletadas em um depósito da Cargill S.A de Três Lagoas, a qual utiliza madeira de eucalipto com casca para a cogeração de energia e vapor, gerando uma grande quantidade de cinza de caldeira (subproduto). As características físico-químicas da cinza de biomassa de eucalipto constam na Tabela 4.

Tabela 4. As características físico-químicas da cinza de biomassa de eucalipto obtida junto à Cargill de Três de Lagoas – MS, conforme análise na ESALq, UNESP – Campus de Ilha Solteira e o laboratório Hidrolabor.

Característica	Valor/unidade	Característica	Valor/unidade
pH (CaCl ₂)	8,6	Ca total	2,97 mg kg ⁻¹
Densidade	0,58 g cm ⁻³	Pb total	< 25 mg kg ⁻¹
Relação C/N	62,1	Co total	2,85 mg kg ⁻¹
Matéria orgânica (MO) total (combustão)	12,31 g 100g ⁻¹	Cu total	13,05 mg kg ⁻¹
MO total (composto)	8,90 g 100g ⁻¹	Cr total	2,55 mg kg ⁻¹
MO resistente no composto	3,41 g 100g ⁻¹	Fe total	1,97 mg kg ⁻¹
C total (orgânico and mineral)	6,84 g 100g ⁻¹	P total	4,33 mg kg ⁻¹
C orgânico	4,95 g 100g ⁻¹	Mg total	3,04 mg kg ⁻¹
Resíduo mineral total	12,92 g 100g ⁻¹	Mn total	1,31 mg kg ⁻¹
Resíduo mineral insolúvel	10,16 g 100g ⁻¹	Hg total	0,06 mg kg ⁻¹
Resíduo mineral solúvel	2,76 g 100g ⁻¹	Mo total	< 1,25 mg kg ⁻¹
N total	0,11 g 100g ⁻¹	Ni total	5,72 mg kg ⁻¹
Al total	2,14 mg kg ⁻¹	K total	2,42 mg kg ⁻¹
As total	0,99 mg kg ⁻¹	Se total	0,23 mg kg ⁻¹
Ba total	79,0 mg kg ⁻¹	Na total	< 25 mg kg ⁻¹
B total	14,64 mg kg ⁻¹	Zn total	22,45 mg kg ⁻¹
Cd total	< 2,5 mg kg ⁻¹		

Próprio autor

No dia 19/10/2018 foram realizadas as correções do solo e aplicações de cinza de biomassa de eucalipto previamente, buscando-se elevar a saturação de bases a 70% para tratamentos que receberiam calcário na dosagem de 1,8 t ha⁻¹, como recomendado para exigência de forrageiras de grupo 1 segundo Boletim 100 (WENER *et al.*, 1997). O calcário, assim como as cinzas, foram homogeneizados dentro do vaso e aplicado 70 dias antes da semeadura das sementes de capim Massái, para que o calcário tivesse tempo de reagir com o solo. Após a aplicação dos tratamentos com calcário e doses de cinza, procedeu-se a irrigação diária com água deionizada para estes corretivos reagirem no solo.

A saturação de bases foi o método utilizado para determinar a necessidade de calagem, método que leva em consideração as exigências das culturas para determinação da quantidade de calcário a ser adicionado no solo. Utilizou-se calcário dolomítico, o qual apresentava CaO de 28%, MgO de 20%, PN de 99% e PRNT de 80%.

A adubação de semeadura foi realizada com base na análise do solo e na exigência de forrageiras de grupo 1 segundo Boletim 100 (WENER *et al.*, 1997). Como fonte para adubação fosfatada de semeadura foi utilizado superfosfato simples (18% P_2O_5), sendo aplicado por vaso 3,36 g do adubo, equivalente a 450 kg ha^{-1} desse fertilizante fosfatado. Para adubação potássica de semeadura foi utilizado como fonte o cloreto de potássio (60% K_2O), sendo aplicado 0,75 gramas por vaso, equivalente a 100 kg ha^{-1} desse fertilizante potássico.

A inoculação do capim Massai com *A. brasilense* foi via sementes, com as estirpes AbV5 e AbV6 (garantia de 2×10^8 UFC mL^{-1}) da bactéria, na dose de 150 mL de inoculante líquido Azototal (Total Biotecnologia, Curitiba, PR) para 10 kg de sementes de capim massai (cruzanamento entre *M. Maxium* x *M. infestum*), tratamento de semente via empresa fornecedora Sementes Matsuda, com emprego de fungicida polímero e inseticida e crustada com material especial com VC de 80%. O inoculante foi misturado às sementes, à sombra meia hora antes da semeadura em local fresco e sombreado com homogeneização das sementes com o inoculante líquido contendo as bactérias.

Cada vaso de 15 dm^3 com solo foi considerado uma unidade experimental, sendo a semeadura realizada dia 28/12/2018 com 10 sementes em todas as unidades experimentais.

Foi notada emergência 4 dias após semeadura e realizado o desbaste 15 dias após plantio para permanecer 4 emergências por unidade experimental, o critério utilizado para o desbaste foi a uniformidade de tamanho e vigor vegetativo entre as mesmas.

A adubação de cobertura a fonte utilizada foi a ureia, e foi aplicada 12 dias após a emergência, sendo aplicado por vaso 0,75 gramas o equivalente 100 kg ha^{-1} do fertilizante nitrogenado. Para o segundo e terceiro corte, procedeu-se apenas a adubação nitrogenada, utilizando a mesma dose supracitada no primeiro ciclo, porém aplicadas 10 dias após corte antecessor. A adubação de semeadura e cobertura utilizada foi igual para todos os tratamentos, tanto o calcário como os fertilizantes foram pesados em balança analítica e posteriormente adicionados e homogeneizados nos vasos.

Quanto a necessidade hídrica, os vasos com capim Massai foram irrigados com água deionizada, sendo monitorados diariamente com intuito de elevar o conteúdo de água próximo a capacidade de campo diariamente. Foram realizados três cortes (ou ciclos produtivos) desta forrageira, sendo o primeiro corte 56 dias após semeadura, e o segundo e terceiro cortes após 40 dias em relação ao corte anterior da forrageira. O intuito era padronização dos dias para 56

em todos os ciclos porém o segundo corte começou a criar inflorescências, por isso a alteração nos dias entre o primeiro ciclo e os demais.

O cronograma dos principais manejos do experimento constam na Tabela 5.

Tabela 5. Cronograma periódico do experimento.

Calagem e aplicação de cinzas	Plantio, Adubação e Inoculação via semente	Emergência	Desbaste	Adubação Ureia	1º corte	Adubação Ureia	2º corte	Adubação Ureia	3º corte
19/10/2018	28/12/2018	01/01/2019	16/01/2019	18/01/2019	22/02/2019	08/03/2019	3/04/2019	18/04/2019	13/05/2019
	70 dias após calagem e aplicação cinza	4 dias após plantio	15 dias após emergência	17 dias após emergência	56 dias após plantio	15 dias após 1º corte	40 dias após 1º corte	15 dias após 2º corte	40 dias após 2º corte
Dias									
0	70	74	89	91	126	141	166	181	206
									Término

Fonte : Própro autor

3.4 Gráfico climático

A umidade relativa do ar e temperaturas máximas, médias e mínimas obtidas durante o experimento com capim Massai durante o período de outubro de 2018 a maio de 2019 constam no gráfico 1.

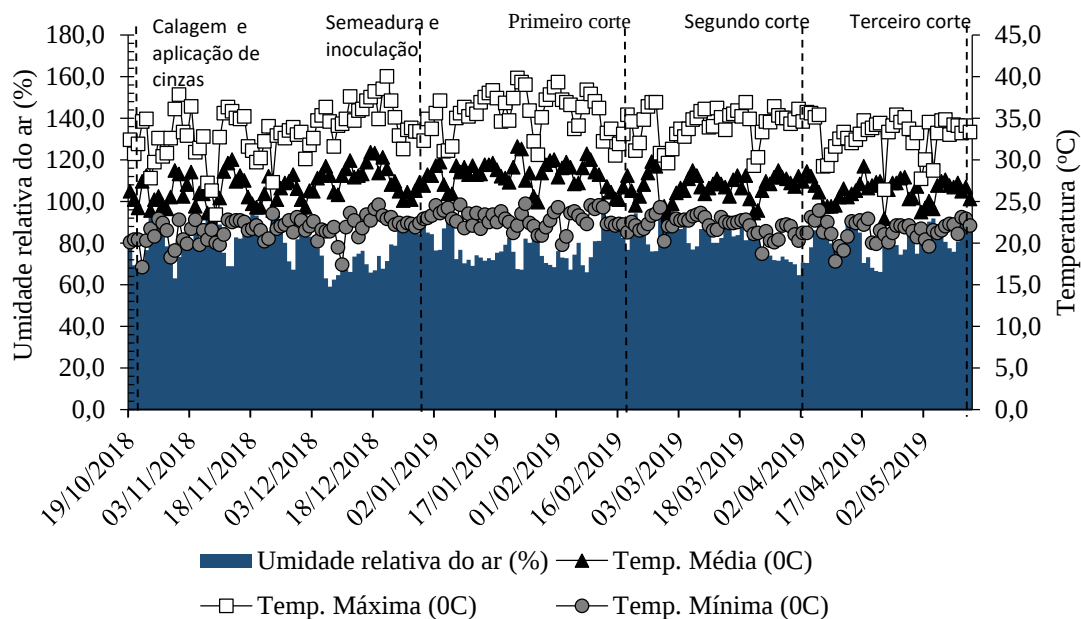


Figura 1. Umidade relativa do ar e temperaturas máximas, médias e mínimas obtidas durante o experimento com capim Massai em casa de vegetação, à estação meteorológica situada na

3.5 Avaliações realizadas

3.5.1 *Análise dos atributos químicos do solo*

Os resultados da análise química do solo (rotina + enxofre + micronutrientes) da área experimental foram determinados antes da instalação do experimento (Tabela 2) e em cada vaso (unidade experimental) no final do experimento aos 206 dias após a aplicação das cinza de biomassa vegetal e a calagem nos vasos, segundo metodologia proposta por Raij *et al.* (2001). Observa-se que o solo inicialmente era ácido, apresentava baixo teor de matéria orgânica e de modo geral teores de nutrientes abaixo do considerado adequado para o bom desenvolvimento do capim Massai.

3.5.2 *Determinação da altura de planta, número de perfilhos, índice de clorofila foliar e índice de área foliar*

Ao final de cada cultivo, antes de ser realizado o corte das forrageiras foi feita a determinação da altura de plantas com fita métrica. Após o corte o material vegetal coletado, primeiramente foi separado em perfilhos e pseudocolmos principais, e posteriormente feita cotagem dos perfilhos no laboratório.

O índice de clorofila foliar (ICF) do capim Massai foi determinado por meio de um clorofilômetro digital FALKER. As leituras do ICF foram realizadas no terço médio das lâminas foliares (sempegar a nervura) da segunda folha totalmente desenvolvida de 4 touceiras por unidade experimental com as medições realizadas nos dias dos cortes da forrageira, com leituras sendo procedidas no período da manhã. Foram realizadas duas leituras de ICF por vaso.

A área foliar foi estimada por meio do aparelho integrador de área foliar (AREA METTER "T, modelo LI 3100 Li-cor, USA), sendo feitas 5 medidas de IAF por unidade experimental, essa avaliação foi realizada em laboratório logo após cada um dos três cortes realizados no experimento.

3.5.3 *Acúmulo de nutrientes parte aérea no capim-Massai*

As concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn na matéria seca da forrageira ceifada em cada um dos três cortes e concentração de N, P, K para análise das raízes, foi realizada após a secagem em estufa a 65 °C por 72 horas, moagem das forrageiras em moinho Wiley, digestões e determinação de nutrientes conforme metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997), seguindo as recomendações de amostragem foliar para a forrageira de Werner *et al.* (1997).

Após a determinação das concentrações dos nutrientes supracitados em cada tratamento e corte da forrageira, foi estimado o acúmulo dos nutrientes na parte aérea ceifada, sendo obtido pela multiplicação do valor da matéria seca pela concentração do nutriente, sendo expresso em g ou mg por planta para macro e micronutrientes, respectivamente.

3.5.4 Teor de proteína bruta

A proteína bruta (PB) foi calculada multiplicando o teor de N por 6,25 para cada tratamento e corte da forrageira. As determinações seguiram a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002).

3.5.5 Produção da forrageira

Os cortes da forrageira foram realizados manualmente com tesouras numa altura de 10 cm da superfície do solo para todos os cortes, separado e pesado no laboratório, sendo os componentes botânicos de parte aérea: lâmina foliar e colmo + bainha (pseudocolmo).

A parte aérea destas plantas foram levadas ao laboratório, onde foram pesadas e se determinou a massa fresca, depois o material foi acondicionado em sacos de papel, identificadas e levadas à estufa para secagem a 65 °C, por 72 horas conforme descrição de Silva e Queiroz (2002). Posteriormente esse material foi pesado em balança semi-analítica para obtenção da massa seca da parte aérea total. O primeiro, segundo e terceiro corte foram realizados 56, 40 e 40 dias após a semeadura da forrageira.

Calculou-se ainda, com base na soma das produções dos três cortes do capim Massai de cada tratamento e repetição, a produção de matéria seca total de parte aérea da forrageira.

3.5.6 Avaliações do sistema radicular

Após terceiro corte, com auxílio de peneiras, as raízes foram separadas do solo contido no vaso e lavadas com água corrente. As amostras foram colocadas em bacias contendo água

para retirada das impurezas como torrões menores, restos de cinza de biomassa de eucalipto, material orgânico não decomposto, pedras, até que fosse possível não identificar qualquer material contaminante. Posteriormente todo material foi seco em estufa a 55 °C por 72 horas e submetidas para pesagem em balança analítica para determinação da produção de matéria seca de raízes.

Depois de todo processo de limpeza ser realizado nas raízes também determinou-se o volume de raízes com auxílio de um béquer graduado de 1000 ml, contendo um volume conhecido de água, sendo a resposta obtida a partir da diferença direta do volume de raízes, pela equivalência de unidades (BASSO, 1999).

3.6 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram avaliados pela análise de variância (teste F), aplicando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias dos tratamentos com ou sem calcário, e da inoculação ou não com *Azospirillum brasilense*. A análise de regressão polinomial foi realizada para o efeito de doses de cinza de eucalipto. Foi utilizado o programa de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos do solo no final do experimento

No final do experimento, os atributos químicos do solo retirado dos vasos após 7 meses de incubação da calagem e da aplicação das cinzas e 136 dias após adubação de plantio com superfosfato simples e cloreto de potássio, constam na Tabela 6. Analisando, somente os tratamentos que receberam a calagem e doses isoladas de 30,75 t ha⁻¹ e 41,35 t ha⁻¹ apresentaram valores muito próximos dos adequados para saturação de bases de 70%. Quanto ao pH a média geral dos tratamentos se encontram acima de 5,5, somente os tratamentos que não receberam nenhuma dose de cinza apresentaram pH menores que esse valor. Ao se comparar o média dos fatores calagem e doses de cinza sem interação, percebe-se que somente a dose mais alta de cinza foi apta a elevar aos mesmos valores de pH que os tratamentos que receberam a calagem.

De forma geral o uso da calagem propiciou os melhores resultados nos atributos químicos do solo ao comparar com os tratamentos que não receberam o insumo. A calagem garantiu conteúdos mais adequados de P, Ca, Mg, S, Zn, M.O., pH, SB, CTC, V% e menor H+Al no solo no final do experimento (Tabela 6), porém propiciou menores teores dos micronutrientes catiônicos como Cu, Fe e Mn. Entretanto, o teor de zinco não diminuiu com a calagem, pelo contrário, teve acréscimo de 13,7%.

Foi observado aumento nos teores de M.O no solo com a calagem, demonstrando aumento no potencial de conservação. Quanto ao efeito das doses de cinzas sem interações apesar de ocasionar um pequeno acréscimo no teor de M.O, não foi identificad significância para nenhum modelo de regressão. Para o teor de M.O não houve nenhum desdobramento sobre as diversas interações que foi submetida.

O teor de alumínio inicial no solo solo era de $8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 3), porém no término do experimento todos os tratamentos propiciaram teor de $0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ desse elemento tóxico no solo.

A inoculação com *A. brasilense* influenciou positivamente os teores de P, Mg, B, Mn e Zn e consequentemente, foram constatados maior soma de base e saturação por bases, e menor acidez potencial (pH = 7,0), possivelmente a diminuição da acidez potencial foi devido ao aumento na some da bases com destaque para o Mg.

Aos 136 dias após semeadura do capim Massai com sementes inoculadas, não houve influência da inoculação com *A. brasilense* sobre o pH e a CTC em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico.

Aos 136 dias após semeadura do capim Massai com sementes inoculadas, não houve influência da inoculação com *A. brasilense* sobre o pH e a CTC em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico.

Observa-se efeito positivo com o aumento das doses de cinza de biomassa de eucalipto para os teores de P, K, Ca, Mg, B, Mn e Zn, assim como aumento na SB, V% e pH (Tabela 6), o que pode ser explicado pela liberação dos nutrientes catiônicos e efeito neutralizante da cinza, subtraindo parte da acidez potencial contida no solo. O efeito corretivo e fertilizante das cinzas foi comprovado por Silva (2009), com adição de cinza de biomassa florestal que aumentou os teores trocáveis de Ca, Mg, K e a soma de bases em CAMBISSOLO HÚMICO de textura franco argilosa e NITOSSOLO HÁPLICO de textura franco argilosa, cinza essa com teores muito superiores de K, Ca e Mg.

Ajuste linear decrescente foi observado para os teores de Fe e Cu, mesmo com teores relativamente altos de Cu na cinza foi constatado redução da disponibilidade deste micronutriente no solo ao final do experimento (Tabela 6).

Tabela 6. Atributos químicos do solo no final do experimento, realizado em função dos fatores calagem, inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	P resina (mg dm ⁻³)	M. O. (g dm ⁻³)	pH (CaCl ₂)	K -----	Ca (mmol _c dm ⁻³)	Mg -----	H+Al -----	SB -----
Calagem								
Sem	39,43b	12,5b	5,62b	0,21a	18,3b	4,53b	16,96a	23,07b
Com	47,36a	12,8a	5,92a	0,17b	22,8a	11,0a	13,33b	34,07a
D.M.S. (5%)	2,70	0,24	0,48	0,026	1,12	0,54	0,41	1,42
<i>Azospirillum brasilense</i>								
Sem	39,96b	12,64a	5,73a	0,20a	20,3a	7,06b	16,16a	27,62b
Inoculado	47,06a	12,68a	5,80a	0,18a	20,8a	8,55a	14,06b	29,59a
D.M.S. (5%)	2,70	0,24	0,48	0,026	1,12	0,54	0,41	1,42
Média Geral	43,40	12,66	5,77	0,19	20,6	7,78	5,29	9,55
C.V. (%)	11,92	3,76	1,61	26,13	10,4	13,38	15,15	28,5
Doses de cinza (t ha⁻¹)								
0	28,33	12,58	5,30	0,181	14,5	4,91	17,66	19,60
10,30	38,91	12,58	5,65	0,190	20,0	7,66	15,58	27,90
20,60	41,83	12,66	5,66	0,196	18,8	7,75	15,75	26,81
30,75	46,50	12,66	5,76	0,199	21,6	8,33	14,00	30,18
41,35	61,41	12,83	5,98	0,198	27,9	10,25	12,75	38,36
Tratamentos	V (%)	CTC mmol _c dm ⁻³	S-SO ₄ (mgdm ⁻³)	B -----	Cu (mg dm ⁻³)	Fe -----	Mn -----	Zn -----
Calagem								
Sem	57,13b	40,04b	14,23b	0,10a	0,60a	14,6a	2,64a	2,11b
Com	70,86a	47,41a	17,45a	0,11a	0,52b	13,3b	2,38b	2,40a
D.M.S. (5%)	1,26	1,43	0,64	0,01	0,03	0,53	0,121	0,187
<i>Azospirillum brasilense</i>								
Sem	61,83b	43,76a	16,35a	0,10b	0,56a	13,87a	2,43b	2,05b
Inoculado	66,31a	43,66a	15,34b	0,12a	0,55a	14,34a	2,59a	2,48a
D.M.S. (5%)	1,26	1,43	0,64	0,01	0,03	0,53	0,121	0,187
Média Geral	64,0	43,72	15,86	0,11	0,56	13,95	2,51	2,26
C.V. (%)	3,78	6,26	7,81	17,94	10,36	7,28	9,27	15,89
Doses de cinza (t ha⁻¹)								
0	52,08	37,27	17,53	0,074	0,616	15,83	1,24	2,02
10,30	63,50	43,49	13,75	0,098	0,575	13,41	2,00	2,21
20,60	62,83	42,56	17,50	0,126	0,558	14,58	2,79	1,94
30,75	67,75	44,18	14,91	0,115	0,541	13,41	2,85	2,55
41,35	73,83	51,11	15,58	0,146	0,525	12,50	3,67	2,55

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Dentre os micronutrientes encontrados na cinza, os que se apresentaram maiores teores na cinza foram Zn (22,45 mg kg⁻¹), B (14,64 mg kg⁻¹), Cu (13,05 mg kg⁻¹) (Tabela 4). Os teores de B e Zn mesmo após extração e exportação pelos três cortes da planta, aumentaram com o acréscimo das doses de cinza de biomassa no solo, deferentemente do Cu que não apresentou acréscimo, e os teores foram menores em relação ao da análise realizada no início do

experimento devido a extração pelo capim Massai.

Nos estudos realizados por Moro e Gonçalves (1995) Dallago (2000) Vogel *et al.* (2003) Maeda, Silva e Cardoso (2008) e Silva *et al.* (2009), os teores de nutrientes encontrados na cinza utilizada em seus experimentos eram superiores aos teores da cinza utilizada nesse experimento, portanto todas as cinzas apresentaram diferentes teores de nutrientes, sendo essencial a análise da cinza para se ter pleno conhecimento da estratégia de adubação que será realizada.

Apesar da adubação de semeadura realizada com cloreto de potássio, os teores no solo no final do experimento se mantiveram parecidos com os da análise inicial de solo, indicando a necessidade de complementação com adubação mineral para os cultivos seguintes, e que a cinza forneceu boa parte do K absorvido no capim Massai após três cortes.

Experimento realizado por Baratella *et al.* (2019) em vasos com aplicação da mesma cinza de eucalipto em solo classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico, textura arenosa, na cultura do eucalipto, demonstram resultados próximos aos obtidos para o capim Massai, após 2,5 meses de incubação no solo, com acréscimos de P, Ca, Mg, Mn e Zn, SB, CTC, pH e V%. Porém, a acidez potencial aumentou, indicando ação da acidez liberada pelos fertilizantes devido ao menor tempo de ação das cinzas antes da avaliação do solo, Estes autores também identificaram que os teores de K aumentaram conforme incremento das doses de cinza para o eucalipto após 2,5 meses da aplicação da cinza. Para o capim Massai após 206 dias de incubação a cinza não incrementou os teores de K, provavelmente devido a exportação do nutriente nos três cortes da forrageira.

Não foi constatado efeito isolado ou da interação com calcário ou doses de cinza para a inoculação com *Azospirillum brasilense* nos atributos químicos como pH, CTC, V% e acidez potencial do solo. Contudo, no final do experimento após 7 meses em contato reagindo com o solo, houve efeito significativo ($p < 0,01$) com interação entre a calagem e doses de cinza de biomassa vegetal sobre o pH, V%, CTC e H+Al. Os resultados foram ajustados aos modelos de regressão linear e quadrático (Figura 2).

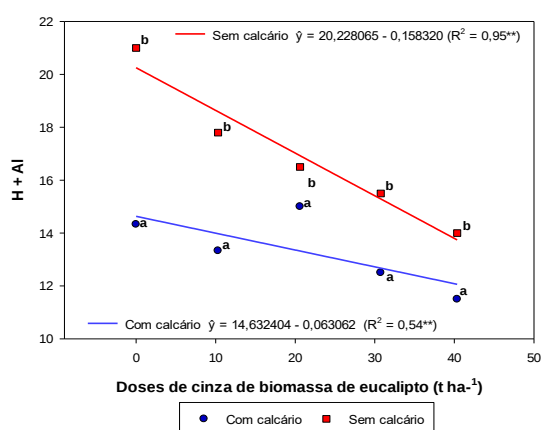
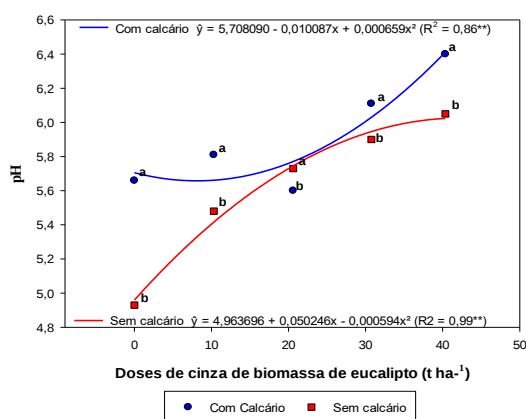
A aplicação de cinza de biomassa de eucalipto demonstrou potencial para neutralização da acidez do solo, assim como aumentou a CTC, a saturação de bases e o pH do mesmo. Da mesma maneira que o calcário, a cinza de biomassa de eucalipto contém materiais de ação alcalina no solo que contribuíram para o aumento da CTC, pH e V% e um decréscimo nos valores de acidez potencial do solo em estudo (CHIRENJE; MA, 2002).

Para o pH, a menor dose de cinza (10,30 t ha⁻¹) aumentou em 0,6 unidades o pH em CaCl₂ na camada superficial do solo em comparação com a testemunha, alterando o pH desse solo de 4,9 para 5,5. Enquanto que a maior dose (41,35 t ha⁻¹) foi capaz de elevar o pH de 4,9

para 6,0 acrescentando 1,1 unidades de pH para esse solo. Logo, aplicação da cinza de biomassa de eucalipto isoladamente foi capaz aumentar o pH de um solo ácido do Cerrado.

O calcário aplicado de forma isolada elevou o pH desse solo em 0,8 unidades em comparação com testemunha (Figura 2), enquanto que o calcário associado com as doses de cinza foi mais efetivo para aumentar o pH, porém atenuou o efeito neutralizante da cinza, na dose 10,30 t ha⁻¹ a cinza foi capaz de aumentar o pH em 0,1 unidades quando se aplicou calcário, já a maior dose de 41,35 t ha⁻¹ elevou em 0,7 unidades de pH do solo com calcário. Através destes dados nota-se que a cinza perde potencialidade para neutralização quando aplicada com calcário. Em um estudo anterior realizado por Silva *et al.* (2009), ao aplicarem as doses de cinza de caldeira 0; 3, 6, 12, 18 e 24 t ha⁻¹ em um CAMBISSOLO HÚMICO de textura franco argilosa com altos teores de matéria orgânica e pH de 4,2, verificaram pouco efeito neutralizante após 9 meses de reação com solo, necessitando de doses maiores para ação neutralizante do H⁺ e Al⁺³, certamente devido ao poder tampão ocasionado pelo solo de textura mais argilosa, havendo necessidade de maiores doses.

Em relação a acidez potencial, o calcário foi mais efetivo para neutralização da acidez em comparação com as doses de cinza (Figura 2), provavelmente por liberar maior quantidade de hidroxilas no solo, entretanto as doses mais altas de cinza (30,60 e 41,35 t ha⁻¹) reduziu em média 6,25 mmol_c dm⁻³ a acidez, enquanto que o calcário isolado diminuiu em 6,7 mmol_c dm⁻³. Esses dados demonstram que a cinza de biomassa de eucalipto em doses mais altas reage semelhante ao calcário em relação a acidez potencial em solo arenoso. Semelhantemente outros autores como Santos *et al.* (1995), Prado, Medeiros e Natale (2002) e Maeda (2008) também observaram a capacidade de redução da acidez potencial com uso de cinza de madeira. Assim verificou-se de fato que a cinza de biomassa de eucalipto melhora as condições químicas do solo quanto a neutralização de agentes ácidos.



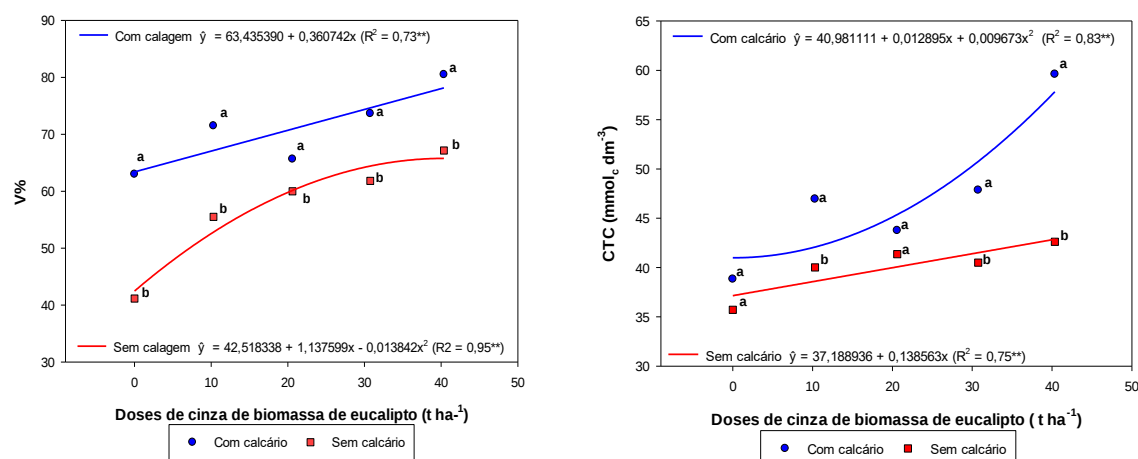


Figura 2. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto nos atributos químicos do solo: pH, acidez pontencial (H+Al), saturação de bases (V%) e CTC pH 7.0, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Além da utilização como fertilizante, alguns desses materiais alternativos, como a cinza de biomassa, podem apresentar, ainda, capacidade de corrigir a acidez do solo (ZIMMERMANN; FREY, 2002; SOUZA *et al.*, 2013) atuando como o calcário agrícola, conforme resultado obtido na presente pesquisa.

A saturação por bases do solo com o aumento das doses de cinza isolada surtiu efeito positivo quadrático, cuja derivada resultou em uma dose ideal de $41,1 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 2), com a aplicação de calcário junto com as doses de cinza gerou um efeito linear crescente. A maior dose de cinza isolada conseguiu elevar a saturação de bases de 41,16% para 67,2% elevando nos mesmos patamares dos tratamentos que somente receberam calagem. Prado, Medeiros e Natale (2002) também observaram efeito no acréscimo de V% com o emprego de menores doses de cinza de biomassa sem calcário em Argissolo Vermelho-Amarelo, porém menos acentuado que no presente trabalho, pois as doses utilizadas para as unidades experimentais foram maiores. Por sua vez, Maeda (2008) em estudo com cinza em *Pinus taeda* estimou que para alcançar 50% da saturação de bases seria necessário a utilização de $11,5 \text{ t ha}^{-1}$. O uso do calcário associado com maiores doses de cinza proporcionou aumento excessivo, o que pode gerar efeitos de inibição por antagonismo com outros nutrientes. As doses de cinza junto a calagem foram mais eficientes para aumentar a V%, provavelmente devido ao teor de bases trocáveis (K, Ca e Mg) contidos na cinza. Contudo, Pitman (2006) ao avaliar cinzas de biomassa provenientes de diferentes locais, constatou diferenças na sua composição, com teores de Ca que variam de 7,4 a 33%, de Mg de 0,7 a 2,2%, de K de 1,7 a 4,2%, de P de 0,3 a 1,4%.

Devido esse menor índice de acidez potencial e aumento no V% era de se esperar que a CTC desse solo também sofresse alterações, pois a cinza foi capaz de aumentar o pH a 5,5

mesmo em sua menor dose (10,3 t ha⁻¹), gerando dissociação do H⁺ e precipitando o Al⁺³ devido a faixa de pH do solo. Sem aplicação de calcário o efeito foi significativo como consta na Figura 2, com equação linear com aumento de 12% da CTC na dose de 10,30 t ha⁻¹ de cinza e de 19% na dose de 41,35 t ha⁻¹.

Com aplicação de calcário junto as cinzas, isso resultou em uma equação positiva quadrática com aumento na CTC de 28% na dose de 10,30 t ha⁻¹ e na dose de 41,35 t ha⁻¹ de cinza esse aumento foi de 66% (Figura 2). Tendo em vista que o calcário isolado foi capaz de aumentar a CTC em 8%, esses resultados demonstram que a cinza junto com calcário atuou de forma mais efetiva para aumentar a CTC desse solo, cabe ressaltar que a cinza isolada em sua menor dose foi capaz de promover um ganho em 4% em relação aos tratamentos que somente receberam calcário. Dentre os constituintes da cinza, destacam-se óxidos e carbonatos de Ca e Mg (FERREIRO *et al.*, 2011; PERNÁ *et al.*, 2013).

A cinza de biomassa por ter íons como K, Ca e Mg em sua composição, contribuiu para esse aumento na interação com calagem. Entretanto, Silva *et al.* (2013) ao utilizar doses de cinza em comparação com calcário, não encontrou diferença significativa na CTCe com uso da cinza na dosagem de 22 t ha⁻¹. De acordo com Voundi Nkana *et al.* (1998), os quais testaram cinza de biomassa em três tipos de solo em Camarões, foi evidente o aumento da CTCe, corroborando assim com os resultados obtidos na presente pesquisa.

4.1.1 Desdobramentos para os teores de macronutrientes no solo

Os tratamentos com aplicação de calcário e inoculados via semente com *Azospirillum brasilense* aumentaram significativamente os teores de fósforo disponível no solo em relação aos tratamentos aos demais tratamentos (Tabela 7), esse aumento foi propiciado somente com a presença da calagem.

Demonstrando que a bactéria atua de forma mais impactante na solubilização do fosfato quando o solo recebe correção via calcário. Bactérias do gênero *Azospirillum* requerem pH próximo de neutro para o seu desenvolvimento e multiplicação (INAGAKI *et al.*, 2014). Com exceção da espécie *A. amazonense* as demais espécies do gênero *Azospirillum* são hábeis para crescer em pH perto da neutralidade (DÖBEREINER *et al.*, 1995).

Diversos trabalhos na literatura revelam que essa bactéria possui um certo potencial de solubilização devido a liberação de alguns ácidos orgânicos no solo como ressaltado por Silva (2017) o *A. brasilense* possui capacidade de solubilização de baixos teores de fósforo em um Neossolo Quartzarênico. Galindo *et al.* (2017) em seu estudo com duas safras de trigo

antecedendo cultivo de milho, com inoculação das sementes de trigo com *A. brasilense* estirpes AbV5 e AbV6, não constatarem diferença significativa nos teores de fósforo disponível em (Latosolo Vermelho Distroférico), mesmo com incremento no segundo ano de 25% nos teores de fósforo para os tratamentos que receberam a inoculação.

Tabela 7. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente ao teor de fósforo no solo. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Teor de P no solo (mg dm ⁻³)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	53,42aA	42,06bA
Sem	41,13aB	37,73aB
DMS (5%)	3,76	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

A aplicação da cinza juntamente com calcário ou de forma isolada proporcionou efeito linear crescente para os teores de fósforo no solo (Figura 3), contribuindo para a disponibilidade desse nutriente ao solo com a adição do calcário ou de forma isolada.

O solo coletado para o experimento inicialmente continha teores de fósforo muito baixos com 1,0 mg dm⁻³ (Tabela 4). Somente com adubação realizada com superfosfato simples com dosagem de 450 kg ha⁻¹ para os tratamentos considerados testemunhas obtivemos uma alteração de 1 mg dm⁻³ para 22,3 mg dm⁻³, com a aplicação de calcário e adubação fosfatada os teores elevaram para 34,3 g dm⁻³, obtendo-se uma maior disponibilidade de fósforo quando aplicado calcário. Porém, com a menor dose de cinza de biomassa de eucalipto (10,30 t ha⁻¹) aplicada isoladamente elevou-se os teores desse nutriente de 22,3 mg dm⁻³ (testemunha) para 37,0 mg dm⁻³. Houve um pequeno incremento de 2,7 mg dm⁻³ em relação aos tratamentos que somente receberam calcário como indicado na Figura 3. Isso indica que apesar dos baixos teores de fósforo da cinza de biomassa de eucalipto 4,33 mg kg⁻¹ de cinza há uma pequena contribuição quanto a liberação deste nutriente e aumento na disponibilidade do fósforo aplicado em adubação de cobertura em solo arenoso, pela alcalinidade propiciada pelos constituintes da cinza. A cinza eleva os níveis de óxidos, hidróxidos e carbonatos de cálcio e magnésio, agindo assim como corretivo com liberação de hidroxilas ao solo (HARALDSEN *et al.*, 2011).

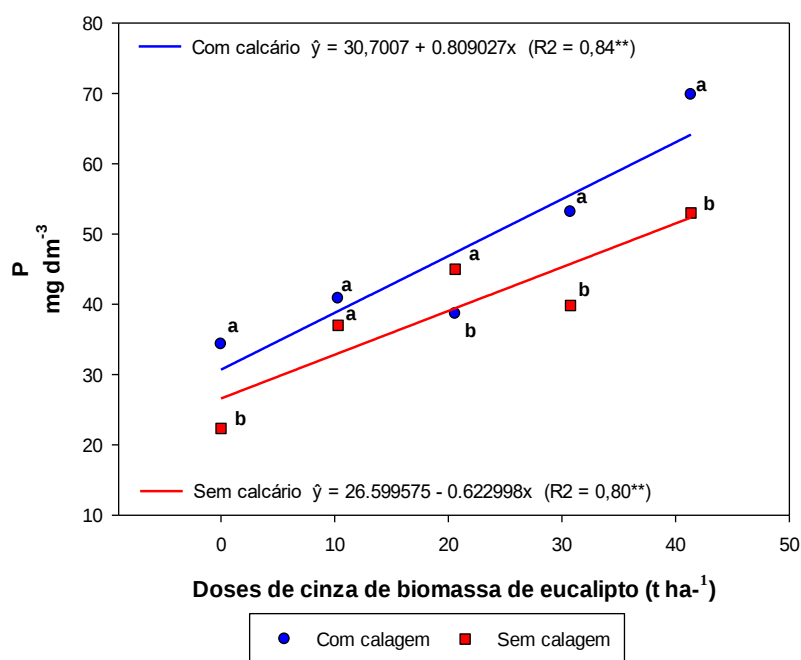


Figura 3. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de fósforo no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Foi relatado efeito quadrático para o teor de potássio no solo, tanto para cinza de forma isolada ou associada ao calcário a ($p < 0,01$). Apesar das doses mais altas de cinza associada ao calcário ter propiciado aumento na saturação de bases, com o potássio ocorreu de forma diferente no solo, onde as doses mais altas (30,75 e 41,35 t ha⁻¹) junto ao calcário atenuou a quantidade de potássio disponível no solo (Figura 4). A cinza isolada por outro lado foi capaz de elevar os teores de K com a aplicação da dose mais alta (41,35 t ha⁻¹), portanto foi necessário aplicação de maiores dosagem de cinza para se ter um pequeno aumento no teor de potássio no solo quando esta foi aplicada isoladamente. Sbruzzi (2017) relatou aumento linear do teor de K com uso de cinza de biomassa florestal de 26,85 mg dm⁻³ na dose 0 t ha⁻¹ de cinza para 62,38 mg dm⁻³ na dose de 18 t ha⁻¹ de cinza.

Embora diversos outros autores também tenham reportado aumento nos teores de potássio no solo, vale destacar que na grande maioria destes trabalhos o teor de K cinza era muito mais elevados quando comparados aos teores de K na cinza utilizada neste experimento (Tabela 1).

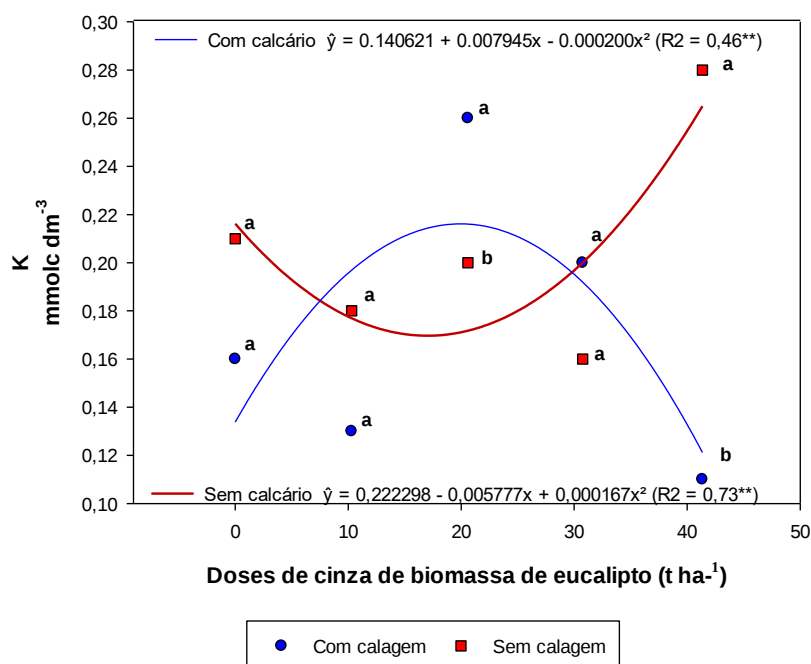


Figura 4. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de potássio no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ao derivar a equação quadrática relacionada ao uso da cinza com a calagem o ponto de máxima foi $19,86 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 4), o uso do calcário junto a cinza não se mostrou vantajosa quanto aos teores de K quando comparado ao uso isolado da cinza, houve tendência a diminuir os teores de K ao se utilizar doses altas de cinza junto a calagem. A calagem por fornecer maiores teores de Ca e Mg gera competição com os íons K pelos nos pontos de CTC e absorção, favorecendo a perda de íons K com aplicação da calagem devido a essa competição catiônica (MALAVOLTA, 1980).

O solo por ser arenoso demonstrou baixos teores de potássio, pode se dizer que estes se mantiveram nos mesmo patamares tanto na análise inicial quanto na análise final levando em consideração a média geral. Provavelmente, o potássio aplicado na adubação de semeadura via cloreto de potássio foi parcialmente lixiviado e boa parte exportado pelos cortes realizados na forrageira.

Não houve desdobramento quanto ao estudo relacionado a inoculação, para nenhuma das variáveis analisadas em conjunto a calagem, a inoculação com *A. brasilense* parece não ter influenciado nos teores de potássio no solo.

Na avaliação no final do experimento os tratamentos que receberam tanto a cinza isolada quanto a cinza aplicada junto a calagem demonstraram regressões lineares positivas a ($p < 0,01$) para os teores de cálcio no solo (Figura 5), com incremento de Ca conforme aumento das doses

de cinza.

No início do experimento o solo apresentava $3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca, quase sete meses após a aplicação e incorporação do calcário e das cinzas ao solo, este mesmo apresentou teores bem acima de Ca em relação a análise inicial do solo em todos os tratamentos, inclusive a testemunha, a qual não foi utilizada nenhum tipo de insumo contendo Ca. O que indica que possa ter ocorrido a adição de Ca via água utilizada em parte do experimento, devido a problemas relacionados ao aparelho deionizador. Esse incremento não seria possível com fornecimento de $2,97 \text{ mg kg}^{-1}$ contido na cinza (tabela 4).

A calagem isolada apresentou um acréscimo de $14,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ cerca de 576% nos teores de Ca no solo em relação a análise inicial, enquanto que a menor dose de cinza $10,30 \text{ t ha}^{-1}$ gerou um acréscimo de $14,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ equivalente a 593% quando comparados a análise inicial do solo. Obviamente os maiores incrementos de Ca no solo foram com o uso de ambos insumos, gerando diferença significativa em todas as doses de cinza utilizadas com calcário quando comparada ao uso isolado da cinza (Figura 4). Assim como o calcário, a cinza de eucalipto demonstrou potencial residual para o fornecimento de Ca ao longo do tempo mesmo apresentado $2,97 \text{ mg kg}^{-1}$ de cinza, cerca de 30 g de Ca em $10,30 \text{ t ha}^{-1}$.

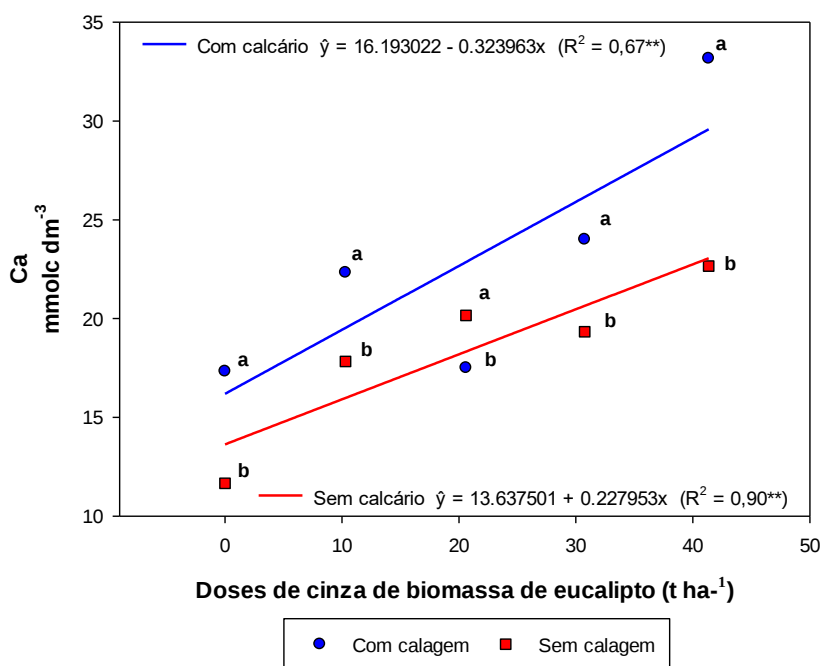


Figura 5. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de cálcio no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Silva *et al.* . (2009) verificaram que a aplicação de doses de cinza de biomassa (0, 3, 6, 12, 18 e 24 t ha^{-1}) em um CAMBISSOLO HÚMICO (com 342 g kg^{-1} de argila) e em um

NITOSSOLO HÁLICO (300 g kg⁻¹ de argila) após 160 dias da aplicação da cinza de caldeira de indústria de papel e celulose, aumento linear nos teores de Ca, Mg e K no solo no final do experimento.

A calagem foi se destacou no aumento dos teores de Ca no solo, havendo diferença significativa entre a interação calagem e inoculação, os tratamentos que receberam a calagem apresentaram teores de Ca significativamente maiores independente do emprego ou não da inoculação, a bactéria diazotrófica não interferiu nos teores de Ca disponível no solo quando aplicado via semente.

Tabela 8. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente ao teor de cálcio no solo. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Teor de Ca no solo (mmol _c dm ⁻³)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	23,50aA	22,31aA
Sem	18,40aB	18,26aB
DMS (5%)	1,59	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte : Elaboração próprio autor

Os teores de magnésio (2 mmol_c dm⁻³) no solo no início do experimento (Tabela 3) estavam abaixo do recomendado para agricultura de acordo com Raij *et al.* (1997), pois teores abaixo de 4 mmol_c dm⁻³ são considerados baixos desse nutriente no solo.

Houve efeito significativo, com ajuste a regressão linear quanto aos teores de Mg no solo a (p<0,01) com a utilização da cinza de biomassa de eucalipto, sendo de forma isolada ou aplicada com calcário (Figura 6), ficou evidente que a cinza de biomassa contribui para o aumento deste macronutriente secundário no solo.

Somente a calagem proporcionou um acréscimo de 5 mmol_c dm⁻³ em relação a análise inicial, enquanto que, a maior dose de cinza utilizada (40,75 t ha⁻¹) propiciou o maior teor de Mg, com acréscimo de 3,6 mmol_c dm⁻³ ao final do experimento.

Quando se utilizou a cinza junto a calagem aumentou-se ainda mais os teores de Mg no solo, elevando a patamares muito superiores que os tratamentos que receberam a cinza ou a calagem isolada. A calagem isolada se mostrou significativamente mais eficiente no fornecimento de Mg quando comparada com qualquer dose de cinza de biomassa de eucalipto utilizada no experimento.

Esse acréscimo de Ca e Mg que foram encontrados no solo no final de experimento devido a aplicação de calcário e/ou cinza, podem ter causado uma competição por sítios de absorção do K no colóides do solo, afetando o teor desse nutriente devido aos baixos teores de K indicados na análise do solo no final do experimento.

Campanharo *et al.* (2007) em seu experimento conduzido em vasos com 8 doses de

cinza de madeira, com objetivo de testá-las como corretivo do solo, observaram aumentos significativos nos teores de Ca, Mg e K, da saturação de bases e do pH do solo. Vale ressaltar que a cinza apresenta em sua composição óxidos, hidróxidos e carbonatos de Mg e Ca (HARALDSEN; PEDERSEN; GRONLUND, 2011; NORSTROM *et al.*, 2012).

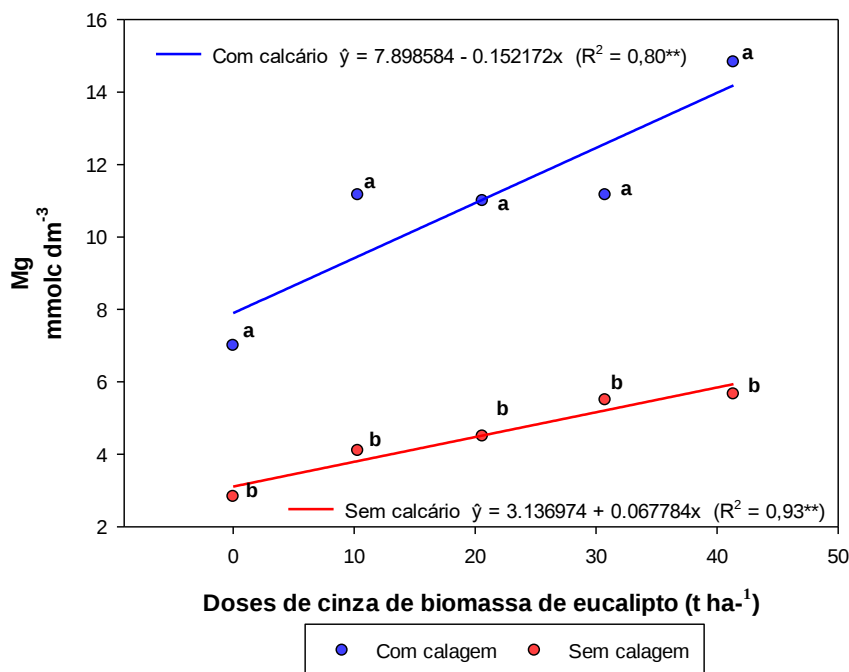


Figura 6. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de magnésio no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A interação entre a inoculação e a calagem, mostrou que a bactéria *A. brasilense* não surtiu efeito para o teor de Mg sem aplicação da calagem, não resultando em diferença significativa entre os tratamentos testemunha (Tabela 9). O que foi observado foram resultados superiores para os tratamentos que receberam o calcário e dentro destes a inoculação pode aumentar a disponibilidade de Mg no solo. A bactéria aumentou o teor de Mg disponível do solo quando aplicada com calagem gerando aumento em 3,69 mmolc dm⁻³, quando comparado aos tratamentos que somente recebeu a calagem.

Houve desdobramento entre as doses de cinza e a inoculação com a bactéria (Figura 7), constatou-se acréscimo linear a ($p < 0,01$) no teor de Mg disponível no solo conforme adicionado doses de cinza, entretanto os tratamentos que receberam a inoculação com as doses de (10,30 t ha⁻¹, 20,60 t ha⁻¹ e 30,75 t ha⁻¹) apresentaram diferença significativa aumentando os teores de Mg em relação as mesmas doses de cinza sem inoculação.

Tabela 9. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente ao teor de magnésio no solo. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Teor Mg no solo (mmol _c dm ⁻³)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	13,0aA	9,31bA
Sem	4,40aB	4,66aB
DMS (5%)	0,771	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

Poucos estudos estão relacionados a solubilização do Mg no solo em função da aplicação da bactéria *A. brasilense*, neste estudo a bactéria se mostrou eficiente em aumentar a disponibilidade do Mg no solo quando aplicado junto com as cinzas ou calcário, em que melhores resultados foram com o acréscimo no pH ocasionado por estes insumos.

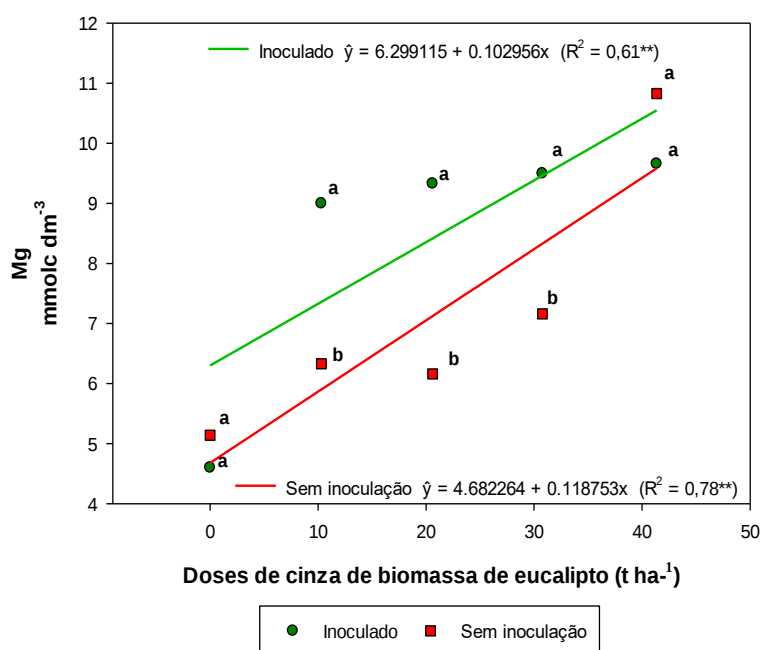


Figura 7. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de magnésio no solo, com e sem aplicação de *A. brasilense*, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Parreira *et al.* (2015), testando diversos tipos de manejos de adubação em tratamentos em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, ao realizar análise do solo (LATOSSOLO VERMELHO distrófico) na camada 0-20 cm de profundidade, 28 dias após aplicação os tratamentos que receberam adubação química e correção do solo + pulverização de *A. brasilense* superou em 39% nos teores de Mg no solo em comparação com os tratamentos que receberam somente a correção junto a adubação química. Entretanto 56 dias após incubação os teores de Mg de

ambos tratamentos se igualaram, não mostrando diferenças relevantes. Em contrapartida, Galindo *et al.* (2017) não verificaram relação entre o *A. brasilense* com aumento no teor de macronutrientes no solo no cultivo do trigo inoculado via semente.

O teor de enxofre obtido no solo no início do experimento foi de 4,5 mg dm⁻³, considerado baixo (Raij *et al.*, 1997), o que se explica por ser um solo arenoso com alto grau de intemperização e baixos teores de matéria orgânica.

A análise de regressão proporcionou efeito quadrático ($p < 0,05$) para as doses de cinza com uso de calcário ou de forma isolada nesta interação (Figura 8). Na análise química realizada na cinza de biomassa de eucalipto não continha teores de enxofre sob a forma orgânica ou na forma inorgânica como sulfatos, portanto não se tem conhecimento do teor de enxofre na cinza.

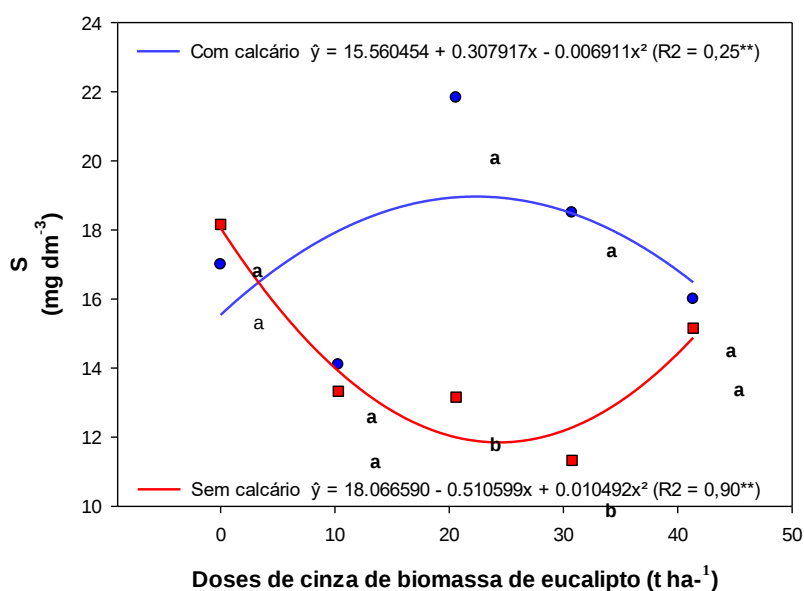


Figura 8. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de enxofre no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A cinza de forma isolada aparentou atenuar os teores de enxofre no solo (Figura 8), na testemunha onteve os maiores teores de S, lembrando que foi aplicado na adubação de semeadura para todos os tratamentos 450 kg ha⁻¹ ou 3,36 gramas por vaso do fertilizante superfosfato simples com 12% de enxofre, sendo responsável por incrementar 13,6 mg dm⁻³. Quando aplicado cinza junto ao calcário de forma geral os teores de enxofre foram maiores, provavelmente devido a faixa de pH que foi maior quando incorporados ao solo calcário e a cinza, de fato as doses mais altas de cinza (30,75 e 41,35 t ha⁻¹) decresceram o teor de enxofre no solo (Figura 8).

Ao derivar a equação relacionada do teor de S no solo quando aplicado calcário junto a cinza a dose máxima estimada foi de 22,24 t ha⁻¹ (Figura 8). A cinza isolada não foi capaz de gerar incrementos de S no solo no final do experimento, mesmo com teor de 12,3 mg dm⁻³ de compostos orgânicos na cinza (Tabela 4).

A análise de variância revelou significância interação entre calagem e inoculação com *A. brasilense*, evidenciou-se aumento significativo nos teores de S no solo com o uso da calagem quando comparado aos tratamentos que não receberam este insumo, enquanto que os tratamentos que receberam a inoculação isolada via semente acumulou menores teores de S no solo no final do experimento em relação a testemunha, o que pode indicar maior absorção dos S contido no solo com a inoculação e sem a calagem (Tabela 10).

Tabela 10. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente ao teor de enxofre no solo. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Teor de S no solo (mg dm ⁻³)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	18,0aA	17,0bA
Sem	12,8bB	15,60aB
DMS (5%)	0,93	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

Esse aumento ocasionado pelo calcário pode ser devido a faixa de pH estabelecida pelo uso do insumo, quanto mais próximo a neutralidade, maiores os teores de enxofre disponível no solo (MALAVOLTA, 1979) também tem se o conhecimento que a calagem e a o uso de insumos fosfatados acarretam o deslocamento de S-SO⁻⁴ para solução do solo, onde fica sujeito à lixiviação (BISSANI; TEDESCO, 1988). Devido aos fatores que favoreçam a lixiviação tais como: irrigações diárias, solo com alta permeabilidade e uma única aplicação de fertilizante com sulfato, este experimento por ter sido empregado em vasos essa dinâmica age de forma diferente por terem sido utilizados vasos os quais estavam com maiores proporções de raízes junto ao solo, devido a barreira física ocasionada pelos vasos, os volumes de solo em relação as raízes são maiores, sem esse impedimento em específico.

4.1.2 Desdobramentos para os teores de micronutrientes no solo

Após quase 7 meses passados entre a aplicação das cinzas com revolvimento até a análise do solo, os teores de B foram superiores em todos os tratamentos que receberam a aplicação das cinzas, com ou sem a calagem quando comparados com a testemunha (Figura 9). O teor de boro contido na cinza foi de 14,64 (mg kg⁻¹) resultado esse inesperado, o que explica

o aumento do teor deste micronutriente no solo.

O boro é um nutriente comumente aplicado no cultivo do eucalipto, porém é aplicado com cautela, pois o limite entre a concentração adequada e o nível tóxico de boro para as plantas é muito estreito (MALAVOLTA, 1980; GOLDBERG, 1997; GONÇALVES; VALERI, 2001). Estes resultados pode caracterizar o B como um dos nutrientes que menos sofreu perdas dentro do processo de incineração da madeira do eucalipto.

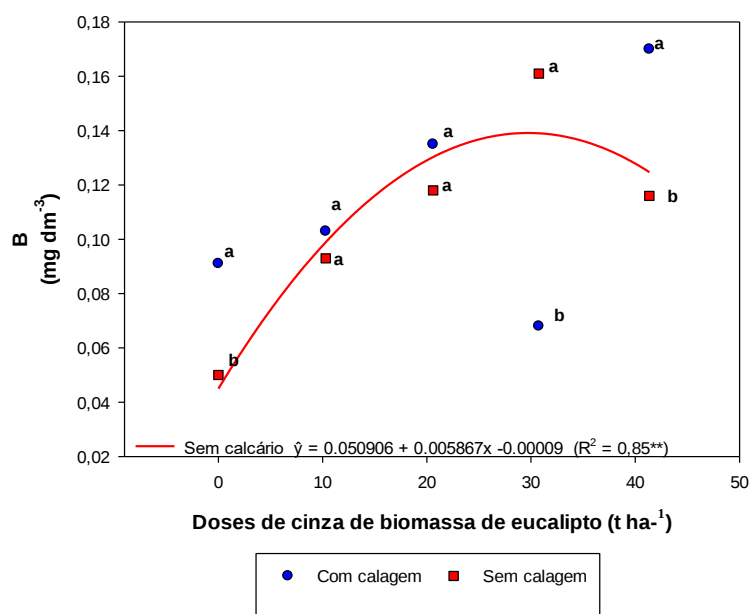


Figura 9. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de boro no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O teor de B na análise inicial do solo foi de $0,07 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 3), sendo considerado baixo, como não foi utilizado nenhum fertilizante contendo B neste experimento, os crescentes teores de boro no solo reportados na Figura 9, foi exclusivamente devido a adição das cinzas de biomassa de eucalipto no solo, mostrando eficiência em fornecer este nutriente ao solo em baixas proporções. Entretanto todos os tratamentos mantiveram teores de B abaixo do recomendado para agricultura segundo Raij *et al.* (1997), independente da dose de cinza utilizada isoladamente ou com calcário. Vale destacar ainda que as gramíneas forrageiras apresentam baixa exigência de B.

O estudo de regressão relacionado as doses de cinza e a calagem indicam que o comportamento do boro nos tratamentos que receberam somente a cinza foi crescente até a dose de $30,75 \text{ t ha}^{-1}$, fornecendo $0,11 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 9), tratamento esse que demonstrou os maiores teores de boro. Houve ajuste a equação quadrática a ($p < 0,01$) para o boro com o aumento das doses de cinza de biomassa de eucalipto isolada, com dose máxima estimada de $32,22 \text{ t ha}^{-1}$.

Os tratamentos que receberam a inoculação isoladamente propiciaram 32% de aumento nos teores de B quando comparado a testemunha na interação entre inoculação e o uso de calcário (Tabela 11).

Geralmente, o B torna-se menos disponível da solução do solo em alto pH (SOARES *et al.*, 2008), aumentando sua adsorção, apesar o uso da calagem e inoculação propiciaram resultados superiores a testemunha e sem diferença significativa relacionada ao uso isolado da bactéria nesta interação. Em solos com pH baixo, o aumento do pH incrementa a disponibilidade de B, por aumentar a mineralização deste micronutriente da matéria orgânica, que é a principal reserva deste no solo.

Tabela 11. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente ao teor de boro no solo. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Teor de B no solo (mg dm ⁻³)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	0,115aA	0,114aA
Sem	0,124aA	0,094bB
DMS (5%)	0,014	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

Para o teor de Cu no solo houve um decréscimo linear ($p < 0,05$) com o aumento das doses de cinza de biomassa de eucalipto, com aplicação da calagem (Figura 10), os tratamentos que receberam somente aplicação de calagem, os teores de Cu atenuaram em $0,13 \text{ mg dm}^{-3}$ em relação a testemunha, chegando a teores ainda menores com a maior dose de cinza ($41,35 \text{ t ha}^{-1}$) mais calcário com decréscimo de $0,22 \text{ mg dm}^{-3}$. São teores considerados médios no solo (Raij *et al.*, 1997). Com aplicação de cinza isolada resultou em uma equação quadrática ($P < 0,05$) também gerando uma atenuação dos teores de cobre em relação a testemunha mesmo com teores de $13,05 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu contido na cinza de eucalipto.

Apesar de neste estudo o solo não ter ocorrido efeito significativo dos tratamentos para o teor de M.O., estes teores estavam baixos no início do experimento, descartando a possibilidade de complexação do nutriente. A matéria orgânica fornecido pela cinza não foi capaz de alterar significativamente os teores de M.O. com incremento das doses de cinza. De acordo com a pesquisa realizada por Bolan e Duraisamy (2003), a biodisponibilidade de cobre que pode ser reduzida pela complexação do micronutriente na matéria orgânica do solo.

O pH também podem ter interferido nestes teores, como a cinza de biomassa de eucalipto e o calcário são agente neutralizantes, o aumento de pH resultou em menor disponibilidade de Cu no solo. Nota-se que nas maiores doses de cinza ($30,75$ e $41,35 \text{ t ha}^{-1}$)

houve um pequeno acréscimo em relação as doses menores de cinza isolada, provavelmente devido ao ter de cobre contido na cinza (13,05 mg kg), mesmo com estas doses aumentando ainda mais o pH do solo, forneceram maiores quantidades desse micronutriente.

A correção da acidez do solo para valores de pH em torno de 6,5 tende a restringir o efeito de aumento de disponibilidade de alguns micronutrientes Cu e Mn (BATAGLIA, 1991).

Nenhuma interação estudada junto a inoculação com *Azospirillum brasilense* originou qualquer resultado significativo em resposta ao teor disponível de B no solo, dentro desta interação o que foi observado foi decréscimos dos teores de Cu quando aplicado a calagem, como citado anteriormente.

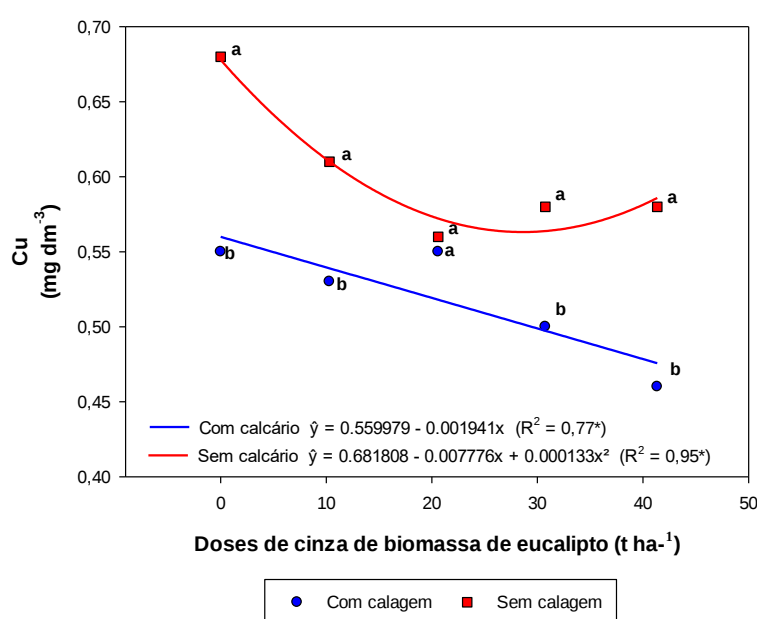


Figura 10. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de cobre no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

No estudo foram significativos ($P < 0,01$) para análise de regressão tanto o uso da cinza isolada como com calcário para os teores de manganês no solo, com ajuste a regressões lineares crescentes (Figura 10). Quando aplicado cinza de biomassa de eucalipto sem a presença do calcário nas dosagens de (10,30 – 30,75 e 41,35 t ha⁻¹, os teores de Mn no solo foram significativamente superiores quando comparados as mesmas doses de cinza com a calagem (Figura 10), mesmo com teor muito baixo do nutriente na cinza (1,31 mg kg⁻¹), houve incrementos de Mn no solo em ambas ocasiões.

A aplicação de calcário junto a cinza de biomassa de eucalipto não atenuaram os teores de manganês no solo, pela faixa de pH observada esse efeito foi inesperado, visto que os teores

de Mn diminuem quando o valor de pH aumenta (TANAKA *et al.*, 1993; SANZONOWICZ, 1995). De fato a cinza contribuiu para elevar esses teores mesmo com baixo teor encontrando do nutriente encontrando na mesma, uma vez que não foi aplicado na adubação dos tratamentos nenhum fertilizante com Mn.

A menor dose de cinza isolada foi capaz de elevar os teores em $1,23 \text{ mg dm}^{-3}$, enquanto que quando aplicada com calcário essa dosagem gerou uma adição de somente $0,28 \text{ mg dm}^{-3}$, esse efeito complementar em maior proporção do manganês no solo também foi notado nas doses de 30,75 e $41,35 \text{ t ha}^{-1}$, gerando melhores resultados para esse micronutriente com a cinza aplicada isolada.

Como o manganês é um micronutriente catiônico o calcário ao fornecer Ca e Mg, gera a competição entre esses nutrientes na superfície específica das argilas, prejudicando a adsorção do manganês além de diminuir a solubilidade do mesmo na solução do solo, reduzindo sua disponibilidade (RHOTON, 2000).

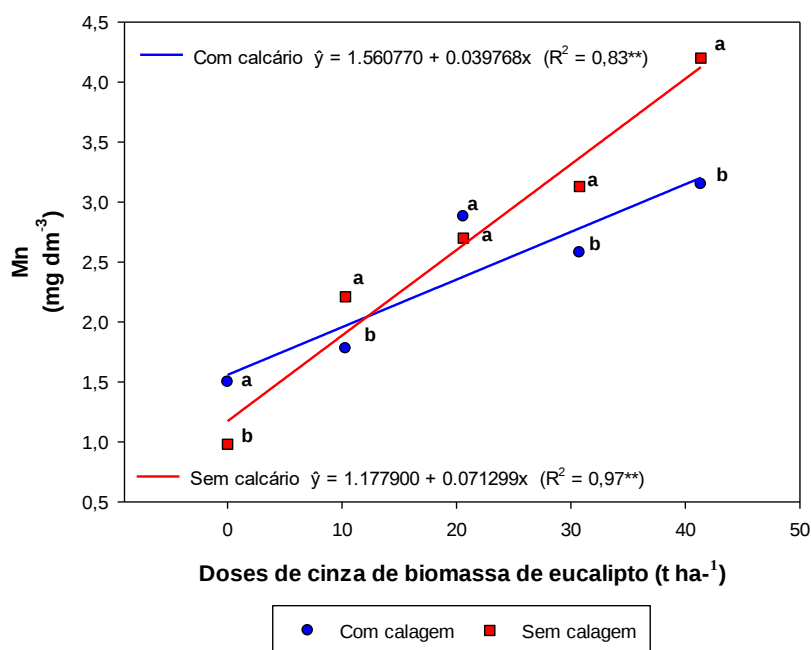


Figura 11. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de mannganês no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O efeito da inoculação com *A. brasilense* sobre a disponibilidade do Mn no solo resultou em diferença significativa em sua interação com calcário, quando utilizada a inoculação sem o emprego da calagem, o teor de Mn disponível no solo aumentou (Figura 11), como visto anteriormente a calagem isolada proporcionou teores de Mn aquém do teores encontrados na análise do solo no início do experimento. Portanto, médias com menores teores de Mn já eram

esperados nesta interação, contudo a testemunha que não recebeu o manejo da calagem apresentou valores inferiores aos tratamentos inoculados em 18,5%.

Estudos indicam que algumas cepas de *A. brasilense* são capazes de produzir Mn-peroxidase em níveis intracelulares, enzima essa que demonstrou atividade oxidativa apenas na presença de Mn^{2+} , catalisando a oxidação a Mn^{3+} , essa oxidação pode fazer parte do mecanismo adaptativo que visa aumentar sobrevivência e competitividade de *Azospirillum* na rizosfera devido à sua capacidade de oxidar compostos fenólicos tóxicos (KUPRYASHINA *et al.*, 2012).

O teor de zinco do solo foi influenciado de forma quadrática pelo incremento de doses de cinza de eucalipto associada a calagem, mostrando que a cinza de forma isolada em doses maiores disponibiliza o zinco em menor quantidade para as plantas, podendo haver a possibilidade de complexação com algum outro elemento constituinte na cinza.

Tabela 12. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente ao teor de manganês no solo. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Teor de Mn no solo ($mg\ dm^{-3}$)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	2,29aB	2,45aA
Sem	2,87aA	2,42bA
DMS (5%)	0,172	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A calagem quando utilizada junto a cinza proporcionou melhores resultados quando utilizada nas doses mais altas (30,75 e 41,35 t ha^{-1}), apesar dessas dosagens terem elevado o pH em maiores proporções 6,1 e 6,4 quando comparado com uso da cinza isolada 5,9 e 6,0, houve maior teor de zinco no solo. O acréscimo do pH aumenta a adsorção do zinco com os óxidos de ferro e alumínio, as cinzas junto a calagem não interferiram negativamente na disponibilidade de zinco mesmo elevando o pH em faixas que reduziriam a sua disponibilidade. Por outro lado, os tratamentos ao receber as mesmas doses de cinza de forma isolada indicaram menor teor de zinco no solo. O aumento do teor de P no solo gerado pelas cinzas com ou sem a calagem, não alcançaram potencial para interferir negativamente no Zn disponível no solo devido a complexação que ocorre comumente entre esses nutrientes.

Em estudo realizado por Andreotti e Crusciol (2003) em casa de vegetação, ao avaliarem a disponibilidade do Zn com em função de doses de zinco e calcário, em LATOSSOLO VERMELHO Escuro álico, estes constataram que as doses de calcário diminuíram os teores de zinco foliar no milho, porém os tratamentos que receberam sulfato de zinco junto a calagem mostraram níveis superiores na concentração de zinco em relação aos tratamentos que não receberam adubação com Zn.

Não foi verificado nenhum efeito significativo no teor de zinco no solo relacionado ao uso da bactéria *A. brasilense*, independentemente dos estudos com interação ou sem.

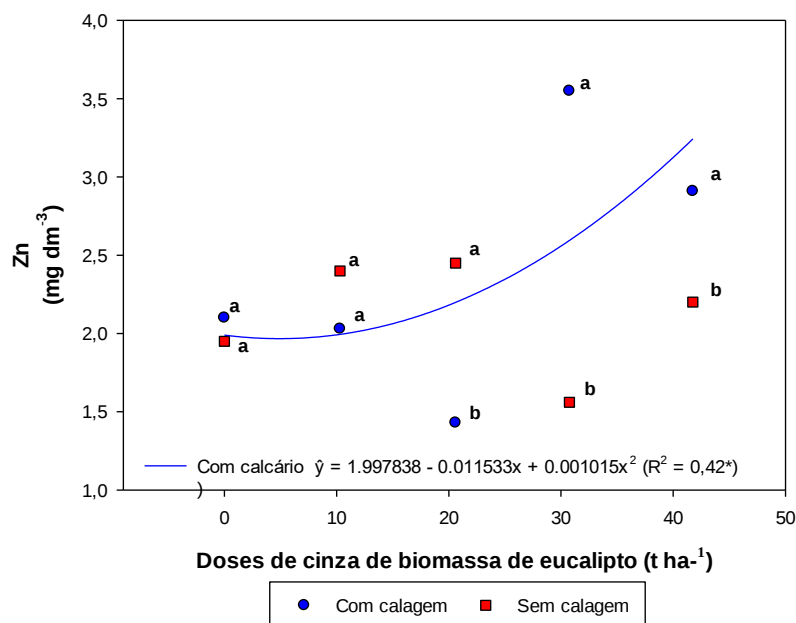


Figura 12. Efeito da aplicação de cinza de biomassa de eucalipto no teor de zinco no solo, com e sem aplicação de calcário, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ÓRTICO, textura arenosa. Obs.: médias seguidas por mesmas letras minúsculas não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

4.2 Volume e massa seca de raízes do capim Massai

Os resultados referentes a avaliação da produção de raízes foram realizados após o término do terceiro ciclo, 136 dias após a semeadura do capim Massai nos vasos, antes da semeadura o solo ficou incubado 70 dias após aplicação da calagem e cinza de biomassa vegetal (Tabela 5).

A avaliação dos resultados sem interação dos fatores evidencia que a calagem foi de suma importância para desenvolvimento radicular do capim Massai (Tabela 13), sendo as médias geradas pelos tratamentos que receberam a calagem foram estatisticamente superiores aos tratamentos que não receberam este insumo para o volume e matéria seca de raízes. A inoculação por muito pouco não atinge valor significativo no teste de Tukey 5%, apesar de não mostrar diferença estatística a média dos tratamentos inoculados via semente com *A.brasilense* de matéria seca de raízes foi 8,4% superior a média dos tratamentos não inoculados.

Tabela 13. Volume de raízes (VR) e matéria seca de raízes (MSR) do capim Massai, realizado em função dos fatores calagem, inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses de cinza de

eucalipto.

Tratamentos	VR ml vaso ⁻¹	MSR g vaso ⁻¹
Calagem		
Sem	157,2b	49,52b
Com	186,2a	60,00a
D.M.S (5%)	11,0	4,49
<i>Azospirillum brasilense</i>		
Sem	169,8a	52,58a
Inoculado	173,6a	57,00a
D.M.S (5%)	11,0	4,49
Média Geral	171,7	54,80
C.V (%)	14,37	18,32
Doses de cinza (t ha⁻¹)		
0	153,7	49,75
10,30	166,2	51,60
20,6	166,8	52,33
30,75	165,0	52,40
41,35	206,9	67,90

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Com aplicação de cinza de biomassa de eucalipto em doses crescentes, aumentou-se linearmente o volume de raízes por vaso, gerando efeito significativo a (P<0,01) (Tabela 13), por fornecer nutrientes e melhorar as condições relacionadas aos atributos químicos do solo como diminuir acidez potencial, aumentar o pH, elevação da saturação de bases e CTC do solo com as doses crescentes do resíduo, era de se esperar melhores resultados quanto ao aumento no volume de raízes. Porém no estudo como foram utilizados vasos, houve uma barreira física que possa ter interferido num maior crescimento das raízes.

Avaliando a cinza de biomassa de eucalipto com calcário notou-se efeito quadrático (P<0,01) (Figura 13), com maior volume de raízes observado na maior dose de cinza (40,35 t ha⁻¹), a ação da correção do solo com a utilização da cinza na maior dose propiciou os melhores resultados quanto aos atributos químicos no experimento (acidez potencial, pH, V% e CTC), o que gerou diferença significativa em comparação a maior dose do resíduo isolado, a disponibilidade de nutrientes por outro lado, tanto de macronutrientes quanto de micronutrientes variaram muito, nem sempre as maiores doses de cinza foram as mais interessantes, conforme reportado anteriormente.

Bezerra (2018b) ao avaliar o volume de raízes do capim Paiaguás, sob diversas doses cinza de caldeira industrial em LATOSSOLO VERMELHO distrófico, verificou efeito quadrático, com dose de cinza vegetal de 26,63 g dm⁻³ equivalente a 53,26 kg ha⁻¹ (0,05 t ha⁻¹)

como a responsável pelo ponto de máximo volume de raiz. Silva *et al.* (2016) constataram para massa seca da parte aérea e raiz, efeito linear com incremento da massa seca por tonelada de cinza aplicada, indicando resultados interessantes para utilização da cinza de caldeira na cultura. Visto isso, a cinza vegetal apresenta-se como fonte de nutrientes, como K, Ca, Mg, Fe e P, sendo interessante para diminuir o desequilíbrio nutricional, além de se tratar de um agente de neutralização do pH do solo. Ademais, o silício presente na cinza vegetal atenua a disponibilidade de elementos tóxicos como alumínio e manganês (COCKER *et al.*, 1998).

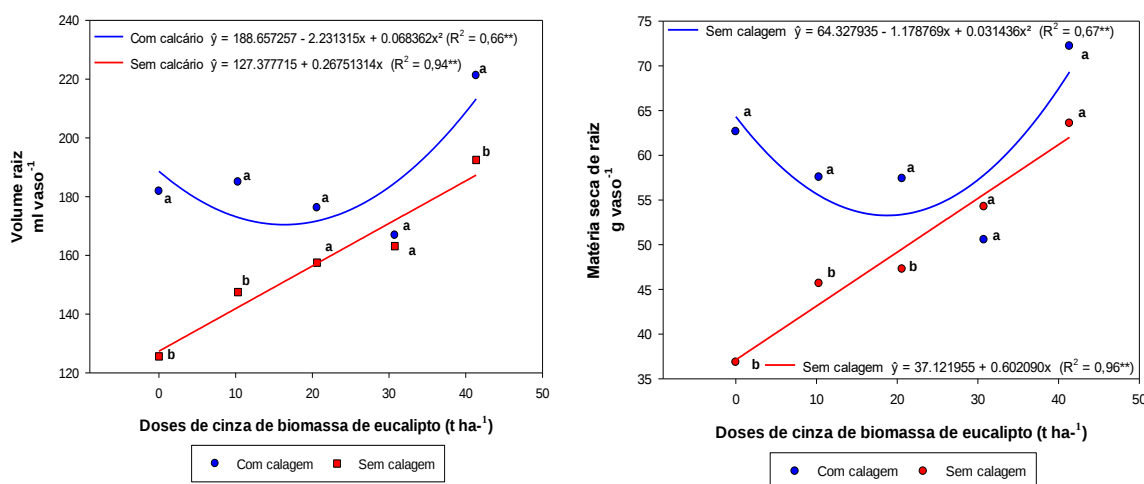


Figura 13. Volume de raízes e matéria seca de raízes do capim Massai em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto, com ou sem aplicação da calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A interação entre doses de cinza e calagem culminaram em acréscimo na massa seca de raízes ao se utilizar a cinza isolada (Figura 13), com ajuste ao modelo linear crescente. Fica evidente a importância da calagem no desenvolvimento radicular, já era de se esperar resultados superiores com o uso da calagem junto as cinzas devido ao teor baixo de nutrientes na cinza utilizada neste experimento, contudo as doses de cinza isolada também proporcionaram incrementos relevantes. Conforme Horta (2010), solos ácidos com baixa fertilidade ocasionam más condições de nutrição para as culturas, levando a baixas produções e este resíduo pode melhorar alguns dos fatores limitantes da produção e qualidade das culturas.

Os tratamentos que receberam a calagem e a cinza de biomassa de eucalipto nas doses de (0, 10, 30 e 20,60 t ha⁻¹) resultaram significativamente em maior massa de matéria seca de raízes por vaso em comparação com os tratamentos que só receberam a cinza nas mesmas proporções (Figura 13). As doses da cinza aplicadas isoladamente acima de 20,60 t ha⁻¹ se assemelharam aos tratamentos que receberam as mesmas doses junto com calcário. Um dado interessante foi que a matéria seca de raiz oriunda da doses de 41,35 t ha⁻¹ de cinza isolada assemelhou-se com a produção do uso do calcário isolado (Figura 13). Conforme estudo

realizados por Bezerra (2018b), a maior massa seca de raiz do capim Paiaguás foi de 24,19 g vaso⁻¹ obtida na dose de cinza vegetal de 27,01 g dm⁻³ equivalentes a 54 kg ha⁻¹, porém a cinza utilizada pelo autor continha teores muito maiores de nutrientes. Portanto, caso a cinza apresente teores muito baixo de nutrientes há necessidade de adoção de doses altas assim como as utilizadas neste experimento para um maior desenvolvimento de raízes das forrageiras.

O aumento na produção de massa seca de raízes do capim Massai ratifica a relevância em adubar a gramínea forrageira com cinza vegetal, visto os incrementos no sistema radicular, se apresentando bem desenvolvido e consolidado, refletindo evidentemente na biomassa do dossel. Bonfim-Silva *et al.* (2017a) observaram incremento de 94% na massa seca de raízes da cultivar BRS Piatã (*U. brizantha*) submetida a doses de cinza de madeira quando comparadas a testemunha. Estes autores atribuíram esse aumento ao fósforo presente no resíduo, pois o mesmo estimula o crescimento mais rápido das raízes, sendo importante particularmente durante o estágio de implantação da gramínea.

Para interação dos fatores doses de cinza e inoculação com *A. brasilense* no volume de raiz, observa-se para regressão efeito linear para inoculação a ($p < 0,01$) e quadrático quando não inoculado ($P < 0,05$) (Figura 14). A cinza aparentou favorecer a inoculação com as estirpes Abv-5 e Abv-6, incrementando o volume de raízes, certamente pelo fornecimento de minerais e por agir no solo como agente alcalinizante. Conforme estudo realizado com feijoeiro-comum por Rufini *et al.* (2011), o aumento do pH do solo favorece a simbiose entre as bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas, apesar do gênero *Azospirillum* não ser uma bactéria nodulífera é uma bactéria fixadora de nitrogênio que produz também a enzima nitrogenase.

Quando não houve aplicação de cinza os tratamentos inoculados se mostraram aquém quando comparados com os tratamentos que não receberam inoculação via semente, com inoculação o volume de raízes atenuou em 12,9% (Figura 14).

Com aplicação da menor dose de cinza (10,30 t ha⁻¹) junto a inoculação foi notado incremento de 13,4% no volume de raízes, atingindo os mesmos patamares quando não inoculado. A partir da dose de 20,60 t ha⁻¹ do resíduo os resultados para inoculação foram superiores quando comparados com os tratamentos que não receberam inoculação (Figura 13). Segundo Lima (2018), a inoculação de BPCV aumenta a produção de massa seca da parte aérea e de raízes das plantas de capim Zuri, promoveram incrementos na produção quando comparado aos tratamentos sem inoculação, uma vez que as bactérias secretam substâncias (fitormônios) que aumentam o crescimento radicular, as plantas têm uma maior sustentação e condições para o crescimento.

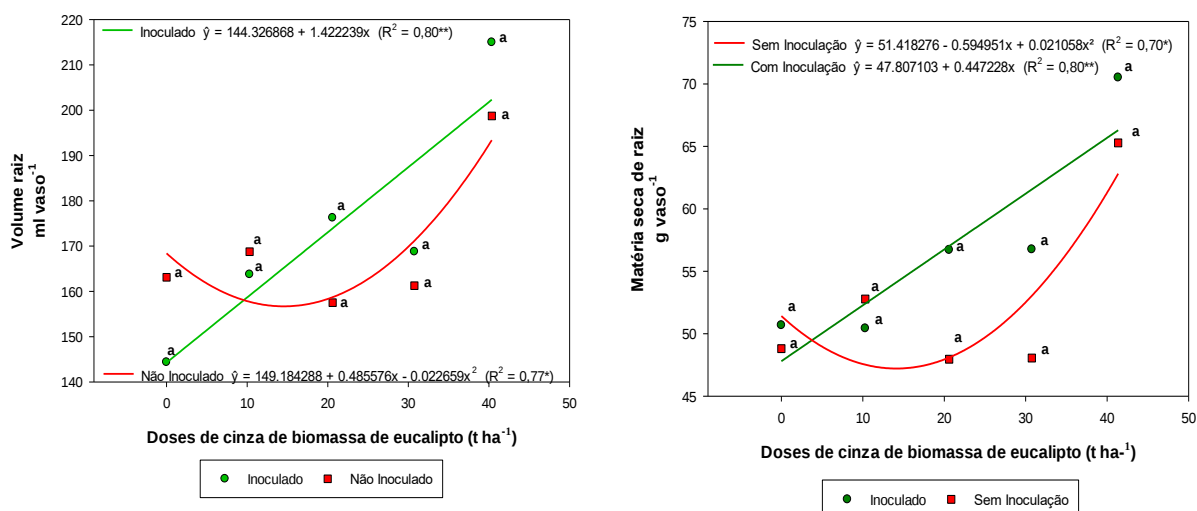


Figura 14. Volume de raízes e matéria seca de raízes do capim Massai, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação *A.brasilense*. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Mesmo sem diferença significativa na dose de (41,35 t ha⁻¹) na interação cinza e inoculação para a variável volume de raízes, esta dose que propiciou os melhores resultados, quando inoculado gerou um acréscimo de 8,1% em relação a essa maior dose utilizada neste experimento sem inoculação (Figura 14). A cinza usada em conjunto a inoculação apesar de não apresentar resultados expressivos, se mostrou minimante superior com a inoculação a partir da dose de 20,60 t ha⁻¹. Duarte (2018) ao avaliar o desempenho de *Urochloa brizantha* cv. Paiáguas sob efeito da inoculação com BPCV e doses de N, verificou incrementos significativos na biomassa radicular na dose 50 kg ha⁻¹ de N e inoculados com *P. fluorescens* e *A. brasilense* (Ab-V5 e Ab-V6), quando comparados ao tratamento sem inoculação.

Com relação a matéria seca de raízes, os resultados foram parecidos aos obtidos para o volume de raízes (Figura 14), dentro da interação entre as doses de cinza e inoculação, também houve ajuste para regressão, com modelo linear crescente ($p < 0,05$) para o uso das cinzas junto a inoculação, enquanto os tratamentos que receberam as doses de cinza sem inoculação ajustou-se modelo de regressão quadrático a ($p < 0,05$).

Nas doses de 20,60 e 30,75 t ha⁻¹ verificou-se o aumento na matéria seca de raízes quando inoculado, 8,75 g por vaso (18,2%) e 8,7 g por vaso (18,1%), revelando um tênue benefício ocasionado pelas cinzas de biomassa e a inoculação, no incremento de raízes mesmo sem resultado significativo. Isto, provavelmente se deve ao fato que o *A. brasilense* foi beneficiado pelas alterações na rizosfera ocasionada pelo uso da cinza de biomassa de eucalipto, que evidentemente diminuiu acidez potencial, e aumentou o pH do solo e fornecimento de nutrientes.

A inoculação de *Azospirillum* spp. em pastagem tem potencialidade, especialmente em

regiões com déficit hídrico e baixa fertilidade do solo, pela maior biomassa radicular, que resulta em maior capacidade de exploração do solo (MALIK *et al.*, 1997).

Inúmeros estudos revelam o acréscimo de volume radicular, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento com a inoculação com bactérias diazotróficas, entre elas o *A. brasilense* (OKON; LABANDERA-GONZALEZ, 1994; MUÑOZ-ROJAS; CABALLERO-MELLADO, 2003; SHANKAR *et al.*, 2011). Sendo esse incremento no sistema radicular devido principalmente a produção de substâncias promotoras de crescimento que a inoculação com essas bactérias propicia, e não somente correspondente a fixação biológica ocasionada pelas mesmas (DOBBELAERE; OKON, 2007).

4.3 Acúmulo de nutrientes na parte aérea do capim-Massai

4.3.1 Acúmulo de macronutrientes no primeiro corte do capim-Massai

Os teores de nutrientes foliar do capim-massai (dados não apresentados), demonstram que os nutrientes estão dentro da faixa adequada para as gramíneas do tipo *Panicum maximum*, exceto o N neste primeiro corte (WENER *et al.*, 1997).

A aplicação de cinza de biomassa de eucalipto apesar de ter contribuído para aumento em média de P a 66%, Ca em 52% e Mg em 73% de acordo com a análise do solo feita no término do experimento (Tabela 14), para o primeiro corte não foi constatado o mesmo efeito linear de acréscimo de nutrientes na parte aérea, com exceção do acúmulo de K, nutriente o qual foi encontrado em teores relativamente baixos na análise final do solo. Porém, vale destacar que as análises do solo foram realizadas quase 206 dias após a calagem e aplicação de cinza, essa primeira análise nutricional da parte aérea foi realizada após 126 dias da aplicação de calcário e doses de cinza no solo, com 45 dias entre a semeadura e a coleta do material (Tabela 3).

De maneira geral a dose de 30,75 t ha⁻¹ de cinza de biomassa de eucalipto sem interação, foi a que propiciou em média os maiores acúmulos de macronutrientes na parte aérea do capim Massai. A menor dose de cinza 10,30 t ha⁻¹ sem interação foi capaz de elevar os acúmulos em 10,5% P, 19,3% K e 17,3% Mg em relação aos tratamentos que não receberam as cinzas. Já a dose de 30,75 t ha⁻¹ foi capaz de elevar em 10,8% N, 7% P, 35,8% K, 8,8% Ca, 16,3% Mg e 18,6% S as quantidades acumuladas na forrageira. Ressalta-se que as testemunhas (0,00 t ha⁻¹) na maioria dos casos estavam aquém em relação ao acúmulo de macronutrientes quando comparados com tratamentos que receberam as doses de cinza (Tabela 14).

Esses dados mostram que a cinza além de contribuir para aumento no teor de nutrientes

no solo, aumenta concentração nutricional da parte aérea com apenas 126 dias de incubação no solo, salientando que a cinza deve ser usada com critérios, pois a maior dose utilizada neste estudo não foi a que propiciou os melhores resultados no acúmulo de nutrientes na parte aérea. Moro (1994) verificou que a cinza de biomassa vegetal usada para nutrição de *Eucalyptus grandis* influenciou significativamente no acúmulo de nutrientes na parte aérea, sendo as doses de 10 t ha⁻¹ e 20 t ha⁻¹ de cinza superiores a testemunha após 79 meses de plantio.

Quando comparado os tratamentos que receberam a dose 30,75 t ha⁻¹ com as médias dos tratamentos que receberam a calagem, nota-se uma pequena vantagem para a aplicação de cinza, com maior acúmulo de macronutrientes na parte aérea quando avaliado as médias sem interação dos fatores.

A dose de 41,75 t ha⁻¹ apesar de propiciar maiores teores de P, Ca e Mg, SB e V% no solo (Tabela 6) e os maiores volume e massa seca de raízes (Tabela 13), visivelmente não foi o melhor tratamento quando se analisou o acúmulo de nutrientes na parte aérea, de acordo com a Tabela 14 que analisa os fatores sem interação. Os acúmulos de macronutrientes no primeiro corte da testemunhas foram iguais ou superiores, exceto K, em que a dose mais alta de cinza utilizada (41,35 t ha⁻¹) foi superior com proeminência no acúmulo deste nutriente, mesmo com baixos teores do mesmo na composição da cinza (2,42 mg kg⁻¹). Naibo (2016) observou o teor de nutrientes na massa seca da parte aérea de aveia e ervilhaca e não encontrou diferença significativa nos teores de Ca, Mg, K e N entre os tratamentos que foram analisados, somente os teores de P se sobressaíram com aplicação da cinza em relação à testemunha.

A avaliação dos resultados relacionados a aplicação de cinza de biomassa sem interação quanto ao acúmulo de macronutrientes da parte aérea, demonstram ajuste significativo para a regressão somente para P, S e K no primeiro corte. As doses de cinza se ajustaram linearmente para o K ($p < 0,01$), quanto ao P e S o efeito foi quadrático a ($p < 0,01$) e ($p < 0,05$), as equações quadráticas resultaram em ponto de máxima para o P no valor de 18,62 t ha⁻¹, enquanto que para o S atingiu 24,5 t ha⁻¹ de cinza. O maior acúmulo de potássio na parte aérea foi gerado pela dose de 30,75 t ha⁻¹ com ganho de 35,8% na quantidade desse nutriente quando comparado a testemunha como mostrado anteriormente

Tabela 14. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea do capim Massai no primeiro corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
-----g por vaso-----						
Calagem						
Sem	0,708a	0,093a	1,125a	0,189a	0,104a	0,065a
Com	0,656a	0,089a	1,141a	0,200a	0,103a	0,064a
D.M.S (5%)	0,06	0,007	0,116	0,018	0,015	0,007
<i>Azospirillum brasilense</i>						
Sem	0,680a	0,087a	1,013b	0,194a	0,108a	0,065a
Inoculado	0,684a	0,091a	1,260a	0,195a	0,097a	0,064a
D.M.S (5%)	0,063	0,007	0,116	0,018	0,015	0,007
Média Geral	0,682	0,089	1,133	0,193	0,103	0,064
C.V (%)	17,81	16,12	19,74	18,28	27,85	23,61
Doses de cinza (t ha⁻¹)						
0	0,660	0,085	0,948	0,193	0,098	0,059
10,30	0,628	0,094	1,131	0,193	0,115	0,060
20,60	0,726	0,095	1,133	0,194	0,097	0,072
30,75	0,719	0,091	1,288	0,210	0,114	0,070
41,35	0,677	0,080	1,164	0,184	0,092	0,061

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Foi gerado significância dentro do primeiro corte para as doses de cinza sem interação equação linear positiva para o K e equações quadráticas para o P e S, a cinza influenciou o capim Massai de forma positiva para absorção do K conforme aumento das doses enquanto que para P e S as doses mais altas prejudicaram sua absorção (Figura 14).

Provavelmente a maior parte do potássio foi introduzida no sistema via adubação com KCl neste primeiro corte, indicando que a cinza conforme aumento das doses fez com que houvesse um melhor aproveitamento desse fertilizantes aplicado no solo, o fornecimento deste nutriente pela cinza também pode ser um dos fatores relacionados porem de menor influência devido aos teores muito baixos de K na cinza 2,42 mg kg⁻¹ (tabela 4).

Os macronutrientes P e S foram prejudicados pela maior dose utilizada de 41,35 t/ha⁻¹ (tabela 20) o que indica que doses muito altas de cinza podem gerar competições com esses micronutrientes aniônicos que são utilizados na adubação de semeadura.

A interação entre os fatores calagem e doses de cinza, para o acúmulo de K foi houve efeito linear crescentea (p<0,01) para os tratamentos que receberam cinza de biomassa de eucalipto junto a calagem, um resultado inesperado, onde a maior dose de cinza 41,35 t ha⁻¹ junto a calagem devido ao fornecimento maior na quantidade de nutrientes catiônicos poderia gerar uma competição pelos sítios de absorção para o K. Visto que a composição na cinza de

biomassa de eucalipto entre os elementos catiônicos como Ca e Mg se encontram em teores bem próximos e muito baixos, essa competição que supostamente poderia ser gerada impedindo a absorção do potássio não se sucedeu (Figura 15), devido aos baixos teores de nutrientes da cinza utilizada neste experimento.

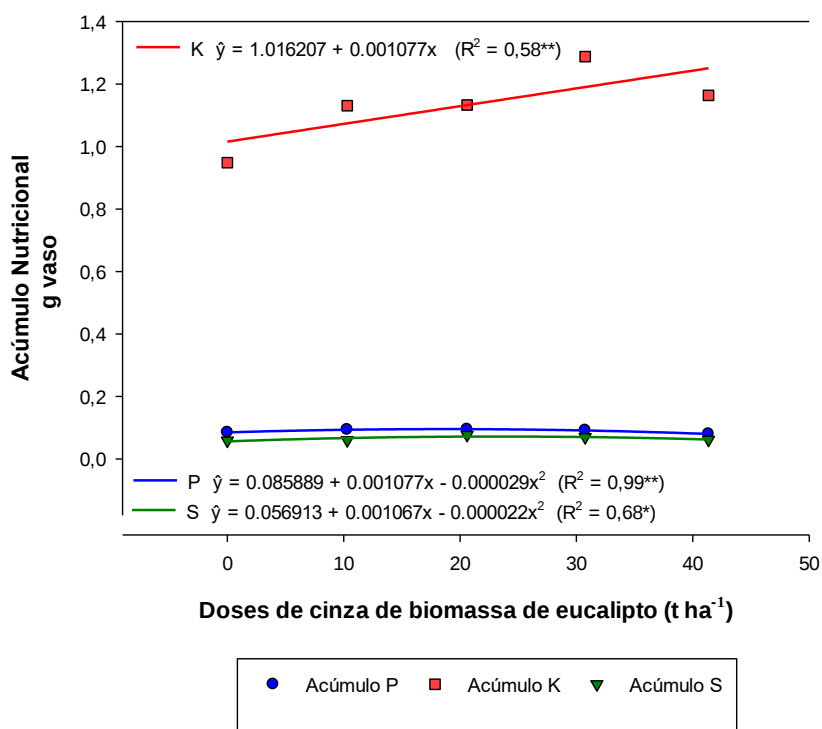


Figura 15. Acúmulos de Mg, P e S na parte aérea do capim Massai no terceiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto sem interação.

Quando as doses de cinza foram aplicadas isoladamente, sem a calagem, o acúmulo de K foi estatisticamente significativo como consta no Figura 15, uma curva de regressão foi gerada com ponto de máximo acúmulo em 22,38 t ha⁻¹, mostrando que a cinza foi eficiente para incremento de K, com ou sem a presença da calagem. Entretanto a maior dose de cinza de maneira isolada nesta interação proporcionou 39,1% menor acúmulo de K em relação a mesma dose com calagem. Silva *et al.* (2009) constataram que a adição de cinza de biomassa florestal propiciou aumentos nos teores de K no tecido vegetal do eucalipto cultivado em dois tipos de solo CAMBISSOLO e NITOSSOLO.

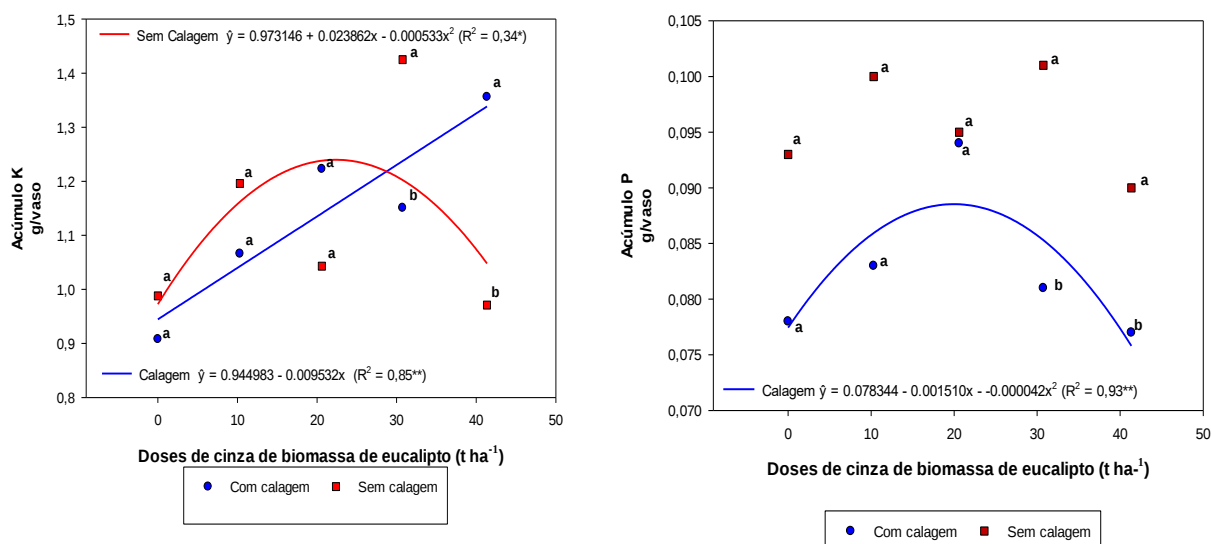


Figura 16. Acúmulos de P e K na parte aérea do capim-massai no primeiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o acúmulo de P no capim Massai em relação aos tratamentos que receberam as doses de cinza junto a calagem no primeiro corte, notou-se ajuste ao modelo de regressão quadrática ($p < 0,01$), quando se avaliou o efeito isolado na interação com a calagem não foi houve significância para regressão (Figura 16). Esses resultados da interação, indicam que quando aplicado cinza de biomassa de eucalipto em doses maiores que 20 t ha^{-1} com calcário, o acúmulo de P na planta depreciou nesse primeiro corte, além de apresentar um acúmulo inferior de P comparado com os tratamentos que receberam as doses de cinza de maneira isolada nas doses de $30,75 \text{ t ha}^{-1}$ e $41,35 \text{ t ha}^{-1}$ com diferença significativa. A calagem propiciou efeito desfavorável para o acúmulo desse nutriente quando aplicado com a cinza. Segundo Arruda *et al.* (2015), o aumento dos valores de pH advindos do uso de corretivos na agricultura é uma prática que contribui para aumentar a disponibilidade de P e a eficiência dos fertilizantes fosfatados, o que não foi evidenciado neste primeiro corte para nutrição, apesar da concentração de P no solo ter aumentado linearmente com as doses do resíduo junto ao calcário. Em condições de pH, pode ocorrer a formação de fosfato de cálcio, que é insolúvel.

Quanto aos demais acúmulos de macronutriente não foi observado nenhum ajuste a modelo de regressão entre os fatores calagem e doses de cinza. Silva (2008) observou efeito semelhante quanto aos teores de Ca e Mg na parte aérea, não obtendo alterações significativas nos teores destes nutrientes em função da aplicação das doses crescentes de cinza de biomassa de eucalipto no cultivo de mudas de eucalipto. Este autor atribuiu a falta de interação devido ao tempo insuficiente para absorção expressiva dos nutrientes, com 3 meses de incubação e 70 dias de coleta do material após transplante para um solo classificado como NITOSSOLO Háplico de textura argilosa, visto que houve aumento nos teores de nutrientes com adição das

doses de cinza.

Foi evidente que a dose mais alta de cinza (41,35 t ha⁻¹) sem interação (Tabela 14), não resultou em maior acúmulo de macronutrientes no capim-massai no primeiro corte, exceto o K onde a dose de cinza mais alta junto com a calagem propiciou aumento substancial no acúmulo desse nutriente (Figura 16). Carbonatos de potássio e de sódio, sulfatos e fosfatos de potássio como solúveis e os carbonatos e fosfato de cálcio e magnésio bem como os óxidos de ferro e manganês como insolúveis, são componentes da cinza de biomassa de eucalipto (DAROLT; OSAKI, 1989).

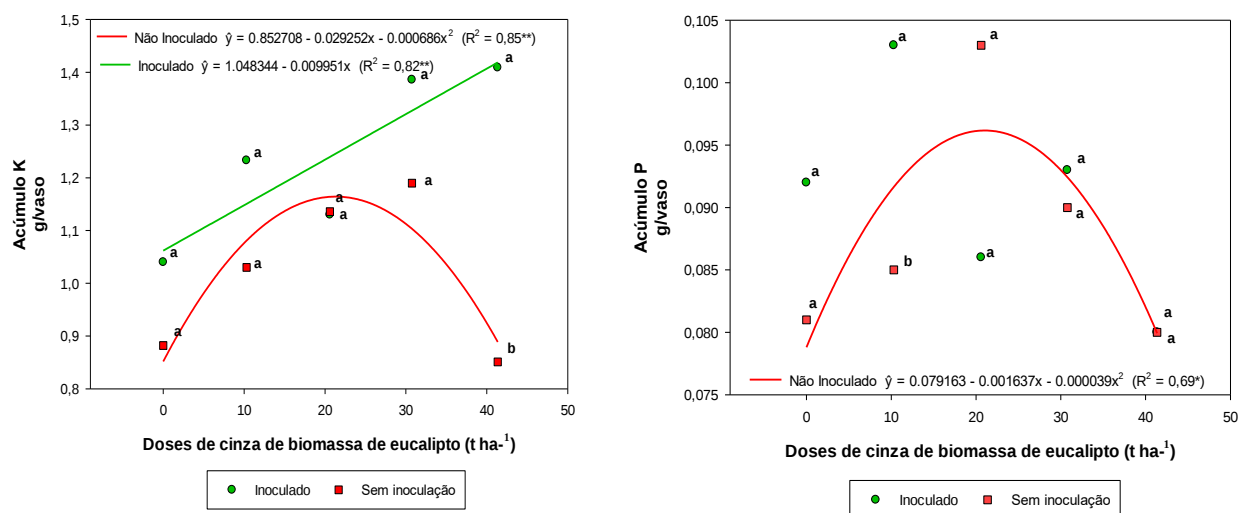


Figura 17. Acúmulos de K e P na parte aérea do capim Massai no primeiro corte realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de *A. brasilense*. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

Muito trabalhos relacionados a adubação nitrogenada utilizando *A. brasilense* (Ab-V5 + Ab-V6) reportaram resultados positivos para o acúmulo de N em plantas da família Poaceae, inclusive observados em capins. Porém, neste estudo não se observou efeito significativo para o capim-massai.

Em relação ao desdobramento doses de cinza, com ou sem de inoculação somente os acúmulos de K e o P foram estatisticamente significativos para regressão neste primeiro corte (Figura 17). Com modelo de regressão linear crescente (p<0,01) para o uso da calagem em conjunto com as cinzas e ajuste quadrático (p<0,01) com ponto de máxima na dose de 21,3 t ha⁻¹ quando as doses de cinza foram aplicadas isoladas.

A dose mais alta de cinza (41,35 t ha⁻¹) promoveu um acúmulo de 1,476 g de K por vaso, gerando incremento de 0,625 g kg⁻¹ (73%) em relação a mesma dose aplicada sem a inoculação com *A. brasilense*. Tanto a calagem como a inoculação com a bactéria influenciaram positivamente, com maior acúmulo de K obtido com a maior dose de cinza para o primeiro corte do capim Massai (Figura 17).

O acúmulo de P na parte aérea do capim Massai quando não utilizado a inoculação em conjunto com as doses de cinza foi ajustados significativamente para regressão, com modelo quadrático a ($p < 0,05$), com ponto de máxima estimado em $21,0 \text{ t ha}^{-1}$, bem próximo ao ponto de máxima do K (Figura 17). Esses resultados reforçam que a cinza isolada tem a capacidade de incrementar o P e K na planta, já no primeiro corte quando usada com critérios.

Tabela 15. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente aos acúmulos de P e K da parte aérea capim Massai no primeiro corte. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Acúmulo P parte aérea (g por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	0,087aA	0,078aB
Sem	0,094aA	0,097aA
DMS (5%)	0,010	
Calagem	Acúmulo K parte aérea (g por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	1,34aA	0,964bA
Sem	1,18aA	1,06aA
DMS (5%)	0,165	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

Para o acúmulo de P nesta interação entre calagem x inoculação com *A. brasilense* no primeiro corte, evidencia-se alterações nítidas pela aplicação do calcário. Os acúmulos de P na planta diminuíram em pequenas quantidades no estudo nos tratamentos que receberam a calagem nesta interação (Tabela 15), gerando resultados contraditórios, pois como houve aumento do P lábil no solo com a calagem (Tabela 6), era de se esperar acréscimo no acúmulo de P na planta, porém a análise do solo foi somente realizada no final do experimento, portanto não se sabe os teores de nutrientes desse solo quanto ao primeiro corte. Sendo a testemunha superior ao uso da calagem isolado em 24,3% no acúmulo de P. Andreotti (2016) verificou interação significativa entre capim Paiaguás x inoculação com *A. brasilense* para o acúmulo de P, sendo que a inoculação com *A. brasilense* aumentou o acúmulo do nutriente na forrageira

O *A. brasilense* contribuiu para um pequeno acréscimo neste primeiro corte no acúmulo de P no capim Massai. A tendência foi diminuir o acúmulo do P com aplicação da calagem, porém quando utilizado a bactéria junto a calagem, houve acréscimo de 11,5% no acúmulo de P em relação aos tratamentos que receberam a calagem e não foram inoculados com *A. brasilense* (Tabela 15). Mesmo com esse acréscimo não sendo significativo estatisticamente, fica clara a pequena contribuição no desenvolvimento inicial da forrageira gerado pela inoculação.

Algumas bactérias promotoras de crescimento em plantas são capazes de solubilizar fósforo mineral insolúvel pela liberação de fosfatases para liberar o fósforo orgânico ou produzir ácidos orgânicos para libertar fósforo inorgânico (FREITAS *et al.*, 2019). Sendo possível a quebra das ligações que ocorrem entre o P e determinados íons presentes no solo como Fe, Ca, Al, Cu, Mn e Zn.

Com relação aos acúmulos de N, Ca, Mg e S não houve nenhum efeito quanto a inoculação isolada ou interação com os outros fatores utilizados no estudo.

De forma isolada no estudo, a interação calagem x inoculação promoveu ganhos no acúmulo de K em 22%, acúmulo ainda mais intensificado quando utilizada calagem junto a inoculação gerando 34% quando comparado a testemunha com ausência de calagem e sem inoculação (Tabela 15).

O estudo entre os fatores calagem x inoculação em relação ao acúmulo de macronutrientes demonstra que a inoculação nitidamente foi capaz de promover resultados positivos para o acúmulo de K no capim Massai neste primeiro corte, gerando resultados significativos tanto de forma isolada (Tabela 14), quanto para interação da bactéria com aplicação de calcário (Tabela 15).

4.3.2 Acúmulo de micronutrientes no primeiro corte do capim-Massai

Fica claro que com o uso da calagem foi gerada uma série de mudanças nos atributos químicos do solo como aumento do pH, V% e menores teores de micronutrientes como Cu, Fe e Mn do solo (Tabela 6), sendo observado este mesmo efeito no acúmulo destes micronutrientes na parte aérea, com exceção do zinco, observa-se que com calagem os teores de Zn aumentaram no solo, porém na parte aérea o efeito foi contrário, com diminuição no acúmulo deste micronutriente (Tabela 16).

Verificou-se anteriormente que a cinza foi capaz de aumentar os teores de Mn no solo, mesmo com acréscimo do pH devido a ação da cinza. De acordo com a Tabela 16, o acúmulo de micronutrientes na parte aérea da forrageira teve acréscimos em qualquer dose de cinza utilizada quando comparado a testemunha.

Um caso ao menos curioso visto que a cinza em sua composição (Tabela 4), contém 1,31 mg kg⁻¹ de Mn, enquanto que para o Zn os teores são de 22,45 mg kg⁻¹ de cinza, cerca de 713% a mais de Zn na cinza em relação ao Mn. Ao analisar o acúmulo do Mn, houve acréscimos com o uso da cinza enquanto que este efeito não foi visualizado para o acúmulo de Zn no primeiro corte (Tabela 16). Segundo Piva (2014) não foi constatado nenhum modelo de

regressão para micronutrientes ao utilizar doses de cinza de biomassa vegetal em vinhedo, apesar de não significativo, este reportou redução dos teores de conforme incremento das doses de cinza.

Tabela 16. Acúmulos de micronutrientes na parte aérea do capim Massai no primeiro corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação *Azospirillum brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn
mg por vaso				
Calagem				
Sem	0,461a	5,46a	8,00a	1,120a
Com	0,403b	4,21b	5,61b	0,860b
D.M.S (5%)	0,043	0,466	0,77	0,127
<i>Azospirillum brasilense</i>				
Sem	0,452a	5,01a	6,81a	0,980a
Inoculado	0,410a	4,65a	6,80a	1,002a
D.M.S (5%)	0,043	0,468	0,777	0,127
Média Geral	0,432	4,84	6,80	0,991
C.V (%)	19,41	18,52	21,73	24,53
Doses de cinza (t ha⁻¹)				
0	0,434	4,61	5,88	1,011
10,30	0,399	5,47	7,61	0,946
20,6	0,453	5,20	6,52	0,996
30,75	0,455	5,03	6,98	0,960
41,35	0,417	3,87	7,02	1,041

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Houve desdobramento entre os fatores doses de cinza x calagem para o acúmulo de Fe neste primeiro corte, gerando uma equação quadrática negativa (p<0,01) na figura 18, em que com o incremento das doses de cinza nos tratamentos que receberam calagem o acúmulo de Fe foi diminuindo a partir da dose de 20,60 t ha⁻¹, podendo ser explicado pelo aumento do pH e dos nutrientes catiônicos incrementados ao solo pelo uso da cinza e da calagem, gerando uma competição entre os nutrientes catiônicos. Entretanto, o uso da cinza isolado não se ajustou a nenhum modelo de regressão para os micronutrientes restantes (Cu, Mn e Zn) nesta interação entre calagem e cinza de biomassa no primeiro corte, não evidenciando prejudicar o acúmulo de micronutrientes dentro do primeiro corte.

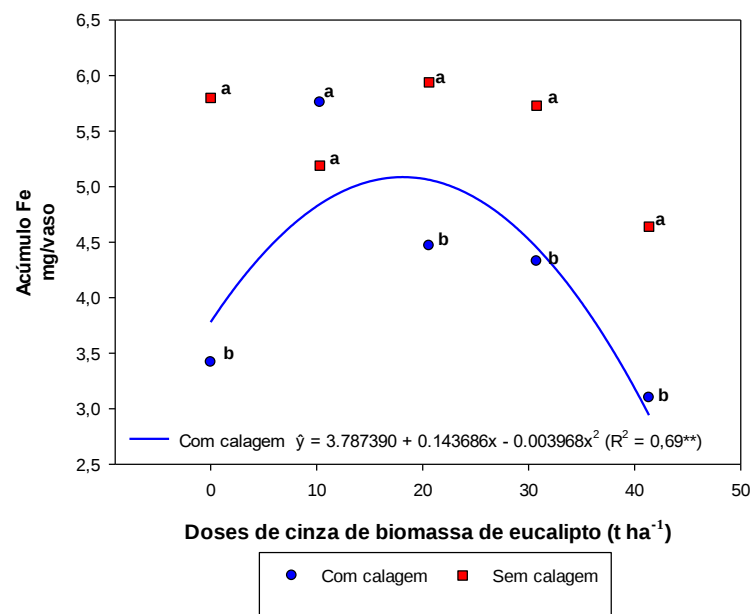


Figura 18. Acúmulo de Fe na parte aérea do capim Massai no primeiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nunes *et al.* (2004) verificaram que o aumento do pH do solo por meio da calagem restringe fortemente o fluxo difusivo de Fe e pode até, juntamente com teores elevados de P disponíveis e de déficits hídricos, causar o aparecimento de sintomas de deficiência de Fe.

Foi verificado nesse primeiro corte que houve interação entre os fatores calagem e inoculação para os acúmulos de Cu, Mn e Zn. No entanto, os dados gerados encontrados nas (Tabela 16) evidenciam que a calagem foi a variável que teve maior influência nos resultados apresentados, sendo evidenciado menor acúmulo no capim Massai de Mn e Zn devido ao uso da calagem, cuja dose aplicada visava atingir $V\% = 70$. Apesar desse mero decréscimo todos os teores de micronutrientes foliar se encontram dentro da faixa ideal (WERNER *et al.*, 1997).

Os tratamentos que não receberam a calagem, a inoculação proporcionou redução do acúmulo no teor de Cu de $0,514 \text{ mg kg}^{-1}$ (testemunha) para $0,408 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca, cerca de 26% no acúmulo do nutriente. Rosa (2017) ao estudar a acúmulo de micronutrientes em híbridos de milho, verificou que a inoculação com *A. brasilense* não apresentou efeito quanto ao acúmulo de Cu.

Tabela 17. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente aos acúmulos de Cu, Mn e Zn na parte aérea do capim Massai no primeiro corte. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Acúmulo Cu parte aérea (mg por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	0,412aA	0,395aB
Sem	0,408bA	0,514aA
DMS (5%)	0,010	
Calagem	Acúmulo Mn parte aérea (mg por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	5,65aB	5,57aB
Sem	7,87aA	8,12aA
DMS (5%)	1,11	
Calagem	Acúmulo Zn parte aérea (mg por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	5,65aB	5,57aB
Sem	7,87aA	8,12aA
DMS (5%)	2,56	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

4.3.3 Acúmulo de macronutrientes no segundo corte do capim Massai

Como pode-se notar no segundo corte o acúmulo de macronutrientes foi maior quando comparado ao primeiro e terceiro corte, exceto o potássio que o acúmulo foi mais elevado no primeiro corte em 43% (Tabela 14), e o fósforo o qual teve quantidades acumuladas semelhantes em ambos os cortes. O acúmulo de macronutrientes neste segundo aumentou o N (106%), Ca (53%), Mg (64%) e S (69%) em relação ao primeiro corte (Tabela 18). O capim Massai durante seu segundo ciclo quando cultivado em vasos, foi mais eficiente na absorção na maioria dos macronutrientes. Sendo que todos os teores foliares de macronutrientes neste segundo corte ficaram dentro da faixa adequada para as gramíneas do tipo *Panicum* (WENER *et al.*, 1997).

Assim como em todos os cortes o K gerou um gráfico linear positivo conforme incremento de doses a ($p < 0,01$) determinando que a cinza de biomassa de eucalipto gera incrementos no teor de K do capim Massai quando realizada adubação de semeadura.

Tabela 18. Acúmulos de macronutrientes na parte aérea do capim Massai no segundo corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
-----g por vaso-----						
Calagem						
Sem	1,41a	0,089a	0,476a	0,294a	0,151b	0,107a
Com	1,41a	0,091a	0,510a	0,294a	0,187a	0,108a
D.M.S (5%)	0,121	0,008	0,116	0,031	0,020	0,011
<i>Azospirillum brasilense</i>						
Sem	1,39a	0,087a	0,464b	0,294a	0,1696a	0,105a
Inoculado	1,43a	0,093a	0,526a	0,295a	0,1698a	0,111a
D.M.S (5%)	0,121	0,008	0,116	0,031	0,020	0,011
Média Geral	1,41	0,090	0,493	0,296	0,169	0,108
C.V (%)	16,43	17,39	17,77	20,02	28,88	20,89
Doses de cinza (t ha⁻¹)						
0	1,40	0,092	0,386	0,257	0,146	0,105
10,30	1,47	0,092	0,477	0,289	0,167	0,109
20,60	1,44	0,090	0,526	0,299	0,166	0,109
30,75	1,42	0,095	0,518	0,350	0,198	0,105
41,35	1,30	0,081	0,561	0,286	0,167	0,111

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

A doses de cinza sem interação mostrou resultado significativo para a variável mg (p<0,05), com maior dose 41,35 t/ha⁻¹ gerando um regresso de 15,6% em relação a dose de 30,75 t/ha⁻¹. Porém o Mg sofreu um acréscimo com as dosagens mais baixas nesse segundo corte, fica evidente que o capim Massai obteve contribuição para o acúmulo de Mg neste segundo corte.

Neste segundo corte, o uso da calagem junto as cinzas de eucalipto ajustou-se a um modelo de regressão (p<0,05) para o acúmulo de P, indicando dificuldades na absorção ou translocação para parte aérea do nutriente com o aumento das cinzas nos tratamentos que receberam a calagem (Figura 17). No primeiro corte as doses mais altas de cinza junto a calagem depreciaram o acúmulo deste nutriente no o primeiro ciclo (Figura 15), já no segundo corte qualquer dose de cinza utilizada com a calagem, reduziu o acúmulo de P na parte aérea da planta.

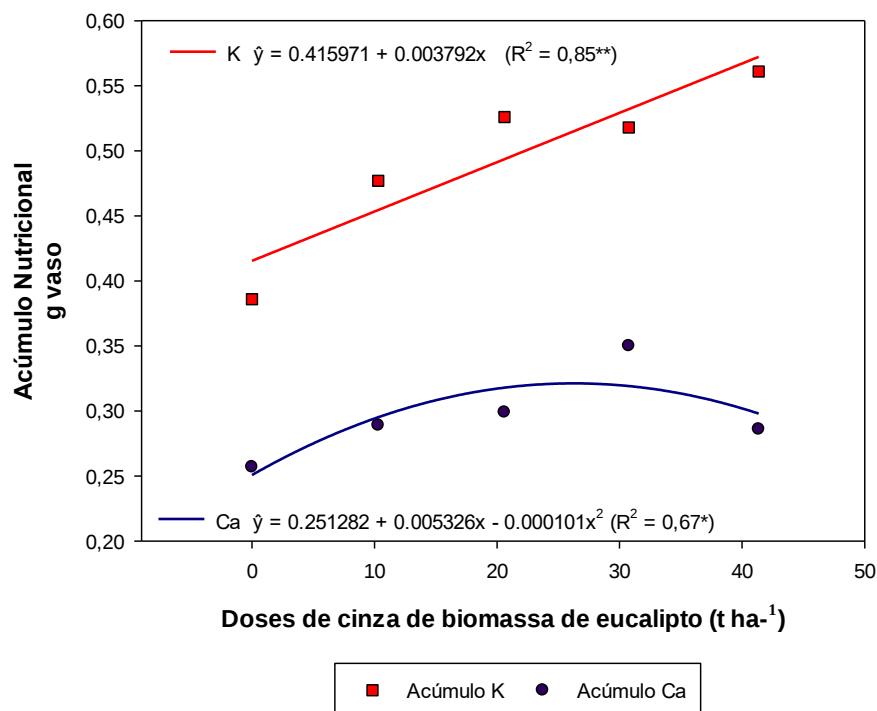


Figura 19. Acúmulos de Mg, P e S na parte aérea do capim Massai no terceiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto sem interação.

Apesar de incrementar o teor de P no solo (Tabela 6), quando se utilizava as doses de cinza de eucalipto com a calagem, não se tem benefícios notáveis no acúmulo de P (Figura 19). A análise da cinza isolada nesta interação não gerou significância para regressão polinomial.

O acúmulo de potássio no segundo corte foi o único que abaixou consideravelmente na planta quando relacionado com acúmulo observado no primeiro corte (Figura 20), mesmo assim a produtividade do capim Massai ainda foi mais elevada no segundo ciclo. Conduzindo experimento de omissão de nutrientes em solução nutritiva com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Monteiro *et al.* (1995) verificaram que a omissão de potássio, quando comparada com o tratamento completo, não resultou em limitações significativas na produção de massa seca e no perfilhamento, porém as concentrações de K na parte aérea ($4,3 \text{ g kg}^{-1}$) e nas raízes ($3,6 \text{ g kg}^{-1}$) foram significativamente inferiores aos encontrados no tratamento completo com K ($28,0$ e $25,0 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente).

A cinza foi eficaz em aumentar a concentração de K na planta, quando utilizada de forma isolada dentro da interação doses de cinza x calagem foi observado juste a um modelo de regressão linear crescente ($p < 0,01$), com acréscimo de 76% quando utilizada em sua maior dose ($41,35 \text{ t ha}^{-1}$) em relação a testemunha (Figura 17). Foi relatado por Silva (2008) que as cinzas de biomassa de eucalipto não aumentou o teor de P na planta quando aplicado com adubação com NPK em plantas de eucalipto.

A calagem junto com as cinzas ajustou-se a uma equação quadrática ($p < 0,01$) com

diferença significativa com a maior dose utilizada, prejudicando o acúmulo do potássio na forrageira, quando aplicado a dose mais alta de cinza junto a calagem (Figura 20).

Moro e Gonçalves (1995) verificaram que o conteúdo de K na parte aérea total de plantas de eucalipto aos 79 meses de idade foi 44,9% e 36,1% maior, respectivamente, nos tratamentos que receberam cinza nas doses 10 e 20 t ha⁻¹ quando comparados à testemunha (solo sem aplicação de adubos ou cinza). Já quando comparados à adubação química (NPK 10:20:10), os aumentos foram de 17,2% e 10,1%, respectivamente, para as duas doses estudadas.

Constatou-se ajuste a equação quadrática para o acúmulo de Ca ($p < 0,05$) quando usado cinza de biomassa e calagem em conjunto, não apresentando diferença significativa em relação ao uso isolado da cinza dentro das respectivas doses. Nos tratamentos que receberam a dose de 30,75 t ha⁻¹, os acúmulos de Ca foram maiores que a média apresentada com o uso da calagem isolada em 36% (Figura 20).

O acúmulo de Mg apesar de ter se ajustado a regressão linear positivo ($p < 0,01$) para as doses de cinza de forma isolada, os acúmulos dessa base trocável foram maiores quando aplicado calagem e as cinzas em conjunto (Figura 20), devido ao considerável teor de Mg no calcário, mesmo assim não resultando em diferença significativa entre as doses de cinza isolada e doses de cinza com calcário. É interessante analisar que neste segundo corte para os tratamentos em geral, houve no acúmulo de Mg na planta.

Resultados estatísticos significativos foram observados com uso de *Azospirillum brasilense* sem interação, no acúmulo de K no segundo corte. Os demais nutrientes não diferiram significativamente com uso da inoculação ou não, entretanto pequenos acréscimos foram notados para N, P, S e Fe (Tabela 18). O acréscimo de K resultante da inoculação foi de 0,062 g kg⁻¹ (10,5%) em relação aos tratamentos que não foi inoculado.

Assim como no primeiro corte a utilização da calagem junto a inoculação aumentou o acúmulo de potássio, essa interação positiva entre a calagem e o *Azospirillum brasilense* gerou 37% no incremento de K acumulado em relação ao tratamento que recebeu a calagem isolada (Tabela 19).

Mais uma vez o acúmulo de P teve pequeno acréscimo, não gerando diferença significativa nos tratamentos que receberam a calagem junto a bactéria (Tabela 19). O calcário junto a bactéria proporcionou aumento de 9% no acúmulo de P em relação aos tratamentos que receberam calagem sem a inoculação.

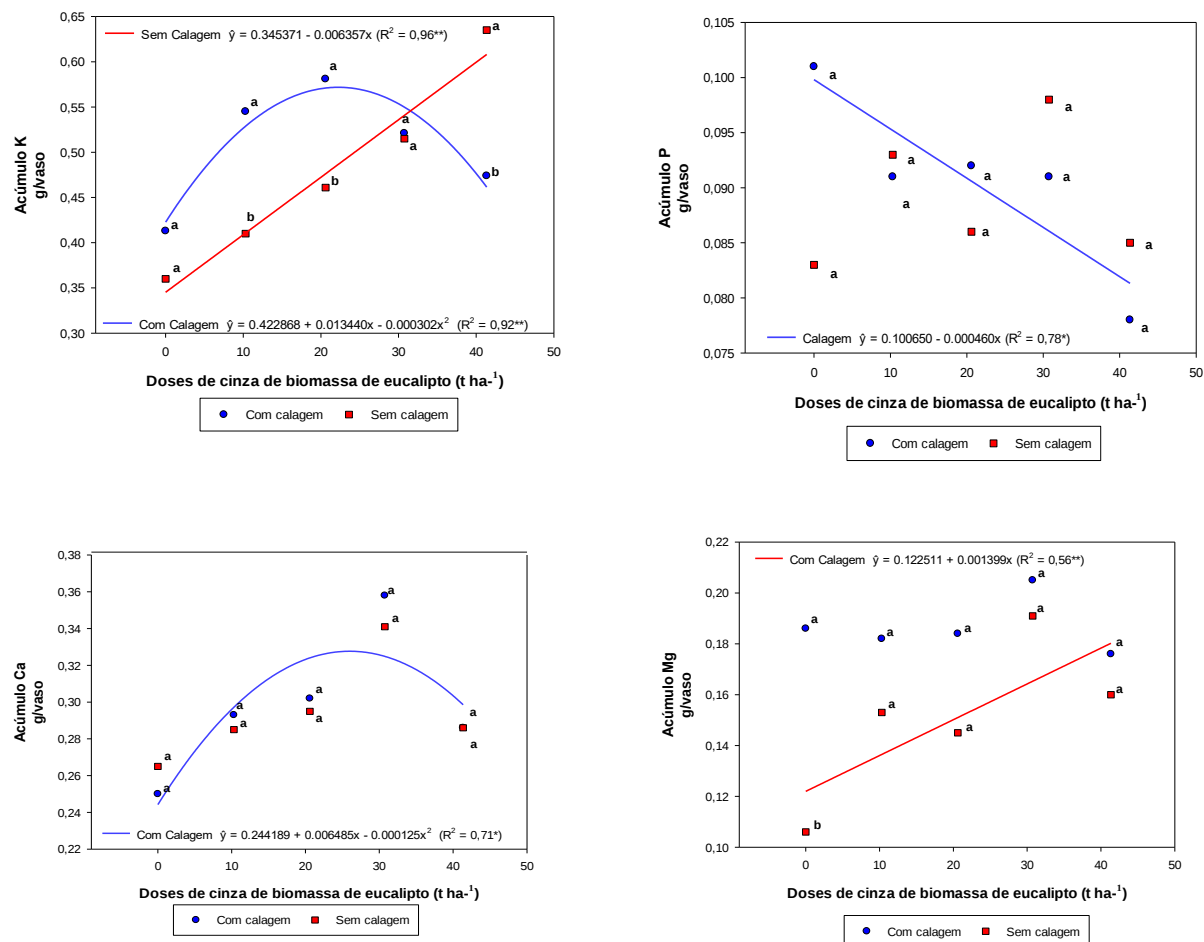


Figura 20. Acúmulos de K, P, Ca e Mg na parte aérea do capim Massai no segundo corte realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A interação entre as variáveis calagem e inoculação para o acúmulo de Mg foi altamente incrementado pela calagem, diferenciando-se do primeiro corte, o qual não foi gerado efeito significativo para o nutriente. Nota-se que a calagem foi o único fator que propiciou diferença significativa nesta interação, a inoculação não gerou resultados estatísticos significativos (Tabela 19).

Os tratamentos que receberam a cinza e não foram inoculados com *A. brasilense* ajustou-se a função linear crescente ($p < 0,01$) para o acúmulo de K, assim como quando aplicado doses de cinza junto a inoculação com efeito linear crescente ($p < 0,01$), portanto tanto a cinza quanto a inoculação propiciaram maiores acúmulos de K na forrageira nesse segundo corte. Ressalta-se que para o uso das cinzas junto a inoculação que apesar de diferença significativa apenas na dose de 20,60 t ha⁻¹, a bactéria sempre incrementou o acúmulo de K no segundo corte (Figura 21).

Tabela 19. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente aos acúmulos de K ,P e Mg da parte aérea capim Massai no segundo corte. Ilha Solteira – SP.

Acúmulo K parte aérea (g por vaso)		
Calagem	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	0,602aA	0,440bA
Sem	0,461aB	0,491aA
DMS (5%)	0,067	
Acúmulo P parte aérea (g por vaso)		
Calagem	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	0,096aA	0,088aA
Sem	0,092aA	0,086aA
DMS (5%)	0,011	
Acúmulo Mg parte aérea (g por vaso)		
Calagem	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	0,190aA	0,184aA
Sem	0,149aB	0,153aB
DMS (5%)	0,030	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

Os tratamentos que receberam a cinza e não foram inoculados com *A. brasilense* ajustou-se a função linear crescente ($p < 0,01$) para o acúmulo de K, assim como quando aplicado doses de cinza junto a inoculação com efeito linear crescente ($p < 0,01$), portanto tanto a cinza quanto a inoculação propiciaram maiores acúmulos de K na forrageira nesse segundo corte. Ressalta-se que para o uso das cinzas junto a inoculação que apesar de diferença significativa apenas na dose de $20,60 \text{ t ha}^{-1}$, a bactéria sempre incrementou o acúmulo de K no segundo corte (Figura 21).

Segundo Souza (2014), o aumento da produtividade devido à inoculação com *Azospirillum* nos ensaios conduzidos no Brasil é correlacionado não só com o aumento na absorção de N, mas também com de outros nutrientes, como o P e K, fato também relatado em outros países (BASHAN; HOLGUIN, 1997; STEENHOUDT; VANDERLEYDEN, 2000).

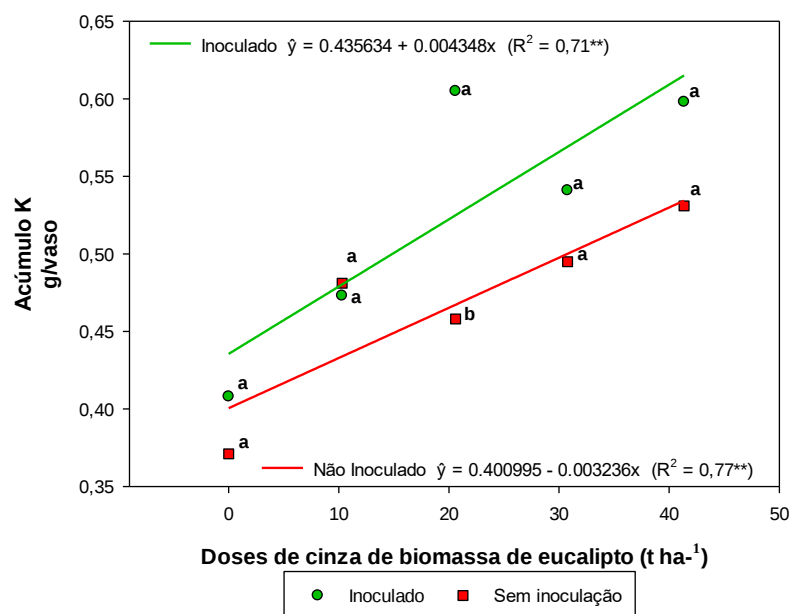


Figura 21. Acúmulo de K na parte aérea do capim Massai no segundo corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de *A. brasilense*. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3.4 Acúmulo de micronutrientes no segundo corte do capim-Massai

No estudo sem interação relacionado ao acúmulo de micronutrientes no segundo corte (Tabela 20), o uso da calagem interferiu significativamente somente para o acúmulo de Mn, o qual decaiu em $1,05 \text{ mg dm}^{-3}$ (16,35%) em relação aos tratamentos que não receberam a calagem. Apesar da calagem diminuir o acúmulo de micronutrientes no primeiro corte, neste segundo corte apenas reduziu o Mn.

A inoculação aumentou o acúmulo de zinco na parte aérea de $0,17 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca correspondendo a 10,4% de diferença comparado aos tratamentos que não inoculados com a bactéria. Enquanto que o acúmulo de Fe o acréscimo foi de $0,770 \text{ mg kg}^{-1}$ (13,7%). (Tabela 20). Com resultados distintos Rosa (2017) evidenciou que a inoculação diminuiu a concentração de Zn foliar em híbridos de milho, o autor atribui os resultados devido a inibição competitiva com Cu.

Um dado que não pode passar despercebido foi que a maior dose de cinza proporcionou acúmulos de micronutrientes muito próximos aos da testemunha e na maioria dos casos teve menores acúmulos de micronutrientes na parte aérea do capim Massai quando comparado as demais doses, mesmo não havendo efeito significativo para a regressão, isso implica na ideia de que a cinza pode interferir de maneira negativa no acúmulo de micronutrientes catiônicos quando aplicada em doses altas, pois sucessivamente constatou-se menor acúmulo a dose de $41,35 \text{ t ha}^{-1}$ de cinza.

O acúmulo de Zn foi o nutriente em maior concentração na cinza utilizada no experimento, com o uso das doses de cinza não se evidenciou nenhum efeito de acréscimo em seu acúmulo na planta, pelo contrário, a média da testemunha se apresentou superior a todas médias geradas pelas cinzas. Isso se deve ao alto pH e precipitação junto ao fosfato, que reduzem a disponibilidade no solo para absorção pelas plantas.

Tabela 20. Acúmulos de micronutrientes na parte aérea do capim Massai no segundo corte realizado em função da calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn
mg por vaso				
Calagem				
Sem	0,874a	5,78a	7,49a	1,70a
Com	0,814a	6,12a	6,44b	1,72a
D.M.S (5%)	0,077	0,600	0,806	0,14
<i>Azospirillum brasilense</i>				
Sem	0,856a	5,59b	6,88a	1,63b
Inoculado	0,830a	6,36a	7,06a	1,80a
D.M.S (5%)	0,077	0,601	0,808	0,14
Média Geral	0,844	5,95	6,96	1,71
C.V (%)	17,52	19,30	22,15	16,72
Doses de cinza (t ha⁻¹)				
0	0,803	5,68	6,86	1,83
10,30	0,830	5,52	6,78	1,68
20,6	0,878	6,26	7,40	1,76
30,75	0,935	6,64	7,42	1,67
41,35	0,765	5,58	6,26	1,59

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Para o acúmulo de Zn, no desdobramento dentro da interação doses de cinza x inoculação obteve-se ajuste linear negativo (p<0,05) para doses de cinza e a ausência da inoculação (Figura 22). Contudo, a inoculação neste segundo corte foi eficiente em incrementar o acúmulo de Zn na planta.

Vale ressaltar que no estudo de regressão entre doses de cinza e inoculação, na dose de 20,60 t ha⁻¹ com inoculação, verificou-se o maior acúmulo de Zn neste segundo corte, dose que garantiu junto a inoculação também os maiores acúmulos de K neste segundo corte (Figura 21).

Como relatado após estudo dos fatores sem interação, a absorção de zinco pelas plantas parece ter sido prejudicado com o uso das cinzas, mesmo as doses de 30,75 e 41,35 t h⁻¹ que atingiram os maiores acréscimos no teor de Zn no solo ao final do experimento (Tabela 6), cerca de 34% em relação a testemunha quando avaliado efeito sem interação. Isso implica no entendimento que o Zn que está sendo fornecido pelas cinzas não foi aproveitado pelo capim Massai até este segundo corte.

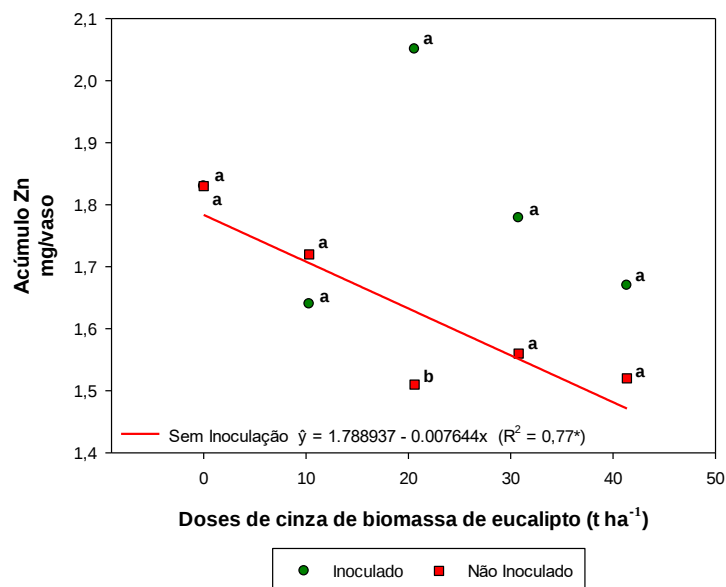


Figura 22. Acúmulo de Zn na parte aérea do capim Massai no segundo corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3.5 Acúmulo de macronutrientes no terceiro corte do capim-Massai

Comparando os dados do terceiro corte com os dois primeiros cortes da forrageira, constata-se que os acúmulos de macronutrientes foram menores, lembrando que a adubação com superfosfato simples e cloreto de potássio foram realizadas somente na ocasião de semeadura, totalizando 136 dias antes desse último corte. Próximo ao final do mês de março antes do segundo corte, houve uma produção mínima de sementes pelo capim Massai. No terceiro corte a produção de semente foi maior, alto nível de senescência foi notado, gerando menores índices de matéria seca ao se comparar com 1º e 2º corte, o que pode ser explicado pelos baixos acúmulos de nutrientes na forrageira devido ao período de florescimento. Muitas sementes não foram coletados para análise nutricional devido ao secamento e queda destes componentes ao longo do terceiro corte.

Na análise dos fatores sem interação, os tratamentos que receberam a calagem propiciaram maiores acúmulos de K e Mg. A calagem foi responsável por aumentar os teores de Mg tanto no segundo quanto no terceiro corte, dentro do primeiro corte a calagem não resultou efeito sobre o acúmulo destas bases trocáveis.

Tabela 21. Acúmulos de macronutrientes na parte aérea do capim Massai no terceiro corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
-----g por vaso-----						
Calagem						
Sem	0,351a	0,040a	0,156b	0,200a	0,107b	0,049a
Com	0,345a	0,041a	0,181a	0,212a	0,127a	0,053a
D.M.S (5%)	0,03	0,004	0,020	0,011	0,020	0,004
<i>Azospirillum brasilense</i>						
Sem	0,357a	0,041a	0,155b	0,113a	0,113a	0,055a
Inoculado	0,337a	0,039a	0,184a	0,122a	0,122a	0,047b
D.M.S (5%)	0,03	0,004	0,020	0,011	0,020	0,004
Média Geral	0,348	0,04	0,168	0,117	0,117	0,108
C.V (%)	18,28	21,96	23,24	19,34	19,34	20,89
Doses de cinza (t ha⁻¹)						
0	0,325	0,038	0,140	0,195	0,099	0,044
10,30	0,358	0,043	0,164	0,215	0,124	0,056
20,6	0,340	0,045	0,184	0,209	0,120	0,053
30,75	0,368	0,038	0,163	0,210	0,124	0,050
41,35	0,350	0,036	0,191	0,204	0,120	0,052

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

A análise isolada das doses de cinza não interferiu nos acúmulos de N, K e Ca neste terceiro corte em relação aos demais macronutrientes, os quais geraram efeito positivo quadrático a $p < (0,05)$ para os acúmulos de P, Mg e S, enquanto que para o acúmulo de potássio houve ajuste a uma equação linear crescente $p < (0,01)$ (Figura 23). Nota-se que neste terceiro corte não há necessidade de altas doses de cinza, pois as dosagens inferiores garantiram aumento no acúmulo de nutrientes (Tabela 21), obviamente com algumas diferenças nos acúmulos de alguns nutrientes, mais de forma geral as doses menores foram eficientes. Somente o potássio se comportou de maneira diferente sendo obtido o maior acúmulo de K com uso da maior dose de cinza (Tabela 21).

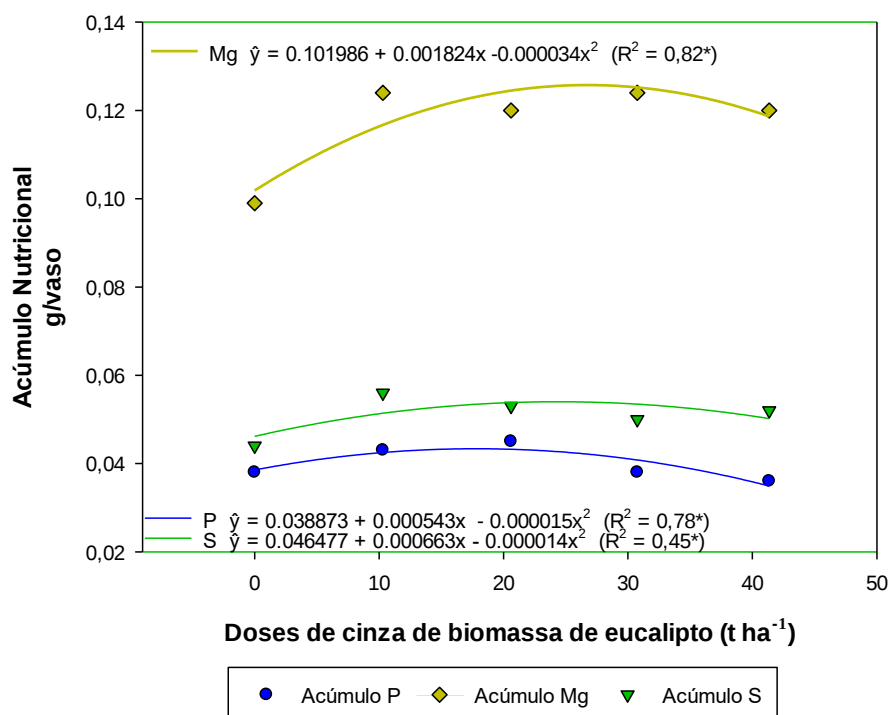


Figura 23. Acúmulos de Mg, P e S na parte aérea do capim Massai no terceiro, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto sem interação.

O aumento das doses de cinza de eucalipto promoveu resultados relevantes dentro deste terceiro corte, a interação entre os fatores doses de cinza e calagem ajustou-se a regressão linear para os acúmulos de Mg ($p < 0,05$) e para o K ($p < 0,01$), ambos equivalente ao uso da cinza sem interação. Os demais nutrientes não apresentaram diferença significativa para o estudo de regressão entre os fatores doses de cinza e calagem (Figura 24).

A cinza de biomassa de eucalipto sem interação, sem dúvida contribuiu para aumentar os teores de K tanto no solo quanto na planta, apesar disso devido ao baixo teor do nutriente na cinza (2,42 mg kg⁻¹), as maiores doses de cinza no geral 41,35 t ha⁻¹ propiciaram as maiores médias tanto no solo quanto no acúmulo de K no capim Massai no segundo e terceiro cortes. Enquanto, no primeiro corte a maior dose de cinza isolada diminuiu o acúmulo de K no capim Massai.

Gonçalves e Moro (1995) verificaram que o conteúdo de K na parte aérea total de eucalipto aos 79 meses, foi 44,9 e 36,1% maior, respectivamente, nos tratamentos que receberam cinza nas doses 10 e 20 t ha⁻¹ quando comparados à testemunha (solo sem aplicação de adubos ou cinza). Porém, quando comparados à adubação química (NPK 10:20:10), os aumentos foram de 17,2% e 10,1%, respectivamente, para as duas doses estudadas.

Neste terceiro corte a calagem utilizada junto as doses de cinza não se ajustaram a nenhum modelo de regressão para o acúmulo de K, contudo propiciaram médias muitos

próximas ao uso da cinza isolada, com diferença significativa somente na dose de 10,30 t ha⁻¹.

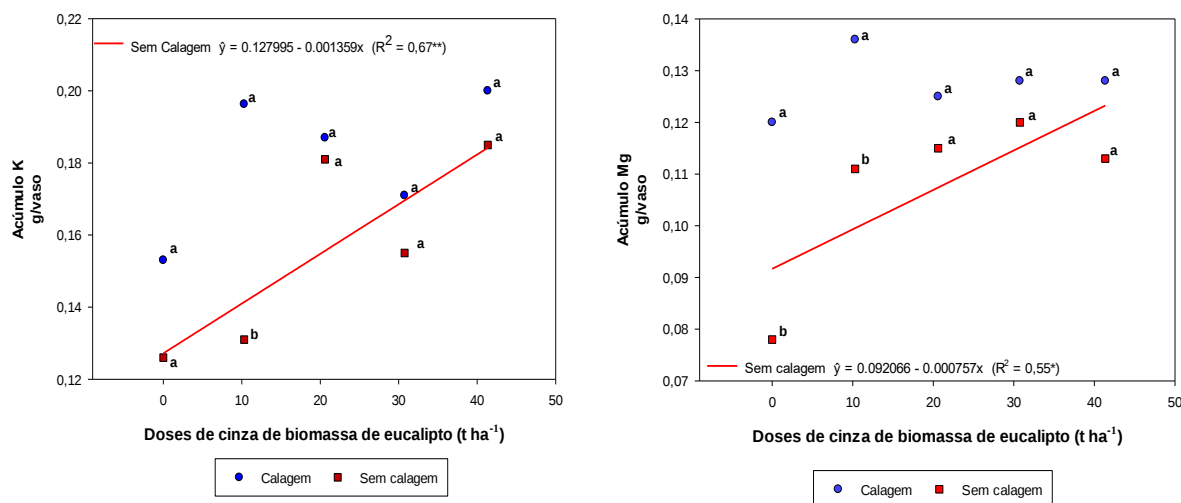


Figura 24. Acúmulos de K e Mg na parte aérea do capim Massai no terceiro corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O teor de Mg na cinza foram de 3,04 mg kg⁻¹ teores considerados baixos, entretanto a partir do segundo corte a cinza utilizada de forma isolada propiciou ajustes lineares positivos com aumento no teor de Mg, conforme o aumento das doses de cinza (Figuras 23 e 24).

A partir da dose de 20,60 t ha⁻¹ de cinza isolada, o acúmulo do Mg se mantém com pouca diferença em relação a calagem isolada (Figura 24) e se iguala estatisticamente aos tratamentos que receberam doses maiores de cinza junto a calagem.

Silva *et al.* (2009) não identificaram alterações no teor de Mg na planta, 70 dias após aplicação das cinzas em plantas de eucalipto em dois tipos de solo (CAMBISSOLO HÚMICO e NITOSSOLO HÁPLICO) que receberam doses de cinza (0, 3, 6, 12, 18 e 24 t ha⁻¹).

O acúmulo de potássio se comportou da mesma maneira no corte anterior em relação a interação entre calagem e inoculação (Tabela 19). Neste terceiro corte o destaque também foi a aplicação de calcário associado a inoculação, com superiores acúmulos de K na forrageira. A calagem aplicada com a inoculação promoveu 39,8% de acréscimo de K em relação a testemunha e 22,6% em relação aos tratamentos que receberam inoculação sem calagem. Em todos os cortes a inoculação junto a calagem proporcionou os maiores acúmulos de K (Tabela 22).

Foi verificado em todos os cortes efeitos positivos para o acréscimo no acúmulo de K quando inoculado com *A. brasilense*. Isso pode estar relacionado com o pH do solo, pois o aumento do pH do solo favorece a multiplicação desta bactéria, a qual promove maior crescimento radicular facilitando a busca por nutrientes. A acidez do solo é um fator limitante ao desenvolvimento de algumas bactérias, estes organismos crescem em faixas de pH entre 6,0

– 7,0, poucas espécies prosperam em pH menor que 5 (GRAHAM *et al.*, 1994; RODRIGUES *et al.*, 2006; ALI *et al.*, 2009).

Quanto ao acúmulo de Mg observou que no segundo corte a inoculação não gerou efeito significativo para o acúmulo do nutriente (Tabela 22), neste terceiro corte a interação entre os fatores calagem e inoculação apresentou dados um pouco diferentes (Tabela 19). A calagem ainda propiciou superior acréscimo de magnésio na planta, apesar disso, quando não foi utilizado a calagem os tratamentos que foram inoculados tiveram acúmulos de Mg estatisticamente maiores que os tratamentos testemunha (Tabela 22), com a inoculação houve acréscimo de 21,6% no acúmulo de Mg e não se verificou diferença significativa em relação aos tratamentos que receberam a calagem.

Com a presença do calcário certamente se esperava maiores acúmulos de Mg em todos os cortes, porém somente no segundo e terceiro cortes este desfecho esperado foi evidenciado. Rossi verificou que os teores de Mg no tecido do braquiário sofreram decréscimos com sucessivos cortes, atingindo níveis baixo mesmo com aplicação da calagem, porém não houve decréscimo nos cortes iniciais.

A inoculação sem dúvida favoreceu o acúmulo de Mg no capim Massai neste terceiro corte, quando não foi feita a calagem gerando acréscimos no acúmulo do nutriente na forrageira.

Tabela 22. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente aos acúmulos de K e Mg da parte aérea do capim Massai no terceiro corte. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Acúmulo K parte aérea (g por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	0,207aA	0,161bA
Sem	0,164aB	0,148aA
DMS (5%)	0,030	
Calagem	Acúmulo Mg parte aérea (g por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	0,127aA	0,127aA
Sem	0,118aA	0,097bB
DMS (5%)	0,017	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

A interação entre os fatores doses de cinza de eucalipto e inoculação com *A. brasilense* foi significativa para o acúmulo de K, com ajuste a uma regressão linear crescente ($p < 0,01$) quando utilizado as doses de cinza junto a inoculação (Figura 25).

O efeito de doses de cinza junto a inoculação foi superior somente quando utilizada a maior dose ($41,35 \text{ tha}^{-1}$) para o acúmulo do K, quando comparado aos tratamentos que não

receberam a inoculação neste terceiro corte, resultado esse que condiz com essa mesma avaliação realizada no primeiro corte (Figura 17). A inoculação com esta bactéria diazotrófica beneficiou a nutrição com K do capim Massai desde o primeiro corte.

O *Azospirillum brasilense* atua por diferentes mecanismos de promoção de crescimento de plantas. A produção de reguladores vegetais é um dos principais mecanismos, pois altera o crescimento das plantas, modificando a morfologia das raízes e, assim maximizando a exploração do solo (BASHAN; HOLGUIN, 1997; INIGUEZ *et al.*, 2004). Portanto, esta maior exploração do solo pode estar relacionado ao incremento no acúmulo de K visto que apesar de não significativo a matéria seca e o volume de raízes apresentaram pequenos acréscimos com a inoculação. Enquanto que a interação entre as doses de cinza e a inoculação ajustou-se a um modelo linear para as duas variáveis de raízes supracitadas. Logo, o *A. brasilense* interferiu no desenvolvimento radicular da forrageira de maneira positiva, favorecendo diretamente a absorção do K.

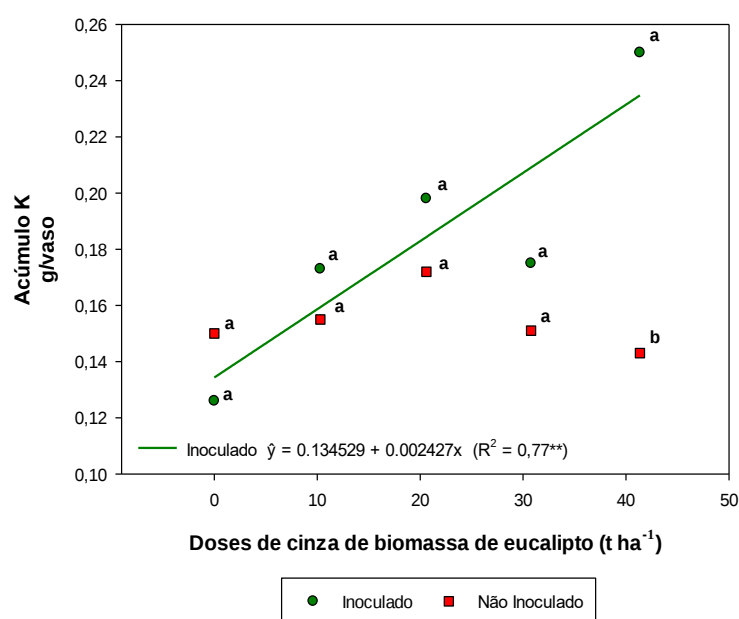


Figura 25. Acúmulo de K na parte aérea do capim Massai no terceiro corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de *A.brasilense*. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3.6 Acúmulo de micronutrientes no terceiro corte do capim Massai

Assim como mencionado para o segundo corte, neste terceiro a aplicação da calagem não apresentou menores acúmulos dos micronutrientes catiônicos, diferentemente do primeiro

corde (Tabela 15) o qual foi relatado redução no acúmulo de todos os micronutrientes com a calagem.

Dos micronutrientes contidos na cinza, o Zn estava em maior teor 22,45 mg kg⁻¹ (Tabela 4). E apesar da cinza mostrar incremento no acúmulo de diversos nutrientes no solo assim como na planta, inclusive de nutrientes esses encontrados em teores muito menores que o Zn na cinza, era de se esperar um acréscimo maior na planta, que apesar de mostrar acréscimo não resultou em efeito significativo para doses de cinza.

Tabela 23. Acúmulos de micronutrientes na parte aérea do capim Massai no terceiro corte realizado em função dos fatores calagem, inoculação *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	Cobre	Fe	Mn	Zn
mg por vaso				
Calagem				
Sem	0,239a	3,56a	3,57a	0,594a
Com	0,228a	2,97b	3,36a	0,604a
D.M.S (5%)	0,036	0,338	0,450	0,070
<i>Azospirillum brasilense</i>				
Sem	0,253a	3,39a	3,79a	0,640a
Inoculado	0,211b	3,12a	3,09b	0,552b
D.M.S (5%)	0,036	0,338	0,451	0,14
Média Geral	0,233	3,26	3,46	0,599
C.V (%)	29,71	19,80	24,85	22,65
Doses de cinza (t ha⁻¹)				
0	0,215	2,79	3,59	0,626
10,30	0,274	3,42	3,47	0,672
20,6	0,268	3,50	3,57	0,581
30,75	0,230	3,31	2,97	0,515
41,35	0,173	3,27	3,72	0,603

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

O Zn contido nas cinzas parece não ter influenciado o acúmulo deste na parte aérea do capim Massai, provavelmente um dos motivos destes resultados seria pela competição catiônica e interação antagônicas entre os nutrientes aplicados no solo via adubação de semeadura como o fosfato. De acordo com Lutz, Genter e Hawkins (1972) e Warnock (1970) a concentração de Zn nas plantas variam conforme o pH do solo e do teor de P no solo e tecido vegetal.

A inoculação neste terceiro corte quando avaliada sem interação promoveu menor acúmulo de cobre, Mn e Zn em relação ao tratamento não inoculado. Em porcentagem os decréscimos gerados pela inoculação no terceiro corte são de 16,6% para o cobre, 18,4% Mn e

18,5% Zn (Tabela 23).

Para o acúmulo de cobre neste terceiro corte, as doses de cinza isoladamente promoveram decréscimo nos teores de cobre no solo (Tabela 6), porém no acúmulo deste micronutriente na parte aérea do capim Massai foi diferente, assim como no segundo corte (Tabela 20), no terceiro corte (Tabela 23) constatou-se que o incremento das doses de cinza isolada aumentou o acúmulo de cobre. Porém, foi observado que a maior dose de cinza 41,35 t ha⁻¹ em ambos os cortes reduziu a quantidade de cobre acumulada, sendo necessário adoção de menores doses para incremento neste acúmulo cúprico.

O cobre encontrado nas cinzas e no solo foram exportados para parte aérea do capim Massai, quando a cinza foi aplicada sem a presença de calagem neste terceiro corte (Figura 23). Lembrando que o cobre foi o segundo micronutriente em maior teor na cinza de biomassa de eucalipto (13,05 mg kg⁻¹ de cobre). Isso explica em partes porque o zinco não aumentou sua quantidade acumulada na planta, estes micronutrientes catiônicos competem por sítios de absorção (transportadores de nutrientes) na planta.

A calagem prejudicou a absorção de cobre quando utilizada junto a cinza de biomassa de eucalipto, pois houve ajuste a um modelo linear decrescente (p<0,05) para o acúmulo de cobre na planta, conforme o aumento das doses de cinza quando utilizada coma a calagem (Figura 26), diminuindo os teores de acúmulo do nutriente quando comparado ao uso isolado da cinza neste terceiro corte. Visto que a maior dose de cinza 41,35 t ha⁻¹ isolada (Figura 26) obteve-se grande redução do acúmulo de cobre no capim Massai.

A maior dose de cinza utilizada neste experimento não foi vantajosa para os acúmulos tanto macronutrientes quanto os micronutrientes.

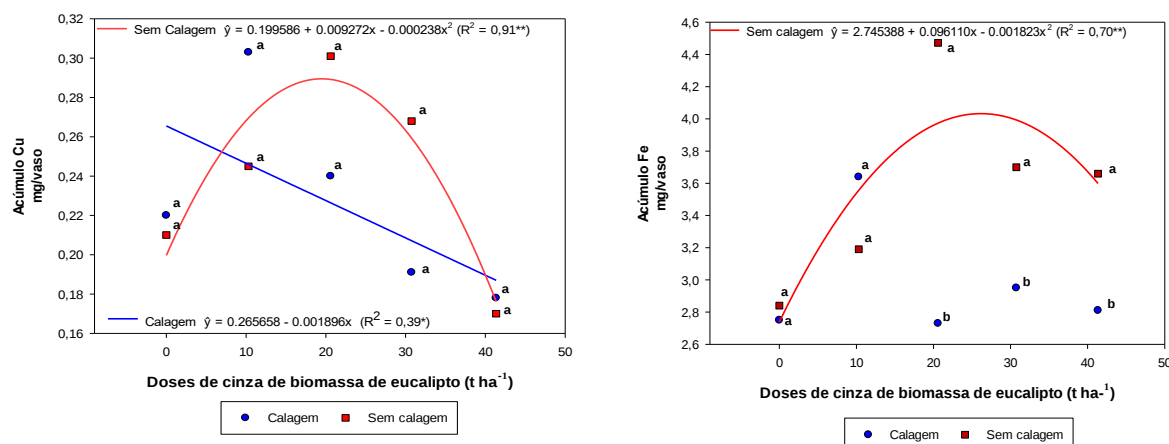


Figura 26. Acúmulos de cobre e Fe na parte aérea do capim Massai no terceiro corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calagem. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

O acúmulo de Fe assim como no primeiro corte (Figura 18), também ajustou-se a uma

equação quadrática ($p < 0,01$) com uso isolado da cinza, com ponto de máxima na dose de 26,6 t ha⁻¹ no terceiro corte, demonstrando que as doses mais altas aplicadas (30,75 e 41,75 t ha⁻¹) reduziram o acúmulo de Fe na parte aérea (Figura 26).

Os baixos teores de Mn na análise realizada na cinza de biomassa de eucalipto (1,31 mg kg⁻¹), explica em partes porque não houve nenhum efeito de doses de cinza nos acúmulos de Mn nos 3 cortes do capim Massai (Tabela 4).

A interação entre os fatores calagem e inoculação também geraram diferenças significativas no acúmulo de três micronutrientes, fato curioso foi que nos cortes anteriores a calagem influenciou negativamente os acúmulos de cobre, Fe, Mn e Zn no primeiro corte e de Mn no segundo corte, na avaliação sem interação entre fatores. Neste terceiro corte, evidencia-se que a calagem reduziu o acúmulo destes micronutrientes, porém somente quando associado a inoculação (Tabela 24). Os tratamentos que receberam a inoculação com a calagem apresentaram as menores médias em relação aos demais tratamentos. Por algum fator a calagem junto com a inoculação prejudicou acúmulo dos micronutrientes neste terceiro corte, podendo ser o efeito benéfico (maior absorção) propiciado pelo *A. brasilense* na forrageira nos ciclos ou cortes anteriores. Vale destacar que, a calagem não mostrou reduzir o acúmulo de micronutrientes quando avaliado seu efeito sem interação no terceiro corte (Tabela 23).

Tabela 24. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente aos acúmulos de cobre, Fe e Mn na parte aérea do capim Massai no terceiro corte. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Acúmulo de cobre parte aérea (mg por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	0,178bB	0,267aA
Sem	0,239aA	0,238aA
DMS (5%)	0,035	
Calagem	Acúmulo de Fe parte aérea (mg por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	2,52bB	3,31aA
Sem	3,64aA	3,48aA
DMS (5%)	0,48	
Calagem	Acúmulo de Mn parte aérea (mg por vaso)	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	2,49bB	4,06aA
Sem	3,66aA	3,48aA
DMS (5%)	0,66	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

4.4 Avaliações do capim Massai

4.4.1 Altura de planta

De fato, o primeiro e segundo corte propiciaram melhores resultados quanto à altura de plantas. Ao avaliar o acúmulo de nutrientes na parte aérea, o terceiro corte apontou um declínio notório nas quantidades de macro e micronutrientes, além do menor acúmulo de nutrientes, o capim Massai deu início a fase de florescimento no terceiro corte, gerando menos assimilados voltados para o crescimento da planta. Por ser um capim precoce, floresce e produz sementes várias vezes ao ano (EMBRAPA, 2001).

Ao avaliar os fatores isolados (Tabela 25), se constatou com a calagem um pequeno acréscimo na altura no primeiro e segundo corte, porém sem significância, a inoculação não interferiu a altura do capim Massai em nenhum dos três cortes, provavelmente devido a irrigação diária dos vasos.

Tabela 25. Altura do capim Massai dos três cortes realizado em função da calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	1º corte	2º corte	3º corte
Altura de planta (cm)			
Calagem			
Sem	104,1a	100,0a	75,99a
Com	108,2a	104,2a	76,25a
D.M.S (5%)	4,56	4,49	2,95
<i>Azospirillum brasilense</i>			
Sem	106,0a	103,2a	76,0a
Inoculado	106,2a	101,1a	76,2a
D.M.S (5%)	4,56	4,49	2,95
Média Geral	106,1	102,1	76,12
C.V (%)	9,60	9,82	8,67
Doses de cinza (t ha⁻¹)			
0	105,3	99,1	78,4
10,30	103,1	106,5	71,8
20,6	103,8	100,1	77,0
30,75	112,4	105,2	77,25
41,35	106,2	99,75	76,0

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Não foi gerado nenhum modelo de regressão estatístico com as médias obtidas das doses de cinza isolado, quanto uma possível mudança na altura da planta pelo efeito do uso da cinza, isso não foi observado. Bezerra (2013), estudando efeito das cinzas sob diferentes tipos de solo, constatou que a cinza foi capaz de influenciar positivamente na altura do capim Marandu no primeiro corte em ambos solos, este autor evidenciou ainda um decréscimo na altura do capim no terceiro corte, assim como apresentado nesta pesquisa.

Quanto a interação entre calagem e inoculação, constatou-se que somente no primeiro corte a inoculação teve efeito positivo, os tratamentos que não receberam a calagem porém foram inoculados apresentaram um acréscimo de 6,8 cm (6,6%) em média na altura de planta em relação aos tratamentos que não receberam calagem e inoculação (testemunha), sendo essa diferença significativa (Tabela 26). Entretanto, nos cortes posteriores não se observou o mesmo efeito em relação ao primeiro corte.

Tabela 26. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente a altura do capim Massai no primeiro corte. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Altura de planta (cm) 1º corte	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	107,0aA	105,5aA
Sem	109,4aA	102,6bA
DMS (5%)	6,45	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte : Elaboração próprio autor

Apesar da calagem e das cinzas favorecerem a bactéria pelo efeito da correção da acidez do solo, não houve efeito em conjunto significativo sobre a altura do capim Massai para o primeiro e terceiro cortes. Apenas foi observado um desdobramento relacionado à altura de plantas do capim Massai para o estudo das doses de cinza de eucalipto, no segundo corte, com a inoculação as doses de cinza ajustou-se a equação quadrática ($p < 0,01$), com dose ótima de cinza estimada em 20 t ha^{-1} (Figura 27).

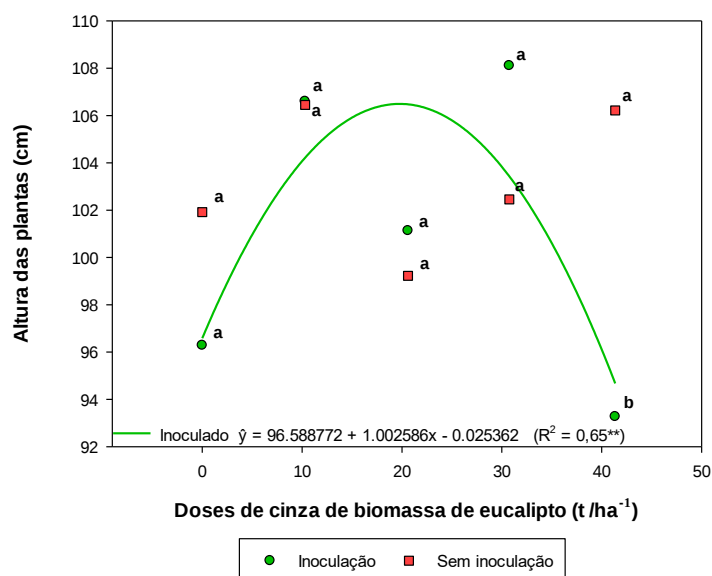


Figura 27. Altura do capim Massai no segundo corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de *A. brasilense*. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A maior dose de cinza ($41,35\text{ t ha}^{-1}$) em conjunto a inoculação prejudicou o crescimento em altura do capim Massai no segundo corte, a maior dose de cinza junto a inoculação gerou um decréscimo de 13 cm (13,8%) em média na altura do capim ao comparar com os tratamentos inoculados que receberam essa dosagem. A inoculação associada as doses de cinza não apresentaram influência na altura do capim Massai.

Magalhães *et al.* (2011b) constataram que com o uso desta bactéria diazotrófica aumentos significativos na altura das pastagens quando comparado aos tratamentos que não receberam a inoculação.

Embora a aplicação da cinza de biomassa de eucalipto tenha proporcionado resultados positivos e significativos quanto as análises nutricionais no experimento, seja no solo ou na parte aérea da planta, a cinza não interferiu significativamente na altura de plantas da forrageira.

4.4.2 Índice de área foliar (IAF)

Apesar do maior acúmulo para maioria dos nutrientes ter se sucedido no segundo corte com ressalva para o P e K (Tabela 18), notou-se que esse maior acúmulo não propiciou maior índice de área foliar quando comparado com o primeiro corte do capim Massai (Tabela 27). Rodrigues *et al.* (2006)¹ observou ajuste com modelo quadrático para as doses de K, com ponto de máxima encontrado em 66 mg kg^{-1} de K para a variável área foliar no capim-xaraés, demonstrando que o K é de suma importância para o crescimento e desenvolvimento foliar.

Numericamente no terceiro corte do capim Massai verificou-se menores índices de área foliar, o florescimento observado neste último ciclo naturalmente interferiu no desenvolvimento foliar, mostrando médias aquém quando comparadas aos cortes antecedentes (Tabela 26).

Não houve efeito significativo para a calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de biomassa de eucalipto isoladamente no IAF no capim Massai (Tabela 27). Entretanto, no segundo corte apesar de nenhum modelo de regressão ter sido ajustado as cinzas se observou um pequeno incremento no IAF (Tabela 27). Piva *et al.* (2013) constataram incrementos nos índices de área de área foliar da videira com o uso das cinzas de biomassa vegetal nas doses de 750 – 1500 g planta.

Conforme estudo realizado por Dias *et al.* (2019), a inoculação com *A. brasilense* no capim Xaraés junto a adubação nitrogenada de cobertura pode ser uma ser uma alternativa promissora, pois segundo os autores o uso em conjunto desses fatores propicia melhores resultados para o aproveitamento do N quando comparados ação isolada de cada fator em relação ao IAF, gerando melhorias no aproveitamento de N que esta ligado a síntese da

enzima ribulose-1,5bifosfato carboxilase oxigenase, que está envolvida na assimilação do carbono e, por sua vez, resulta em maior comprimento e maior área foliar.

A interação entre doses de cinza e inoculação no segundo corte ajustou-se a uma equação de regressão linear crescente ($p < 0,05$) para o efeito isolado da cinza de biomassa de eucalipto no IAF (Figura 28). Contudo, com a inoculação com a bactéria não houve ajuste para doses de cinza de eucalipto.

Tabela 27. Índice de área foliar do capim Massai dos três cortes realizado em função da calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	1º corte	2º corte	3º corte
Índice de área foliar			
Calagem			
Sem	98,2a	70,91a	41,7a
Com	95,5a	74,70a	42,8a
D.M.S (5%)	4,78	5,43	2,93
<i>Azospirillum brasilense</i>			
Sem	98,9a	71,9a	43,0a
Inoculado	94,9a	73,7a	41,5a
D.M.S (5%)	4,78	5,43	2,93
Média Geral	96,9	72,8	42,2
C.V (%)	11,0	16,6	15,5
Doses de cinza (t ha⁻¹)			
0	95,9	66,4	41,8
10,30	100,6	75,9	41,4
20,6	94,9	71,4	42,1
30,75	98,2	72,8	42,5
41,35	94,8	77,3	43,5

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

A Figura 28 demonstra que a maior dose de cinza de biomassa de eucalipto 41,35 t ha⁻¹ de maneira isolada foi superior estatisticamente neste segundo corte para o IAF quando comparada com a mesma dose inoculada, diminuindo assim o IAF em 19,9% com inoculação. Esse mesmo efeito foi notado para variável altura de plantas dentro do segundo corte, diminuindo em 13,8% a altura de plantas com uso da maior dose de cinza junto a inoculação ao comparar com efeito da mesma dose de cinza isolada (Figura 27). Gerando efeitos negativos a maior dose de cinza, com a inoculação no IAF, portanto doses menores de cinza com inoculação apresentaram melhores resultados para o IAF e altura de planta.

O maior IAF foi observado em capim Ipyporã com fertilização nitrogenada mineral mais inoculação *A. brasilense*, segundo Bourscheidt (2015), obtendo resultados superiores a inoculação ou a adubação nitrogenada isolada, 80 kg ha⁻¹ de N dividida em 2 etapas, foi a dose adotada para todos os tratamentos que receberam o nutriente via adubação.

A interação da calagem com as cinzas não resultou em nenhum ajuste de regressão para

o IAF em nenhum dos cortes da forrageira.

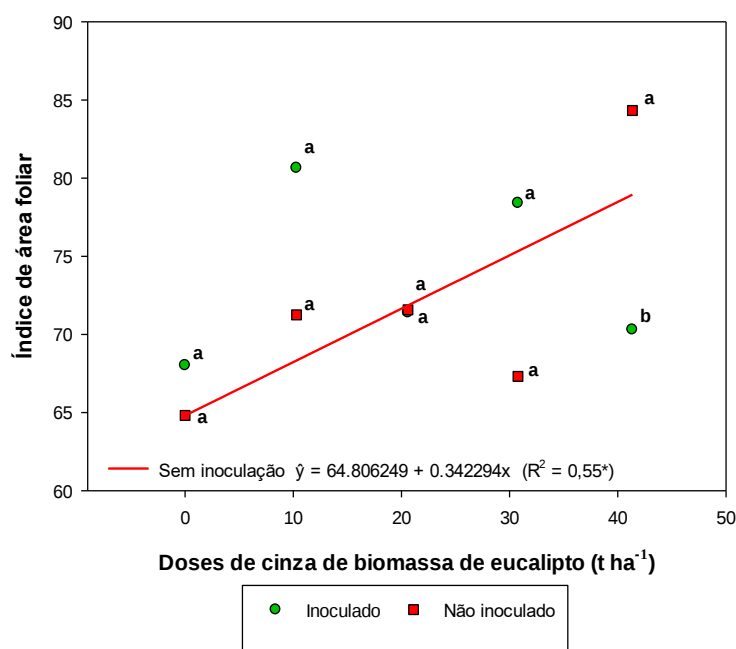


Figura 28. Índice de área foliar do capim Massai no segundo corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de *A. brasilense*. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A Figura 28 demonstra que a maior dose de cinza de biomassa de eucalipto 41,35 t ha⁻¹ de maneira isolada foi superior estatisticamente neste segundo corte para o IAF quando comparada com a mesma dose inoculada, diminuindo assim o IAF em 19,9% com inoculação. Esse mesmo efeito foi notado para variável altura de plantas dentro do segundo corte, diminuindo em 13,8% a altura de plantas com uso da maior dose de cinza junto a inoculação ao comparar com efeito da mesma dose de cinza isolada (Figura 27). Gerando efeitos negativos a maior dose de cinza, com a inoculação no IAF, portanto doses menores de cinza com inoculação apresentaram melhores resultados para o IAF e altura de planta.

O maior IAF foi observado em capim Ipyporã com fertilização nitrogenada mineral mais inoculação *A. brasilense*, segundo Bourscheidt (2015), obtendo resultados superiores a inoculação ou a adubação nitrogenada isolada, 80 kg ha⁻¹ de N dividida em 2 etapas, foi a dose adotada para todos os tratamentos que receberam o nutriente via adubação.

A interação da calagem com as cinzas não resultou em nenhum ajuste de regressão para o IAF em nenhum dos cortes da forrageira.

4.4.3 Índice de clorofila foliar (ICF)

As análises referentes aos acúmulos de nutrientes na parte aérea da forrageira

demonstram que o N e Mg foram acumulados em maior quantidade no segundo corte quando comparados com demais cortes (Tabela 18), isso explica porque os maiores ICF foram notados no segundo corte (Tabela 28), pois esses nutrientes minerais fazem parte do pigmento clorofila (LIMA *et al.*, 2001). Folhas bem nutridas em nitrogênio tem maior capacidade de assimilar CO₂ e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese (FERREIRA *et al.*, 1997). O magnésio é o componente central da molécula da clorofila. Estima-se que de 50 a 70% do nitrogênio total das folhas são integrantes de compostos associados aos cloroplastos (CHAPMAN; BARRETO, 1997). Segundo Torres Netto *et al.* (2005), a determinação indireta do teor de clorofila em folhas pode ser usada como ferramenta para diagnosticar a integridade do aparelho fotossintético. Além disso, a avaliação do ICF tem correlação positiva com a concentração de N foliar na planta, podendo assim, as leituras de ICF ser utilizada como diagnose de N na planta.

Tabela 28. Índice de clorofila foliar (ICF) do capim Massai dos três cortes realizado em função dos fatores calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	1º corte	2º corte	3º corte
ICF			
Calagem			
Sem	29,8a	41,5a	30,05a
Com	29,9a	41,5a	32,80a
D.M.S (5%)	1,49	3,45	2,93
<i>Azospirillum brasilense</i>			
Sem	30,2a	42,30a	30,81a
Inoculado	29,4a	40,75a	32,04a
D.M.S (5%)	1,49	3,45	2,93
Média Geral	29,8	41,53	31,43
C.V (%)	11,1	18,57	15,1
Doses de cinza (t ha⁻¹)			
0	31,21	40,31	28,83
10,30	29,19	45,08	29,60
20,60	27,94	42,57	32,01
30,75	30,07	37,68	32,63
41,35	30,84	41,98	34,06

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Os resultados de ICF da forrageira em estudo foram significativamente afetados pelos fatores calagem x inoculação, somente no terceiro corte, em que a testemunha apresentou resultados inferiores de ICF em relação aos demais tratamentos (Tabela 29). O primeiro e segundo corte não apresentaram interação significativa destes fatores. Demonstrando que no terceiro corte o uso da calagem junto a inoculação propiciaram resultados melhores em relação a testemunha, que também foi adubada com N.

Em estudos realizados por Guimarães *et al.* (2011a) com capim Marandu em função do

efeito da comparação da inoculação de diversos isolados de *Azospirillum brasilense* (AZ02, AZ04, AZ06, AZ13 e AZ18) com a testemunha, reportaram-se índices SPAD superiores a testemunha em até 7%, após 40 dias no primeiro corte.

Tabela 29. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente ao índice de clorofila foliar do capim Massai no terceiro corte. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Índice de clorofila foliar do 3º corte	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	31,94aA	33,67aA
Sem	34,14aA	27,96bB
DMS (5%)	4,17	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

Na interação calagem e doses de cinza no terceiro corte, foi observado incremento significativo com desdobramento para o ICF com aplicação da cinza isolada (Figura 29), esse efeito ajustou-se a um modelo linear ($P < 0,01$), sendo equivalente a aplicação de calcário a partir da dose de aproximadamente $20,65 \text{ t ha}^{-1}$. A maior dose de cinza ($41,35 \text{ t ha}^{-1}$) foi capaz de elevar em 14% o ICF em relação aos tratamentos que receberam calcário isolado.

Bonfim-Silva (2013), estudando efeito das doses de cinza de biomassa vegetal no capim Marandú, evidenciaram aumento no ICF medido de forma indireta com o uso das cinzas, no primeiro e segundo corte da forrageira.

Apesar dos tratamentos que não receberam nenhum tipo de correção (cinza ou calagem) não se diferenciaram estatisticamente no primeiro e segundo corte, no terceiro corte foi divergente, a dose mais baixa de cinza de eucalipto ($10,35 \text{ t ha}^{-1}$), sem aplicação de calcário resultou em menores ICF (Figura 29).

Os cortes antecedentes ao terceiro não apresentaram nenhum ajuste a modelos de regressão para os fatores doses de cinza e calagem, esse aumento linear no ICF pode estar correlacionado com o aumento da concentração de Mg propiciado pelas cinzas no terceiro corte (Tabela 21), entretanto os teores de N foliar se mantiveram dentro dos teores considerados adequados para a cultura (WERNER *et al.*, 1997).

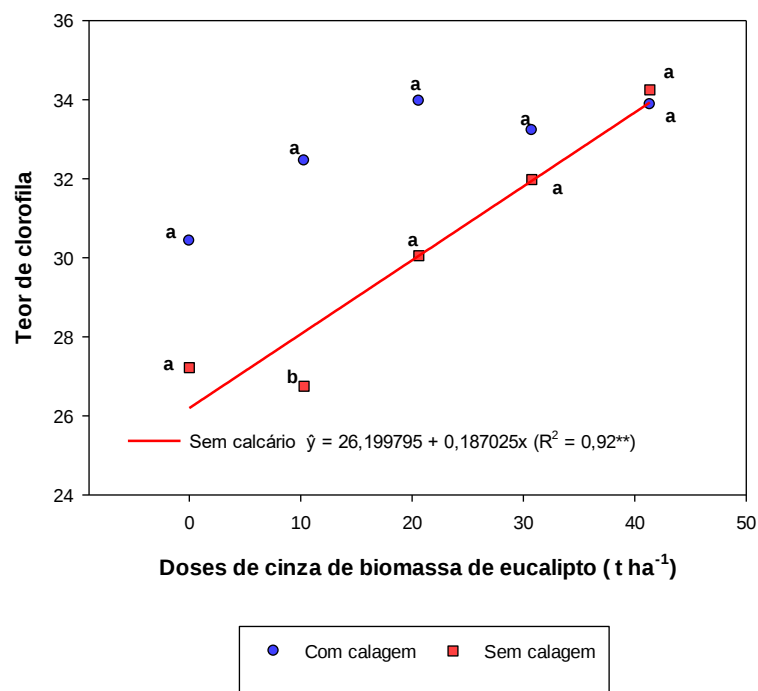


Figura 29. Índice de clorofila foliar (ICF) do capim Massai no terceiro corte, realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.4.4 Perfilhamento

Ao comparar as médias de perfilhamento dos tratamentos referentes ao estudo dos fatores sem interação (Tabela 30), notou-se que o terceiro corte produziu em média um número de perfilhos bem abaixo dos cortes antecedentes, devido a época de florescimento do capim Massai. O estudo referente ao acúmulo de nutrientes demonstra que para maioria nutrientes, a quantidade acumulada foi maior no segundo corte (Tabelas 18 e 20), o que pode justificar o maior perfilhamento obtido. Os fatores calagem, inoculação e doses de cinza isodamente não interferiram de forma significativa no perfilhamento do capim Massai (Tabela 30).

A interação calagem e inoculação teve resultados significativos no perfilhamento da forrageira no segundo e terceiro cortes. Com o uso calagem sem inoculação houve 13,1% de aumento do número de perfilho em relação a testemunha, enquanto que a inoculação isolada apesar de não ser significativo, o incremento foi de 6,4% no número de perfilho também quando comparada a testemunha no segundo corte. A correção do solo não favoreceu a atuação da bactéria na produção de perfilho neste segundo corte (Tabela 31).

Tabela 30. Número de perfilhos da parte aérea do capim Massai dos três cortes realizado em função dos fatores calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	1º corte	2º corte	3º corte
Número de perfilhos			
Calagem			
Sem	57,1a	62,2a	30,8a
Com	56,9a	65,5a	29,3a
D.M.S (5%)	3,44	5,29	2,85
<i>Azospirillum brasilense</i>			
Sem	55,6a	64,2a	30,6a
Inoculado	58,5a	63,5a	29,6a
D.M.S (5%)	3,44	5,29	2,85
Média Geral	57,0	63,8	30,1
C.V (%)	13,5	18,5	21,2
Doses de cinza (t ha⁻¹)			
0	57,4	65,2	30,8
10,30	58,3	63,9	29,2
20,6	57,2	67,8	32,3
30,75	54,4	54,6	29,2
41,35	57,8	67,6	29,0

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

A calagem utilizada junto a inoculação induziu a menor número de perfilho no terceiro corte, assim como a altura de planta, ICF e IAF do capim Massai também não foram influenciadas pela calagem em conjunto a inoculação, indicando que os tratamentos que receberam esses dois insumos não mostraram grandes benefícios no terceiro corte.

Apesar da correção do solo favorecer o desenvolvimento do *A. brasilense* por seu efeito neutralizante, tornando a rizosfera mais adaptável a este microrganismo, não foi constatada efeito da bactéria quando utilizada junto a calagem no perfilhamento do capim Massai no segundo corte e, no terceiro corte esses valores ainda foram menores que a testemunha (Tabela 31).

Segundo Guimarães *et al.* (2011) o uso de *Azospirillum*, possibilitou aumento de 10% sobre número de folhas em pastagem de *Brachiaria decumbens* quando em comparação à ausência do inoculante. Oliveira *et al.* (2007) verificaram que o tratamento inoculado sem adubação nitrogenada de cobertura apresentou desempenho superior quando comparado aos tratamentos com adubação nitrogenada de cobertura, sem aplicação da bactéria para o capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Em ambos estudos foi realizada aplicação da calagem de acordo com a análise do solo.

Tabela 31. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente ao número de perfilhos do capim Massai no primeiro e terceiro cortes. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Número de perfilhos do 2º corte	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	62,86aA	68,16aA
Sem	64,15aA	60,25aB
DMS (5%)	7,48	
Calagem	Número de perfilhos do 3º corte	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	27,05bB	31,71aA
Sem	32,23aA	29,55aA
DMS (5%)	4,17	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor

Quanto ao estudo referente a interação da cinza de biomassa de eucalipto com a calagem foi observado somente resultado significativo para perfilhamento dentro do primeiro corte quando utilizada junto a calagem, com ajuste linear positivo ($p < 0,01$). Enquanto que os tratamentos que receberam as doses de cinza, sem calagem propiciaram ajuste linear negativo ($p < 0,01$). A cinza utilizada de maneira isolada diminuiu drasticamente o número de perfilhos por vaso no primeiro corte com acréscimo das doses de cinza, indicando que a calagem promoveu uma retomada do perfilhamento no uso conjunto (Figura 30). Santos (2012) relatou resultados positivos e significativos para o número de perfilhos, com o uso de cinza de biomassa vegetal como fertilizante no capim Marandu.

A aplicação da menor dose de cinza ($10,30 \text{ t ha}^{-1}$) no primeiro corte, promoveu ganhos de 29,7% no número de perfilhos ao comparar com os tratamentos que receberam a calagem isolada, porém conforme acréscimos das doses de cinza esse nítido acréscimo no perfilhamento foi decaindo com uso da cinza isolado, gerando diferença significativa com a maior dose utilizada ($41,35 \text{ t ha}^{-1}$), com redução de 20,7% no número perfilhos quando comparada esse mesma dose com calcário, indicando que a calagem junto a cinza influenciou de forma positiva o perfilhamento, propiciando maior perfilhamento com uso da cinza no primeiro corte (Figura 27).

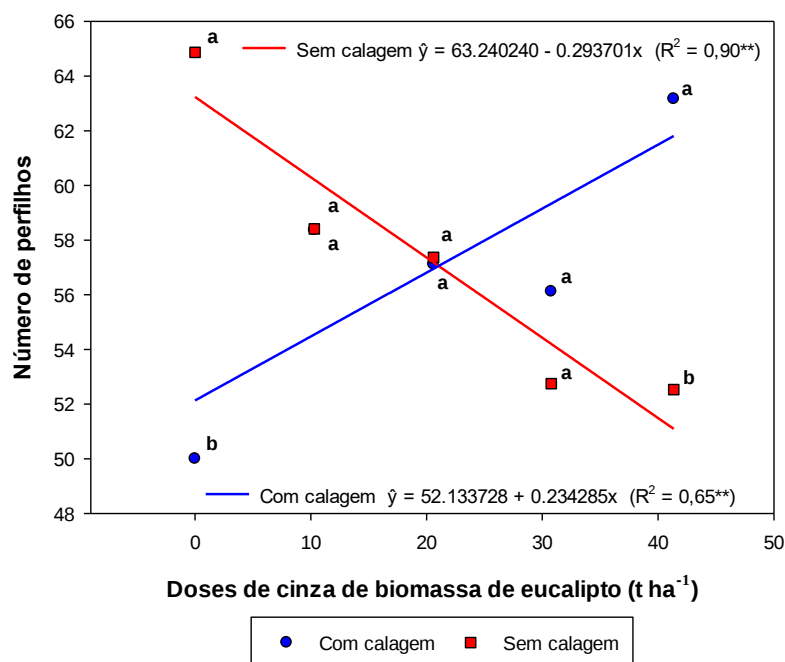


Figura 30. Número de perfilhos do capim Massai no primeiro corte realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.4.5 Matéria fresca do capim Massai

Quanto a matéria fresca do capim Massai (Tabela 32) no segundo corte obteve-se melhores resultados em g por vaso quando comparado com os demais cortes no estudo entre os fatores sem interação, devido a maior eficiência na absorção de nutrientes da solução do solo, que proporcionou maior acúmulo dos nutrientes na forrageira. Outro fator importante no estudo foi o aumento do ICF e no número de perfilhos que foi observado no segundo corte, sendo resultados superiores numericamente aos demais cortes para essas variáveis (Tabela 28 e 30).

A adubação de cobertura propicia respostas positivas sobre as características do capim Massai em sua rebrota (LOPES *et al.*, 2011). Souza (2016), estudando estratégias de manejo em campo com capim Massai e adubações nitrogenadas de cobertura encontrou comportamento diferente, com massa de lâmina foliar inferior no primeiro corte em relação ao segundo e terceiro.

Na Tabela 32, verifica-se que calagem sem interação resultou em diferença significativa somente no segundo corte, aumentando em 15,5 g (10%) a produção de matéria fresca da forrageira quando comparada aos tratamentos que não receberam a calagem, e 7,7g (4%) em relação à média geral. A inoculação com *A. brasilense* não resultou em resultados positivos no primeiro corte, os tratamentos que receberam a inoculação apresentaram menores médias com

diferença significativa, a ausência da inoculação neste primeiro corte teve 7,4 g (5,4%) de acréscimo na matéria fresca, nos cortes restantes não foi verificado diferença significativa.

Em relação a utilização de cinza de eucalipto sem interação apresentou significância dentro do primeiro corte com ajuste ao modelo quadrático ($p < 0,05$), com aumento das doses de cinza. No segundo corte apesar de não apresentar significância para análise de regressão, as doses de cinza a partir de 20,60 t ha⁻¹ se destacaram quando comparado a dose de 0 e 10,30 t ha⁻¹ para produção de matéria fresca por vaso, atingindo os mesmos patamares da média geral. A maior dose de cinza 40,35 t ha⁻¹ proporcionou a produção de matéria fresca no terceiro corte, com superioridade em relação à média geral 4,7g (6,3%) e os tratamentos que receberam calagem 4,1g (5,5%), com ajuste a regressão crescente ($p < 0,01$). De maneira geral, as doses de cinza influenciaram na produção de matéria fresca, com resultados superiores a testemunha a qual recebeu apenas adubação de semeadura e de cobertura com ureia (Tabela 32).

Dentro do primeiro corte, a testemunha se sobressaiu sobre os demais tratamentos avaliados dentro da interação entre inoculação e calagem, de forma curiosa os tratamentos que somente receberam adubação de plantio e adubação de cobertura com ureia obtiveram maior êxito na produção de matéria fresca, assim como nos resultados obtidos para matéria seca, mostrando ser uma cultura que mesmo em solos de baixa fertilidade, tem um desenvolvimento expressivo em seu primeiro corte em que foi realizada somente adubação de semeadura e cobertura, sem a calagem (Tabela 32). No segundo corte, o uso da calagem proporcionou maior produção de matéria fresca em relação aos tratamentos que não receberam este insumo agrícola. Salientando a importância da calagem com seu efeito neutralizante e no fornecimento de nutrientes para forrageira (Tabela 32).

A inoculação ocasionou um pequeno acréscimo na matéria fresca do capim Massai quando utilizada junto a calagem no segundo corte, mesmo não se diferenciando significativamente dos tratamentos que receberam calagem sem inoculação (Tabela 33). Maranhão *et al.* (2019) observaram incrementos na matéria fresca do capim Mombaça e Zuri com a inoculação de *A. brasilense*, somente realizando adubação de semeadura com superfosfato simples, pois os teores de nutrientes deste solo se encontravam bem acima dos observados no presente experimento, o qual trabalhamos com capim Massai.

Tabela 32. Produção de matéria fresca do capim Massai dos três cortes (ciclos) realizados em função dos fatores calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	1º corte	2º corte	3º corte
Matéria fresca (g/vaso)			
Calagem			
Sem	139,1a	154,5b	74,12a
Com	140,4a	170,0a	75,13a
D.M.S (5%)	6,87	9,24	3,39
<i>Azospirillum brasilense</i>			
Sem	143,5a	159,8a	73,75a
Inoculado	136,1b	164,8a	75,57a
D.M.S (5%)	6,87	9,24	3,39
Média Geral	139,7	162,3	74,6
C.V (%)	11,0	12,0	10,2
Doses de cinza (t ha⁻¹)			
0	128,9	156,5	70,46
10,30	141,3	155,2	72,19
20,60	136,0	163,9	76,14
30,75	154,7	171,9	75,19
41,35	137,9	163,8	79,30

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

A aplicação de calcário junto as cinzas foi significativo (p<0,01) para análise de regressão dentro do primeiro corte, sendo as médias representadas por uma equação quadrática negativa, indicando uma queda drástica na produção de matéria fresca quando se utilizou a maior dose de cinza (41,35 t ha⁻¹) junto a calagem, essa queda acentuada não foi visualizada entre os tratamentos que receberam menores doses de cinza. Porém, a aplicação de cinza isolada ajustou-se a uma equação linear positiva (p<0,01), neste caso o estudo indica que a maior dose de cinza isolada (41,35 t ha⁻¹) foi a que propiciou as maiores médias na produção de matéria fresca, com acréscimo de 25,6% em comparação a testemunha e 17% em relação a calagem isolada (Figura 31). Esse efeito pode estar atrelado a redução no acúmulo de P evidenciada quando aplicado as doses mais altas de cinza junto a calagem nesse primeiro corte da forrageira (Figura 16).

A cinza se mostrou relativamente eficiente, propiciando resultados até melhores que a calagem isolada neste primeiro corte, entretanto quando usada em doses acentuadas junto a calagem pode prejudicar a produção de massa fresca do capim Massai.

No segundo corte, as doses de cinza de eucalipto junto a calagem apresentaram significância para análise de regressão a (p<0,01), com ajuste a equação linear crescente para produção de matéria fresca conforme aumento das doses de cinza. Verificou-se que somente dentro da maior dose de cinza (41,35 t ha⁻¹) houve diferença significativa assim como no

primeiro corte, com ganhos de 47,7% quando utilizada com a calagem em relação a dose de cinza isolada, resultado inverso ao obtido no primeiro corte (Figura 31).

Tabela 33. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente a matéria fresca do capim Massai no primeiro e segundo cortes. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Matéria fresca (g/vaso) 1º corte	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	143,9 aA	137,0 aB
Sem	128,2bB	149,9 aA
DMS (5%)	9,72	
Calagem	Matéria fresca (g/vaso) 2º corte	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	173,4 aA	166,7 aA
Sem	156,2 aB	152,9 aB
DMS (5%)	13,0	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor.

A média das doses de cinza isolada até 30,75 t ha⁻¹ se apresentaram nos mesmos patamares quando comparadas com os tratamentos que receberam as doses de 41,35 t ha⁻¹ junto ao calcário, tratamento o qual se obteve os melhores resultados neste segundo corte. Obviamente quando utilizada a cinza isolada ou combinada a calagem elevou-se as produções da forrageira devido as melhorias nos atributos químicos do solo pelo uso desses insumos e o aumento da absorção de nutrientes pela forrageira.

No primeiro e segundo cortes da forrageira, os tratamentos que receberam quaisquer doses de cinza atingiram semelhantes produções ou produziram mais matéria fresca que calagem isolada, porém a maior dose de cinza demonstrou oscilações intrigantes, estabelecendo uma indefinição se a aplicação da maior dose é compensatória (Figura 31).

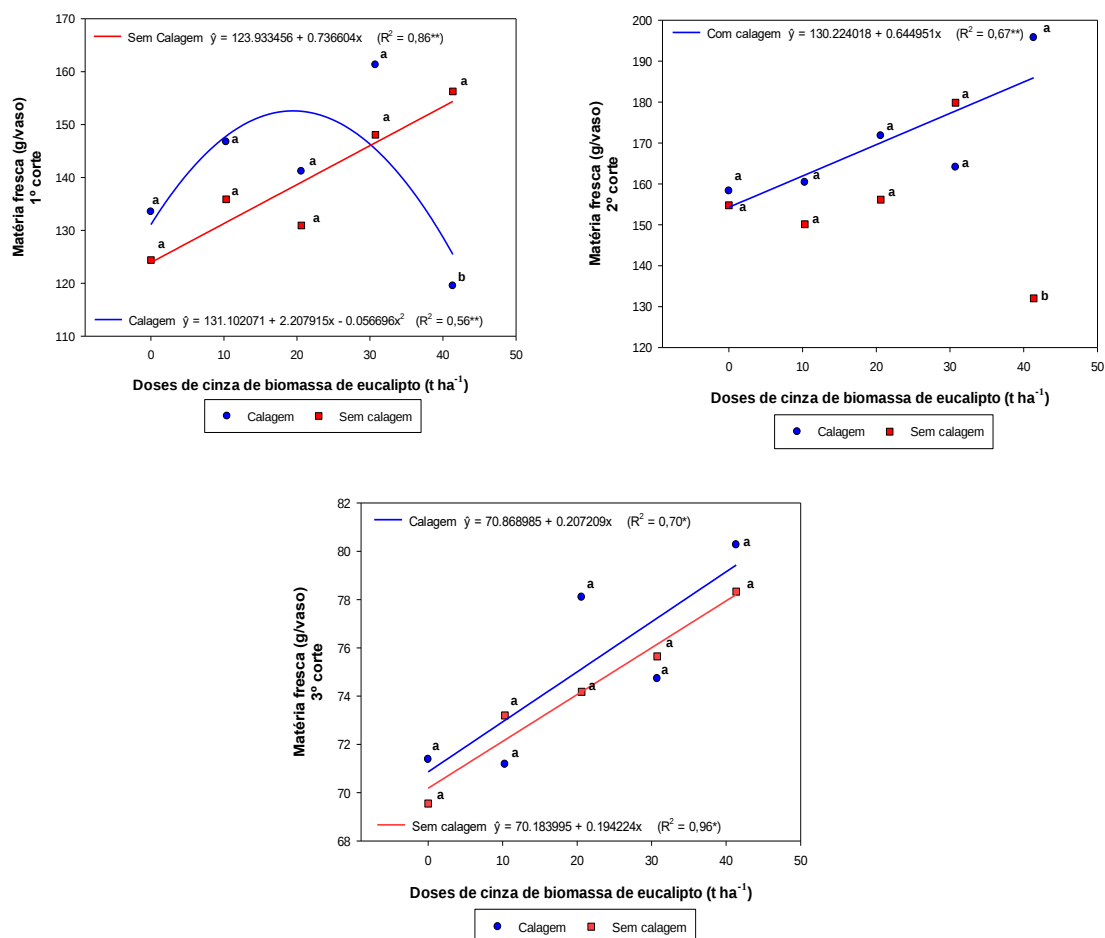


Figura 31. Produção de matéria fresca do capim Massai dos três cortes realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na Figura 31 constata-se ajustes a duas equações lineares crescentes ($p < 0,05$) para a produção de matéria fresca dentro do terceiro corte, tanto para o uso da cinza de biomassa de eucalipto isolada quanto para o uso da cinza junto a calagem. Independente do uso da calagem ou não os resultados das doses de cinza se mantiveram iguais estatisticamente.

Apesar da baixa produção de matéria fresca, a cinza de eucalipto influenciou positivamente, expondo a maior demanda nutricional do capim Massai em seu terceiro corte e o efeito prolongado referente ao comportamento da cinza a qual foi aplicada 166 antes de realizar o segundo corte.

Fica evidente neste terceiro corte que qualquer dose de cinza a média foi superior ao tratamento que recebeu calagem isolada, resultado não evidenciado anteriormente, porém os tratamentos que receberam a calagem junto as doses de cinza não se diferenciaram estatisticamente dos tratamentos que receberam doses crescentes de cinza de forma isolada.

Não houve desdobramento para o estudo dos fatores doses de cinza e inoculação com *A. brasilense* para produção de matéria fresca da forrageira.

4.4.6 Matéria seca do capim Massai

A produção de matéria seca de capim Massai por vaso no primeiro e segundo cortes atingiram valores de médias muito próximos entre si, com pequeno destaque para o segundo corte, assim como na matéria fresca, porém menos acentuado.

O segundo corte apontou uma pequena superioridade em seu perfilhamento e na absorção de uma série de nutrientes. Por outro lado, o terceiro corte apresentou os menores resultados para todas as variáveis biométricas estudadas ao comparar aos demais cortes, resultando claramente em uma redução na produção de matéria seca, pois neste período acarretou estímulos para o florescimento, deslocando parte dos assimilados para a produção de sementes. As variações do fotoperíodo têm grande interação com indução do florescimento em muitas espécies de forrageiras, o que acaba prejudicando a qualidade da forragem (BUXTON; FALES, 1994).

Não foi evidenciado nenhuma diferença estatística para os fatores calagem e inoculação para produção de matéria seca de capim Massai. Contudo o uso das cinzas sem interação foi capaz de propiciar resultados relevantes no conteúdo de matéria seca desta forrageira. No primeiro corte, o incremento das doses de cinza promoveu ajuste a regressão quadrático positiva ($p < 0,05$) com coeficiente de determinação em ($r^2 = 68\%$), sendo o ponto de máxima produção em média de $25,2 \text{ t ha}^{-1}$ de cinza. Para o segundo corte, o incremento da cinza de eucalipto propiciou aumento na produção da matéria seca conforme aumento das doses, com ajuste a função linear crescente ($p < 0,01$) e ($r^2 = 88\%$). Diante destes resultados, fica evidente que a cinza contribuiu para produção do capim Massai nas condições estudadas (Tabela 34).

Bonfim-Silva *et al.* (2013b), utilizando em seu experimento cinza de biomassa vegetal no capim Marandu cultivado em LATOSSOLO VERMELHO, também verificaram ajuste a regressão linear, em que o incremento das doses de cinza aumentou a matéria seca. Bonfim-Silva *et al.* (2011c) também reportaram resultados positivos com uso de cinza de biomassa vegetal em Crotalária juncea em LATOSSOLO VERMELHO.

Tabela 34. Produção de matéria seca do capim Massai dos três cortes (ciclos) realizado em função dos fatores calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	1º corte	2º corte	3º corte
Matéria seca (g/vaso)			
Calagem			
Sem	45,84a	48,51a	28,10a
Com	45,21a	50,72a	28,56a
D.M.S (5%)	2,40	2,89	3,39
<i>Azospirillum brasilense</i>			
Sem	47,45a	49,37a	27,83a
Inoculado	45,60a	49,86a	28,83a
D.M.S (5%)	2,40	2,89	3,39
Média Geral	46,53	49,61	28,33
C.V (%)	11,5	13,03	10,17
Doses de cinza (t ha⁻¹)			
0	44,58	46,14	26,10
10,30	44,66	48,45	28,52
20,60	48,80	50,56	28,81
30,75	48,85	51,40	27,83
1,35	45,75	51,50	30,37

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

A interação entre calagem e a bactéria *A. brasilense* foi significativa somente no primeiro corte, dentro dos tratamentos que receberam a calagem os que foram inoculados propiciaram maiores médias diferenciado dos tratamentos que não inoculados. Entretanto, de forma incomum as testemunhas apresentaram a maior média dentro do primeiro corte assim como para matéria fresca. A testemunha foi superior em 19,4% em relação ao tratamento que recebeu a calagem sem a inoculação e 9,6% em relação ao tratamento que recebeu inoculação e calagem (Tabela 35). Enquanto, Andrade *et al.* (2019) verificaram que *A. brasilense* contribuiu efetivamente no aumento da matéria seca do *P. maximum* cv. BRS Tamani.

Tabela 35. Desdobramento da interação calagem e inoculação com *A. brasilense*, da análise de variância referente a matéria fresca do capim Massai no primeiro corte. Ilha Solteira – SP.

Calagem	Matéria seca (g/vaso) do 1º corte	
	Com <i>Azospirillum</i>	Sem <i>Azospirillum</i>
Com	47,18aA	43,25bB
Sem	44,03bA	51,66aA
DMS (5%)	3,40	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte : Elaboração próprio autor.

No primeiro corte da forrageira verificou-se ajuste linear positivo (p<0,05) para o interação entre doses de cinza x calagem quando foi aplicada a cinza de forma isolada, os

resultados de produção matéria seca quando utilizada a dose de (41,35 t ha⁻¹) foram superiores quando aplicado a cinza isolada, junto com a calagem essa dosagem foi prejudicial. No geral o que se nota é que a cinza foi eficaz em aumentar as produções de matéria seca dentro do primeiro corte quando utilizada de maneira isolada, quando utilizada junto a calagem, nas doses superiores (30,75 e 41,35 t ha⁻¹) houve uma tendência de redução na produção de matéria seca do capim Massai (Figura 32). Bonfim-Silva *et al.* (2013b) observaram no primeiro corte do capim Marandu que a produção de matéria seca ajustou-se a função linear crescente até a dose de 7,5 kg ha⁻¹ de cinza em LATOSSOLO VERMELHO. Entretanto, nessa cinza utilizada, os teores de nutrientes estavam muito acima da cinza utilizada neste experimento, portanto com uso de menores doses já se obteve resultados satisfatórios. Contudo, o solo utilizado neste experimento foi um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Ortico arenoso, podendo haver necessidade de maiores doses de cinza para suprir a demanda da forrageira.

O estudo referente aos micronutrientes dentro do primeiro corte indicam que a calagem associada com as maiores doses de cinza (30,75 e 41,35 t ha⁻¹), diminuíram o acúmulo de P e de micronutrientes catiônicos como Mn e Zn, o que pode estar relacionado a queda na produção do capim Massai nestes tratamentos.

Os tratamentos que receberam a dose de 30,75 t ha⁻¹ de cinza de forma isolada no primeiro corte conceberam o resultado mais expressivo, com aumento de 13,4% em relação aos tratamentos que receberam somente a calagem. A aplicação de cinza de forma isolada propiciou semelhante resultado que a calagem a partir da dose de 10,30 t ha⁻¹, com aumento das doses de cinza, sem calcário, a diferença foi positivamente mais expressiva para produção de matéria seca (Figura 29).

No desdobramento no segundo corte entre os fatores doses de cinza de eucalipto e calagem, constatou-se ajuste a funções lineares crescentes ($p < 0,05$), tanto para os tratamentos com uso da cinza de eucalipto isolado, quanto para o conjunto dos fatores cinza e calagem (Figura 29).

O segundo corte teve diminuta vantagem para os tratamentos que receberam as doses de cinza de eucalipto junto a calagem com diferença significativa para dose mais alta utilizada (41,35 t ha⁻¹) em comparação ao uso da cinza isolado. Visto que a maior dose de cinza com a calagem propiciou incremento na produção de matéria seca para o segundo corte em comparação com qualquer outro tratamento, dentro do primeiro corte o resultado foi inverso (Figura 29).

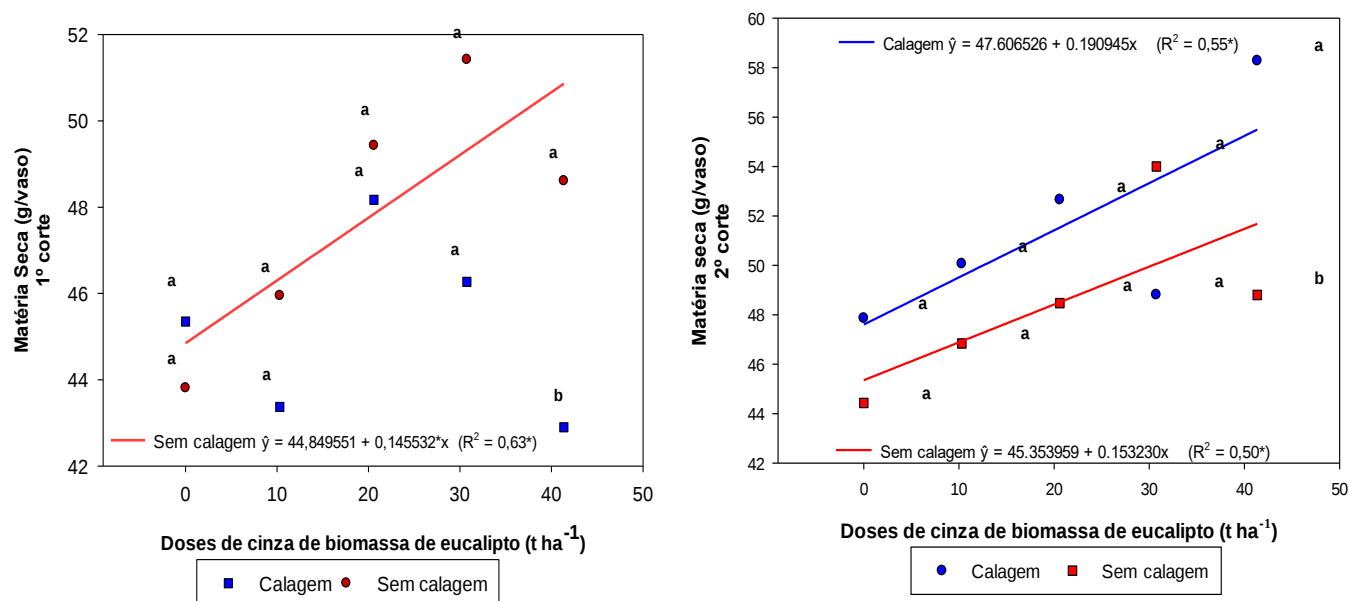


Figura 32. Produção de matéria seca do capim Massai do primeiro e segundo cortes realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A maior dose de cinza ($41,35 \text{ t ha}^{-1}$) com calcário possibilitou um acréscimo de 19,4% quando comparada a mesma dose adotada sem calagem, com diferença significativa dentro da dose, apesar do primeiro corte ter exportado nutrientes do solo, o segundo corte não foi afetado por essa exportação. Entretanto, os tratamentos que receberam a maior dose de cinza junto a calagem apresentaram incremento de 13,5 e 14,9% na produção de matéria seca da parte radicular e volume de raiz em relação aos tratamentos que receberam a maior dose de cinza, sem aplicação do calcário (Figura 29).

A dose de $30,75 \text{ t ha}^{-1}$ proporcionou médias superiores de produção de matéria seca quando se trata do efeito isolado da cinza, tanto no primeiro quanto no segundo corte para matéria seca, as cinzas geraram efeitos satisfatórios para a produção de matéria seca quando comparados unicamente com os tratamentos que receberam a calagem. Segundo Bonfim-Silva *et al.* (2013b), a maior produção do capim Marandu no segundo ciclo ocorre com aplicações entre $6,2 - 7,0 \text{ t ha}^{-1}$ de cinza em LATOSSOLO VERMELHO.

Todas cinzas de biomassa vegetal analisadas em outras pesquisas para realização deste trabalho, evidenciam concentrações diferenciadas de nutrientes. Portanto, fica difícil se estabelecer uma dose ótima diante de tantas diferenças entre os compostos na cinza, tornando necessário conhecer a princípio a composição química do resíduo, os atributos químicos do solo e exigência nutricional da planta. Evitando-se deficiência ou toxidez pelo excesso de alguns nutrientes como cálcio e magnésio que competem significativamente com outros pelos sítios ativos de absorção (LIMA *et al.*, 2005).

As cinzas podem conter grandes quantidades de macro e micronutrientes, compostos orgânicos, porém dependendo do grau de queima durante a combustão tais componentes podem ser exauridos (INGERSLEV *et al.*, 2011).

A dose de 30,75 t ha⁻¹ se destacou com médias superiores de produção de matéria seca quando se trata do efeito isolado da cinza, tanto no primeiro quanto no segundo corte, a aplicação de cinza proporcionou efeitos satisfatórios na produção de matéria seca quando comparados unicamente com os tratamentos que receberam a calagem. Aplicação da cinza pode causar a redução da acidez e aumentar a disponibilidade dos nutrientes P, K, Ca, Mg assim como os micronutrientes, garantindo maior produção de eucalipto (MAEDA *et al.*, 2014).

Quanto ao efeito da inoculação com *A. brasilense* e sua interação com a cinza de eucalipto para produção de matéria seca, não foi constatado nenhum ajuste a modelo de regressão.

4.4.7 Matéria seca acumulada do capim Massai

Não houve efeito significativo isolado dos fatores calagem, inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses de cinza de eucalipto para a produção acumulada de matéria seca do capim Massai em três cortes (Tabela 36).

Os resultados quanto à inoculação foram inesperados, visto que esta bactéria possui uma alta afinidade por plantas da família Poácea (DIDONET, 2007). O emprego dessa bactéria influenciou no desenvolvimento quando associado com algumas pastagens, sendo bastante vantajoso do ponto de vista econômico e ecológico (ITZIGSOHN *et al.*, 2000). Contudo, a afinidade desta bactéria varia entre espécies e até mesmo cultivares de uma mesma espécie. O fato da pesquisa ter sido realizada em vaso com capim Massai irrigado, também pode ter mascarado um pouco os efeitos benéficos da inoculação com *Azospirillum brasilense*.

O uso das cinzas sem interação no acúmulo de matéria seca relacionado aos três cortes mostra que os tratamentos que não receberam nenhuma dose de cinza apresentaram valores aquém dos tratamentos com o resíduo ao longo dos três cortes (Tabela 36). Ou seja, mostrando eficiência na produção do capim Massai.

Tabela 36. Produção de matéria seca (MS) acumulada de capim Massai em relação a calagem, inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	Produção de MS acumulada (g/vaso)
Calagem	
Sem	122,13a
Com	124,56a
D.M.S (5%)	4,38
<i>Azospirillum brasilense</i>	
Sem	122,94a
Inoculado	125,74a
D.M.S (5%)	0,03
Média Geral	124,34
C.V (%)	18,28
Doses de cinza (t ha⁻¹)	
0	116,9
10,30	121,3
20,60	127,7
30,75	128,1
41,35	127,1

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

O efeito da cinza de eucalipto e calagem em conjunto apesar de melhorarem as condições na rizosfera para bactérias em relação ao pH do solo, não surtiu efeito significativo com o uso da bactéria para o ganho de matéria seca acumulado. Entretanto existem algumas cultivares que não interagem com certas espécies de bactérias, podendo ser o caso neste estudo. Pereira (2019), estudando o efeito de *Azospirillum brasilense* em duas variedades de *Megathyrsus maximum* (Mombaça e Zuri), relatou somente efeito satisfatório desta bactéria na produção de matéria seca do capim Zuri.

A interação entre doses de cinza x calcário apenas teve efeito para doses de cinza aplicadas isoladamente, sendo este um ajuste a função linear crescente (Figura 33). Nota-se que os valores com o uso de calcário não foram muito superiores comparados com os tratamentos que receberam somente cinza para a produção de matéria seca acumulada. Com a aplicação do calcário, sem cinza de biomassa de eucalipto, não houve aumento significativo na produção de matéria seca da forrageira

A dose de 30,75 t ha⁻¹ de cinza sem calcário foi o tratamento que proporcionou numericamente a maior produção de matéria seca da parte aérea, incrementando 18,5 g (16,1%) ao comparar com a testemunha, isso demonstra que tanto para os atributos químicos o solo (Tabela 6), como para produção de massa seca da forrageira (Figura 33), a aplicação de cinza em altas doses pode vir a substituir totalmente o uso de calcário para o cultivo de capim Massai em solos ácidos do Cerrado.

Bezerra (2013a) constatou que o capim Marandú obteve a maior massa seca de raiz por vaso nas doses de $10,65 \text{ g dm}^{-3}$ para LATOSSOLO VERMELHO e $4,12 \text{ g dm}^{-3}$ para o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO. A cinza de biomassa vegetal como corretivo e fertilizante, propiciou maior desenvolvimento, crescimento e produção deste capim. Porém, a autora deste trabalho comparou somente o efeito isolado das doses de cinza de biomassa. A cinza possui a capacidade de repor os nutrientes de forma gradativa repondo parte dos nutrientes exportados com a forrageira consumida, se comportando como uma alternativa altamente viável para culturas perenes e menos exigentes nutricionalmente.

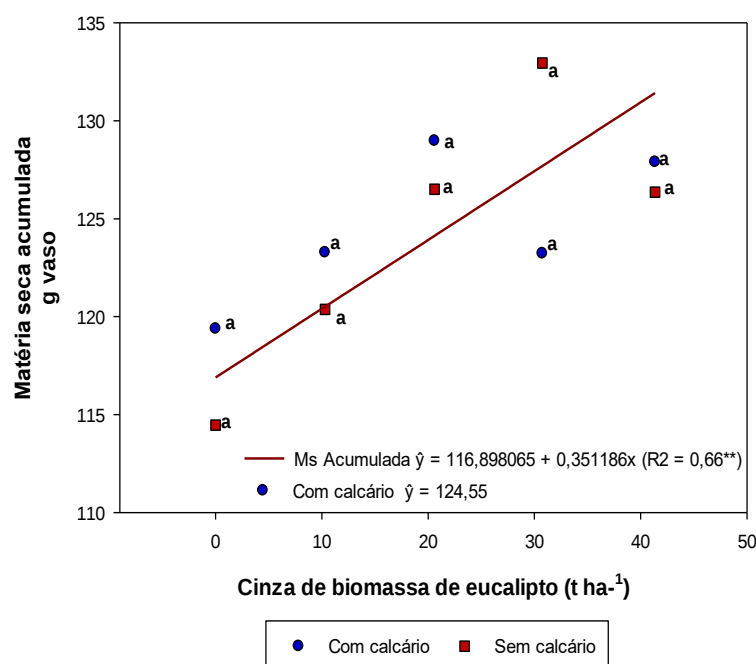


Figura 33. Produção de matéria seca acumulado de capim Massai em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.4.8 Proteína bruta

A composição proteica do capim Massai foi maior dentro do segundo corte, mostrando valores sobressalentes em relação ao primeiro e terceiro, o teor de N nas folhas se mostraram muito maiores dentro do segundo corte, mesmo sendo realizada adubação de cobertura com em todos eles. Segundo Milford e Mison (1995) teores protéicos na matéria seca abaixo de 7% promovem uma redução na digestão das mesmas, devido aos baixos níveis de nitrogênio fornecido para os microorganismos do rúmen. O terceiro corte por muito pouco não entra dentro desta faixa limitante para PB%, podendo esse resultado ser referido a época de abril/maio cuja a forrageira tende a florescer, ao stress climático, gerado nessa época do ano e devido ao terceiro corte apresentar deficiência nos teores de N da parte aérea mesmo com adubação N

equivalente a 100kg/ha⁻¹ sendo aplicada 10 dias após o segundo corte.

O segundo corte provavelmente apresentou maiores acúmulos de N na parte aérea da planta, podendo ser atribuído ao sistema radicular já formado nesse ciclo, devido a aplicação de ureia ter sido realizada em todos os cortes.

Tabela 37. Teor de proteína bruta na parte aérea do capim Massai dos três cortes realizado em função dos fatores calagem, inoculação com *A. brasilense* e doses de cinza de eucalipto.

Tratamentos	1º corte	2º corte	3º corte
Teor de proteína bruta (%)			
Calagem			
Sem	9,01a	18,29a	7,54a
Com	9,11a	17,29b	7,85a
D.M.S (5%)	0,361	0,719	0,450
<i>Azospirillum brasilense</i>			
Sem	8,85b	17,79a	7,77a
Inoculado	9,30a	17,78a	7,62a
D.M.S (5%)	0,362	0,338	0,534
Média Geral	9,06	17,79	7,70
C.V (%)	7,62	7,73	13,27
Doses de cinza (t ha⁻¹)			
0	9,29	19,16	7,68
10,30	8,86	18,71	7,68
20,6	8,93	18,49	7,39
30,75	9,21	16,82	8,12
41,35	9,01	16,04	7,63

Obs.: médias seguidas por mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Factori, Silva, Golçalves, Scatulin Neto, Maratti e Tiritan (2018), demonstrou em sua pesquisa que o capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) apresentou maiores teores de PB% em seu primeiro corte e terceiro corte quando aplicado N somente na semeadura em quaisquer dosagens utilizadas.

Dentro do estudo relacionado ao segundo corte se nota que quanto maior a dose de cinza menor os teores proteicos, sendo que a dose de 41,35 t ha⁻¹ diminuiu em 19,4% o teor de proteína em relação aos tratamentos que não receberam nenhuma dose de cinza. A ação corretiva da cinza pode ter intensificado a mineralização de N orgânico, influenciando na dinâmica do nitrogênio no solo, assim como o efeito da calagem isolada resultando em diferença significativa com menor produção de proteínas quando aplicado calcário (Tabela 37). Entretanto, não foi notada diferença significativa nos teores de N no segundo corte em nenhum dos fatores analisados.

Hanisch *et al.* (2013) avaliaram o efeito da cinza sobre a composição bromatológica da forrageira Hemátria em dois períodos, e no outono as doses de cinza influenciaram

positivamente os teores de proteína com ajuste a função quadrática, enquanto que na primavera/verão não foi verificado efeito das doses da cinza na forrageira.

Com relação a interação entre os fatores cinza de biomassa de eucalipto e calagem, esta foi significativa para o teor de proteína bruta no segundo corte, com ajuste a função linear decrescente ($P < 0,01$), tanto com o uso da cinza isolado quanto associado a calagem (Figura 30). Com o uso das cinzas junto a calagem, o teor proteico foi menor quando comparado ao uso da cinza isolado. Não foi verificado no segundo corte nenhum fator relacionado ao teor de N na planta que releva os dados apresentados para proteína bruta, não foi verificada diferença significativa para nenhum dos fatores em relação ao teor de N na planta (Tabela 18). Santana, Biachi, Morita, Isepon e Fernandes (2010) não notam decréscimo na produção de proteína conforme aumento das doses de calagem no capim Mombaça, não sendo a calagem a responsável pela redução no teor de proteína bruta.

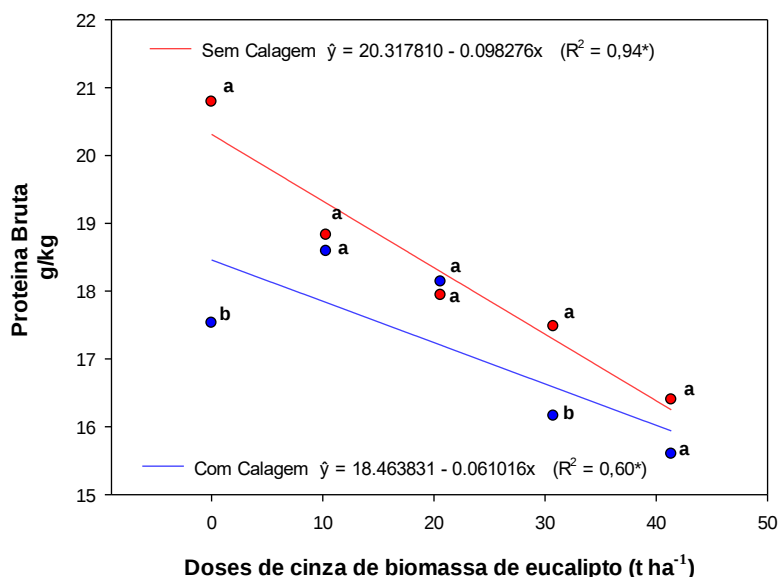


Figura 34. Teor de proteína bruta na parte aérea do capim Massai no segundo corte realizado em função das doses de cinza de biomassa de eucalipto com ou sem aplicação de calcário. Obs.: médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5 CONCLUSÕES

Ficou evidente que a cinza de biomassa de eucalipto melhora os atributos químicos do solo, pois diminuiu a acidez potencial e aumentou o pH, CTC e V%.

A cinza de biomassa de eucalipto pode gerar o mesmo efeito que a calagem isolada no solo, as doses mais baixas utilizadas propiciam o mesmo efeito da calagem para pH e CTC, enquanto que para acidez potencial e V% necessita das doses mais altas.

O uso da cinza junto com o calcário potencializa ainda mais os efeitos de neutralização, aumento de bases trocáveis e CTC em comparação com o uso de cinza isolado.

Apesar do teor de nutrientes nesta cinza ser menor em relação a outras cinzas utilizadas por diversos autores, a mesma foi eficiente em aumentar os teores dos nutrientes no solo, com exceção do S.

O volume e matéria seca de raízes do capim Massai aumentam em função das doses de cinza, da calagem ou da inoculação com *A. brasilense*, porém desde que aplicados isoladamente.

De modo geral, analisando os três cortes da forrageira, tanto a calagem como o incremento das doses aumentam os acúmulos de macronutrientes. Porém, a maior dose de cinza não propicia o maior acúmulo de nutrientes na planta, tanto aplicada isolada ou com calagem.

O acúmulo de K no capim Massai é maior com a inoculação de *A. brasilense*. Contudo, esta bactéria não influencia o desenvolvimento e produção desta forrageira irrigada e cultivada em vaso.

O teor de proteína bruta da forrageira pode eventualmente aumentar com a inoculação de *A. brasilense* e calagem, e até diminuir com o aumento das doses de cinza.

O incremento da cinza de eucalipto aumenta o ICF, o IAF e a produção de matéria fresca e matéria seca do capim Massai, podendo substituir a calagem.

REFERÊNCIAS

- AGUILLAR CHAVARIA, A. J. **Avaliação da sobrevivência ao estresse hídrico e de outras características morfo-fisiológicas de sete clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) em condições controladas.** 1985. 189 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1985
- ALMEIDA, B. G.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 11 p.
- ALI, S. F.; RAWAT, L. S.; MEGHVANSI, M. K. ; MAHNA, S. K. Selection of stress-tolerant rhizobial isolates of wild legumes growing in dry regions of Rajasthan, India. **Journal of Agricultural and Biological Science**, Islamabad, v. 4, n. 1, p. 13-18, 2009.
- ALVES, M. V.; SPRICIGO, J. G.; CHAGAS, A.; NAIBO, G.; DELAZERI, P.; PEDÓ, R. Efeito de diferentes doses de cinza no desenvolvimento da aveia-preta. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E SEMINÁRIO INTEGRADO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 12, 2016, Chapecó. **Anais [...]**. Chapecó: UNOESC, 2016. Disponível em: <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/siepe/article/view/10984/6075>. Acesso em: 29 set. 2020.
- ANDREOTTI, M. Acúmulo de nutrientes para silagem no cultivo consorciado de sorgo e capim paiaçu inoculado ou não com *Azospirillum brasilense*. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31, 2016, Bento Gonçalves. **Anais [...]** Sete Lagoas: ABMS, 2016. p. 361-365. Disponível em: http://www.abms.org.br/cnms2016_trabalhos/docs/896.pdf. Acesso em: 29 set. 2020.
- ARGENTA, G. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbfv/v13n2/9365.pdf>. Acesso em: 29 set. 2020.
- ARRUDA, J. A. *et al.* Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 30, p. 1-14, 2016.
- BATAGLIA, O. C. Ferro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. D. (ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos-CNPq, 1991. p.159-172.
- BASSO, K. C.; BARBERO, L. M. Anatomia foliar de forrageiras e a sua relação com o valor nutritivo. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 1-10, 2015.
- BARATELLA, E. B.; BORGES, R. Q.; BATISTA, E. B.; BIAGINI, A. L. C.; PEREIRA, M. R. de A.; VIANA, R. da S.; GARCIA, C. M. de P.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Uso da cinza de biomassa de eucalipto como corretivo de acidez de solo, na nutrição e desenvolvimento inicial de eucalipto. In: OLIVEIRA JÚNIOR, J. M. B. **Análise crítica das ciências biológicas e da natureza**. Ponta Grossa: Atena, 2019. p. 355-367.
- BARASSI, C. A.; SUELDO, R. J.; CREUS, C. M.; CARROZZI, L.; CASANOVAS, E. M.; PEREYRA, M. A. Potencialidad de *Azospirillum* en optimizar el crecimiento vegetal bajo

condiciones adversas. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (ed.) ***Azospirillum ssp.***: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 49-59.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. *Azospirillum* – plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). **Canadian Journal of Microbiology**, Birmingham, v. 43, p. 103-121, 1997.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinzas de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: Unesp/Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 167 – 187.

BEZERRA, M. D. L. **Cinza vegetal como corretivo e fertilizante no cultivo de capim-marandu em solos do cerrado mato-grossense**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2013a.

BISSANI, C. A. ; TEDESCO, H. I. O enxofre no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, Londrina. **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo IAPAR/SBCS 1988, p. 11-29.

BONFIM-SILVA, E. M.; CASTAÑON, T. H.; OLIVEIRA, R. A.; SOUSA, H. H. F.; SILVA, T. J. A.; FENNER, W. Initial development of cowpea submitted to wood ash doses. **International Journal of Plant & Soil Science**, Chhattisgarh, v. 17, n. 1, p. 1-7, 2017a.

BONFIM-SILVA, E. M. Cinza vegetal na adubação de plantas de algodoeiro em latossolo vermelho do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 523-533, 2015.

BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; SILVA, T. J. A. da; *et al.* Cinza vegetal: Características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1215-1225, 2013.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A. da; GUIMARÃES, S. L.; POLIZEL, A. C. Desenvolvimento e produção de Crotalaria juncea adubada com cinza vegetal. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 371-379, 2011c.

BOUGNOM, B. P.; KNAPP, B. A.; ETOA, F. X.; INSAM, H. Possible use of wood ash and compost for improving acid tropical soils. In: INSAM, H. (ed.). **Recycling of biomass ashes**. Heidelberg: Springer Berlin, 2011. p. 87-105.

BRÂNCIO, P. A.; EUCLIDES, V. P. B.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; FONSECA, D. M.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; BARBOSA, R. A. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo: disponibilidade de forragem, altura do resíduo pós-pastejo e participação de folhas, colmos e material morto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 55-63, 2003.

BRÂNCIO, P. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; EUCLIDES V. P. B.; REGAZZI A. J.;

ALMEIDA, R. G.; FONSECA, D. M.; BARBOSA, R. A. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo. composição química e digestibilidade de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n. 4, p. 1605-1613, 2002.

BUXTON, D. R.; FALES, S. L. Plant environment and quality. In: FAHAY JR., G. C.; COLLINS, M.; MERTENS, D. R.; MOSER, L. E. (ed.). **Forage quality**. Lincoln: ASA; CSSA; SSSA, 1994. p. 155-199.

CALDWELL, M.; RICHARD, J. H.; JOHNSON, D. A. *et al.* Coping with herbivore: photosynthetic capacity and resource allocation in two semiarid. **Agrophylon Bunchgrasses. Oecologia**, London, v. 50, p. 14-24, 1991.

CANTARELLA, L. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; V. H.; BARROS, R. L. F. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 376-470.

CARVALHAIS, L. C.; DENNIS, P. G.; FAN, B.; FEDOSEYENKO, D.; KIERUL, K.; BECKER, A.; VON WIREN, N.; BORISS, R. Linking plant nutritional status to plant-microbe interactions. **PlosOne**, San Francisco, v. 8, n. 7, p. 1-13, 2013.

CASSÁN, F. *et al.* *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, v. 45, p. 28-35, 2009.

CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings** [...]. Palmerston North: SIR Publishing, 1993. p. 95-104.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

COELHO, E. M. **Efeito de oferta de forragem e período de ocupação em algumas características morfogênicas do capim- Mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça)**. 2001. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2001.

COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, V.; NEVES, B. P.; RODRIGUES, C.; SAMPAIO, F. M. T. Intervalo de corte na produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1197-1202, 2007.

COSTA, R. R. G. F.; QUIRINO, G. S. F.; NAVES, D. C. F.; SANTOS, C. B.; ROCHA, A. F. S. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 304-311, 2015.

DALLA SANTA, O. R.; HERNÁNDEZ, R. F.; ALVAREZ, G. L. M.; JUNIOR, P. R.; SCCOL, C. R. *Azospirillum* sp. inoculation in wheat, barley and oats seeds greenhouse

experiments. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 843-850, 2004.

DALLAGO, J. S. **Utilização da cinza de biomassa de caldeira como fonte de nutrientes no crescimento de plantas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild)**. 2000. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

DAROLT, M.R.; OSAKI, F. Efeito da cinza de caieira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes. In: CALAGEM & adubação. Campinas, SP: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1989. 33 p. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/darolt_cinzacaieira.pdf. Acesso em: 29 set. 2020.

DIAS, M. de S.; FLORENTINO, L. A.; RABÊLO, F. H. S.; REZENDE, A. V. de; SOUZA, F. R. da C.; BORGIO, L. Morphological, productive, and chemical traits of xaraés grass: nitrogen topdressing versus inoculation with diazotrophic. **Ciência Animal Brasileira**, Goiás, v. 20, p. 1-12, 2019.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos, 402)

DAROLT, M. R.; NETO, V. B.; ZAMBON, F. R. A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivos de solo na cultura da alfaca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 11, p. 38-40, 1993

DAVISON, J. Plant beneficial bacteria. **Nature Biotechnology**, London, v. 6, n. 3, p. 282-286, 1988.

DEMEYER, A. *et al.* Characteristics of Wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 77, p. 287-295, 2001.

DOBBELAERE, Y.; OKON, Y. The plant growth promoting effect and plant responses. In: ELMERICH, C.; NEWTON W. E. (ed.). **Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations**. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2007, p. 1–26.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas**. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1995. 60 p.

DUARTE, C. F. D. **Bactérias promotoras do crescimento vegetal e nitrogênio no estabelecimento e no desenvolvimento de *Urochloa* spp.** 2018. 89 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

ECKERT, B.; WEBER, O. B.; KIRCHHOF, G.; HALBRITTER, A.; STOFFELS, M.; HARTMANN, A. *Azospirillum doebereineriae* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium associated with the C4-grass *Miscanthus*. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, v. 51, p. 17-26, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa. **Capim-massai (*Panicum maximum* cv. Massai)**: alternativa para diversificação de pastagens. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 5 p. Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico,

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; JANK, L.; OLIVEIRA, M. P. Avaliação dos capins mombaça e massai sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 18-26, 2008.

FACTORI, M. A.; SILVA, P. C. G.; GONÇALVES, D. M.; SCATULIN NETO, A. S. N.; MARATTI, C. H. Z.; TIRITAN, C. S. Produtividade de massa de forragem e proteína bruta do capim mombaça irrigado em função da adubação nitrogenada. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 13, n. 3, p. 49-57, 2018.

FAVORETTO, V. Adaptações de plantas forrageiras ao pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 30, CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2, 1993, Jaboticabal. **Anais [...]**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. p. 1-17.

FANCELLI, A.L. Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes na cultura do milho. Piracicaba: IPNI - **International Plant Nutrition Institute Brazil**, 2010. 16 p. (IPNI. Informações Agronômicas, 131).

FERREIRO, A.; MERINO, A.; DÍAZ, N.; PIÑEIRO, J. Improving the effectiveness of wood ash fertilization in mixed mountain pastures. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 66, n. 3, p. 337-350, 2011.

FREITAS, P. V. D. X. *et al.* produção de gramíneas forrageiras inoculadas com *Azospirillum brasilense* associada à adubação nitrogenada. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 21, n. 2, p. 31-46, 2019.

FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. **AMB Express**, v. 6, p. 1-13, 2016.

GALINDO, F. S. **Desempenho Agronômico do milho e do trigo em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses e fontes de nitrogênio**. 2015. 150 f. Dissertação de mestrado (Agronomia – Sistemas de produção) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/131946>. Acesso em: 29 se. 2020.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. B.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M.K.; BELLOTE, J. L. M.; ANDREOTTI, M.; SILVA, M. V.; GARCIA, C. M.G Atributos químicos do solo após cultivo de trigo sob adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 2, n. 38, p. 659-670, 2017.

GALINDO, F. S.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; BELLOTE, J. L. M.; SANTINI, J. M.K.; ALVES, C. J.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Efeito de épocas de aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* nos teores de nutrientes do trigo irrigado. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 9, n. 2, p. 37-42, 2015.

GASTAL, F.; BÉLANGER, G. The effects of nitrogen and the growing season on photosynthesis of field grown tall fescue canopies. **Annals of Botany**, London, v. 72, p. 401-408, 1993.

GIRARDIN, P.; TOLLENAAR, M. ; MULDON, J. F. The effect of temporary N starvation

on leaf photosynthetic rate and chlorophyll content of maize. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 65, n. 3, p. 491-500, 1985.

GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. In: DELL, B.; BROWN, P. H.; BELL, R. W. (Eds.). **Boron in soils and plants: reviews**. Dordrecht: Kluwer, 1997. p. 35-48.

GOMES, R. A.; LEMPP, B.; JANK, L. *et al.* Características anatômicas e morfofisiológicas de lâminas foliares de genótipos de *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 2, p. 205-211, 2011.

GONÇALVES, J. L. M.; VALERI, S. V. Eucalipto e pínus. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. (ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.393-417.

GORDILLO-DELGADO, F.; MARÍN, E.; CALDERÓN, A. Effect of *Azospirillum brasilense* and *Burkholderia unamae* bacteria on maize photosynthetic activity evaluated using the photoacoustic technique. **International Journal of Thermophysics**, New York, v. 37, p. 1-11, 2016.

GRAHAM, P. H.; DRAEGER, K.; FERREY, M. L.; CONROY, M. J.; HAMMER, B. E.; MARTINEZ, E.; NAARONS, S. R.; QUINTO, C. Acid pH tolerance in strains of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, and initial studies on the basis for acid tolerance of *Rhizobium tropici* UMR1899. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 40, p. 198-207, 1994.

GUIMARÃES, S. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; POLIZEL, A. C.; CAMPOS, D. T. da S. Produção de Capim-Marandu inoculado com *Azospirillum* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p.816-826, 2011.

HANISCH, A. L. *et al.* Efeito da adubação com cinza de biomassa sobre uma pastagem de hemátria cv. Flórida cultivada em solo ácido. **Revista Agropecuaria Catarinense**, Coroinhas, v. 26, n. 3, p. 74-79, 2013.

HARALDSEN, T. K.; PEDERSEN, P. A.; GRONLUND, A. Mixtures of bottom wood ash and meat and bone meal as NPK fertilizer. In: INSAM, H.; KNAPP, B. A. (ed.). **Recycling of biomass ashes**. New York: Springer, 2011. p. 33-44. 2011.

HARRISON, R. B. *et al.* **Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento**. São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal (IPEF), 2003. p.1-20. Circular técnica, n. 198.

HERBERT, M. A. The response of *Eucalyptus grandis* to fertilizing with nitrogen, phosphorus, potassium and dolomitic lime on a Mispah soil series. **South African Forestry Journal**, Petroria, v. 124, n. 4-12, 1983.

HERLING, V. R.; BRAGA, G. J.; LUZ, P. H. Tobiatã, Tanzânia e Mombaça. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 17., 2000, Piracicaba. A planta forrageira no sistema de produção. **Anais [...]**. Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 21-64.

HODGSON, J. (ed). **Grazing management: science into practice**. New York: John Wiley, 1990.

HORTA, C.; LUPI, S. ANJOS, O.; ALMEIDA, J. Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal. **Revista de Ciência Agrárias**, Lisboa, v. 33, n. 2, 2010.

HUERGO, L. F.; MONTEIRO, R. A.; BONATTO, A. C.; RIGO, L. U.; STEFFENS, M. B. R.; CRUZ, L. M.; CHUBATSU, L. S.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. ***Azospirillum* sp.**: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, Argentina, 2008. p. 17-35.

HUNGRIA, M.; CAMPOR, J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 221, p. 125–131, 2016

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 331, n. 1, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011. Documento, 325.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R.S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology Fertility Soils**, Firenze, v. 49, p. 791–801, 2013.

INAGAKI, A. M. **Bactérias promotoras de crescimento de plantas na cultura do milho submetido a diferentes níveis de pH do solo**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná Campus de Marechal Cândido Rondon, Marechal Cândido Rondon, 2014.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ** – 2019. Disponível em: iba.org/images/shared/iba_2015.pdf. Acesso em 19 fev. 2019.

INGERSLEV, M.; SKOV, S.; SEVEL, L.; PEDERSEN, L. B. Element budgets of forest biomass combustion and ash fertilization – a Danish case-study. **Biomass Bioenergy**, v. 35, p. 2697-2704, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2018**: resultados preliminares. Rio de Janeiro, 2018. 7 v. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2010.

JANK, L.; MARTUSCELLO, J. A.; EUCLIDES, V. B. P.; VALLE, C. B. ; RESENDE, R. M. S. *Panicum maximum*. In: FONSECA, D. M. ; MARTUSCELLO, J. A. (ed.). **Plantas forrageiras**, Viçosa: UFV, 2010. p. 166-196.

KAZI, N.; DEAKER, R.; WILSON, N.; MUHAMMAD, K.; TRETHOWAN, R. The

response of wheat genotypes to inoculation with *Azospirillum brasilense* in the field. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 196, p. 368-378, 2016.

KLOEPPER, J. W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Free-living bacterial inoculation for enhancing crop productivity. **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 7, n. 2, p.39-43, 1989.

LANGER, R.H.M. **How grasses grow**. 2. ed. London: Edward Arnold, 1979.

LEMPP, B. Avanços metodológicos da microscopia na avaliação de alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, n. esp. , p. 315-329, 2007.

LIBÓRIO, P. H. da S.; BÁRBARO-TORNELI, I. M.; NÓBILE, F. O. de, ANUNCIAÇÃO, M. G.; MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A. da. Inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à adubação nitrogenada reduzida em híbridos de milho. **Nucleus**, Ituverava, v. 13, n. 2, p. 241-253, 2016.

LIMA, G. C. **Acúmulo de nutrientes na parte aérea e raízes, produção e composição química bromatológica do *Megathyrsus maximus* cv. brs zuri inoculado com bactérias promotoras do crescimento**. 2018. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/180736>. Acesso em: 29 set. 2020.

LIMA, R. de L. S. ; SILVA, M. I. L.; JERÔNIMO, J. F. *et al.* Uso fertilizante de cinza vegetal e lodo de esgoto para a produção do algodoeiro cv. Rubi. Parte 2. Variáveis de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5, 2005, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: Embrapa, CNPA, 2005.

LOPES, M. N. *et al.* Componentes estruturais do resíduo pós-corte em capim-massai adubado com cinco doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 2, n. 42, p. 518-525, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rca/v42n2/a35v42n2.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2020.

LUTZ, J. A.; GENTER, C. F.; HAWKINS, G. W. Effect of Soil pH on Element Concentration and Uptake by Maize: I. P, K, Mg, and Na. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, n. 5, p.581-583, 1972.

MAEDA, S. *et al.* **Aplicação de cinza de biomassa florestal para plantio de pinus taeda em Latossolo e Cambissolo de Piraí do Sul, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 6 p. Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 198.

MAEDA, S. ;BOGNOLA, I. A.; SILVA, H. D. **Avaliação de lama de cal e cinza de biomassa florestal como insumo florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 41 p. Série Documentos, 270.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 43-52, 2008.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

- MALIK, K. A.; BILAL, R.; MEHNAZ, S.; RASUL, G.; MIRSA, M. S.; ALI, M. S. Association of nitrogen-fixing, plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) with kallar grass and rice. **Plant and Soil**, Crawley, v. 194, p. 37-44, 1997.
- MANDRE, M.; PARN, H.; OTS, K.; Short-term effects of wood ash on the soil and the lignin concentration and growth of *Pinus sylvestris* L. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 223, p. 349–357, 2006.
- MARANHÃO, F. M.; CAIXETA, D. F.; OLIVEIRA, M. H. R. de; BITTAR, Dyb Youssef. Efeito de diferentes inoculantes sobre as características estruturais de cultivares de *Panicum maximum*. **Agronomic Journal**, Goianésia, v. 3, n. 2, p. 56-63, 2019.
- MARQUES, A. C. R.; OLIVEIRA, L. B.; NICOLOSO, F. T.; JACQUES, J. S.; GIACOMINI, S. J.; QUADROS, F. L. F. Biological nitrogen fixation in C4 grasses of different growth strategies of South America natural grasslands. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 113, p. 54-56, 2017.
- MARSHALL, C. Physiological aspects of pasture growth. In: SNAYDON, R, W. (ed.). **Managed grasslands**. Amsterdam: Elsevier, 1987. Cap. 4, p. 29-46.
- MELO, J. C. *et al.* Desenvolvimento e produtividade dos capins mombaça e marandu cultivadas em dois solos típicos do Tocantins com diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 10, n. 4, p. 786-800, 2009.
- MERINO, A.; OMIL, B.; HIDALGO, C.; ETCHEVERS, J. D.; BALBOA, M. A. Characterization of the organic matter in wood ash from biomass power plants in relation to the potential use as amendments in agriculture. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 28, n. 7, p. 2166-2175, 2017.
- MILFORD, R.; MINSON, D. J. Intake of tropical pasture species. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PASTAGEM, 9, 1965, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Secretaria de Agricultura, 1966. p. 814-822.
- MILLÉO, M. V. R.; CRISTÓFOLI, I. Avaliação da eficiência agrônômica da inoculação de *Azospirillum* sp. na cultura do milho. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, p. 14- 23, 2016.
- MONTEIRO, F. A.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, D. D. *et al.* Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agrícola**, Piraicaba, v. 52, n. 1, p. 135-41, 1995.
- MORO, L.; GONÇALVES, J. L. M. Efeitos da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais**, Piracicaba, v. 48/49, p. 18-27, 1995.
- MORO, L. **Utilização da cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis***. 1994. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- MUÑOZ-ROJAS, J.; CABALLERO-MELLADO, J. Population dynamics of *Gluconacetobacter diazotrophicus* in sugarcane cultivars and its effect on plant growth.

Microbial Ecology, v. 46, p.454-464, 2003.

NABINGER, C. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. PEIXOTO, A.M. *et al.* (ed.). **Fundamentos do pastejo rotacionado**. Piracicaba: Fealq, 1999. p. 213-252.

NAIBO, G. Teor de nutrientes e massa seca em plantas de cobertura de inverno sob aplicação de cinza de biomassa florestal. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 12, 2018, Xanxerê. **Anais [...]**. Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo. Santa Catarina, 2016. p. 1-5.

NORSTROM, S. H.; BYLUND, D.; VESTIN, J. L. K.; LUNDSTROM, U. S. Initial effects of wood ash application to soil and soil solution chemistry in a small, boreal catchment. **Geoderma**, Amsterdam, v. 187-188, p. 85-93, 2012.

OCHECOVA, P.; TLUSTOS, P.; SZAKOVA, J.; MERCL, F.; MACIAK, M. Changes in nutrient plant availability in loam and sandy clay loam soils after wood fly and bottom ash amendment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 2, p. 487-497, 2016.

OKADO, K. **Adubação com N, P₂O₅ e K₂O apenas em cobertura no crescimento de *Eucalyptus urograndis*, na região do Pontal do Paranapanema – SP**. 2010. 35 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2010.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*. In: RYDER, M. H.; STEPHENS, P. M.; BOWEN, G. D. (ed.). **Improving plant productivity with rhizosphere bacteria**. Adelaide: Common wealth Scientific and Industrial Research Organization, 1994. p. 274–278.

OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 2003. 40 p.

OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S.; BARIONI, W. J.; **Produção de forragem e qualidade de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com *Azospirillum brasilense* e fertilizada com nitrogênio**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 4 p. Circular Técnico, 54.

OSTERAS, A. H.; SUNNERDAHL, I.; GREGER, M. The impact of wood ash and green liquor dregs application on Ca, Cu, Zn and Cd contents in bark and wood of Norway Spruce. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 166, p. 17-29, 2005.

PATRIQUIN, D. G.; DÖBEREINER, J.; JAIN, D. K. Sites and processes of association between diazotrophs and grasses. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 29, n. 8, p. 900-915. 1983.

PARREIRA, L. H. M. *et al.* Efeito da bactéria *Azospirillum brasilense* na adubação química e orgânica em pastagens constituídas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 838-850, 2015.

PARK, B. B. *et al.* Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.28, p.355–365, 2005.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; SILVA, S. C. Acúmulo de forragem durante a rebrotação de capim-xaraés submetido a três estratégias de desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 618-625, 2009.

PITA, V.; VASCONCELOS, E.; CABRAL, F.; RIBEIRO, H. M. Effect of ash from sugarcane bagasse and wood co-combustion on corn growth and soil properties. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Abingdon, v. 58, n. sup1, p. 206-212, 2012.

PITMAN, R. M. Wood ash use in forestry: a review of the environmental impacts. **Forestry**, Oxford, v. 79, p. 563-588, 2006.

PIVA, R. *et al.* adubação em vinhedo orgânico da cv. isabel utilizando cinzas vegetais e esterco bovino. **Revistas Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 11, n. 2, p. 608-615, 2013.

PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; NATALE, W. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1493 – 1500, 2002.

QUADROS, P. D. **Inoculação de *Azospirillum* spp. em sementes de genótipos de milho cultivados no Rio Grande do Sul**. 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RADWAN, T. E. L. *et al.* Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 10, p. 987-994, 2004.

REIS JÚNIOR, F. B. ; TEIXEIRA, K. R. S.; REIS, V. M. **Fixação biológica de nitrogênio associada a pastagens de braquiária e outras gramíneas forrageiras**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 27 p. Documentos, 52.

REIS, V. M.; TEIXEIRA, K. R. S. Fixação biológica de nitrogênio—estado da arte. In: AQUINO, A.N.; ASSIS, R.L. **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. p. 151- 180.

RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p.700-709, 2000.

RODRIGUES, W. L. *et al.* Aplicação de silício associado ao *Azospirillum brasilense* e doses de N nos micronutrientes do solo. In: ENCONTRO PAULISTA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2018, Ilha Solteira. **Anais [...]**. Ilha Solteira: Epcis, 2018. p. 1-4.

RODRIGUES, C. S.; LARANJO, M.; OLIVEIRA, S. Effect of heat and pH stress in the growth of chickpea mesorhizobia. **Current Microbiology**, New York, v. 53, n. 1, p. 1-7, 2006.

RODRIGUES, R.C.; ALVES, A. C.; BRENNECKE, K. Densidade populacional de perfilhos, produção de massa seca e área foliar do capim-xaraés cultivado sob doses de nitrogênio e potássio. **Boletim Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 63, n. 1, p. 27-33, 2006.

ROESCH, L. F. W. *et al.* Characterization of diazotrophic bacteria associated with maize: effect of plant genotype, ontogeny and nitrogen supply. **World Journal of Microbiology and**

Biotechnology, Oxford, v. 22, p. 967-974, 2006.

ROSA, P. A. L. **acúmulo de matéria seca, extração e exportação de nutrientes por híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense***. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.

ROSSI, C. **Crescimento e nutrição do braquiário em latossolo dos Campos das Vertentes (MG) sob influência da calagem e fontes de fósforo**. 1995. 65 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

RUFINI, M. *et al.* Simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro-comum em diferentes valores de p. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 1, p. 81-88, 2011.

SAARSALMI, A.; SMOLANDER, A.; KUKKOLA, M.; MOILANEN, M.; SARAMÄKI, J. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 278, p. 63–70, 2012.

SANTANA, G. S. *et al.* Produção e composição bromatológica da forragem do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.), submetidos a diferentes fontes e doses de corretivo de acidez. **Semina-Ciencias Agrarias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 241-246, 2010.

SANTOS, C. C. dos. **Cinza vegetal como corretivo e fertilizante para os capins Marandu e Xaraés**. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2012.

SANTOS, J. A. G.; SANTOS, A. M. S.; REZENDE, J. O.; COELHO, I. A. ROCHA, E. S.; ROCHA, G. C. Avaliação do potencial corretivo da cinza, oriunda de biomassa vegetal, comparada ao calcário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Anais [...]**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV, 1995a. p. 1148-1150.

SANTOS, F. R. G. dos. **Resposta de cultivares de *Panicum maximum* à *Azospirillum brasilense* e uréia**. 2018. 25 f. Graduação (Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia) - Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2018.

SBRUZZI, E. K. **Cinza de biomassa florestal para aplicação nas culturas do feijão e do milho**. 2017. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 35-47, 2008.

SCHEEPERS, G. P.; TOIT, B. D. Potential use of wood ash in South African forestry: a review, **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, Grahamstown, v. 78 n. 4, p. 255-266, 2016.

SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; PVCIL, M.; BELOW, F. E. Comparison of corn leaf-nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and**

Plant Analysis, New York, v. 23, p. 2173- 2187, 1992.

SCHÖNAU, A. P. G.; HERBERT, M. A. Relationship between growth rate and foliar concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium for *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 120, p. 19-23, 1982.

SCHWENKE, G. D.; MANNING, W.; HAIGH, B. M. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface-applied to bare fallows, wheat crops and perennial-grass-based pastures on Vertosols. **Soil Research**, Rome, v. 52, n. 8, p. 805-821, 2014.

SHANKAR, M.; PONRAJ, P.; ILAKKIAM, D.; GUNASEKARAN, P. Root colonization of a rice growth promoting strain of *Enterobacter cloacae*. **Journal of Basic Microbiology**, Weinheim, v. 51, p. 523-30, 2011.

SANTALLA, M.; OMIL, B.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Effectiveness of wood ash containing charcoal as a fertilizer for a forest plantation in a temperate region. **Plant and Soil**, Madison, v. 346, p. 63–78, 2011.

SGOBI, M. A. **Acúmulo de matéria seca, extração e exportação de nutrientes de cultivares de trigo inoculados com *Azospirillum brasilense***. 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

SILVA, F. R. da. **Cinza de biomassa florestal: efeitos nos atributos de solos ácidos e na cultura do eucalipto**. 2008. 67 f. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2008.

SILVA, F. R. da. Cinza de biomassa florestal: alterações nos atributos de solos ácidos do planalto catarinense e em plantas de eucalipto. **Scientia Agraria**, Santa Catarina, v. 10, n. 6, p. 475-482, 2009.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: Ed. da Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235 p.

SILVA, F. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L. C.; MARANGONI, J. M. Cinza de biomassa florestal: alterações nos atributos de solos ácidos do planalto catarinense e em plantas de eucalipto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 6, p. 475-482, 2009.

SILVA, T. F. *et al.* Bactérias diazotróficas não simbióticas e enraizamento de estacas semilenhosas de oliveira (*Olea europaea* L.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 1, n. 27, p. 61-71, 2017.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 91, 2000, 12 p. 2000.

SIPIONE, M. S.; LIMEDE, A. C.; OLIVEIRA, C. E. S.; ZOZ, A.; SILVA, C. S.; ZOZ, T. Formas de inoculação de *Azospirillum brasilense* no crescimento inicial de tritcale. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 4, p. 86-94, 2017.

SKONIESKI, F. R. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio em milho para produção de silagem e grãos**. 2015. 94 f. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Rurais

Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F. Adsorção de boro em solos ácidos em função da variação do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 111-120, 2008.

SOLLA-GULLÓN, F. *et al.* Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 237, p. 312–321, 2006.

SOUZA, J. da S. **Estratégias de manejo de capim-massai pastejado por ovinos sob lotação intermitente**. 2016. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2016.

STEENHOUDT, O.; VANDERLEYDEN, J. *Azospirillum*, a free-living nitrogen fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. **Federation of European Microbiological Societies**, Oxford, v. 24, p. 487-506, 2000.

TARELHO, L. A. C.; NEVES, D. S. F.; MATOS, M. A. A. Forest biomass waste combustion in a pilot-scale bubbling fluidized bed combustor. **Biomass Bioenergy**, Oxford, v. 35, p.1511-1523, 2011.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, p. 797-804, 2010.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 37, n. 5, p. 1016-1024, 1979.

TIYUAN, X.; CHANGQUN, D.; CAIXIAN, Z.; DENGGAO, F.; ZONGYAN, D.; LIANGJUN, D. A study on the soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantation and their adjacent vegetations. **Journal of Yunnan University**, Kunming, v. 32, n. 1, p. 118-123, 2010.

TRENTINI, D.B. **Identificação dos alvos celulares das proteínas de transdução de sinal PII do diazotrófico de vida livre *Azospirillum amazonense***. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Molecular) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

UKWATTAGE, N. L.; RANJITH, P. G.; BOUAZZA, M. The use of coal combustion fly ash as a soil amendment in agricultural lands (with comments on its potential to improve food security and sequester carbon). **Fuel**, Guildford, v. 109, p. 400-408, 2013.

VERMA, R. *et al.* Population dynamics and identification of efficient strains of *Azospirillum* in maize ecosystems of Bihar (India). **Biotech**, v. 1, p. 247-253, 2011.

VÄÄTÄINEN, K.; SIRPARANTA, E.; RÄISÄNEN, M.; TAHVANAINEN, T. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 3335-3341, 2011.

VALLE, C. B.; JANK, L.; RESENDE, R. M. S. O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 460-472, 2009.

VOLPE, E.; MARCHETTI, M. E.; MACEDO M. C. M.; *et al.* Acúmulo de forragem e características do solo e da planta no estabelecimento de capim-massai capim-massai com diferentes níveis de saturação por bases, fósforo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 228-237, 2008.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; SILVA, J. V. M.; ROSS, G. P. D.; MOREIRA, E. S. Utilização de cinza de caldeira de biomassa como fonte de nutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Benefícios, Produtos e Serviços da Floresta: Oportunidades e Desafios do Século XXI**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2003.

VOGEL, G., MARTINKOSKI, L., RUZICKI, M. 2014. Efeitos da utilização de *Azospirillum* brasileiro em poáceas forrageiras: importâncias e resultados. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 01-06, 2014.

VOUNDI NKANA, J. C. *et al.* Effect of wood ash application on soil solution chemistry of tropical acid soils: incubation study. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 85, p. 323–325, 2002.

YOUNGNER, V. B. Physiology of defoliation and regrowth. In: YOUNGNER, V. B.; MICKELL, C. M. (ed.). **The biology and utilization of grasses**. London: Academic Press. p. 292-304. 1972.

ZIMMERMANN, S.; FREY, B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, n. 11, p. 1727-1737, 2002.

WARNOCK, R. E. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 34, n. 5, p. 765-769, 1970.

WILSON, J.R. Structural and anatomical traits of forages influencing their nutritive value for ruminants. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO. **Anais [...]**. Viçosa: UFV, 1997. p. 411-429.

APÊNDICES – FOTOS DO EXPERIMENTO

Foto 1 – Coleta do solo para análise final dos atributos químicos



Foto 2 – Primeiro ciclo do capim Massai aos 40 dias após semeadura.



Foto 3 – Segundo ciclo do capim Massai aos 30 dias após primeiro corte.



Foto 4 – Terceiro ciclo do capim Massai aos 30 dias após segundo corte.



Foto 5 – Medição da altura do capim Massai.



Foto 6 – Medições do índice clorofila foliar (ICF) no capim Massai.



Foto 7 – Medições índice de área foliar do capim Massai.



Foto 8 – Vista dos vasos após a realização do 1º corte capim Massai.



Foto 9 – Retirada das raízes do capim Massai do vaso.



Foto 10 – Sistema radicular do capim Massai.



Foto 11 – Medição do volume de raízes do capim Massai.

