

Resíduos industriais como matéria prima na produção de fertilizantes e utilização no cultivo de milho e feijão

Industrial waste as raw material in the production of fertilizers and use in the cultivation of corn and beans

Residuos industriales como materia prima en la producción de fertilizantes y uso en el cultivo de maíz y frijol

Recebido: 29/06/2020 | Revisado: 11/07/2020 | Aceito: 12/07/2020 | Publicado: 30/07/2020

Alexandre Sylvio Vieira da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7251-7816>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: alexandre.costa@ufvjm.edu.br

Resumo

A atividade industrial tem intensificado elevando significativamente o consumo dos recursos naturais. Associado a intensa atividade produtiva, está a produção de resíduos de características físicas, químicas e toxidez distintas. O desenvolvimento de tecnologias de reaproveitamento dos resíduos para outras atividades, principalmente agricultura, que consome grande volume de insumos, é um dos caminhos para redução do impacto ambiental e agregação de valor para indústria. O presente trabalho teve como objetivo avaliar dois produtos originários de resíduos industriais no desenvolvimento das plantas de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Utilizou dois materiais desenvolvidos de resíduos: Ecogesso utilizado individualmente e associado ao Cloreto de Cálcio (CaCl_2) na proporção 10:1. Foram utilizados dois substratos com 25% e 75% de argila. As dosagens de Ecogesso+ CaCl_2 avaliadas foram 0, 1, 3, 5 e 7 toneladas.ha⁻¹ e 1 e 3 toneladas.ha⁻¹ somente com Ecogesso. Após a preparação dos substratos semeou-se o milho e o feijão. As plantas foram coletadas 30 dias após a germinação avaliando-se o peso seco. As plantas de milho, responderam positivamente as aplicações de Ecogesso+ CaCl_2 até a dosagem de 4,0 toneladas.ha⁻¹, com o desempenho das plantas reduzindo a partir desta dose. Em relação à cultura de feijão, as plantas apresentaram respostas menos significativas no seu desenvolvimento. As culturas apresentaram melhor desempenho no substrato com menor teor de argila. Em relação ao Ecogesso combinado com o CaCl_2 , o milho respondeu melhor a

presença do CaCl_2 na menor dose (1,0 tonelada.ha⁻¹) e o feijão na maior (3,0 toneladas.ha⁻¹) quando comparado ao Ecogesso puro.

Palavras-chave: Ecogesso; Cloreto de cálcio; Fertilidade do solo; Adubação.

Abstract

Industrial activity has intensified, significantly increasing the consumption of natural resources. Associated with intense production activity is the production of residues with different physical, chemical and toxic characteristics. The development of waste reuse technologies for other activities, mainly agriculture, which consumes a large volume of inputs, is one of the ways to reduce the environmental impact and add value to the industry. This work aimed to evaluate two products originating from industrial residues in the development of corn (*Zea mays* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. It used two materials developed from residues: the Ecogypsum used individually and associated with the Calcium Chloride (CaCl_2) in the proportion 10:1. Two substrates with 25% and 75% clay were used. The Ecogypsum+ CaCl_2 dosages evaluated were 0, 1, 3, 5 and 7 tons.ha⁻¹ and 1 and 3 tons.ha⁻¹ with pure Ecogypsum. After preparing the substrates, corn and beans were sown. Plants were collected 30 days after germination and dry weight was evaluated. The corn plants responded positively to the applications of Ecogypsum + CaCl_2 up to the dosage of 4.0 tons.ha⁻¹, with the performance of the plants decreasing after this dose. In relation to the bean culture, the plants showed less significant responses in their development. The crops showed better performance in the substrate with less clay content. Regarding Ecogypsum combined with CaCl_2 , corn responded better to the presence of CaCl_2 in the lowest dose (1.0 ton.ha⁻¹) and beans in the highest (3.0 tons.ha⁻¹) when compared to pure Ecogypsum .

Keywords: Ecogypsum; Calcium chloride; Soil fertility; Fertilizing.

Resumen

La actividad industrial se ha intensificado, aumentando significativamente el consumo de recursos naturales. Asociada a una intensa actividad de producción está la producción de residuos con diferentes características físicas, químicas y tóxicas. El desarrollo de tecnologías de reutilización de residuos para otras actividades, principalmente la agricultura, que consume un gran volumen de insumos, es una de las formas de reducir el impacto ambiental y agregar valor a la industria. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar dos productos procedentes de residuos industriales en el desarrollo de plantas de maíz (*Zea mays* L.) y frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.). Se utilizaron dos materiales desarrollados a partir de residuos: el

Ecogesso utilizado individualmente y asociado con el cloruro de calcio (CaCl_2) en la proporción 10:1. Se usaron dos sustratos con 25% y 75% de arcilla. Las dosis de Ecogesso + CaCl_2 evaluadas fueron 0, 1, 3, 5 y 7 toneladas.ha⁻¹ y 1 y 3 toneladas.ha⁻¹ con Ecogesso puro. Después de preparar los sustratos, se sembraron maíz y frijol. Las plantas se recolectaron 30 días después de la germinación y se evaluó el peso seco. Las plantas de maíz respondieron positivamente a las aplicaciones de Ecogesso + CaCl_2 hasta la dosis de 4.0 toneladas.ha⁻¹, y el rendimiento de las plantas disminuyó después de esta dosis. En relación al cultivo de frijol, las plantas mostraron respuestas menos significativas en su desarrollo. Los cultivos mostraron un mejor rendimiento en el suelo con menos contenido de arcilla. Con respecto a Ecogesso combinado con CaCl_2 , el maíz respondió mejor a la presencia de CaCl_2 en la dosis más baja (1.0 ton.ha⁻¹) y lo frijol en la dosis más alta (3.0 toneladas.ha⁻¹) en comparación con Ecogesso puro.

Palabras clave: Ecogesso; Cloruro de calcio; Fertilidad del suelo; Fertilizante.

1. Introdução

Atualmente, os resíduos industriais são considerados um dos responsáveis por grande parte dos impactos ambientais que ocorrem. Provenientes da produção industrial, não podem ser descartados sem algum tipo de controle, exigindo processos específicos para sua destinação e eliminação devido a sua composição variada. Muitos são considerados perigosos, acarretando consequências negativas não apenas para o meio ambiente, mas também para saúde da população.

Dentre esses resíduos industriais, estão as matérias primas para produção do Ecogesso, constituído pela lama de cal residual e pelo ácido sulfúrico residual de baterias automotivas, e o Cloreto de Cálcio, formado pela reação do ácido clorídrico residual do tratamento das chapas galvanizadas com carbonato de cálcio. A lama de Cal, é formada por carbonato de cálcio (CaCO_3) (Barretto, 2008) e tem origem nas indústrias de papel e celulose no processo Kraft, sendo retirado na etapa de caustificação (Soares, 2018; Foelkerl, 2011).

O ácido sulfúrico (H_2SO_4) é um ácido forte, classificado pela União Europeia como corrosível, solúvel em água. A maior utilização deste ácido ocorre para produção de fertilizantes fosfatados e sulfatados e trifosfato de sódio, que é utilizado na fabricação de plásticos, sabões e detergentes (Oliveira, 2017). O ácido sulfúrico residual pode ter várias origens, dentre elas a da reciclagem de baterias automotivas (Sales e Neto, 2008).

O cálcio presente no gesso agrícola e no CaCl_2 tem um papel importante na redução e no controle do desenvolvimento de muitas desordens fisiológicas em frutos, minimizando o problema quando aplicado no solo ou via adubação foliar. Atua na estrutura e funcionamento das membranas e parede celular. A sua deficiência nas plantas promove uma série de desordens fisiológicas nas células vegetais como a deterioração acentuada da estrutura das membranas promovendo mudanças na permeabilidade à passagem de água (Silva et al., 2003).

Sendo elemento essencial das plantas, o enxofre é constituinte comum das proteínas e de muitos outros compostos celulares, atuando no desenvolvimento vegetativo, na frutificação das plantas e na síntese de aminoácidos cisteína e metionina. As proteínas são responsáveis por aproximadamente 90% do enxofre presente nas plantas (Malavolta et al., 1997).

O gesso agrícola é um sal neutro extraído de jazidas de gipsita encontradas principalmente na região Nordeste (Oliveira et al, 2012). É também um sub produto gerado na indústria de fertilizantes fosfatados (Caires et al, 2011). Apresenta em sua composição química de 17% a 20% de Cálcio, 14% a 17% de Enxofre e 15% a 20% de água (Nuernberg et al, 2005). Tem como função melhorar as propriedades físicas e físico-químicas dos solos ou pode ser um agregado aos demais corretivos a fim de potencializar os resultados. É fonte de enxofre e cálcio para o solo considerando que os solos agricultáveis brasileiros possuem baixo teor de enxofre. O gesso auxilia também nos solos distróficos reduzindo os problemas causados pela acidez. O gesso como um condicionador para de solo possui diversas funções como a redução da resistência do solo a penetração das raízes, principalmente em argilosos que apresentam camada compactada. (Nuernberg et al, 2005).

A aplicação de gesso agrícola na superfície do solo tende a aumentar a saturação de bases do solo e reduzir os efeitos tóxicos do alumínio, diminuindo seus efeitos adversos no crescimento das raízes, promovendo aumentos na produtividade. Ensaios realizados por Silva (2018) com gesso agrícola nas doses entre 0 e 12 toneladas.ha⁻¹ na cultura da soja demonstraram que as doses crescentes de gesso promoveram um maior desenvolvimento da massa úmida e seca da parte aérea e as respostas positivas das raízes observadas até a profundidade de 0,40 m. A máxima eficiência do gesso agrícola no desempenho das plantas de soja foi observada na dose de 6 toneladas.ha⁻¹.

O Ecogesso Agrícola é um produto desenvolvido no laboratório de resíduos da UFVJM visando o seu uso na agricultura com ação mais efetiva no solo e para as culturas quando comparado ao gesso agrícola convencional.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do Ecogesso agrícola e do CaCl_2 , desenvolvidos de reações de resíduos industriais, no desenvolvimento inicial das plantas de milho e feijão.

2. Metodologia

O experimento foi realizado no laboratório de Resíduos Industriais e Solos da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri na cidade de Teófilo Otoni Minas Gerais.

O trabalho é um estudo quantitativo, segundo a caracterização de Pereira et al. (2018) e foi desenvolvido utilizando dois tipos de substratos elaborados com mistura de material mineral de granulometria média de 2,0 mm (classificado como cascalho fino) e solo argiloso. O solo argiloso foi coletado no horizonte B textural de um Argissolo Vermelho amarelo, secado a sombra e peneirado em peneira de 1,0 mm. O primeiro substrato foi preparado com a mistura de 75% de material mineral e 25% de solo argiloso (v/v) (substrato 1) e o segundo substrato foi preparado com 25% de material mineral e 75% de solo argiloso (substrato 2). Os materiais foram homogeneizados e depositados em vasos. As espécies vegetais utilizadas neste experimento foram o milho (*Zea mays* L.), variedade BT e o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade Carioca.

O Ecogesso Agrícola foi oriundo da reação química da lama de cal residual de indústria de celulose (CaCO_3) com o ácido sulfúrico residual (H_2SO_4) de baterias automotivas, misturados até valores de pH próximos a neutralização (pH=7). O Ácido sulfúrico é retirado de baterias usadas que retornaram para a fábrica através da logística reversa. Após o desmonte das baterias, o ácido é purificado em membranas para retirada do chumbo presente na solução. O Cloreto de cálcio (CaCl_2), é oriundo da reação do ácido clorídrico residual (HCl) de tratamento de galvanização de chapas de aço com o calcário calcítico (CaCO_3) utilizado na agricultura. O ácido clorídrico residual é tratado em membranas microporosas para retirada de metais tóxicos. Após a preparação dos produtos, os mesmos foram secados, moídos e peneirados em peneiras de 840 micrometros para homogeneização das partículas. O CaCl_2 apresentou composição de 53.100 mg/kg de cálcio e 500 mg/kg de cloro. O Ecogesso dolomítico apresentou composição de 23% de CaO e 15% de SO_4 .

Foram utilizadas cinco doses de Ecogesso com cloreto de cálcio e duas doses de Ecogesso sem a presença de cloreto de cálcio. O Ecogesso e o cloreto de cálcio foram

misturados na proporção de 10:1 (10 partes de Ecogesso para uma parte de CaCl_2). Após a mistura os materiais foram peneirados em peneira de 840 micrometros visando sua homogeneização.

O experimento foi elaborado com as seguintes dosagens da mistura do Ecogesso e cloreto de cálcio: (0, 1, 3, 5, e 7 toneladas.ha⁻¹). O Ecogesso, sem a presença do cloreto de cálcio, foi utilizado nas dosagens de 1 e 3 toneladas.ha⁻¹.

Foram utilizados vasos de 200 cm³ como recipiente (vasos) dos substratos e o cálculo das doses dos compostos químicos foi realizado a partir da relação agrônômica do volume do solo no campo utilizando-se a área de um hectare e 20 cm de profundidade, equivalente a 2000 m³ de solo. Em seguida foi realizado o cálculo de proporcionalidade para determinar a quantidade de dose do Ecogesso+ CaCl_2 e Ecogesso para cada vaso. Para cada tonelada aplicada em 2000 m³ de solo correspondeu a 0,1g nos vasos de 200 cm³. Desta forma foram aplicados nos vasos 0g, 0,1g, 0,3g, 0,5g e 0,7g da mistura Ecogesso+ CaCl_2 e 0,1g e 0,3g para Ecogesso puro. Os materiais foram pesados separadamente para posterior aplicação nos vasos.

Após o enchimento dos vasos com os substratos preparados, os materiais (Ecogesso+ CaCl_2 e Ecogesso) foram incorporados nos substratos de cada vaso. Após a homogeneização os vasos foram irrigados com 40 ml de água destilada e, em seguida, foram semeadas cinco sementes de feijão e milho em cada copo correspondente irrigando-se, em seguida, com mais 20 ml de água destilada em cada vaso. A partir da semeadura os vasos foram irrigados a cada dois dias. Após cinco dias da semeadura foi realizado um desbaste das plantas mantendo-se duas por vaso.

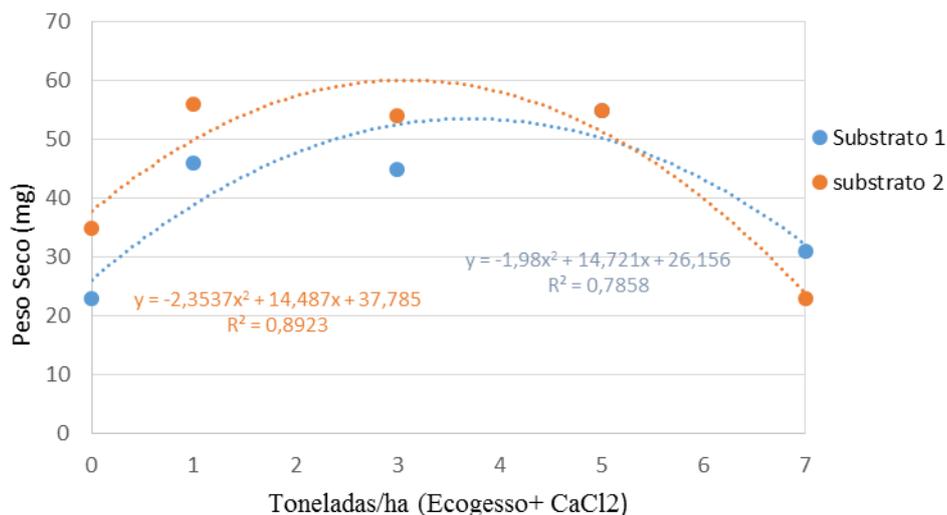
Após 30 dias da germinação as plantas foram coletadas para avaliação. A retirada das plantas do substrato foi realizada em bandejas com água onde o substrato era inserido até a sua completa dissolução evitando a perda de material. Em seguida, as raízes foram lavadas em água corrente para a retirada de partículas aderidas e separadas da parte aérea, colocando-os em sacos de papel e posterior secagem. Após a secagem das plantas, foi realizada a pesagem das raízes e das partes aéreas por meio de balança de precisão para determinação do seu peso seco.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. Após a coleta, os dados foram tabulados em planilha e as análises estatísticas realizadas. Realizou-se o teste de Anova e o teste de médias aplicando Tukey a 5% de probabilidade e curvas de regressão de desenvolvimento das plantas em relação as doses quantitativas de Ecogesso+ CaCl_2 .

3. Resultados e Discussão

O comportamento do peso seco da parte aérea das plantas de milho desenvolvidas em substratos com diferentes combinações de cascalho fino e argila e diferentes doses de Ecogesso+CaCl₂ pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Peso seco da parte aérea do milho cultivado em diferentes substratos e doses de Ecogesso+CaCl₂.



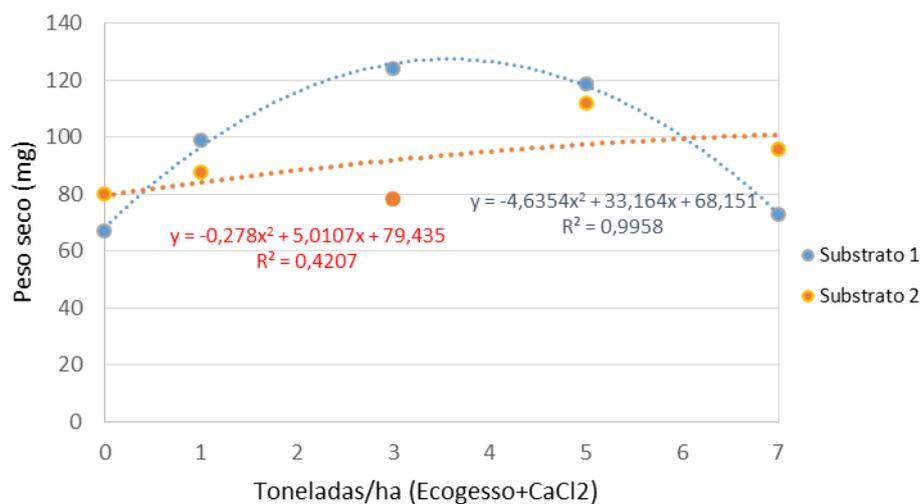
Fonte: Os autores.

Verifica-se um comportamento bastante semelhante do desenvolvimento das plantas em relação aos substratos. As plantas responderam positivamente, em relação ao substrato 2 com 75% de solo argiloso até a dose de aproximadamente 3,0 toneladas.ha⁻¹, enquanto no substrato 1 contendo 25% de solo argiloso, o pico da resposta ficou em aproximadamente 3,5 toneladas.ha⁻¹. A partir destes pontos de resposta de pico o desempenho das plantas reduziu até a dose máxima aplicada de 7,0 toneladas.ha⁻¹, com valores próximos ao desempenho do tratamento testemunha (0 tonelada.ha⁻¹). Estes resultados indicam que o Ecogesso acrescido do CaCl₂ (Cloreto de cálcio) apresentou um ganho no desenvolvimento das plantas (massa seca da parte aérea), até determinadas dosagens. Acima destes valores, provavelmente os efeitos de excesso de nutrientes e o seu desequilíbrio no substrato promoveram a queda de rendimento da parte aérea das plantas.

Em relação ao peso seco das raízes das plantas de milho (Figura 2), podemos observar que o desempenho no substrato 1 com 25% de solo argiloso mostrou-se semelhante ao

desempenho da parte aérea das plantas com pico de produção de massa seca entre 3,0 e 3,5 toneladas.ha⁻¹. Em relação as plantas cultivadas no substrato 2 com 75% de solo argiloso, o desempenho das raízes foi distinto da parte aérea, com resposta quase linear, com máximo de desempenho nas doses de 7,0 toneladas.ha⁻¹. Provavelmente, a menor capacidade de troca catiônica (CTC) do substrato 1, com 25% de solo argiloso, promoveu uma maior disponibilidade de nutrientes no substrato comprometendo o desenvolvimento das raízes e da parte aérea pelo excesso de absorção de nutrientes, cálcio e enxofre, diferente do substrato 2, de maior CTC onde os nutrientes minerais ficaram adsorvidos, restringindo a absorção dos mesmos pelas raízes, promovendo o pico de absorção de nutrientes e respostas positivas nas maiores doses de Ecogesso+CaCl₂.

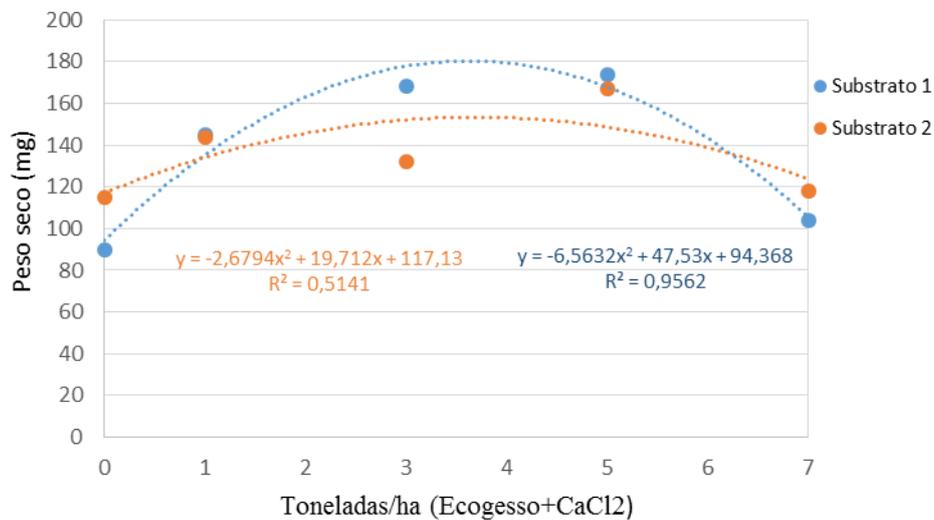
Figura 2 - Peso seco das raízes de milho cultivado em diferentes substratos e doses de Ecogesso+CaCl₂.



Fonte: Os autores.

Quando analisamos o peso seco total das plantas de milho (parte aérea+raiz) verificamos o comportamento geral das plantas e seu desempenho de desenvolvimento em relação aos substratos e as doses do Ecogesso+CaCl₂ (Figura 3).

Figura 3 - Peso seco total das plantas de milho cultivadas em diferentes substratos e doses de Ecogesso+CaCl₂.



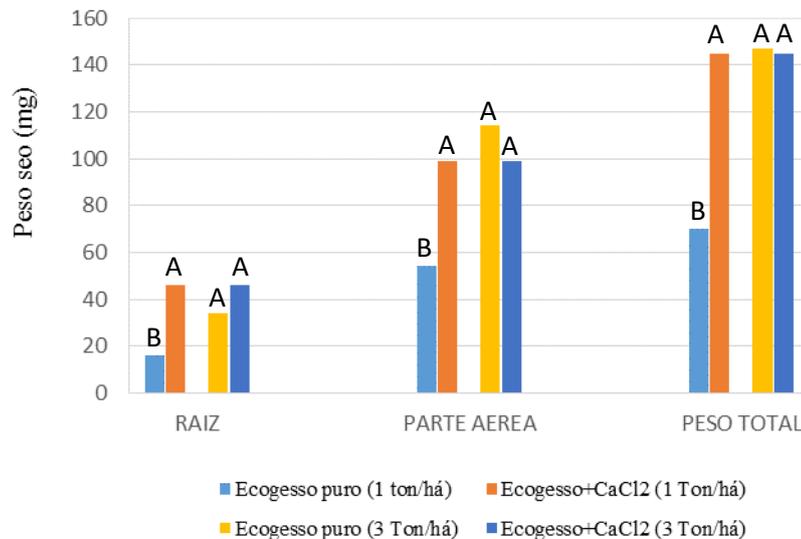
Fonte: Os autores.

Observamos uma resposta mais intensa das plantas no substrato 1 com 25% de solo argiloso em relação ao substrato 2. Esta diferenciação nas respostas das plantas pode ser analisada considerando novamente a CTC dos substratos. A maior CTC do substrato 2 reduz a resposta das plantas em relação a quantidade de produto aplicado, assim como a queda na produtividade. No substrato de menor CTC (substrato 1), devido a menor presença de argila, os elementos químicos permanecem mais tempo disponíveis no substrato, devido à reduzida adsorção e com isto melhorando a resposta das plantas (Figura 3). De modo geral, o máximo de resposta das plantas nos diferentes substratos permaneceu entre 3,0 e 4,0 toneladas.ha⁻¹ para este ensaio. No substrato 1, o aumento da resposta das plantas sem aplicação do Ecogesso+CaCl₂ (0,0 tonelada.ha⁻¹) até o máximo de resposta atingiu aproximadamente 100% de aumento enquanto no substrato 2, de maior CTC, esta intensidade de aumento entre os valores da massa seca da dose de 0 tonelada.ha⁻¹ e o pico de produção de massa seca foi de aproximadamente 25%.

Neste ensaio também foram avaliadas as doses de Ecogesso sem a presença do CaCl₂. Comparando, nas mesmas doses, com e sem a utilização do CaCl₂ no substrato 1 com 25% de solo argiloso (Figura 4), observa-se que na dose de 1,0 tonelada.ha⁻¹, a resposta das plantas em relação ao peso seco, tanto para parte aérea quanto para as raízes foi superior no tratamento com a presença de CaCl₂. Com a utilização de 3,0 toneladas.ha⁻¹ não foram observadas diferenças significativas entre o desenvolvimento das plantas com e sem o CaCl₂,

indicando que o próprio Ecogesso supriu de forma total as necessidades das plantas, sem a necessidade do acréscimo de cálcio via CaCl_2 .

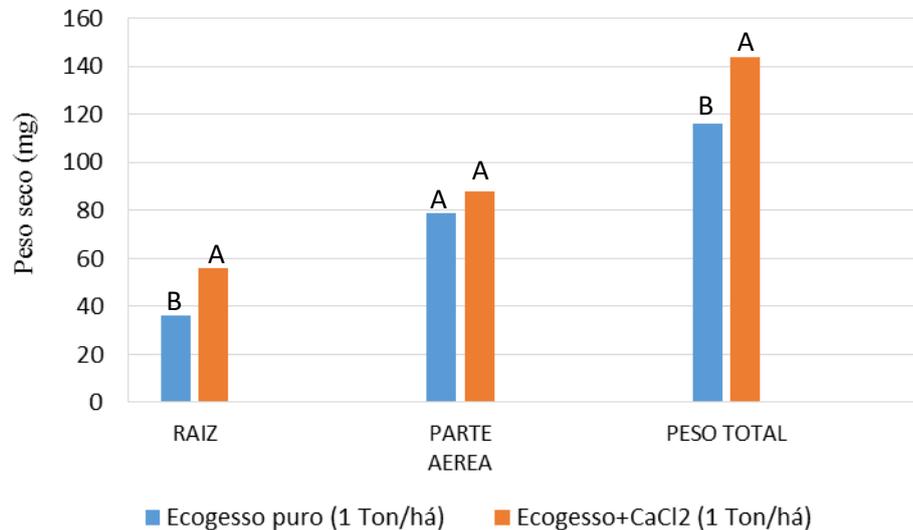
Figura 4 - Peso seco das plantas de milho cultivado com diferentes doses de Ecogesso e CaCl_2 no Substrato 1.



Fonte: Os autores.

Na Figura 5 foi avaliada a dose de 1,0 tonelada.ha⁻¹ de Ecogesso com e sem a utilização de CaCl_2 no substrato 2 com 75% de solo argiloso. Verifica-se que o acréscimo do cloreto de cálcio beneficiou o desenvolvimento das raízes das plantas e das plantas na sua integralidade (peso seco total), com exceção da parte aérea. Novamente observamos os resultados positivos do acréscimo de CaCl_2 no desenvolvimento das plantas de milho na melhoria do nível de cálcio do substrato.

Figura 5 - Peso seco das plantas de milho cultivado com diferentes doses de Ecogesso e CaCl_2 no substrato 2.



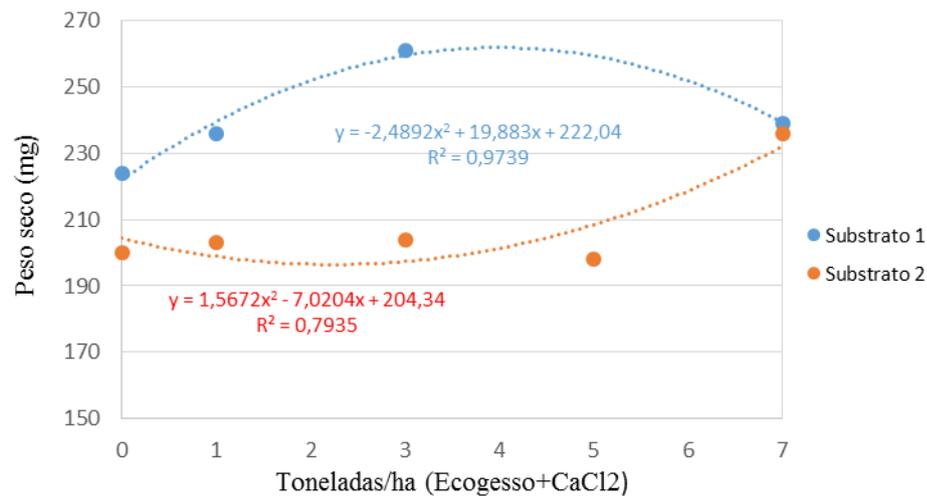
Fonte: Os autores.

As respostas das plantas de milho neste experimento apresentam resultados semelhantes aos obtidos por Amaral et al (2017) que avaliaram a aplicação de gesso agrícola em doses variando entre 0 e 4,0 toneladas.ha⁻¹. Observaram que a maior produtividade do milho foi obtida com a dose de 4,0 toneladas.ha⁻¹. Verificaram também o aumento na concentração de cálcio, magnésio e enxofre na camada de 20-40 cm do solo, além da redução dos teores de alumínio.

As respostas do peso seco da parte aérea das plantas de feijão em relação as doses de Ecogesso+CaCl₂ aplicados nos diferentes substratos apresentaram diferenças significativas (Figura 6). No substrato 1 com 25% de solo argiloso na sua composição, as plantas apresentaram um desempenho positivo até a dose aproximada de 4,0 toneladas.ha⁻¹, momento onde ocorreu o pico de produção. A partir deste ponto até a dose de 7,0 toneladas.ha⁻¹, a produtividade da parte aérea das plantas reduziu. No substrato com maior teor de argila (substrato 2) a parte aérea das plantas não respondeu positivamente a aplicação do Ecogesso+CaCl₂ nas menores doses com resposta positiva no desenvolvimento ocorrendo a partir da dose de 3,0 toneladas.ha⁻¹ até a maior dose. Verificamos que as respostas ao desenvolvimento da parte aérea das plantas de feijão estão provavelmente ligadas as características químicas do substrato, principalmente a sua CTC, como ocorreu com as plantas de milho. Após a aplicação do Ecogesso+CaCl₂ no substrato pode ter ocorrido a sua adsorção,

fato que levou a uma falta de resposta das plantas no seu desenvolvimento inicial, diferente do substrato 1, menos argiloso, onde a CTC é menor, fato que disponibiliza os nutrientes de forma mais efetiva para as plantas (Figura 6).

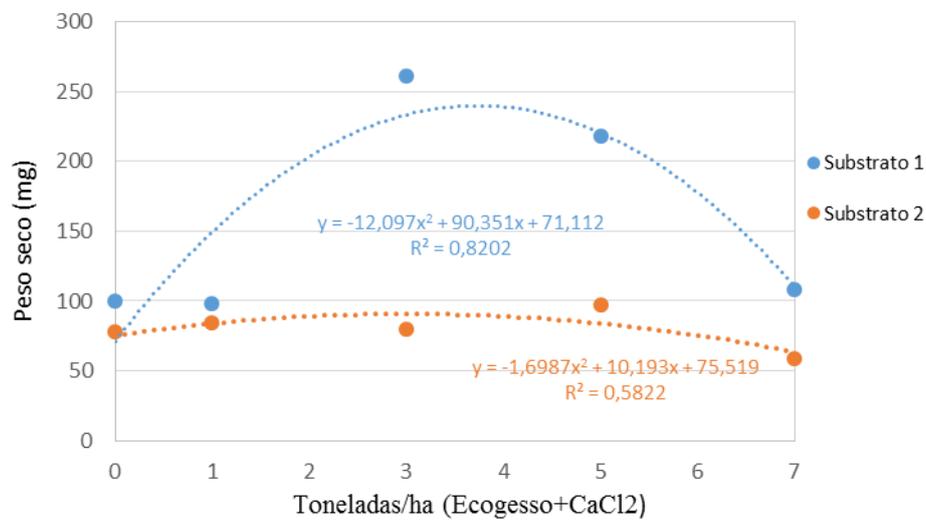
Figura 6 - Peso seco da aérea do feijão cultivado em diferentes substratos e doses de Ecogesso+CaCl₂.



Fonte: Os autores.

O comportamento das raízes das plantas de feijão foi semelhante ao comportamento da parte aérea onde observa-se respostas mais intensas no substrato 1 com 25% de solo argiloso até a dose aproximada de 3,5 toneladas.ha⁻¹ com queda no desenvolvimento a partir deste ponto até a maior dose (7,0 toneladas.ha⁻¹) fato que não ocorreu no substrato 2, mais argiloso onde praticamente não foram observadas respostas das raízes a aplicação do produto (Figura 7). Além da CTC do substrato na retenção dos nutrientes minerais a menor presença de macroporos do substrato pode ter interferido no desenvolvimento radicular, mas de modo geral, observamos que a planta responde de forma positiva a aplicação do produto no substrato (Figura 7).

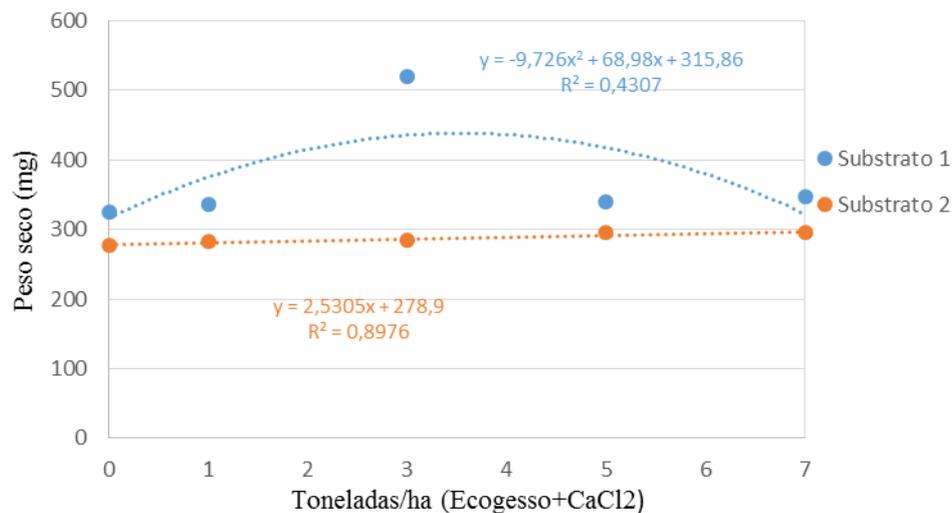
Figura 7 - Peso seco das raízes de feijão cultivado em diferentes substratos e doses de Ecogesso+CaCl₂.



Fonte: Os autores.

O desenvolvimento geral das plantas de feijão através do peso seco total pode ser observado na Figura 8. De modo geral, no substrato 1 com menor teor de argila, as plantas apresentaram ganhos de massa até valores próximos a 4,0 toneladas.ha⁻¹ de Ecogesso+CaCl₂. A partir deste ponto observa-se uma queda indicando a inviabilidade do seu uso em altas doses. No substrato 2, com elevado teor de argila, as plantas responderam até as maiores doses da aplicação do Ecogesso+CaCl₂, mas com acréscimos muito discretos na massa seca. Apesar desta evolução, quando comparamos o comportamento das plantas de feijão nos dois substratos, verificamos que as plantas desenvolveram de forma mais intensa no substrato menos argiloso. Este fato pode ser explicado considerando que as raízes das plantas de feijão são sensíveis a ausência de oxigênio no substrato, fator que promove a redução do seu ganho de massa seca, além é claro da disponibilização dos elementos minerais para as plantas ser maior nos substratos menos argilosos em relação aos substratos mais argilosos.

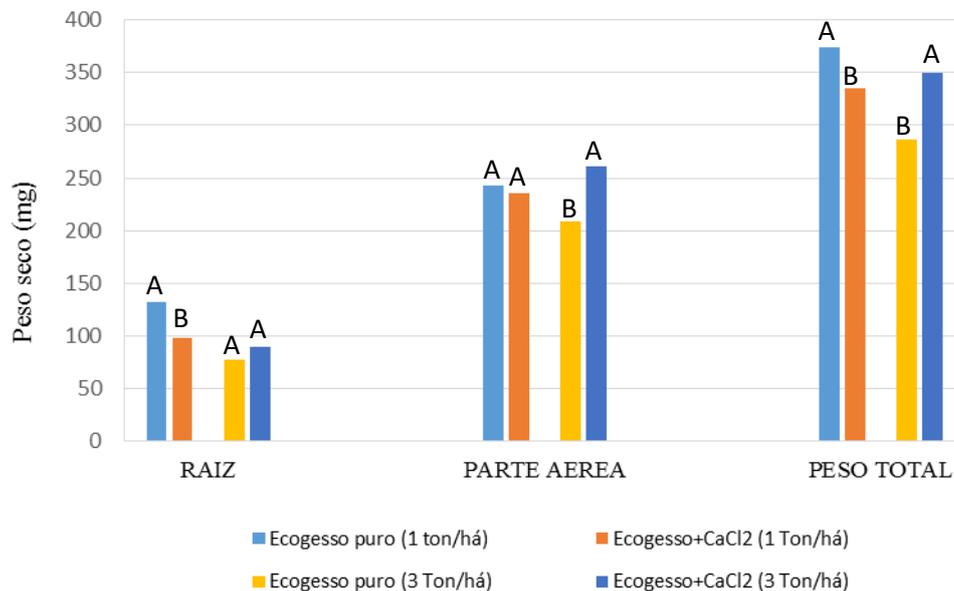
Figura 8 - Peso seco total das plantas de feijão cultivadas em diferentes substratos e doses de Ecogesso+CaCl₂.



Fonte: Os autores.

Quando comparamos a aplicação de 1,0 e 3,0 toneladas.ha⁻¹ de Ecogesso sem CaCl₂ e com CaCl₂ no substrato 1 (25% de solo argiloso), verificamos um comportamento diferenciado (Figura 9). De modo geral, as plantas de feijão apresentaram melhor desempenho de desenvolvimento de massa seca, sem a presença do CaCl₂ na menor dose aplicada (1,0 tonelada.ha⁻¹), mas quando analisamos na maior dose (3,0 toneladas.ha⁻¹), o melhor desempenho das plantas foi verificado com a presença de CaCl₂. Estes resultados corroboram com os resultados analisados nas figuras anteriores das plantas de feijão onde observamos as melhores respostas das plantas com a aplicação do Ecogesso+CaCl₂ nas doses próximas a 3,0 toneladas.ha⁻¹.

Figura 9 - Peso seco das plantas de feijão utilizando diferentes doses de Ecogesso+CaCl₂ no substrato 1.



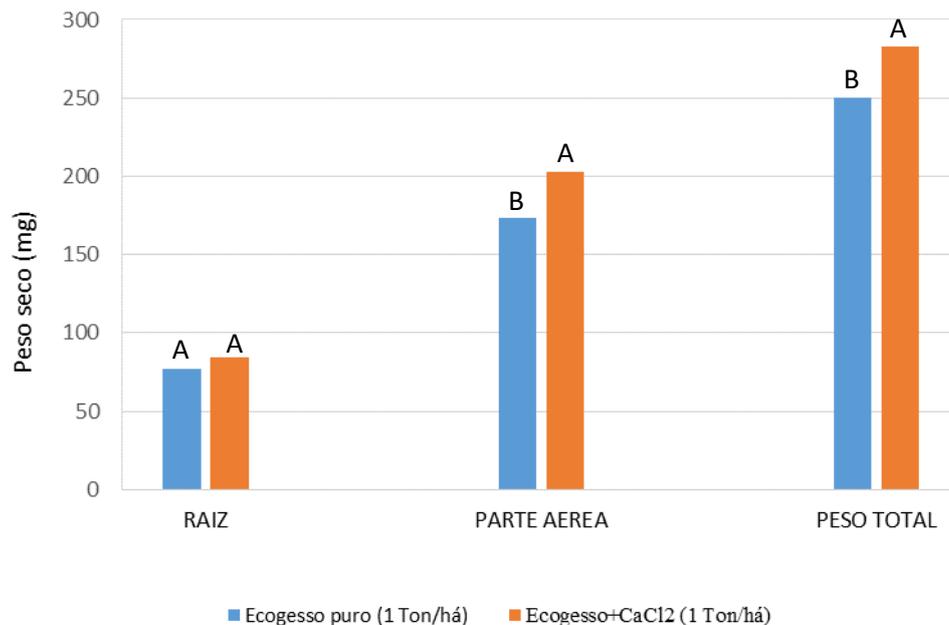
Fonte: Os autores.

As respostas das plantas de feijão, em diversos trabalhos são distintas em relação ao uso do gesso agrícola. Alves et al. (2013) realizaram ensaios em solo Latossolo Vermelho amarelo na região nordeste do Pará utilizando diferentes doses de gesso agrícola e não verificaram diferenças no desempenho das plantas de feijão caupi. Resultados semelhantes foram obtidos por Michalovicz (2016), onde avaliou a aplicação de gesso agrícola até a dose de 12 toneladas.ha⁻¹, verificando diversos benefícios para o solo como elevação do pH, teor de cálcio e redução do alumínio trocável e que, apesar do uso do gesso ter atenuado os danos físicos ao solo promovido pelo transito de máquinas, não houve contribuição no aumento da produtividade do feijão. Diferentemente destes resultados, Crusciol et al (2016) verificaram aumentos na produtividade de feijão em torno de 30% com a aplicação de gesso agrícola associado com calcário quando comparado apenas ao uso do calcário. Estes resultados corroboram com os resultados obtidos nestes ensaios considerando as modestas respostas das plantas de feijão a aplicação do Ecogesso.

Diferentemente das respostas das plantas no substrato 1 (25% de solo argiloso), no substrato 2, mais argiloso, observamos que as plantas de feijão apresentaram um melhor desempenho com a utilização do Ecogesso e a presença do CaCl₂, na dose de 1,0 tonelada.ha⁻¹ (Figura 10). Os resultados, de modo geral, apontam para os efeitos benéficos da presença do

CaCl₂ na mistura com Ecogesso considerando alguns fatores básicos como maior solubilidade no solo do CaCl₂, disponibilizando cálcio mais rapidamente para as plantas.

Figura 10 - Peso seco das plantas de feijão utilizando diferentes doses de Ecogesso e CaCl₂ no Substrato 2.



Fonte: Os autores.

O CaCl₂ é um complemento, sendo o Ecogesso o produto principal com potencial corretivo e condicionador de solo. A mistura do CaCl₂ ao Ecogesso deve ser realizada de forma controlada e em concentrações que não deve superar os 10% sob pena de redução do poder corretivo e condicionador de solo do Ecogesso.

Caires et al (2001) verificaram que o desempenho das culturas agrícolas em relação a utilização de gesso tem apresentado resultados variáveis. As culturas do milho, trigo e cevada apresentam respostas na produtividade com o gesso agrícola, mas as fabáceas como o feijão e a soja não apresentaram as mesmas respostas.

4. Considerações Finais

Os resultados mostraram que as plantas de milho, de modo geral, responderam positivamente as aplicações de Ecogesso acrescido de cloreto de cálcio (CaCl₂) até a dose de

4,0 toneladas.ha⁻¹. A partir desta quantidade, no substrato menos argilosos, as aplicações se mostraram negativas com queda na produtividade das plantas, evento observado com menor intensidade no substrato mais argiloso. Na dose de 1,0 tonelada.ha⁻¹, a presença do CaCl₂ beneficiou o desenvolvimento das plantas de milho em ambos os substratos. Em relação a cultura do feijão, as plantas apresentaram melhores respostas de desenvolvimento no substrato menos argiloso em relação ao substrato mais argiloso, principalmente na dose de 3,0 toneladas.ha⁻¹. No substrato com menor teor de argila, a presença do CaCl₂ se mostrou mais efetiva no desenvolvimento das plantas de feijão na dose de 3,0 toneladas.ha⁻¹ enquanto no substrato mais argiloso esta resposta positiva foi obtida apenas em relação ao desenvolvimento da parte aérea. A próxima etapa será desenvolver o experimento em campo experimental para avaliar o comportamento dos produtos no solo e das plantas em condições ambientais naturais.

Agradecimentos

Agradecemos a empresa Antares Reciclagem pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- Alves, J. D. N., et al. (2013). Gesso agrícola na cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata*) em latossolo amarelo no nordeste paraense. *Enciclopédia Biosfera*, 9(17), 1-12.
- Amaral, L. A., et al. (2017). Efeito das doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas do solo. *Revista Agrarian*, 10(35), 31-41.
- Barretto, V. C. de M. (2008). *Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto*. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia), UNESP, Jaboticabal.
- Caires, E. F., Feldhaus, I. C., & Blum, J. (2001). Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. *Bragantia*, 60, 213-223.
- Caires, E. F., et al. (2011). Surface application of gypsum in low acid oxisol under no till cropping system. *Scientia Agricola*, 68(2), 209-216.

Crusciol, C. A., et al. (2016). Surface application of lime–silicate– phosphogypsum mixtures for improving tropical soil properties and irrigated common bean yield. *Soil Science Society of America Journal*, 80(4), 930-942.

Foelkel, C. (2011). Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose KRAFT de eucalipto. Parte 05: Resíduos Minerais. *Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel: Eucalyptus Online Book & Newsletter*.

Malavolta, E. (1982). *Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras*. São Paulo: SN Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio.

Michalovicz, L. (2016). *Atributos da qualidade do solo em resposta à aplicação de gesso agrícola e compactação*. Tese de Doutorado. Universidade estadual de Maringá.

Nuernberg, N. J., Rech, T. D., & Basso, C. (2005). *Usos do gesso agrícola*. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 36p.

Oliveira, F. M. C., et al (2012). Características mineralógicas e cristalográficas da Gipsita do Araripe. *Holos*, 5(28),71-82.

Oliveira, D. M. (2017). *Uso de ácido sulfúrico biogênico na lixiviação de minério intemperizado de cobre*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1

Sales, S., & Neto, W. O. (2008). Responsabilidade social: reciclagem de solução eletrolítica de baterias usadas. In: *2º Congresso Nacional de Extensão Universitária*. UNOPAR, p.1-2.

Silva, G. C., et al. (2003). Efeito de diferentes concentrações de cloreto de cálcio na qualidade do abacaxi "Pérola" minimamente processado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(2), 216-219.

Silva, M. R., et al (2018). Influencia do gesso agrícola no desenvolvimento da soja cv. BRS Tracajá. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Roraima. 61p.

Soares, A. J. (2018). *Proposta de modelo de padronização de sistemas produtivos da indústria papeleira na criação do conhecimento organizacional*. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica federal do Paraná.

Soratto, R. P., et al. (2010). Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. *Bragantia*, 69(4), 965-974.

Tiecher, T., et al. (2018). Crop Response to Gypsum Application to Subtropical Soils Under No-Till in Brazil: a Systematic Review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, 20-32.

Zandoná, R. R. (2015). Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 45(2), 128-137.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Alexandre Sylvio Vieira da Costa – 100%