



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**MICHEL ANDERSON SILVA LOURENÇO**

**ACÚMULO DE NUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E  
RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE  
SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO**

**SETE LAGOAS  
2023**

**MICHEL ANDERSON SILVA LOURENÇO**

**ACÚMULO DE NUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E  
RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE  
SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), da Universidade Federal São João del-Rei (UFSJ), *Campus* Sete Lagoas (CSL), como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Iran Dias Borges  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aline de Almeida Vasconcelos

**SETE LAGOAS  
2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L625a Lourenço, Michel Anderson Silva Lourenço.  
ACÚMULO DE NUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E  
RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE  
SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO / Michel Anderson Silva  
Lourenço Lourenço ; orientador Iran Dias Borges  
Borges; coorientadora Aline de Almeida Vasconcelos  
Vasconcelos. -- Sete Lagoas, 2023.  
85 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São  
João del-Rei, 2023.

1. Sacharum spp.. 2. Bioinsumos. 3. Fenologia.  
4. Rebrota. I. Borges, Iran Dias Borges , orient.  
II. Vasconcelos, Aline de Almeida Vasconcelos, co  
orient. III. Título.

**MICHEL ANDERSON SILVA LOURENÇO**

**ACÚMULO DE NUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E  
RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE  
SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), da Universidade Federal São João del-Rei (UFSJ), *Campus Sete Lagoas (CSL)*, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Iran Dias Borges  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aline de Almeida Vasconcelos

Sete Lagoas, 31 de agosto de 2023.

Banca examinadora:

Prof .Dr. Ignácio Aspiazú - UNIMONTES

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella - UFSJ

---

Dr. Iran Dias Borges  
Orientador - UFSJ

## DEDICATÓRIA

Dedico,  
A todos(as) aqueles(as) que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre proteger-me e guiar-me, me proporcionando a realização do sonho de ser Mestre Ciências Agrárias.

À minha mãe, Denise, e ao meu pai, Renaldo, por serem meu maior exemplo e por estarem sempre ao meu lado, me incentivando e me apoiando em minhas escolhas.

Aos meus avós e padrinhos, D. Lia e Sr. Vicente, e ao meu amigo Luciano, *in memoriam*, que apesar de não estarem mais entre nós, continuam vivos na minha memória e no meu coração.

À minha esposa Pabline, que diante de todos os obstáculos, amparou-me, dando-me todo suporte e todo carinho.

Aos(Às) amigos(as), conquistados(as) durante meu ciclo acadêmico, e irmãos de república (Pata de Vaca, Outra, Zona Rural, Dama de Copos), pois sem eles(as) nada disso seria possível. Agradeço imensamente a: Octavio, Manu, Nayara, Kadu, Tica, Luciano, Gabriel, Max, Júlio, Sabrina, Taina, Carol, Thais Chato, Zé Francisco, Vitória, e tantas outras pessoas que marcaram minha passagem pela UFSJ.

A todos(as), que me ajudaram na condução do experimento.

Aos colegas do laboratório de solos, e aos colegas que me auxiliaram na condução do experimento, pela contribuição para que esse trabalho se tornasse possível.

A todos(as) os(as) professores(as) do Curso, pelos ensinamentos, e ao meu orientador, Prof. Iran Dias Borges e à minha coorientadora, Prof<sup>ª</sup>. Aline de Almeida Vasconcelos, pelo auxílio ao longo dessa caminhada.

À UFSJ, pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado em Ciências Agrárias.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

## LISTA DE TABELAS

### **Artigo 1: DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO**

Tabela 1 - Características químicas do solo, em amostras da área experimental. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. .... 12

Tabela 2 - Épocas de colheita, de acordo com a fenologia da cana - rebrota. .... 13

Tabela 3 - Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para: peso seco (PS) e peso verde (PV), da parte aérea total e das partes, folhas e colmos, em t ha<sup>-1</sup>; e porcentagem de matéria seca (MS%), da parte aérea total e das partes, folhas e colmos, em %, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando oito épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. .... 16

Tabela 4 - Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para: número de perfilho (N perf.); altura de planta (ALT) em m; número de folhas (N fol.); e área foliar (A fol.) em m<sup>2</sup>, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando oito épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. .... 20

Tabela 5 - Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para: teor de sólidos solúveis (°TSS), comprimento de entre nó (C entre nó) em cm; diâmetro de colmo (D col.) em mm; número de nós (N nó); tonelada de colmos por hectare (TCH) e tonelada de sólidos solúveis por hectare (TBH), em t ha<sup>-1</sup>, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando cinco épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. .... 23

### **Artigo 2: ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO**

Tabela 1 - Características químicas do solo, em amostras da área experimental. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....34

Tabela 2 - Épocas de colheita, de acordo com a fenologia da cana – rebrota. .... 35

Tabela 3 - Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para: peso seco (PS) e peso verde (PV) da parte aérea total; tonelada de colmos por hectare (TCH); e tonelada de sólidos solúveis por hectare (TBH), em t ha<sup>-1</sup>, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando as épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. .... 37

Tabela 4 - Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), na absorção de macronutrientes, em cana-de-açúcar (RB867515), com o uso de solubilizador de P, considerando oito épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. .... 38

Tabela 5 - Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), na absorção de macronutrientes secundários, em cana-de-açúcar (RB867515), com o uso de solubilizador de P, considerando oito épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. .... 39

### **Artigo 3: ACÚMULO DE MICRONUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO**

Tabela 1 - Características químicas do solo, em amostras da área experimental. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. .... 56

Tabela 2 - Épocas de colheita, de acordo com a fenologia da cana – rebrota. .... 57

Tabela 3 - Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para: peso seco (PS) e peso verde (PV), da parte aérea total; da TCH e da TBH, em t ha<sup>-1</sup>, e do °TSS, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando as épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023..... 59

Tabela 4 - Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), na absorção de micronutrientes, com o uso de solubilizador de P, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando 8 épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. .... 59



## LISTA DE FIGURAS

### **Artigo 1: DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO**

Figura 1 - Acúmulo de peso verde (PV): na parte aérea total, nas folhas e na tonelada de colmos por hectare (TCH), em  $t\ ha^{-1}$ , em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....17

Figura 2 - Acúmulo de peso seco (PS): na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em  $t\ ha^{-1}$ , em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....18

Figura 3 - Acúmulo de porcentagem de matéria seca (%MS) na parte aérea total, nas folhas e nos colmos (a), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....19

Figura 4 - Altura de planta (ALT) em m (a), e número de perfilho (N perf.) em 1 m, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....19

Figura 5 - Área Foliar (A fol.) em  $m^2$  (a), e número de folhas (N fol.) (b), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....22

Figura 6 - Teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}TSS$ ) (a), e de tonelada de sólidos solúveis por hectare (TBH) em  $t\ ha^{-1}$  (b), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....24

Figura 7 - Diâmetro de colmos (D col.) em mm (a), e comprimento de nó (C entre nó) em cm (b), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....25

Figura 8 - Número de nós (N nó), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....25

## **Artigo 2: ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO**

Figura 1 - Acúmulo de peso verde (PV), de peso seco (PS), e de tonelada de colmos por hectare (TCH) em  $t\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....39

Figura 2 - Acúmulo de tonelada de sólidos solúveis por hectare (TBH) em  $t\ ha^{-1}$ , e teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}TSS$ ), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....40

Figura 3 - Acúmulo de nitrogênio (N) em  $kg\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....41

Figura 4 - Acúmulo de fósforo (P) em  $kg\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....42

Figura 5 - Acúmulo de potássio (K) em  $kg\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....44

Figura 6 - Acúmulo de cálcio (Ca) em  $kg\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....45

Figura 7 - Acúmulo de magnésio (Mg) em  $kg\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas com, e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....45

Figura 8 - Acúmulo de enxofre (S) em  $kg\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas com, e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....46

### **Artigo 3: ACÚMULO DE MICRONUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO**

Figura 1 - Acúmulo de peso verde (PV), de peso seco (PS), e de tonelada de colmos por hectare (TCH), em  $t\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....60

Figura 2 - Acúmulo de tonelada de sólidos solúveis por hectare (TBH) em  $t\ ha^{-1}$ , e teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}TSS$ ), em cana-de-açúcar (RB867515,) em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....61

Figura 3 - Acúmulo de manganês (Mn) em  $g\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas com, e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....62

Figura 4 - Acúmulo de ferro (Fe) em  $g\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas, e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....63

Figura 5 - Acúmulo de zinco (Zn) em  $g\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas, e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....64

Figura 6 - Acúmulo de boro (B) em  $g\ ha^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas, e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023. ....65

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| RESUMO .....  | I  |
| ABSTRACT .....  | II |
| INTRODUÇÃO GERAL .....  | 3  |
| REFERÊNCIAS .....   | 5  |
| Artigo 1 DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO                              |    |
| Resumo .....  | 8  |
| Abstract .....  | 9  |
| Introdução .....  | 10 |
| Material e Métodos .....  | 11 |
| Resultados e Discussão .....  | 15 |
| Conclusões .....  | 26 |
| Referências .....   | 26 |
| Artigo 2: ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO |    |
| Resumo .....  | 29 |
| Abstract .....  | 30 |
| Introdução .....  | 31 |
| Material e Métodos .....  | 34 |
| Resultados e Discussão .....  | 37 |
| Conclusão .....   | 46 |
| Referências .....   | 47 |
| Artigo 3: ACÚMULO DE MICRONUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO |    |
| Resumo .....  | 50 |
| Abstract .....  | 51 |
| Introdução .....  | 52 |
| Material e Métodos .....  | 55 |
| Resultados e Discussão .....  | 58 |
| Conclusão .....   | 65 |
| Referências .....   | 67 |
| Considerações finais .....  | 69 |

## ACÚMULO DE NUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO

**RESUMO** - A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, com produtividade média de 75 t ha<sup>-1</sup>, sendo o manejo da sua fertilidade, cada vez mais essencial, para que a cultura possa aumentar seu potencial produtivo. Desta forma, na busca por novas alternativas de manejo para fertilidade, o uso de bioinsumos com microrganismos solubilizadores de P, tem se mostrado uma opção viável. Sendo assim, objetivou-se avaliar e quantificar, em plantas de cana-de-açúcar, a marcha de acúmulo de matéria seca e de nutrientes, na parte aérea e de suas partes, considerando duas estratégias de fertilização, com e sem o uso de solubilizador de P, Omsugo™ ECO, que foi aplicado no sulco de plantio ao estabelecer o canavial. O trabalho foi conduzido em canavial de 1ª rebrota (2021/2022), variedade RB867515, oriundo de um plantio feito no mês outubro de 2020, e colhido em novembro de 2021, desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), não sendo feita reinoculação do solubilizador. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com tratamentos dispostos em fatorial 2 x 8, sendo dois níveis de inoculação (com e sem solubilizador de P) e oito épocas de coleta das plantas (uma na fase de brotação, três na fase de perfilhamento, duas na fase de crescimento intensivo e duas na fase de maturação), com quatro repetições, totalizando 64 parcelas. Foram realizadas análises de regressão para época, e testes de média para a interação e as estratégias de adubação. O acúmulo de nutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, de primeira rebrota, apresentou ganhos ao longo dos estádios fenológicos, com a inoculação do solubilizador em relação à não inoculação. A inoculação do solubilizador de P, contribuiu para um melhor desenvolvimento do canavial de 1ª rebrota, e para o acúmulo de nutrientes e de matéria seca. O teor de sólidos solúveis no caldo, foi incrementado com o uso de solubilizador de P, em toletes de cana-de-açúcar, e a produtividade de colmos, teve ganho de 11% em relação à não utilização do solubilizador. A marcha de acúmulo de nutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, mostrou-se na seguinte ordem de acúmulo: K>Ca>N> Mg>P>S>Fe>Mg>Zn>B.

Palavras-chave: Adubação. Bioinsumos. *Sacharum* spp.. Fenologia. Rebrota.

## ACCUMULATION OF NUTRIENTS, DEVELOPMENT, AND INDUSTRIAL YIELD OF SUGAR CANE WITH THE USE OF PHOSPHORUS SOLUBILIZER

**ABSTRACT** - Sugarcane is one of the leading agricultural crops in Brazil, with an average productivity of 75 t ha<sup>-1</sup>, and managing its fertility is increasingly essential so that the crop can increase its productive potential. Therefore, in the search for new management alternatives for fertility, using bioinputs with P-solubilizing microorganisms has proven to be a viable option. Therefore, the objective was to evaluate and quantify, in sugarcane plants, the accumulation of dry matter and nutrients in the aerial part and its parts, considering two fertilization strategies, with and without the use of P solubilizer, Omsugo™ ECO, which was applied to the planting furrow when establishing the sugarcane field. The work was carried out in a first regrowth sugarcane field (2021/2022), variety RB867515, from a planting carried out in October 2020 and harvested in November 2021, developed in the experimental area of Federal University of São João del-Rei (UFSJ), with no reapplication of the solubilizer. The experimental design was in randomized blocks, with treatments arranged in a 2 x 8 factorial, with two inoculation levels (with and without P solubilizer) and eight plant collection times (one in the budding phase, three in the tillering phase, two in the intensive growth phase and two in the maturation phase), with four replications, totaling 64 plots. Regression analyses were conducted for season and mean tests for interaction and fertilization strategies. The accumulation of nutrients in sugarcane, variety RB867515, first regrowth, showed gains throughout the phenological stages, with the inoculation of the solubilizer concerning non-inoculation. The inoculation of the P solubilizer contributed to the better development of the first regrowth sugarcane field and the accumulation of nutrients and dry matter. The soluble solids content in the juice was increased using a P solubilizer in sugarcane billets, and stalk productivity gained 11% compared to not using the solubilizer. The nutrient accumulation process in sugarcane, variety RB867515, was in the following order of accumulation: K>Ca>N> Mg>P>S>Fe>Mg>Zn>B.

Keywords: Fertilization. Bioinputs. *Sacharum* spp.. Phenology. Regrowth.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura de grande importância para a economia do Brasil, tendo como finalidade ser matéria prima de dois principais produtos, que são: a sacarose, para a fabricação de açúcar, e o álcool, como fonte alternativa de combustível. O agronegócio sucroalcooleiro brasileiro movimenta, direta e indiretamente, em torno de R\$ 40 bilhões por ano, e a estimativa para safra 2022/23, de cana-de-açúcar, para o Brasil, é de 598,1 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

O desenvolvimento da cana é dividido em quatro estádios fenológicos: do plantio à brotação das gemas, da brotação das gemas ao final do perfilhamento, do final do perfilhamento ao início do acúmulo de açúcar, e do início do acúmulo de açúcar até a maturação (KRUTMAN, 1966). Sua propagação é via toletes, com três a quatro gemas oriundas do colmo, e sua brotação ocorre por volta de 3 a 5 semanas, após o plantio, sendo que diversos fatores, principalmente a nutrição, podem interferir no desenvolvimento das gemas (AUDE, 1993).

A produtividade média brasileira, da cana-de-açúcar, tem sido de 75 t ha<sup>-1</sup>, considerada baixa apesar do alto potencial genético de algumas variedades, que é de 200 t ha<sup>-1</sup>. Um dos fatores que contribui para baixa produtividade, é o fato de a cultura ter se expandido para áreas de solos com baixa fertilidade, notadamente a partir da época do programa governamental Pró-álcool, que incentivava a procura por fontes alternativas de combustíveis (RODRIGO & ROSS, 2020).

Neste contexto, é necessário utilizar novas tecnologias para que se possa melhorar a quantidade e a qualidade da produção agrícola, o que depende de vários fatores, dentre esses, o fundamental, é o manejo da fertilização do solo. O manejo do solo inclui aspectos químicos (adequado suprimento de nutrientes), físicos e biológicos, que em conjunto com o clima e o manejo de variedades, são fatores de suma importância para qualquer programa de melhoramento que busque altas produtividades (BECARI, 2010). Na procura de alternativas para minimizar o custo de produção e para aumentar a produtividade, a utilização de bioinsumos que proporcionem ganhos em nutrição, sanidade e proteção podem contribuir para o melhor desenvolvimento dos canaviais (SILVA, 2018).

Os bioinsumos são produtos específicos e naturais, à base de microrganismos (bactérias, fungos, vírus etc.), macroorganismos (parasitoides e predadores), ou derivados, que são usados para finalidades como o crescimento de plantas, a solubilização de nutrientes, o manejo de pragas e de doenças (OLIVEIRA-PAIVA, 2021), ou seja, potencializar o adequado estabelecimento, a nutrição, a sanidade e a proteção da planta.

Entre os nutrientes necessários à nutrição da cana-de-açúcar, o P (fósforo) chama a atenção por ser fundamental no processo de estabelecimento e de crescimento inicial da lavoura, apesar da planta não demandar grandes quantidades comparativamente à outras espécies. Como forma de otimizar o uso deste nutriente, a utilização de novas tecnologias vem ganhando força entre os produtores, se destacando dentre essas, o emprego de produtos à base de bactérias solubilizadoras de fosfato, que promovem uma melhor brotação e desenvolvimento da cultura, com isso diminuindo a aplicação de fertilizantes minerais (SOUSA et al., 2021).

Solos pobres acarretam na baixa eficiência dos fertilizantes fosfatados, sendo que o P é um dos nutrientes que mais limita a produção dos canaviais. Essa baixa eficiência é ocasionada aos solos altamente intemperizados. A mineralogia e as atividades químicas, em solos de cerrado, disponibilizam menos de 0,1% de fósforo para plantas (SOUTO, 2020).

O P tem funções essenciais para os seres vivos, seja de forma estrutural, funcional ou pela disponibilidade de energia (NAHAS; 1991). Para o desenvolvimento das plantas, é um elemento primordial, e são necessárias aplicações contínuas, para que uma pequena porcentagem possa ficar disponível para planta. Os principais fertilizantes fosfatados, disponíveis hoje, são extraídos de rochas fosfáticas, e a extração dessas fontes podem se tornar insuficientes até a metade desse século, pois são providas de fontes não renováveis (KHAN et al., 2010).

A inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato, ou a manipulação de suas populações no solo, estão sendo utilizadas de forma a minimizar a utilização dos fertilizantes fosfáticos, já que por meio de seus mecanismos solubilizadores, causam melhor rendimento dos fosfatos naturais existentes ou aplicados ao solo (SOUTO, 2020).

Uma fonte desses microrganismos solubilizadores de fosfato, que se destaca por ser uma opção mais sustentável e econômica, são as bactérias do gênero *Bacillus*, usadas para



umentar a disponibilidade de P para as plantas, já que são capazes de transformar o P insolúvel em formas solúveis, mais acessíveis às plantas (SOUSA et al., 2021). Diferentes espécies desse gênero têm sido relatadas como potenciais promotores de crescimento de plantas, em razão das características multifuncionais, como a solubilização de fosfato (WAHYUDI et al., 2011; BAHADIR et al., 2018).

Além disso, solubilizadores contendo cepas de *Bacillus* são considerados mais estáveis no ambiente, por causa da capacidade de formação de endósporos, permitindo adaptação às condições abióticas extremas, como temperaturas, pH ou exposição a pesticidas (BAHADIR et al., 2018). Com base em resultados de laboratório e de casa de vegetação, foram selecionadas as cepas B119 (*Bacillus megaterium*) e B2084 (*Bacillus subtilis*), eficientes na solubilização e mineralização de P, e na promoção de crescimento de plantas (OLIVEIRA et al., 2009, 2013; RIBEIRO et al., 2018), para a recomendação de produção de solubilizadores industriais.

Conhecer a dinâmica da absorção/acúmulo de nutrientes, na planta de cana-de-açúcar ao longo de seu ciclo, considerando suas fases de desenvolvimento, subsidia as análises quanto à demanda e à necessidade com a identificação de parâmetros, quanto à quantidade e ao momento de se adotar estratégias de nutrição e de diagnósticos da lavoura, o que é fundamental para a eficiência no manejo da cultura.

Na busca de identificar quanto de cada nutriente é acumulado na parte aérea da planta de cana-de-açúcar, e de quando isso ocorre, bem como a eficiência de solubilizadores de P para diversas culturas, este trabalho teve como objetivo avaliar e quantificar em plantas de cana-de-açúcar, a marcha de acúmulo de matéria seca e de nutrientes, na parte aérea e de suas partes, considerando duas estratégias de fertilização, em função dos estádios de desenvolvimento da lavoura.

## 2 REFERÊNCIAS

AUDE, M. I. S.. **Estádios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade**. Santa Maria; Ciência Rural, 1993. V23, n 2.

BAHADIR, P. S.; LIAQAT, F.; ELTEM, R.. **Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean Region of Turkey**. Turkish Journal of Botany, v. 42, n. 2, p. 183-196, 2018.

BECARI, G. R. G.. **Resposta da cana-planta à aplicação de micronutrientes**. Campinas, SP. IAC.2010.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. 2023. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Quarto levantamento-safra 2022/23**. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso: 3 Abril 2023.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA, FAEPE, 2008.

FAQUIN, V.. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMED, M.; OVES, M.; WANI, P. A.. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. Archives of Agronomy and Soil Science, 2010.;v. 56, n. 1, p. 73–98.

KRUTMAN, S.. **Do grande período de variedades de cana**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v11, 395-400p, 1966.

NAHAS, E.. **Ciclo do fósforo: Transformações microbianas**. Jaboticabal, Funep, 1991. 67p.

OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, F. C. dos; MARRIEL, I. E.; ALMEIDA, C. N. S.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; PASSOS, A. M. A. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana de- açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E.; SOUZA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C.. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 210). Disponível em: <  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126348/1/Bol-210.pdf> >. Acesso em: 27 junho. 2023

RIBEIRO, V. P.; MARRIEL, I. E.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; MATTOS, B. B.; PAIVA, C. A. O.; GOMES, E. A.. **Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P**. Brazilian Journal of Microbiology, v. 49S, p. 40-46, 2018.

RODRIGUES, G. S. S. C. & ROSS, J. L. S.. A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental. Uberlândia: EDUFU, 269 p.:ISBN: 978-65-86084-00-9, 2020.

SILVA, I. D. N. DA. Resposta da cana-de-açúcar ao uso de bioestimulante sob diferentes densidades de plantio. 2018.

SOUTO, L. A.. **Microrganismos solubilizadores de fosfato: Usos e potencialidades na agricultura.** 2020.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S.. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A.. **Nutrição Mineral de Plantas.** 2 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018, p. 309-376.

WAHYUDI, A. T.; ASTUTI, R. P.; WIDYAWATI, A.; MERYANDINI, A.; NAWANGSIH, A. A.. **Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria.** Journal of Microbiology Indonesia, v. 3, n. 2, p. 34-40, 2011.

## ARTIGO 1

### DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO

**RESUMO** – Na busca de novas alternativas de manejo para fertilidade, o uso de bioinsumos de microrganismos solubilizadores tem se apresentado uma opção viável. Sendo assim, objetivou-se avaliar e quantificar o desempenho agrônômico, de plantas de cana-de-açúcar, considerando duas estratégias de fertilização, com e sem o uso de solubilizador de P, Omsugo™ ECO, que foi aplicado no sulco de plantio ao estabelecer o canavial. O trabalho foi conduzido em canavial de 1ª rebrota (2021/2022), com a variedade RB867515, oriundo de um plantio feito no mês outubro de 2020, e colhido no mês de novembro de 2021, na área experimental da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), *Campus Sete Lagoas*, MG, sem reinoculação do solubilizador. O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados, e os tratamentos dispostos em fatorial 2 x 8, sendo duas estratégias de fertilização (com e sem solubilizador de P), e oito épocas de coleta das plantas (uma na fase de brotação, três na fase de perfilhamento, duas na fase de crescimento intensivo e duas na fase de maturação), com quatro repetições, totalizando 64 parcelas. Foram realizadas análises de regressão, para época, e testes de média, para a interação e os níveis de adubação. A inoculação do solubilizador de P, Omsugo™ ECO, contribuiu para um melhor desempenho agrônômico do canavial de 1ª rebrota, e para o acúmulo de nutrientes e de matéria seca. O teor de sólidos solúveis, no caldo, aumentou com o uso de solubilizador de P, em toletes de cana-de-açúcar, e a produtividade de colmos, apresentou ganho de 11% em relação à não utilização do solubilizador.

**Palavras-chave:** *Sacharum* spp, adubação, bioinsumos, solubilizador de fósforo, fenologia.

## **DEVELOPMENT AND INDUSTRIAL YIELD OF SUGAR CANE WITH THE USE OF PHOSPHORUS SOLUBILIZER**

**ABSTRACT** - In the search for new management alternatives for fertility, using bioinputs from solubilizing microorganisms has been a viable option. Therefore, the objective was to evaluate and quantify the agronomic performance of sugarcane plants, considering two fertilization strategies, with and without the use of P solubilizer, Omsugo™ ECO, which was applied in the planting furrow along the established sugarcane field. The work was conducted in first regrowth sugarcane fields (2021/2022), with the variety RB867515, coming from a planting carried out in October 2020, and harvested in November 2021, in the experimental area of Federal University of São João del-Rei (UFSJ), *Campus Sete Lagoas*, MG, without re-inoculation of the solubilizer. The experimental design was carried out in randomized blocks. The treatments were arranged in a 2 x 8 factorial, with two fertilization strategies (with and without P solubilizer) and eight plant collection times (one in the budding phase, three in the tillering, two in the intensive growth phase, and two in the maturation phase), with four replications, totaling 64 plots. Regression analyses were carried out for the season, and mean tests were carried out for interaction and fertilization levels. The inoculation of the P solubilizer, Omsugo™ ECO, contributed to a better agronomic performance of the first regrowth sugarcane field and accumulated nutrients and dry matter. The soluble solids content in the juice increased with using the P solubilizer in sugarcane billets, and stalk productivity showed a gain of 11% concerning not using the solubilizer.

**Keywords:** *Sacharum spp*, fertilization, bioinputs, phosphorus solubilizer, phenology.

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura de grande importância para a economia do Brasil, sendo fonte alternativa de combustível. O agronegócio sucroalcooleiro brasileiro movimenta, direta e indiretamente, cerca de R\$ 40 bilhões por ano, e a estimativa para a safra 2022/2023, para o Brasil, é de uma produção de 598,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2023). Minas Gerais fechou o ciclo com 77,99 milhões de toneladas, processadas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023).

Dentre os elementos essenciais aos seres vivos, têm-se o P, podendo ser o principal nutriente a limitar o crescimento vegetal (AZZIZ et al., 2012). A maioria dos solos agrícolas contém grandes reservas de P, todavia, menos de 0,1% de fósforo está disponível para plantas (SOUTO, 2020).

Neste contexto, é necessário utilizar novas tecnologias para que se possa melhorar a quantidade e a qualidade da produção agrícola, o que depende de vários fatores, dentre esses, o fundamental é o manejo da fertilização do solo. Uma alternativa viável seria o uso dos bioinsumos, produtos específicos e naturais, à base de microrganismos (bactérias, fungos, vírus, etc.), de macrorganismos (parasitoides e predadores), ou derivados, que são utilizados para finalidades como o crescimento de plantas, a solubilização de nutrientes, o manejo de pragas e de doenças (OLIVEIRA-PAIVA, 2021), ou seja, são usados para potencializar o adequado estabelecimento, a nutrição, a sanidade e a proteção da planta.

Entre os nutrientes necessários à nutrição da cana-de-açúcar, o P é fundamental no processo de estabelecimento e de crescimento inicial da lavoura. Como forma de otimizar a utilização de P, a utilização de novas tecnologias vem ganhando força entre os produtores. Entre essas, destaca-se o uso de produtos à base de bactérias solubilizadoras de fosfatos, que promovem melhor brotação e desenvolvimento da cultura, aumentando a eficiência de utilização de fertilizantes minerais (SOUSA et al., 2021).

A inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato, ou a manipulação de suas populações no solo, estão sendo utilizadas de forma a minimizar a utilização dos fertilizantes fosfáticos, já que por meio de seus mecanismos solubilizadores, causam melhor rendimento dos fosfatos naturais, existentes ou aplicados ao solo (SOUTO, 2020).

É uma fonte, desses microrganismos solubilizadores de fosfato, que se destaca por ser uma opção mais sustentável e econômica, é as bactérias do gênero *Bacillus*, utilizadas para

umentar a disponibilidade de P para as plantas, já que são capazes de transformar o P insolúvel em formas solúveis, mais acessíveis às plantas (SOUSA et al., 2021). Diferentes espécies desse gênero, têm sido relatadas como potenciais promotores de crescimento de plantas, em razão das características multifuncionais como a solubilização de fosfato (WAHYUDI et al., 2011; BAHADIR et al., 2018).

Além disso, solubilizadores contendo cepas de *Bacillus* são considerados mais estáveis no ambiente, por causa da capacidade de formação de endósporos, permitindo adaptação à condições abióticas extremas, como temperaturas, pH ou exposição a pesticidas (BAHADIR et al., 2018). Com base em resultados de laboratório e de casa de vegetação, foram selecionadas as cepas B119 (*Bacillus megaterium*) e B2084 (*Bacillus subtilis*), eficientes na solubilização e na mineralização de P, e promoção de crescimento de plantas (OLIVEIRA et al., 2009, 2013; RIBEIRO et al., 2018), para a recomendação de produção de solubilizadores industriais.

O acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar, dentre outros fatores, é um dos aspectos importantes que influenciam nas estratégias de manejo cultural e de manutenção da produtividade, especialmente em solos de baixa fertilidade natural. (KOLCHINSKI & SCHUCH, 2003).

Na busca de conhecer melhor, a fenologia e o desenvolvimento do canavial de 1ª rebrota, bem como a eficiência de microrganismos solubilizadores de P, nessa cultura, este trabalho teve como objetivo avaliar e quantificar em plantas, de cana-de-açúcar, o desempenho agrônomo na sua parte aérea, e de suas partes, considerando duas estratégias de fertilização, em função dos estádios de desenvolvimento da lavoura.

## 1. **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em canavial de primeira rebrota (2021/2022), da variedade RB867515, oriundo de um plantio no mês outubro de 2020, e colhido em novembro de 2021, na área experimental da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus Sete Lagoas*, MG (19° 27' 20" S, 44° 10' 21" W, a 725 m de altitude). O clima é classificado como Cwa, com verões quentes e chuvosos, e invernos secos (SANTOS et al., 2018). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média.

A coleta de amostras de solo, para análise, foi realizada após o início da rebrota, de acordo com os tratamentos, com e sem solubilizador de P, a 15 cm da linha de plantio (Tabela 1).

**TABELA 1.** Características químicas do solo, em amostras da área experimental. UFSJ, MG, Sete Lagoas, 2023.

|   | Características químicas |        |      |        |
|---|--------------------------|--------|------|--------|
|   | Com                      |        | Sem  |        |
|   | Início da 1ª rebrota     |        |      |        |
|   | 0-20                     | 20- 40 | 0-20 | 20- 40 |
| pH  | 6,2                      | 5,6    | 6,1  | 5,7    |
| H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )    | 2,7                      | 6,1    | 3,3  | 6,4    |
| Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 0                        | 0      | 0    | 0      |
| Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 6,3                      | 4,8    | 5,9  | 4,7    |
| Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 1,8                      | 0,8    | 1,7  | 1,0    |
| Na (mg dm <sup>-3</sup> )                       | -                        | -      | -    | -      |
| K (mg dm <sup>-3</sup> )                        | 305                      | 215    | 325  | 230    |
| P (mg dm <sup>-3</sup> )                        | 11,8                     | 9      | 8,0  | 7,8    |
| P-rem (mg L <sup>-1</sup> )                     | 16,9                     | 15,1   | 15,7 | 13,2   |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> )                       | 2,2                      | 1,7    | 1,9  | 1,7    |
| Fe (mg dm <sup>-3</sup> )                       | 7,4                      | 8,9    | 5,8  | 6,4    |
| Mn (mg dm <sup>-3</sup> )                       | 94,2                     | 77,9   | 68,5 | 69,5   |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )                       | 0,8                      | 0,9    | 0,7  | 0,7    |
| MO(g kg <sup>-1</sup> )                         | -                        | -      | -    | -      |
| SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 8,9                      | 6,1    | 8,3  | 6,3    |
| V (%)   | 81,4                     | 50,0   | 71,9 | 49,7   |
| CTC pH 7 ( cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 11,5                     | 12,3   | 11,6 | 12,7   |

Extratores; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Extrator Mehlich I; K acetato de amônio (1 mol/L) a pH 7; K ácido nítrico (1 mol/L); Ca, Mg, Al: Extrator KCl 1 mol/L; H+Al: Acetato de Cálcio; Fósforo remanescente, concentração de P da solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a TFSA com solução de CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação 1:10; M. O.: Oxidação com Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N.

Os tratamentos consistiram na aplicação ou não, nos toletes de plantio, no sulco da cana-planta, da dose de 500 mL/ha do produto comercial Omsugo™ ECO, contendo microrganismo solubilizador de P, formulado com as Cepas *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084 (BRMO34840)) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119 (BRMO33112)). A adubação de plantio, do canavial, foi inicialmente, com 357 kg ha<sup>-1</sup>, do formulado 8-28-16. A rebrota recebeu 100 kg/ha de N (ureia), e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), via fertirrigação, realizada com a lâmina d'água de 1,5 mm. O manejo de pragas, de doenças e de plantas daninhas, bem como outras práticas agrícolas, foi realizado sempre que necessário.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com tratamentos dispostos em fatorial 2 x 8, sendo dois níveis de inoculação (com e sem solubilizador de P), e oito épocas de coleta das plantas: uma na fase de brotação, três na fase de perfilhamento, duas na fase de crescimento intensivo, e duas na fase de maturação, com quatro repetições, totalizando 64



parcelas. Cada parcela foi constituída de nove linhas de 7 m, espaçadas de 1,40 m, sendo consideradas como área útil, as cinco linhas centrais, descartando 0,5 m nas extremidades. As parcelas foram cortadas rente ao solo, conforme tratamentos propostos (Tabela 2).

**TABELA 2.** Épocas de colheita, de acordo com a fenologia da cana - rebrota.

| <b>Época</b>         | <b>Data da coleta / DAB</b> | <b>Fenologia</b>          |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1ª época de colheita | 30/11/2021 - 15 dias        | Brotação e emergência     |
| 2ª época de colheita | 20/12/2021 - 35 dias        | Perfilhamento             |
| 3ª época de colheita | 12/01/2022 - 57 dias        | Crescimento dos perfilhos |
| 4ª época de colheita | 07/02/2022 - 82 dias        | Perfilhamento pleno       |
| 5ª época de colheita | 07/03/2022 - 112 dias       | Crescimento dos colmos    |
| 6ª época de colheita | 28/03/2022 - 133 dias       | Alongamento dos colmos    |
| 7ª época de colheita | 05/05/2022 - 170 dias       | Maturação dos colmos      |
| 8ª época de colheita | 06/06/2022 - 201 dias       | Maturação dos colmos      |

\*DAB - dias após a brotação.

As variáveis avaliadas foram: número de perfilhos (N Perf, m); altura de cinco plantas (ALT, m), medido do coleto até folha +1; área foliar (A fol, m<sup>2</sup>) por meio da mensuração do comprimento e da largura de todas as folhas, fotossinteticamente ativas, e a obtida pelo número de folhas (N fol), de todas as plantas em 2 m.

As plantas foram pesadas, picadas, trituradas e homogeneizadas, sendo retirada uma amostra para obtenção do peso seco. Em seguida, foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, por 72 horas, e com esse dado, foi calculada a porcentagem de matéria seca (%MS), com a expressão:

$$\% \text{ Matéria seca} = \frac{\text{Peso seco da amostra (kg)} * 100}{\text{peso verde da amostra (kg)}}$$

O peso seco da parcela foi calculado, de acordo com a expressão:

$$\text{Peso seco da parcela} = \frac{\text{Peso verde da parcela (kg)} * \text{peso seco da amostra (kg)}}{\text{peso verde da amostra (kg)}}$$

Assim, pode-se calcular o peso verde (Pv), e o peso seco (Ps), em t ha<sup>-1</sup>, considerando o espaçamento entre linhas de 1,40 m. Foi transformado 1 ha em m, obtendo 7.142 m. Dessa forma, foram utilizadas as expressões abaixo, para realizar o cálculo em t ha<sup>-1</sup>:

$$\text{Peso verde (Pv)(t ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Peso verde da parcela (kg)} * 2}{7142}$$

$$\text{Peso seco (Ps)(t ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Peso seco da parcela (kg)} * 2}{7142}$$

A partir dos 82 dias, após a brotação (DAB), as plantas apresentaram diferenciação de folha e de colmo, sendo então as partes coletadas separadamente, para obter peso verde de folhas (PvF), e peso seco de folhas (PsF), assim como peso seco de colmos (PsC), e peso verde de colmos (TCH), e % de matéria seca de folhas e de colmos. De acordo com as fórmulas acima; também foram medidos o diâmetro de colmo (Dcolmo) em mm; e o comprimento de entre-nó (C. entre-nó) em cm, sendo este medido entre o terceiro e quarto nó, enquanto que no número de nós (NN), foi contado todos os nós presentes no colmo

Para o TCH, foram pesados todos os colmos de 2 m da parcela sem a ponta, valores também convertidos para hectare. O teor de sólidos solúveis (°TSS) foi medido em cinco colmos aleatórios, nos 2 m. Com a multiplicação do °TSS pelo TCH, foi calculado o peso de sólidos solúveis por hectare (TBH).

Para obtenção de ganho médio percentual (Gmed), foi utilizado o valor médio das oito épocas, com e sem o solubilizador de P, de acordo com a fórmula abaixo:

$$Gmed = -100 + \left( \frac{\text{peso médio com solubilizador}}{\text{peso médio sem o solubilizador}} \right) * 100$$

E para obtenção do ganho máximo percentual (Gmax), foi usado o valor máximo acumulado na 8ª época de coleta, estimado pela equação de regressão, seja ela linear ou quadrática, que de acordo com a significância foi escolhido o modelo para cada variável de acordo com a fórmula abaixo:

$$Gmax = -100 + \left( \frac{\text{peso estimado na 8ª época de coleta, com solubilizador}}{\text{peso estimado na 8ª época de coleta, sem o solubilizador}} \right) * 100$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2013), e para as diferenças significativas, identificadas pelo teste F, aplicou-se o teste de médias de Scott-Knott, a um nível de 5% de significância. Também a esses resultados, quando ocorreram diferenças significativas identificadas pelo teste F ( $P < 0,5$ ), foram feitas análises de regressão. Foram empregados testes de Lilliefors e de Bartlett, para verificação de normalidade e de homogeneidade de variância, respectivamente. Foi realizada a correlação de Pearson, para observação de possíveis associações entre as respostas medidas.

## 2. Resultados e Discussão

Na análise de variância para: peso verde da parte aérea total (PV); peso verde das folhas (PvF); tonelada de colmos por hectare (TCH); peso seco parte aérea total (PS) aqui é só PS?; e peso seco dos colmos (PsC), foram identificados efeitos significativos para época (EPO), para inoculação (INOC) e também para a interação (INOC x EPO) (Figuras 1a, 1b, 2a, 2b); já para peso seco das folhas (PsF,) e porcentagem de matéria seca (%MS) da parte aérea total, e nas partes, folhas (%MsF) e colmos (%MsC), não foram observados efeitos significativos para interação (INOC x EPO), somente para época (EPO) e para inoculação (INOC) (Figuras 2a, 2b e 3a).

Foi notado ganho em porcentagem de acúmulo, das variáveis acima, com a utilização do solubilizador, tanto considerando a média de todas as épocas (Gmed), como o máximo acumulado durante o ciclo (Gmax) (Tabela 3).

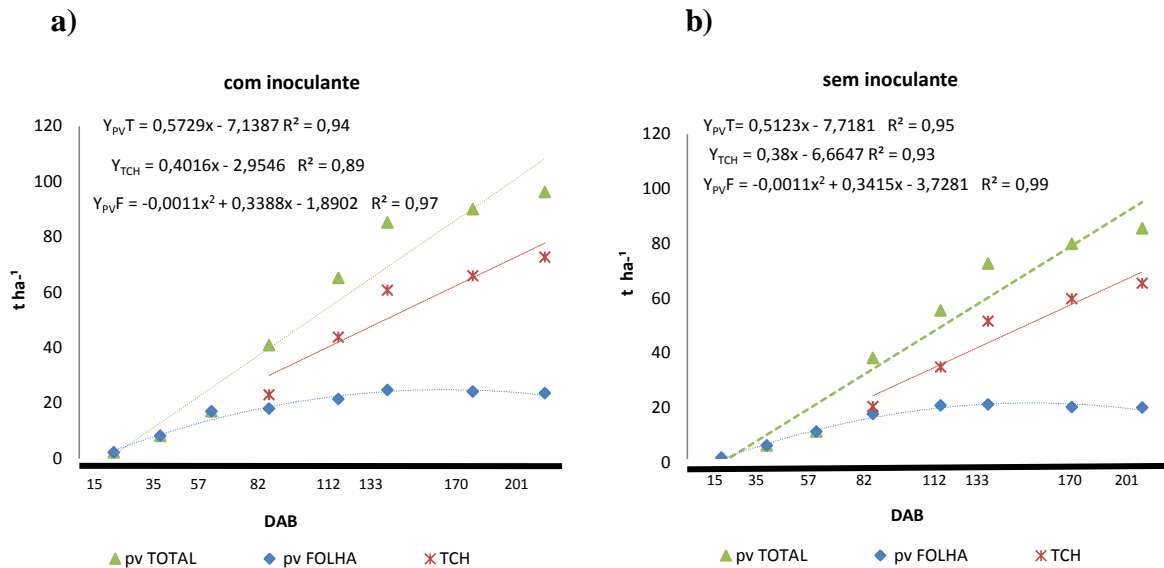
**TABELA 3.** Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para: peso seco (PS) e peso verde (PV), da parte aérea total e das partes, folhas e colmos, em t ha<sup>-1</sup>; e porcentagem de matéria seca (MS%), da parte aérea total e das partes, folhas e colmos, em %, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando oito épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

|      | Folhas               |                  |      |      | Colmos           |                  |      |      | Parte aérea total |                  |      |      |
|------|----------------------|------------------|------|------|------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|------|------|
|      | Com                  | Sem              | Gmed | Gmax | Com              | Sem              | Gmed | Gmax | Com               | Sem              | Gmed | Gmax |
|      | T<br>ha <sup>1</sup> | Tha <sub>1</sub> | %    | %    | Tha <sup>1</sup> | Tha <sub>1</sub> | %    | %    | Tha <sup>1</sup>  | Tha <sup>1</sup> | %    | %    |
| PV   | 17,3                 | 14,8             | 14,5 | 15   | 53,1             | 46,4             | 16,7 | 9,3  | 50,5              | 43,8             | 15,3 | 13,4 |
| PS   | 4,2                  | 3,7              | 12,8 | 8,9  | 12,6             | 10,1             | 24,4 | 23,9 | 12,1              | 10,1             | 20,1 | 18,6 |
| MS % | 23,3                 | 21,5             | 8,2  | 11,5 | 22,4             | 20,5             | 9,2  | 7,2  | 22,1              | 20,4             | 8,8  | 10,3 |

Gmed= -100+(média geral com solubilizador/média geral sem solubilizador)\*100

Gmax = -100+(valor estimado aos 201 DAB, com solubilizador/valor estimado aos 201 DAB, sem solubilizador)\*100

O acúmulo de PV da parte aérea total, e do TCH, ao longo do ciclo, tiveram comportamento linear e crescente, em função das épocas de corte das plantas, com ganho diário para PV, de 0,572 e de 0,512 t ha<sup>-1</sup>, e para TCH de 0,402 e de 0,380 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, com e sem inoculação, estimados pelas equações de regressão. O PV nas folhas teve comportamento quadrático, com ponto de máximo aos 154 e 155 DAB, respectivamente, com e sem inoculação, estimados pelas equações de regressão (Figura 1). Foram corroborados ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e o máximo acumulado, para PV na parte aérea total de 15,3 e de 13,4; para PV de folhas de 16,7 e de 15, e para TCH de 14,5 e de 11,5% (Tabela 3 e Figuras 1a e 1b).



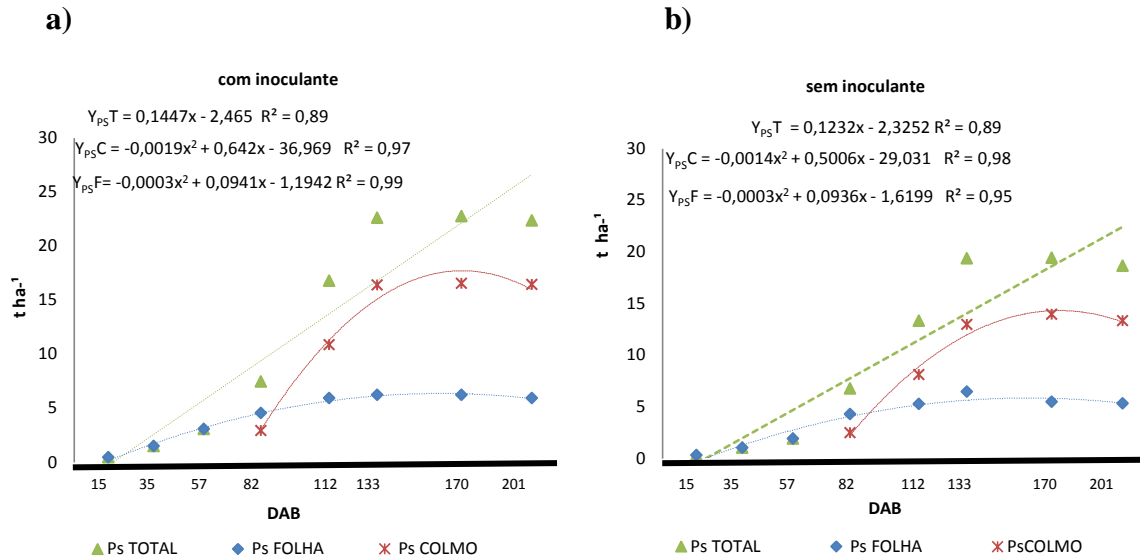
**FIGURA 1.** Acúmulo de peso verde (PV): na parte aérea total; nas folhas e na tonelada de colmos por hectare (TCH), em  $t \text{ ha}^{-1}$ , em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

Segundo SILVA (2011), a variedade RB867515 chegou a 82,76 t de média, com adubação convencional, evidenciando que a presença do solubilizador contribuiu para ganho de Pv, em cana rebrota, tendo um ganho de produtividade quando se utilizou o solubilizador.

CANÇADO (2021), utilizando as mesmas bactérias solubilizadoras e testando seis doses do produto, e o controle, mostrou ganho para TCH de 12% até 20 %, evidenciando a eficiência do inoculador, corroborando o resultado deste trabalho, que mostra que quando foi utilizado o solubilizador, o canavial teve ganho médio de 14%, evidenciando que a utilização do solubilizador contribuiu positivamente para o TCH. Já OLIVEIRA (2008), estudando o comportamento de variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ciclo de cultivo, na região de Carpina – PE, obteve produtividades médias de 87,6  $t \text{ ha}^{-1}$ , para a RB86-7515, valor esse semelhante ao de quando utilizou-se apenas adubação convencional, no presente trabalho (TCH 85,3  $t \text{ ha}^{-1}$ ). Entretanto, já quando se utilizou o solubilizador, houve um ganho de 10  $t \text{ ha}^{-1}$  (TCH 95,88  $t \text{ ha}^{-1}$ ).

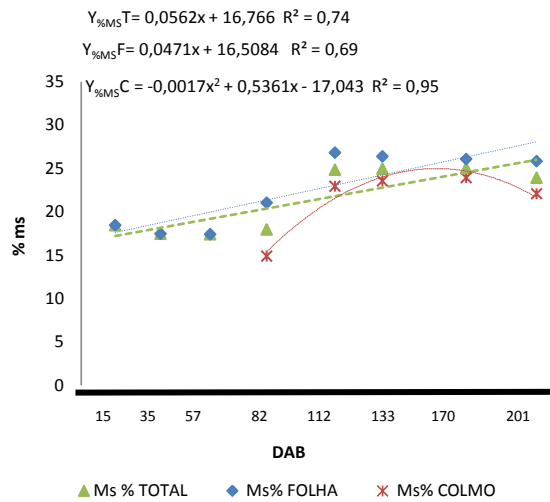
O acúmulo de PS, nas folhas e nos colmos, ao longo do ciclo, tiveram comportamento quadrático, em função das épocas de corte das plantas, com ponto de máximo nas folhas de 157 e de 156, e, nos colmos de 169 e de 156, com e sem inoculação, respectivamente, estimados pelas equações de regressão. O PS da parte aérea total, apresentou comportamento linear e crescente, em função das épocas de corte das plantas, com ganhos diários de 0,145 e

de 0,123 t ha<sup>-1</sup>, com e sem inoculação, respectivamente, estimados pelas equações de regressão (Figuras 2a e 2b). Foram notados ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e o máximo acumulado, para: PS na parte aérea total, de 20,09 e de 18,6; PS nas folhas de 12,8 e de 8,9; e PS nos colmos de 24,4 e de 23,9% (Tabela 3 e Figura 2ab).



**FIGURA 2.** Acúmulo de peso seco (PS): na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em t ha<sup>-1</sup>, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

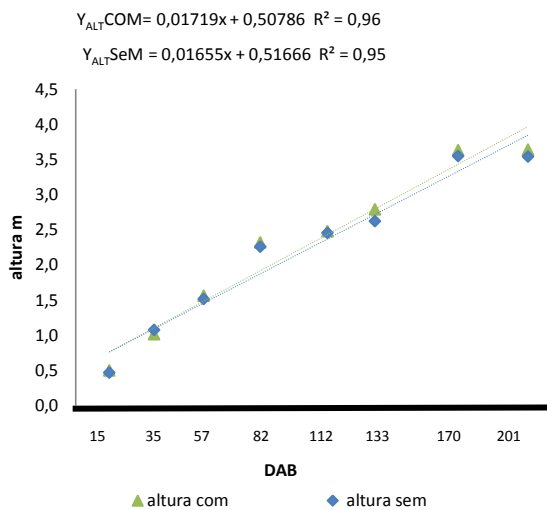
O acúmulo de %MS não apresentou interação, sendo que os valores médios apresentaram comportamento linear e crescente para %MS, da parte aérea total e das folhas. Já os colmos, ao longo do ciclo, tiveram comportamento quadrático, em função das épocas de corte das plantas, com ponto de máximo 157 DAB, estimados pelas equações de regressão (Figura 3). Mesmo não sendo observado interação, foram verificados ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos, e o máximo acumulado, 8 %, 10% no geral (Tabela 3).



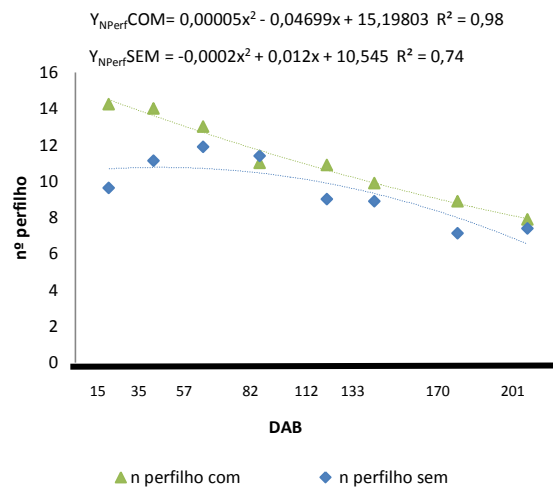
**FIGURA 3.** Acúmulo de porcentagem de massa seca (%MS): na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

Para as variáveis número de perfilho (N perf); altura de planta (ALT); número de folha (N fol); e área foliar (A fol), foram verificados efeitos significativos para época (EPO), enquanto que para inoculação (INOC), houve efeito significativo da interação EPO\*INOC apenas para N perf (Figuras 4 e 5). Já para altura de planta (ALT), mesmo não apresentando interação, notou-se que ao longo do ciclo, com a presença do solubilizador, sempre a ALT foi superior, sendo perceptíveis ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e o máximo acumulado, 2,5 %, 3%, na altura do canavial de 1ª rebrota (Tabela 4).

a)



b)



**FIGURA 4.** Altura de planta (ALT) em m (a), e número de perfilho (N perf.) em 1 m (b), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

Portanto, evidenciou-se ganho em porcentagem de acúmulo das variáveis acima, com a utilização do solubilizador, tanto considerando a média de todas as épocas (Gmed), como o máximo acumulado durante o ciclo (Gmax) (Tabela 4).

**TABELA 4.** Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para: número de perfilho (N perf.); altura de planta (ALT) em m; número de folhas (N fol.); e área foliar (A fol.) em m<sup>2</sup>, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando oito épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

|        | Com      | Sem     | Gmed<br>% | Gmax<br>% |
|--------|----------|---------|-----------|-----------|
| N perf | 11,2     | 9,5     | 17,5      | 7,2       |
| ALT    | 2,24     | 2,18    | 2,54      | 3,1       |
| N fol  | 58,22    | 46,28   | 25,8      | 14,9      |
| A fol  | 10283,61 | 7086,22 | 45,1      | 33,8      |

Gmed= -100+(média geral com solubilizador/média geral sem solubilizador)\*100

Gmax = -100+(valor estimado aos 201 DAB, com solubilizador/valor estimado aos 201 DAB, sem solubilizador)\*100

Nesse trabalho, ao final da colheita, o canavial com o solubilizador de P, teve altura de 3,64 m, já com a ausência do solubilizador, a altura foi de 3,54 m., enquanto que em OLIVEIRA, (2011), a altura máxima obtida, para essa variedade em cana planta, foi de 3,58 m. Já em SILVA, (2011), a altura final dos colmos, medido do solo até a folha +1, foi de 298,2 cm para a mesma variedade.

O número de perfilhos, ao longo do ciclo, teve comportamento linear e crescente, em função das épocas de corte das plantas, com solubilizador, no entanto, sem o solubilizador, o comportamento foi quadrático, com máximo perfilhos aos 30 DAB, estimados pelas equações de regressão (Figura 4). Foram percebidos ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e o máximo perfilhamento 17,5% e 7,9% (Tabela 4 e Figura 4).

Pode-se notar, que a cana com o solubilizador, apresentou uma média de perfilhos maior do que a cana sem o solubilizador, e que a cana rebrota, iniciou com um alto número de perfilhos, e depois foi diminuído, selecionando os melhores perfilhoss para se desenvolver.

Já sem o solubilizador, o desenvolvimento dos perfilhos foi lento até chegar ao máximo perfilhamento, que foi com 30 dias. Após a cana alcançar o número máximo de perfilhos, o



canavial começou a selecionar os melhores perfilhos, para se desenvolver e para formar o canavial.

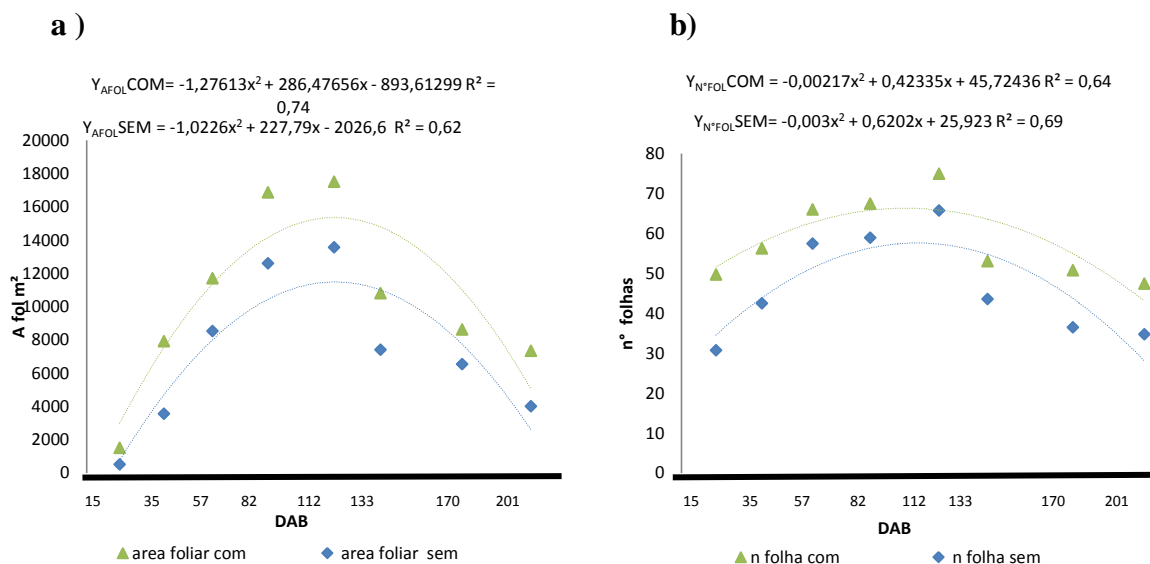
Segundo CASTRO (2000) e OLIVEIRA et al. (2004), o perfilhamento tende a ocorrer até os quatro meses, após o plantio, e a partir desse período, o canavial inicia uma redução no número de perfilhos. Quando o canavial chega ao perfilhamento máximo, há um decréscimo no número de plantas, por metro linear, seguida por um equilíbrio até o final do ciclo devido à competição entre os perfilhos, pelos fatores essenciais para o crescimento como: luz, espaço, água e nutrientes, o que reflete na diminuição e na paralisação do processo, além de causar a morte dos perfilhos mais jovens SILVA (2007).

Na pesquisa de OLIVEIRA (2011), usando a variedade RB867515, percebeu-se que o perfilhamento, ao final do ciclo, da cana planta, foi de 11 perfilhos, e que outras variedades com maior potencial de perfilhamento, foi de 15 perfilhos. Já o trabalho de SILVA, (2011) com 7 variedades de cana, avaliando o perfilhamento na cana rebrota, em Coruripe–Alagoas, foi observado, após o final do ciclo, que a variedade RB867515 teve média de 14 perfilhos ao final do ciclo, e a variedade com máximo número de perfilho, apresentou 17 perfilhos, evidenciando que o solubilizador contribuiu para manutenção, e para eficiência na manutenção dos perfilhos.

Considerando que esse trabalho foi realizado na soqueira, onde o canavial já tende a perder um pouco de qualidade, o solubilizador mostrou resposta positiva, pois a lavoura já arrancou com o máximo perfilhamento, e conseguiu chegar ao final do ciclo com um número maior de perfilhos, de forma que contribuiu para o estabelecimento e a produtividade do canavial.

Mesmo não apresentando interação, com e sem a presença do solubilizador, pode-se notar que área foliar e o número de folhas, ao longo do ciclo, tiveram comportamento quadrático, em função das épocas de corte das plantas, e ponto máximo, para (A Fol.), com o uso do solubilizador, foi aos 112 DAB, com 15184,03m<sup>2</sup>, e já sem o solubilizador, aos 111 DAB, com 10658,34m<sup>2</sup> (Tabela 4; Figura 5a), e para (N fol.), segundo o modelo, quando a planta apresentou a maior presença de folhas fotossinteticamente ativas foi aos 97 e aos 103 DAB, com 62 folhas, respectivamente, com e sem a presença do solubilizador (Tabela 4 e Figura 5b). Foram percebidos ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e o máximo acumulado, 45 %, 33% e 25,8%, 14,9%, respectivamente, para (A Fol.) e para (N fol.), no canavial de 1<sup>a</sup> rebrota com o solubilizador (Tabela 4; Figura 5ab).

Os resultados obtidos, permitiram inferir que mesmo quando a planta começou a perder folhas, o solubilizador fez com que ela mantivesse uma área foliar maior, favorecendo melhores funcionamento fisiológico e aproveitamento dos nutrientes pela planta.



**FIGURA 5.** Área Foliar em m<sup>2</sup>(a), e número de folhas (b), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

Já para as variáveis, que dizem respeito apenas aos colmos, para todas as variáveis foram observados efeitos significativos para época (EPO), exceto o comprimento de entre nó (C entre nó); para inoculação (INOC), apenas o diâmetro de colmo (D col) não apresentou efeito significativo; já para interação (INOC x EPO) foi constatado efeito significativo para °TSS, e TBH para as demais variáveis, enquanto que para: C entre nó; D col; N nó, não foi identificada interação (Figuras 6ab, 7ab e 8). Para todas essas variáveis, mesmo não apresentando diferença estatística, foi notado ganho porcentual com a utilização do solubilizador (Tabela 5). Isso permite inferir, que a área implantada com o uso de solubilizador de P, incrementou a produção vegetal e a produção industrial, na primeira rebrota.

**TABELA 5.** Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para: teor de sólidos solúveis (TSS); comprimento de entre nó (C entre nó) em cm; diâmetro de colmo (D col.) em mm; número de nós (N nó); tonelada de colmos por hectare (TCH), e tonelada de sólidos solúveis por hectare (TBH),

em t ha<sup>-1</sup>, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando cinco épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

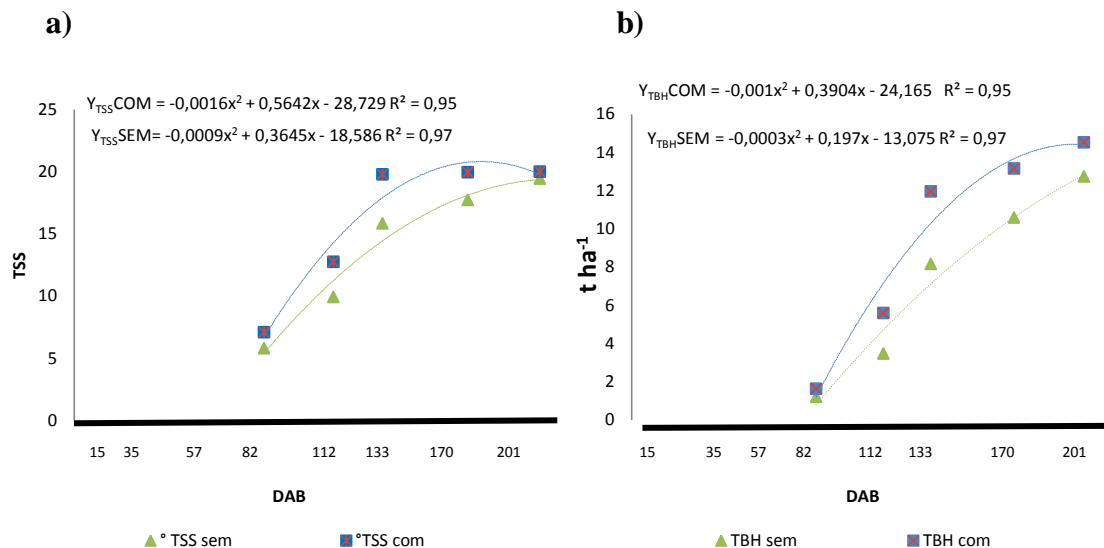
|                   | Colmos |       |           |           |
|-------------------|--------|-------|-----------|-----------|
|                   | Com    | Sem   | Gmed<br>% | Gmax<br>% |
| <b>°TSS</b>       | 15,9   | 13,7  | 15,9      | 7,2       |
| <b>C entre nó</b> | 17,57  | 16,88 | 4,1       | 7,1       |
| <b>D col</b>      | 29,14  | 28,37 | 2,7       | 3,4       |
| <b>N nó</b>       | 8,26   | 7,59  | 8,83      | 5         |
| <b>TCH</b>        | 53,111 | 46,39 | 14,5      | 11,5      |
| <b>TBH</b>        | 9,36   | 7,22  | 29,7      | 12,52     |

Gmed= -100+(média geral com solubilizador/média geral sem solubilizador)\*100

Gmax = -100+(valor estimado aos 201 DAB, com solubilizador/valor estimado aos 201 DAB, sem solubilizador)\*100

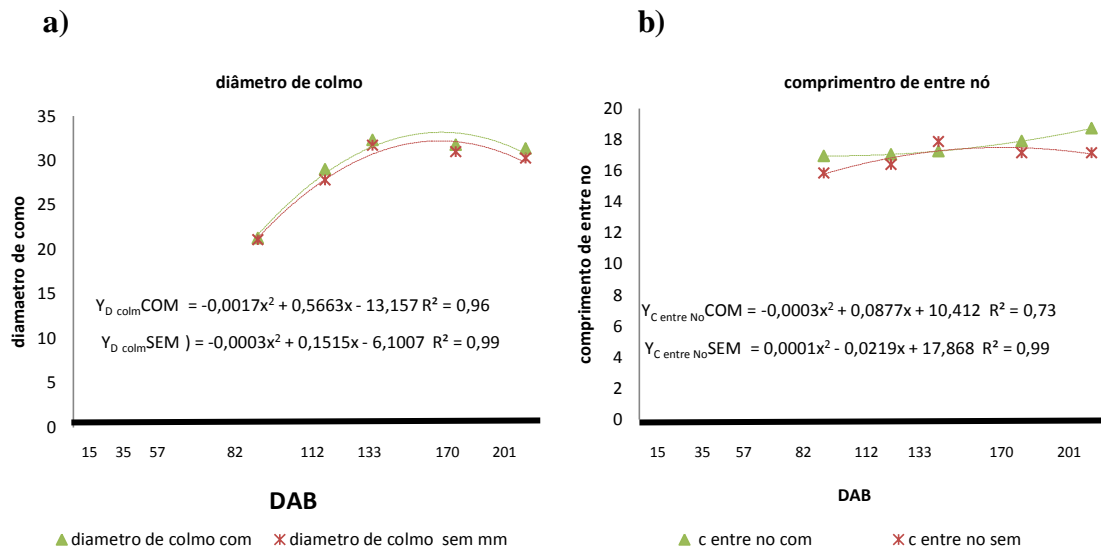
Para °TSS e para TBH, o comportamento em função das épocas de corte das plantas foi quadrático, com e sem o uso de solubilizador, sendo o ponto de máximo acúmulo ocorreu aos 176 e 195 DAB, respectivamente; já sem o solubilizador, o ponto de máximo de acúmulo ocorreu ao final do ciclo, respectivamente, estimados pela equação de regressão (Figura 6ab). Foram também observados ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e o máximo acumulado; para °TSS, 15,9 e 7,2% e para TBH, 29,7 e 12,52%, no canavial de 1ª rebrota, com o solubilizador (Tabela 5; Figura 6ab).

Assim, o uso de solubilizador de P não somente incrementou a produção vegetal, de cana-de-açúcar, como também a produção industrial, aqui estimada pelo TBH, e isso possibilitou a antecipação do início da colheita, por acelerar o ganho em sólidos solúveis no caldo (°TSS). Segundo KORNDÖRFER (2009), a produção acumulada de açúcar, aumenta com a disponibilidade de P, mostrando que o solubilizador de P contribuiu para melhor acúmulo dos nutrientes, favorecendo o maior acúmulo de °TSS, com a presença do solubilizador.



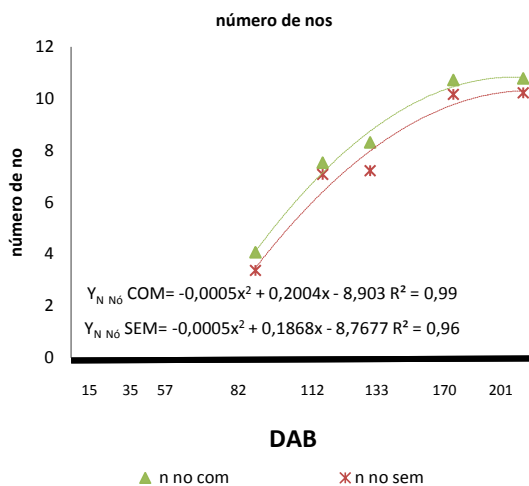
**FIGURA 6.** Teor de sólidos solúveis (°TSS) (a), e de tonelada de sólidos solúveis por hectare (TBH), em  $t\ ha^{-1}$  (b), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.)

Para o diâmetro de colmo e o comprimento de entre nó, o comportamento, em função das épocas de corte das plantas, foi quadrático, com e sem o uso de solubilizador, sendo o ponto de máximo ocorrendo após 201 DAB para D, já para C entre nó, o ponto máximo ocorrendo 146 e 109 DAB, respectivamente, estimados pela equação de regressão (Figura 7ab). Houve também ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e o máximo acumulado, para D col. 2,7% e 3,1, para C entre nó, de 4,1 e de 7,1 %, no canal de 1ª rebrota, com o solubilizador (Tabela 5; Figura 7ab).



**FIGURA 7.** Diâmetro de colmo em mm (a), e comprimento de nó em cm (b), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

No número de nós, o comportamento, em função das épocas de corte das plantas, foi quadrático, com o ponto máximo ocorrendo após 200 e 186 DAB, com e sem o uso de solubilizador, respectivamente, estimados pela equação de regressão (Figura 8). Foram também evidenciados ganhos percentuais para N nó, para a média dos tratamentos e o máximo acumulado, 8,8 e 5%, respectivamente, no canal de 1ª rebrota, com o solubilizador (Tabela 4; Figura 8).



**FIGURA 8.** Número de nós (N nó), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

### 3. Conclusão

O desempenho agrônômico da cana-de-açúcar, variedade RB867515, em 1ª rebrota, foi incrementado com o uso de solubilizador, ao longo dos estádios fenológicos em relação à não utilização de solubilizador nos toletes de plantio.

O desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar, a produção de massa vegetal, e o teor de sólidos solúveis, no caldo, foram aperfeiçoados com o uso de solubilizador de P.

A produtividade de colmos teve ganho de 11% a mais, com a utilização do solubilizador, nos toletes de plantio de cana.

### 4. Referência bibliográfica

AUDE, M. I. S.. **Estádios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade**. Santa Maria; Ciência Rural, 1993. V23, n 2.

AZZIZ, G.; BAJSA, N.; HAGHJOU, T.; TAULÉ, T.; VALVERDE, A; IGUAL, J. M.; ARIAS, A.. Abundance, diversity and prospecting of culturable phosphate solubilizing bacteria on soils under crop-pasture rotations in a no-tillage regime in Uruguay. *Appl. Soil Ecol*, 61: 320–326, 2012.

BAHADIR, P. S.; LIAQAT, F.; ELTEM, R.. **Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean Region of Turkey**. *Turkish Journal of Botany*, v. 42, n. 2, p. 183-196, 2018.

BECARI, G.R.G.. **Resposta da cana-planta à aplicação de micronutrientes**. Campinas, SP. IAC. 2010.

BENINCASA, M. M. P.. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 41 p. 1988.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. 2023. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Quarto levantamento-safra 2022/23**. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso: 03 Abril 2023.

CANÇADO, G. M. de A.; VASCONCELOS, J. C. S.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; CHRISTOFOLETTI, D.; SEVERINO, F. J.; PINTO JUNIOR, A. S.; MEDEIROS, G. de; BARBOSA, L. A. F.; SPERANZA, E. A.; ANTUNES, J. F. G.. **Utilização de solubilizador líquido, solubilizador de fosfato formulado a base dos isolados de *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) no plantio da cana-de-açúcar - Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2021**.

CASTRO, P.R.C.. **Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar**. In: **Simpósio Internacional de Fisiologia da Cana-de-açúcar, 2000, Piracicaba**. Anais... Piracicaba: STAB, p. 1-9. 2000.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.. Yield response to water. Rome: FAO, 193p. Irrigation and Drainage Paper, 33. 1979.

FERREIRA, D.F.. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0.** In...45a. Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2013. p. 255-258.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMED, M.; OVES, M.; WANI, P. A.. **Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective.** Archives of Agronomy and Soil Science, 2010.; v. 56, n. 1, p. 73–98.

KOLCHINSKI, E.M., SCHUCH, L.O.B.. **Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p. 1033-1038, 2003.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P.. **Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, n. 1, p. 92-97, 2009.

KRUTMAN, S.. **Do grande período de variedades de cana.** Pesquisa Agropecuária Brasileira . Brasília , v11, 395-400 p, 1966.

NAHAS, E.. **Ciclo do fósforo: transformações microbianas.** Jaboticabal, Funep, 1991. 67p.

OLIVEIRA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. H.. **Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome.** Soil Biology and Biochemistry, v. 41, n. 9, p. 1782-1787, 2009.

OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, F. C. dos; MARRIEL, I. E.; ALMEIDA, C. N. S.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; PASSOS, A. M. A. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; OLIVEIRA, E. C. A.. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção.** 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E.; SOUZA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C.. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 210). Disponível em: <  
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126348/1/Bol-210.pdf> >  
Acesso em: 27 junho. 2023.

OLIVEIRA, J.B DE, CUNHA, T.J.F, 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, fifth ed. Embrapa Solos, Brasília. (<http://www.embrapa.br/en/solos/sibcs>).

PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

RIBEIRO, V. P.; MARRIEL, I. E.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; MATTOS, B. B.; PAIVA, C. A. O.; GOMES, E. A.. **Endophytic Bacillus strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P**. Brazilian Journal of Microbiology, v. 49S, p. 40-46, 2018.

RODRIGUES, G. S. S. C., & ROSS, J. L. S.. A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental. Uberlândia: EDUFU, 269 p.: ISBN: 978-65-86084-00-9, 2020.

SANTOS, D. dos. Ecofisiologia da cana-de-açúcar. In: Recomendações técnicas para cultura de cana-de-açúcar no estado do Paraná. Londrina: Instituto Agrônômico, 1997, 107p. Circular IAPAR, 6.

SANTOS, H.G DOS, JACOMINE, P.K.T, ANJOS, L.H.C DOS, OLIVEIRA, V.A. DE, LUMBRERAS, J.F, COELHO, M.R, ALMEIDA, J.A DE, ARAÚJO FILHO, J.C DE, SILVA, I. D. N. DA. Resposta da cana-de-açúcar ao uso de bioestimulante sob diferentes densidades de plantio. 2018.

SILVA, I. D. N. DA. Resposta da cana-de-açúcar ao uso de bioestimulante sob diferentes densidades de plantio. 2018.

SILVA, L. C.. Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na região de Coruripe-Al. Alagoas: UFAL, 2007. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas.

SILVA, V. T.. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar, em cana-rebrota, na região de Coruripe**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011.

SOUTO, L. A.. Microrganismos solubilizadores de fosfato: Usos e potencialidades na agricultura. 2020.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A.. Nutrição Mineral de Plantas. 2 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018, p. 309-376.

WAHYUDI, A. T.; ASTUTI, R. P.; WIDYAWATI, A.; MERYANDINI, A.; NAWANGSIH, A. A.. **Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria**. Journal of Microbiology Indonesia, v. 3, n. 2, p. 34-40, 2011.



## ARTIGO 2

# ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO

**Resumo** - A cana-de-açúcar é uma das principais culturas produzidas no Brasil, e com produtividade média de 75 t ha<sup>-1</sup>, sendo o manejo da sua fertilidade, essencial, para que essa cultura aumente seu potencial produtivo. Na busca de novas alternativas de manejo para fertilidade, o uso de bioinsumos de microrganismos solubilizadores tem se apresentado uma opção viável. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar e quantificar, em plantas de cana-de-açúcar, a marcha de acúmulo de matéria seca e de macronutrientes na parte aérea, e de suas partes, considerando duas estratégias de fertilização, com e sem o uso de solubilizador de P, Omsugo™ ECO, que foi aplicado no sulco de plantio ao estabelecer o canavial. O trabalho foi conduzido no canavial de 1ª rebrota (2021/2022), variedade RB867515, oriundo de um plantio feito no mês outubro de 2020, e colhido em novembro de 2021, desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), *Campus Sete Lagoas*, MG, não sendo feito reinoculação do solubilizador. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, e os tratamentos dispostos em fatorial 2x8, sendo dois níveis de inoculação (com e sem solubilizador de P) e oito épocas de coleta das plantas (uma na fase de brotação; três na fase de perfilhamento; duas na fase de crescimento intensivo, e duas na fase de maturação), com 4 repetições, totalizando 64 parcelas, com realização de análises de regressão, para época, e testes de média, para a interação e as estratégias de adubação. O acúmulo dos nutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, de 1ª rebrota, apresentou ganhos ao longo dos estádios fenológicos, com a inoculação do solubilizador, em relação à não inoculação. A inoculação do solubilizador de P, Omsugo™ ECO, contribuiu para um melhor desenvolvimento do canavial de 1ª rebrota, e para o acúmulo de nutrientes e de matéria seca. O teor de sólidos solúveis, no caldo, foi incrementado com o uso de solubilizador de P, em toletes de cana-de-açúcar, e a produtividade de colmos, mostrou ganho de 11% em relação à não utilização do solubilizador. A marcha de acúmulo dos

macronutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, apresentou a seguinte ordem, independente do uso ou não do solubilizador: k>Ca>N> Mg>P> S.

**Palavras-chave:** Adubação, bioinsumos, solubilizador de fósforo, *Sacharum* spp, fenologia.

## **ACCUMULATION OF MACRONUTRIENTS, DEVELOPMENT AND INDUSTRIAL YIELD OF SUGAR CANE WITH THE USE OF PHOSPHORUS SOLUBILIZER**

**Abstract** - Sugarcane is one of the main crops produced in Brazil, with an average productivity of 75 t ha<sup>-1</sup>, and the management of its fertility is essential for this crop to increase its productive potential. In the search for new management alternatives for fertility, using bioinputs from solubilizing microorganisms has been a viable option. Therefore, the objective of this research was to evaluate and quantify, in sugarcane plants, the accumulation of dry matter and macronutrients in the aerial part and its parts, considering two fertilization strategies, with and without the use of P solubilizer, Omsugo™ ECO, which was applied to the planting furrow when establishing the sugarcane field. The work was conducted in the first regrowth sugarcane field (2021/2022), variety RB867515, from a planting carried out in October 2020 and harvested in November 2021, developed in the experimental area of *Campus Sete Lagoas*, MG,UFSJ, with no reinoculation of the solubilizer. The experimental design was in randomized blocks, and the treatments were arranged in a 2x8 factorial, with two inoculation levels (with and without P solubilizer) and eight plant collection times (one in the budding phase, three in the tillering phase; two in the intensive growth phase, and two in the maturation phase), with four replications, totaling 64 plots, with regression analyzes carried out, for season, and mean tests, for interaction and fertilization strategies. The accumulation of nutrients in sugarcane, variety RB867515, from first regrowth, showed gains throughout the phenological stages, with the inoculation of the solubilizer, concerning non-inoculation. The inoculation of the P solubilizer, Omsugo™ ECO, contributed to the better development of the first regrowth sugarcane field and the accumulation of nutrients and dry matter. The soluble solids content in the juice was increased using a P solubilizer in sugarcane billets, and stalk productivity showed a gain of 11% concerning not using the solubilizer. The accumulation of macronutrients in sugarcane, variety RB867515, is presented in the following order, regardless of the use or not of the solubilizer: k>Ca>N> Mg>P> S.

**Keywords:** Fertilization, bioinputs, phosphorus solubilizer, *Sacharum* spp, phenology.

## 5. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) está entre as principais culturas que produzem biomassa, por unidade de área, e que apresentam uma elevada extração de nutrientes (MEENA et al., 2015), além de ser uma das culturas mais produzidas no Brasil, sendo sua matéria prima utilizada para extração de sacarose, com finalidade de fabricação de açúcar e de etanol, como fonte alternativa de combustível. O setor sucroalcooleiro brasileiro, movimenta, direta e indiretamente, cerca de R\$ 40 bilhões por ano, e a estimativa para a safra 2022/23, para o Brasil, é de uma produção de 598,1 milhões de toneladas. Já em Minas Gerais, a previsão é de fechar o ciclo com 77,99 milhões de toneladas processadas, de cana-de-açúcar (CONAB, 2023).

O desenvolvimento da cana é dividido em quatro estádios fenológicos: do plantio à brotação das gemas; da brotação das gemas ao final do perfilhamento; do final do perfilhamento ao início do acúmulo de açúcar; e do início do acúmulo de açúcar até a maturação (KRUTMAN, 1966).

Para uma melhor produção de biomassa, é necessário entender melhor a extração e o acúmulo de nutrientes pela planta, de acordo com sua fenologia, de forma que essa variável seja essencial, para melhor manejo e eficácia dos fertilizantes, de modo que possibilite quantificar a quantidade e o momento adequado, para atender a demanda nutricional da cultura (COLETI et al., 2006).

A produtividade média brasileira, da cana-de-açúcar, tem sido de 75 t ha<sup>-1</sup>, considerada baixa, apesar do alto potencial genético de algumas variedades, que é de 200 t ha<sup>-1</sup> (RODRIGO & ROSS, 2020). Um dos fatores que contribui para baixa produtividade, é a cultura ter se expandido para áreas de solos com baixa fertilidade, notadamente, a partir da época do programa governamental Pró-álcool, que incentivava a procura por fontes alternativas de combustíveis (RODRIGO & ROSS, 2020).

A aplicação de processos mais eficientes, que incrementem a produtividade, e a redução dos custos de produção, principalmente, a partir do menor uso de insumos, são fundamentais para a atuação do setor sucroalcooleiro em mercados cada vez mais competitivos. Neste contexto, é necessário utilizar novas tecnologias para que se possa melhorar a quantidade e

qualidade da produção agrícola, o que depende de vários fatores, dentre esses, o principal é manejo da fertilização do solo (SILVA, 2018).

O acúmulo de nutrientes, pela cana-de-açúcar, dentre outros fatores, é um dos aspectos importantes que influencia a manutenção da produtividade, especialmente, em solos de baixa fertilidade natural. (KOLCHINSKI & SCHUCH, 2003). Entende-se por acúmulo de nutrientes, as quantidades destes na matéria seca de cada parte da planta, ou na planta inteira, sendo que esse acúmulo é dado por absorção ou por extração de nutrientes os totais dos acúmulos de nutrientes ocorridos nas diferentes partes da planta. A quantidade do elemento retirada da área de plantio, pelos produtos da colheita, é denominada exportação de nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997).

Dentre os nutrientes necessários à nutrição da cana-de-açúcar, o P, chama a atenção por ser fundamental no processo de estabelecimento, e de arranque inicial da lavoura, apesar da planta não demandar grandes quantidades, comparativamente a outras espécies. Como forma de minimizar o uso de P, a utilização de novas tecnologias vem ganhando força entre os produtores, se destacando dentre essas, o uso de produtos à base de bactérias solubilizadoras de fosfatos, que promovem uma melhor brotação e um melhor desenvolvimento da cultura, e com isso, aumentando a eficiência de utilização de fertilizantes minerais.

Os bioinsumos são produtos específicos e naturais, à base de microrganismos (bactérias, fungos, vírus, etc.), de macrorganismos (parasitoides e predadores), ou derivados, que são utilizados para finalidades como: o crescimento de plantas, a solubilização de nutrientes, o manejo de pragas e de doenças (OLIVEIRA-PAIVA, 2021), ou seja, utilizados para potencializar o adequado estabelecimento, a nutrição, a sanidade e a proteção da planta.

No Brasil, predominam solos mais pobres e intemperados, o que acarreta na baixa eficiência dos fertilizantes fosfatados. Essa baixa eficiência é atribuída a fatores como a fixação de P, devido à mineralogia dos solos altamente intemperizados, à mineralogia e às atividades químicas ocorridas em solos do cerrado, sendo que menos de 0,1% de fósforo está disponível para plantas. (SOUTO, 2020). Esse nutriente tem funções fundamentais para os seres vivos, seja de forma estrutural, funcional ou pela disponibilidade de energia (NAHAS; 1991); já para o desenvolvimento das plantas, o P, é um elemento essencial, e o uso de aplicações contínuas são necessárias, para que uma pequena porcentagem possa ficar disponível para planta (KHAN et al., 2010).

Entre os manejos que aumentam a eficiência dos fosfatados, e que vêm ganhando força, são a inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato, ou a manipulação de suas populações no solo, que estão sendo usados de forma a minimizar a utilização de fertilizantes fosfáticos, já que por meio de seus mecanismos solubilizadores, causam melhor rendimento dos fosfatos naturais existentes, ou aplicados ao solo (SOUTO, 2020).

E uma fonte desses microrganismos solubilizadores de fosfato, que se destaca por ser uma opção mais sustentável e econômica, é as bactérias do gênero *Bacillus*, para aumentar a disponibilidade de P para as plantas, já que são capazes de transformar o P insolúvel, em formas solúveis, mais acessíveis às plantas (SOUSA et al., 2021). Diferentes espécies, desse gênero, têm sido relatadas como potenciais promotores de crescimento de plantas, em razão das características multifuncionais, como a solubilização de fosfato (WAHYUDI et al., 2011; BAHADIR et al., 2018).

Além disso, inoculantes contendo cepas de *Bacillus*, são considerados mais estáveis no ambiente, por causa da capacidade de formação de endósporos, permitindo adaptação às condições abióticas extremas, como: temperaturas, pH ou exposição a pesticidas (BAHADIR et al., 2018). Com base em resultados de laboratório, e de casa de vegetação, foram selecionadas as cepas B119 (*Bacillus megaterium*) e B2084 (*Bacillus subtilis*), eficientes na solubilização e na mineralização de P, e na promoção de crescimento de plantas (OLIVEIRA et al., 2009, 2013; RIBEIRO et al., 2018), para a recomendação de produção de inoculantes industriais.

Portanto, estabelecer uma marcha de absorção dos nutrientes com a construção de uma curva de acúmulo na planta, ao longo das fases de desenvolvimento da cultura, durante seu ciclo, possibilita conhecer a dinâmica dessa absorção/acúmulo na planta de cana-de-açúcar, durante seu ciclo, considerando que suas fases de desenvolvimento, subsidia as análises quanto à demanda e à necessidade com a identificação de parâmetros, quanto à quantidade e ao momento de se adotar estratégias de nutrição, e de diagnósticos da lavoura, o que é fundamental para a eficiência no manejo da cultura.

Na busca de conhecer quanto de cada nutriente é acumulado, na parte aérea da planta de cana-de-açúcar, e quando isso ocorre, bem como a eficiência de microrganismos solubilizadores de P, nesta cultura, este trabalho teve como objetivo avaliar e quantificar nessa planta, a marcha de acúmulo de matéria seca, e de macronutrientes na parte aérea, e de suas

partes, considerando duas estratégias de fertilização, em função dos estádios de desenvolvimento da lavoura.

## 6. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em canavial de 1ª rebrota (2021/2022), variedade RB867515, oriundo de um plantio feito no mês outubro de 2020, e colhido em novembro de 2021, na área experimental da Universidade Federal de São João del-Rey, *Campus* de Sete Lagoas, MG (‘‘19° 27’ 20’’ S, 44° 10’ 21’’ W, a 725 m de altitude). O clima é classificado como CWA com verões quentes e chuvosos e invernos secos, (SANTOS et al, 2018) O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média.

A coleta de amostras de solo, para análise, foi realizada após o início da 1ª rebrota, de acordo com tratamento, com e sem solubilizador, a 15 cm da linha de plantio. (Tabela 1).

**TABELA 1** - Características químicas do solo, em amostras da área experimental. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

|   | Características químicas |        |      |        |
|---|--------------------------|--------|------|--------|
|   | Com                      |        | Sem  |        |
|   | Início da 1ª rebrota     |        |      |        |
|   | 0-20                     | 20- 40 | 0-20 | 20- 40 |
| pH  | 6,2                      | 5,6    | 6,1  | 5,7    |
| H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )    | 2,7                      | 6,1    | 3,3  | 6,4    |
| Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 0                        | 0      | 0    | 0      |
| Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 6,3                      | 4,8    | 5,9  | 4,7    |
| Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 1,8                      | 0,8    | 1,7  | 1,0    |
| Na (mg dm <sup>-3</sup> )                       | -                        | -      | -    | -      |
| K (mg dm <sup>-3</sup> )                        | 305                      | 215    | 325  | 230    |
| P (mg dm <sup>-3</sup> )                        | 11,8                     | 9      | 8,0  | 7,8    |
| P-rem (mg L <sup>-1</sup> )                     | 16,9                     | 15,1   | 15,7 | 13,2   |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> )                       | 2,2                      | 1,7    | 1,9  | 1,7    |
| Fe (mg dm <sup>-3</sup> )                       | 7,4                      | 8,9    | 5,8  | 6,4    |
| Mn (mg dm <sup>-3</sup> )                       | 94,2                     | 77,9   | 68,5 | 69,5   |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )                       | 0,8                      | 0,9    | 0,7  | 0,7    |
| MO(g kg <sup>-1</sup> )                         | -                        | -      | -    | -      |
| SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 8,9                      | 6,1    | 8,3  | 6,3    |
| V (%)   | 81,4                     | 50,0   | 71,9 | 49,7   |
| CTC pH 7 ( cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 11,5                     | 12,3   | 11,6 | 12,7   |

Extratores; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Extrator Mehlich I; K acetato de amônio (1 mol/L) a pH 7; K ácido nítrico (1 mol/L); Ca, Mg, Al: Extrator KCl 1 mol/L; H+Al: Acetato de Cálcio; Fósforo remanescente, concentração de P da solução de equilíbrio, após agitar durante 1 h a TFSA com solução de CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação 1:10; M. O.: Oxidação com Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N.

Os tratamentos consistiram na aplicação ou não, nos toletes de plantio, no sulco da cana-planta, da dose de 500 mL/ha do produto comercial Omsugo™ ECO, contendo

microrganismo solubilizador de P. A adubação de plantio do canavial foi, inicialmente, com 357 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 8-28-16. A rebrota recebeu 100 kg/ha de N (ureia) e 100 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), via fertirrigação realizada com a lâmina d'água de 1,5 mm. O manejo de pragas, de doenças e de plantas daninhas, bem como outras práticas agrícolas, foram realizados sempre que necessário.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, e tratamentos dispostos em fatorial 2x8, sendo dois níveis de inoculação (com e sem solubilizador de P), e oito épocas de coleta das plantas, a saber: uma na fase de brotação; três na fase de perfilhamento; duas na fase de crescimento intensivo; e duas na fase de maturação, com 4 repetições, totalizando 64 parcelas. Cada parcela foi constituída de nove linhas de sete metros, espaçadas de 1,40 m, sendo considerada como área útil, cinco linhas centrais, descartando 0,5m nas extremidades. As parcelas foram cortadas rente ao solo, conforme tratamentos propostos (Tabela 2).

**TABELA 2** - Épocas de colheita, de acordo com a fenologia da cana - rebrota.

| <b>Época</b>                     | <b>Data da coleta / DAB</b> | <b>Fenologia</b>          |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 <sup>a</sup> época de colheita | 30/11/2021 - 15 dias        | Brotação e emergência     |
| 2 <sup>a</sup> época de colheita | 20/12/2021 - 35 dias        | Perfilhamento             |
| 3 <sup>a</sup> época de colheita | 12/01/2022 - 57 dias        | Crescimento dos perfilhos |
| 4 <sup>a</sup> época de colheita | 07/02/2022 - 82 dias        | Perfilhamento pleno       |
| 5 <sup>a</sup> época de colheita | 07/03/2022 - 112 dias       | Crescimento dos colmos    |
| 6 <sup>a</sup> época de colheita | 28/03/2022 - 133 dias       | Alongamento dos colmos    |
| 7 <sup>a</sup> época de colheita | 05/05/2022 - 170 dias       | Maturação dos colmos      |
| 8 <sup>a</sup> época de colheita | 06/06/2022 - 201 dias       | Maturação dos colmos      |

\*DAB - dias após a brotação

As variáveis avaliadas, na planta inteira e nas partes da planta, de cana-de-açúcar, foram: % MS e os teores dos macronutrientes NPK e Ca, Mg e S; foram obtidos os valores de peso verde e de peso seco vegetal, das parcelas utilizados para a obtenção da quantidade na MS e de macronutrientes acumulados nas partes vegetais por hectare.

As plantas foram pesadas, picadas e trituradas, homogeneizadas, retiradas de uma amostra de cerca de 400 gramas; a partir do 82 DAB, as plantas apresentaram diferenciação de folhas e de colmos, sendo então, as partes coletadas separadamente. Para obtenção do peso seco da

amostra, as plantas foram levadas em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C e, com esse dado, calculado a porcentagem de matéria seca (%MS) com a expressão:

$$\% \text{ Matéria seca} = \frac{\text{Peso seco da amostra}(kg) * 100}{\text{peso verde da amostra}(kg)}$$

Para o TCH foram pesados todos os colmos de 2 m, da parcela sem a ponta, sendo os valores também convertidos para hectare. O teor de sólidos solúveis (TSS) foi obtido utilizando 5 colmos aleatórios, nos 2 m. Com a multiplicação do TSS pelo TCH foi calculado o TBH (tonelada de TSS por hectare).

Amostras secas foram posteriormente levadas para análise e para obtenção dos teores de macronutrientes (NPK, Ca, Mg e S), na matéria seca. Os valores obtidos, para o teor de cada amostra, foram convertidos para  $kg\ ha^{-1}$ , considerando a quantidade de matéria seca da parcela, concebendo a expressão:

$$kg\ ha^{-1} = \text{Peso seco} * \text{teor do nutriente na MS da parte}$$

Através do extrato nítrico-perclórico foram determinados os teores de P, por espectrofotômetro (comprimento de onda de 725 nm); de cálcio; de magnésio e de potássio, por fotometria de chama; e de enxofre, por espectrofotômetro (comprimento de onda de 420 nm), (MALAVOLTA et al., 1997). Os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método semi-micro Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1997).

Para obtenção de ganho médio percentual (Gmed), foi utilizado o valor médio das oito épocas, com e sem o solubilizador de P, de acordo com a fórmula abaixo:

$$Gmed = -100 + \left( \frac{\text{peso médio com solubilizador}}{\text{peso médio sem o solubilizador}} \right) * 100$$

E para obtenção do ganho máximo percentual (Gmax), foi utilizado o valor máximo acumulado na 8ª época de coleta, estimado pela equação de regressão, seja ela linear ou quadrática, que de acordo com a significância, foi escolhido o modelo para cada variável, através da fórmula abaixo:

$$Gmax = -100 + \left( \frac{\text{peso estimado na 8 época de coleta com solubilizador}}{\text{peso estimado na 8 época de coleta sem o solubilizador}} \right) * 100$$



Os dados obtidos, foram submetidos à análise de variância com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2013), e para as diferenças significativas identificadas pelo teste F, se aplicou o teste de médias de Scott-Knott (5%). Também a esses resultados, quando foi o caso e ocorreram diferenças significativas identificadas pelo teste F ( $P < 0,5$ ), foram feitas análises de regressão. Também foram utilizados testes de Lilliefors e de Bartlett, para verificação de normalidade e para homogeneidade de variância, respectivamente, além de ter sido estimada, a correlação de Pearson, para verificação de possíveis associações entre as respostas medidas.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância para: PV parte aérea total; PS parte aérea total; TCH (tonelada de colmos por hectare); TBH (tonelada de °TSS por hectare); e teor de sólidos solúveis (°TSS); foi identificada efeito significativo para época (EPO), para inoculação (INOC), e também, para interação (INOC x EPO) (Figuras 1a, 1b, 2a, 2b).

Para todas essas variáveis, e para o acúmulo de NPK, de Ca, de Mg e de S, foi notado ganho porcentual, com a utilização do solubilizador (Tabelas 3, 4 e 5). Dessa forma, pode-se inferir que áreas implantadas, com o uso de solubilizador de P, incrementaram a produção vegetal e a produção industrial, na primeira rebrota.

**TABELA 3.** Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para: peso seco (PS) e peso verde (PV) da parte aérea total; tonelada de colmos por hectare (TCH); e tonelada de sólidos solúveis por hectare (TBH), em  $t\ ha^{-1}$ ; e teor de sólidos solúveis (°TSS), em cana-de-açúcar (RB867515), considerando oito épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

|             | <b>Com</b> | <b>Sem</b> | <b>Gmed</b> | <b>Gmax</b> |
|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
|             |            |            | <b>%</b>    | <b>%</b>    |
| <b>PV</b>   | 50,513     | 43,83      | 15,25       | 13,4        |
| <b>PS</b>   | 12,099     | 10,08      | 20,09       | 18,6        |
| <b>TCH</b>  | 53,111     | 46,39      | 14,49       | 11,5        |
| <b>TBH</b>  | 9,36       | 7,22       | 29,67       | 12,52       |
| <b>°TSS</b> | 15,90      | 13,72      | 15,86       | 7,23        |

Gmed=  $-100 + (\text{média geral com solubilizador} / \text{média geral sem solubilizador}) * 100$

$G_{max} = -100 + (\text{valor estimado aos 201 DAB com solubilizador} / \text{valor estimado aos 201 DAB sem solubilizador}) * 100$

Para parte aérea total, colmos e folhas, no acúmulo de todos os macronutrientes primários houve efeito significativo para EPO, e para interação EPO\*INOC; esse mesmo comportamento foi observado para INOC, exceto para F nos colmos. (Figuras 3ab, 4ab, 5ab 6ab).

**TABELA 4.** Ganhos médios e máximos percentuais ( $G_{med}$ ,  $G_{max}$ ), na absorção de macronutrientes primários, em cana-de-açúcar (RB867515), com o uso de solubilizador de P, considerando oito épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

|          | Folhas                   |                          |                |                | Colmos                   |                          |                |                | Parte aérea total        |                          |                |                |
|----------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------|
|          | Com<br>g ha <sup>1</sup> | Sem<br>g ha <sup>1</sup> | $G_{med}$<br>% | $G_{max}$<br>% | Com<br>g ha <sup>1</sup> | Sem<br>g ha <sup>1</sup> | $G_{med}$<br>% | $G_{max}$<br>% | Com<br>g ha <sup>1</sup> | Sem<br>g ha <sup>1</sup> | $G_{med}$<br>% | $G_{max}$<br>% |
| <b>N</b> | 52,57                    | 47,20                    | 11,4           | 8,6            | 82,15                    | 73,62                    | 11,6           | 7,4            | 103,9                    | 93,21                    | 11,5           | 8,4            |
| <b>P</b> | 7,7                      | 5,6                      | 37,1           | 37,3           | 6,4                      | 6,3                      | 1,9            | 2,1            | 11,6                     | 9,5                      | 22,6           | 23,1           |
| <b>K</b> | 97,7                     | 85,5                     | 14,2           | 9,2            | 166,9                    | 142,8                    | 16,9           | 14,6           | 202,0                    | 174,8                    | 15,6           | 13,2           |

$G_{med} = -100 + (\text{média geral com solubilizador} / \text{média geral sem solubilizador}) * 100$

$G_{max} = -100 + (\text{valor estimado aos 201 DAB com solubilizador} / \text{valor estimado aos 201 DAB sem solubilizador}) * 100$

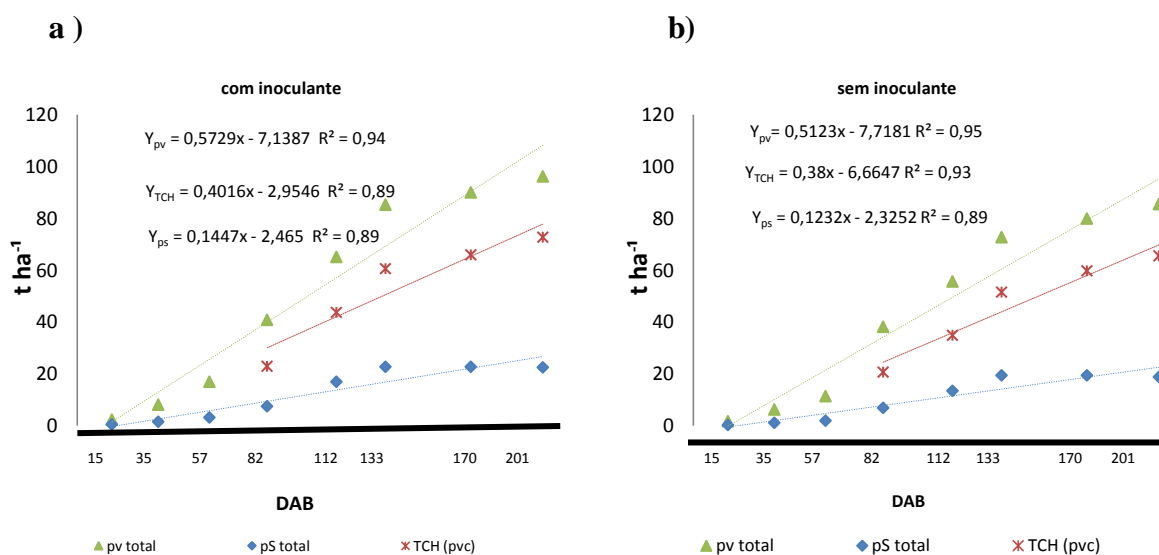
Para parte aérea total, para folhas e para colmos, no acúmulo de todos os macronutrientes secundários, houve efeito significativo para EPO, e para inoculação INOC; esse mesmo comportamento foi observado para interação EPO\*INOC para o Ca; já para o Mg e o S não foi verificado efeito significativo, exceto para o S na planta inteira. (Figuras 3ab, 4ab, 5ab 6ab).

Foi identificado ganho em porcentagem de acúmulo de NPK, de Ca, de Mg e de S, com a utilização do solubilizador, tanto considerando a média de todas as épocas ( $G_{med}$ ), como o máximo acumulado durante o ciclo ( $G_{max}$ ) (Tabelas 4 e 5). Notadamente, de maneira geral, os maiores incrementos no acúmulo de macronutrientes, na planta de cana-de-açúcar, na 1ª rebrota do canavial, foram, em ordem decrescente, os de: P, Ca, K, S, N e Mg, com valores mais modestos para ganhos no acúmulo de Mg (Tabelas 4 e 5).

**TABELA 5.** Ganhos médios e máximos percentuais ( $G_{med}$ ,  $G_{max}$ ), na absorção de macronutrientes secundários, em cana-de-açúcar (RB867515), com o uso de solubilizador de P, considerando 8 épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

|           | Folhas                    |                           |           |           | Colmos                    |                           |           |           | Parte aérea total         |                           |           |           |
|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|
|           | Com<br>g ha <sup>-1</sup> | Sem<br>g ha <sup>-1</sup> | Gmed<br>% | Gmax<br>% | Com<br>g ha <sup>-1</sup> | Sem<br>g ha <sup>-1</sup> | Gmed<br>% | Gmax<br>% | Com<br>g ha <sup>-1</sup> | Sem<br>g ha <sup>-1</sup> | Gmed<br>% | Gmax<br>% |
| <b>Ca</b> | 77,5                      | 67,8                      | 14,3      | 9,5       | 179,2                     | 151,7                     | 18,2      | 21        | 189,5                     | 162,6                     | 16,6      | 17,9      |
| <b>Mg</b> | 23,9                      | 21,3                      | 12,3      | 11,8      | 37,6                      | 33,4                      | 12,6      | 6,3       | 47,4                      | 42,1                      | 12,5      | 6,2       |
| <b>S</b>  | 3,2                       | 3,0                       | 8,5       | 11,1      | 6,4                       | 5,4                       | 17,7      | 11,2      | 7,2                       | 6,4                       | 13,4      | 11,1      |

O acúmulo de PV, de PS e de TCH, ao longo do ciclo, teve comportamento linear e crescente, em função das épocas de corte das plantas, com ganhos diários para: PV de 0,572 e de 0,512 t ha<sup>-1</sup>, PS de 0,145 e de 0,123, e TCH de 0,402 e de 0,380 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, com e sem inoculação, estimados pelas equações de regressão (Figuras, 1ab). Percebeu-se ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e o máximo acumulado, para PV de 15,3 e 13,4, PS 20,09 e 18,6, TCH 14,5% e 11,5 (Tabela 3 e Figuras 1a e 1b). Assim, foi possível concluir que o uso do bioinsumo solubilizador de P, incrementa a produção de massa vegetal durante o ciclo da cana-de-açúcar, em cerca de 16%.



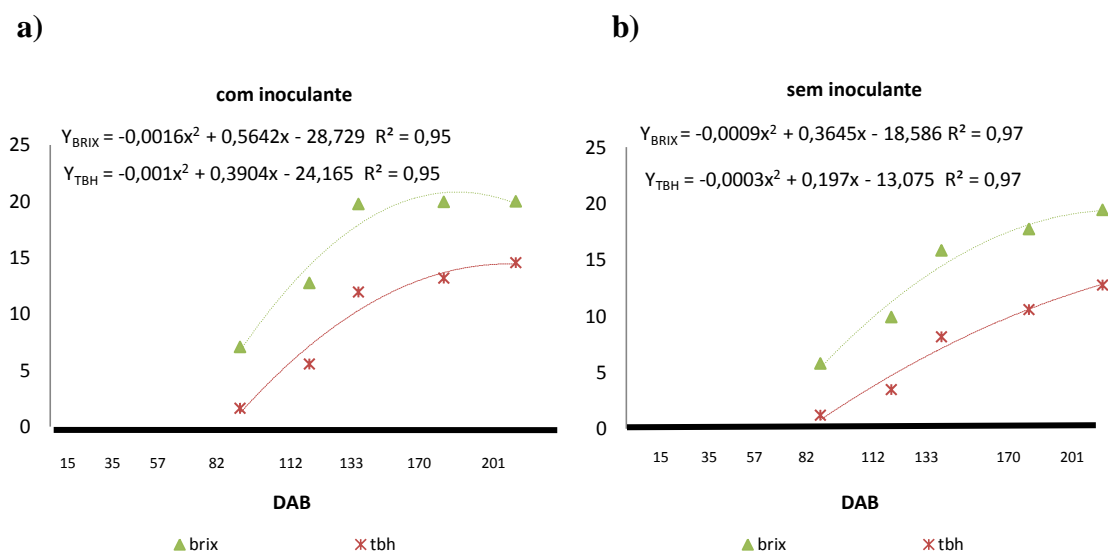
**FIGURA 1.** Acúmulo de peso verde (PV), de peso seco (PS) e de tonelada de colmos por hectare (TCH) em t ha<sup>-1</sup>, na parte aérea total, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

CANÇADO, et al (2021), utilizando as mesmas bactérias solubilizadoras e testando 6 doses do produto e o controle, mostraram ganho para TCH de 12% ate 20 % indicando a eficiência do inoculador, certificando o resultado deste trabalho, que mostra que quando o solubilizador foi utilizado, o canavial teve ganho médio em 14%, demonstrando que a utilização do solubilizador contribuiu positivamente para o TCH. Já OLIVEIRA et al. (2008), estudando o comportamento de variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ciclo de cultivo,

na região de Carpina – PE, obtiveram produtividades médias de 87,6 t ha<sup>-1</sup>, para a RB86-7515, valor esse semelhante ao de quando se utilizou apenas adubação convencional. No presente estudo (TCH 85,3 t ha<sup>-1</sup>); entretanto, quando se utilizou o solubilizador houve um ganho de 10 t ha<sup>-1</sup> (TCH 95,88 t ha<sup>1</sup>).

Já para °TSS e para TBH, o comportamento em função das épocas de corte das plantas foi quadrático, com e sem o uso de solubilizador, sendo o ponto de máximo acúmulo ocorrendo aos 176 e 195 DAB, respectivamente; já sem o solubilizador, o ponto de máximo acúmulo ocorreu ao final do ciclo, estimado pela equação de regressão (Figura 6ab). Foram também observados ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e para o máximo acumulado, para °TSS de 15,9%, e de 7,2, e para TBH de 29, 7 e de 12,52, e %.

Assim, o uso de solubilizador de P, não somente incrementou a produção vegetal de cana-de-açúcar, mas também a produção industrial, aqui estimadas pelo TBH; isso possibilitou a antecipação do início da colheita, por acelerar o ganho em sólidos solúveis no caldo (°TSS). Segundo KORNDÖRFER (2009), a produção acumulada de açúcar aumenta com a disponibilidade de P, o que comprova que o solubilizador de P, contribui para melhor acúmulo dos nutrientes, favorecendo o maior acúmulo de °TSS, com a presença do solubilizador.



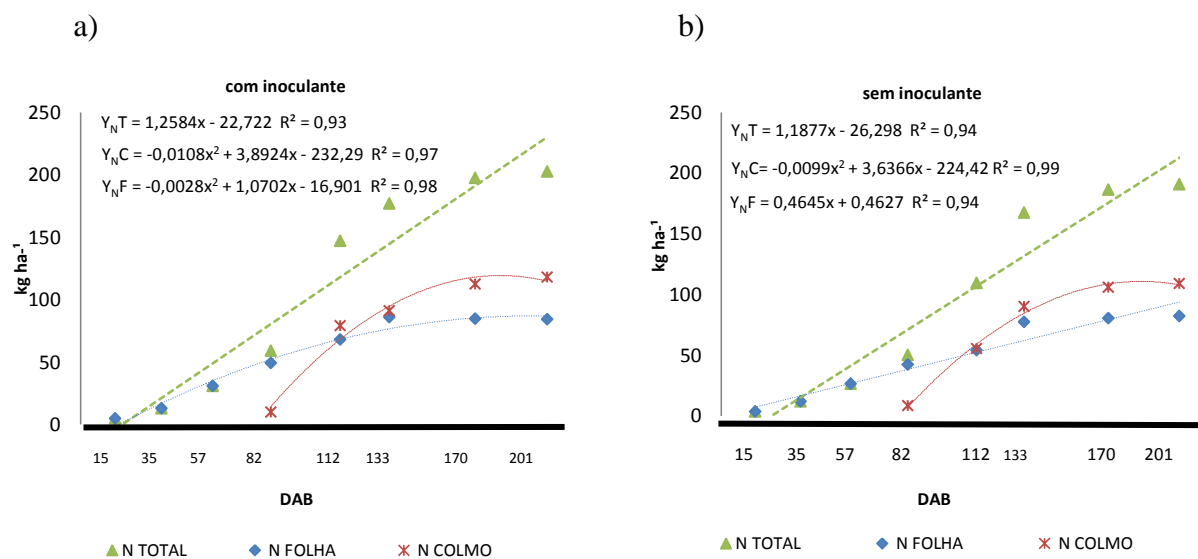
**FIGURA 2.** Acúmulo de tonelada de sólidos solúveis por hectare (TBH) em t ha<sup>-1</sup>, e teor de sólidos solúveis (°TSS), em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

O acúmulo de nitrogênio, ao longo do ciclo, para a parte aérea total, teve comportamento linear e crescente, em função das épocas de corte das plantas, com ganhos

diários de 1,25 e de 1,18 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para com e sem inoculação, estimados pela equação de regressão (Figura 3ab), havendo ganho de 11,5 % na média dos tratamentos, e de 8,4 % no máximo acumulado, com o uso do solubilizador (Tabela 4). Isso em parte, pode ser explicado pelo ganho em Ms, nas fase de perfilhamento e de crescimento vegetativo, devido ao acúmulo crescente de massa, e na fase de maturação, pelo acúmulo de açúcares no colmo.

Nos colmos, o comportamento do acúmulo de N foi quadrático, tanto com e sem o uso de solubilizador, com o máximo acúmulo ocorrendo aos 180 e 183 DAB, respectivamente (Figura 3ab); ainda foi observado ganho de 11,6 % na média dos tratamentos, e de 7,4% no máximo acumulado, com o uso do solubilizador (Tabela 4).

Já para as folhas, o comportamento do acúmulo de N foi quadrático, com o uso de solubilizador, com o máximo acúmulo ocorrendo aos 191 DAB; já sem a presença do solubilizador, o comportamento foi linear e crescente, com ganho diário de 0,46 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 3ab), sendo evidenciado também, ganho de 11,4 % na média dos tratamentos, e de 8,6 % no máximo acumulado, com o uso do solubilizador (Tabela 4).



**FIGURA 3.** Acúmulo de nitrogênio (N) em kg ha<sup>-1</sup>, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

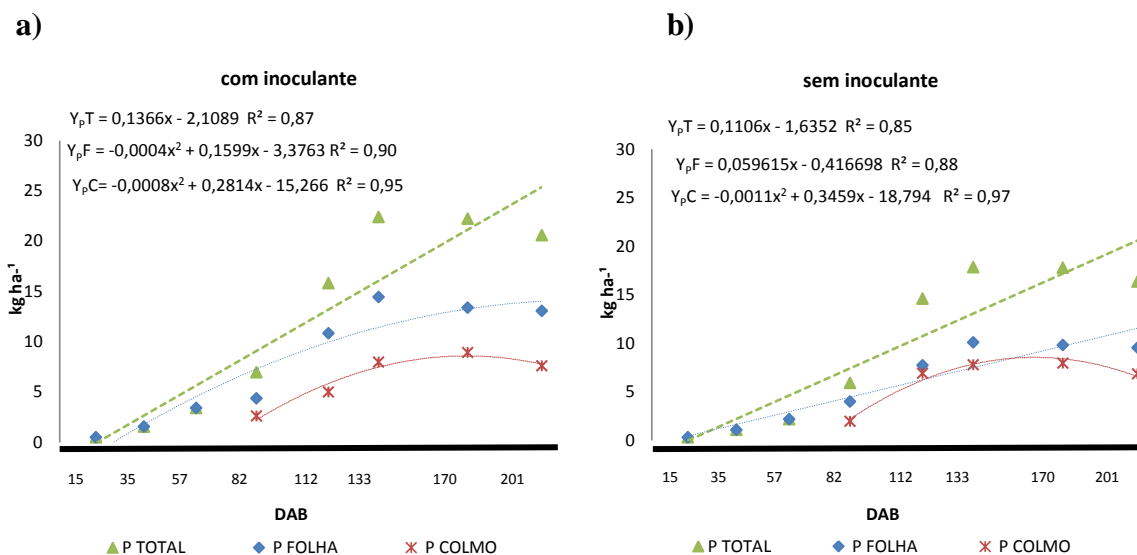
O comportamento de P, ao longo do ciclo, para a parte aérea total, teve comportamento linear e crescente, em função das épocas de corte das plantas, com ganhos diários de 0,1366 e de 0,1106 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, com e sem inoculação, estimados pela equação de

regressão (Figura 4ab), ocorrendo ganho de 22,60 % na média dos tratamentos, e de 23,1% no máximo acumulado, com o uso do solubilizador (Tabela 4).

Nos colmos, o comportamento do acúmulo de P foi quadrático, com e sem o uso de solubilizador, com o máximo acúmulo ocorrendo aos 175 e 157 DAB, respectivamente (Figura 4ab). Houve também ganho de 1,9 % na média dos tratamentos, e de 2,1 % no máximo acumulado, com o uso do solubilizador (Tabela 4).

Já para as folhas, o comportamento do acúmulo de P foi quadrático, com o uso de solubilizador, com o máximo acúmulo ocorrendo aos 199 DAB, já sem o uso do solubilizador, apresentou um comportamento de acúmulo de P linear e crescente, em função das épocas de corte das plantas, com ganho diário de 0,059606 kg ha<sup>-1</sup>, (Figura 4ab); também observou-se ganho de 37,1 % na média dos tratamentos, e de 37,3 % no máximo acumulado, com o uso do solubilizador (Tabela 4).

Em canaviais se utiliza muito P, mesmo sua necessidade não sendo tão alta, devido à disponibilidade desse nutriente, pois ele é fundamental em todo o ciclo, e sua falta acarreta em perda de produtividade. Nessa pesquisa verificou-se que o solubilizador ajudou, de maneira positiva, o canavial a absorver e a deixar disponível toda a demanda de P, que a cultura precisou ao longo do ciclo, beneficiando seu desempenho agrônômico.



**FIGURA 4.** Acúmulo de fósforo (P) em kg ha<sup>-1</sup>, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

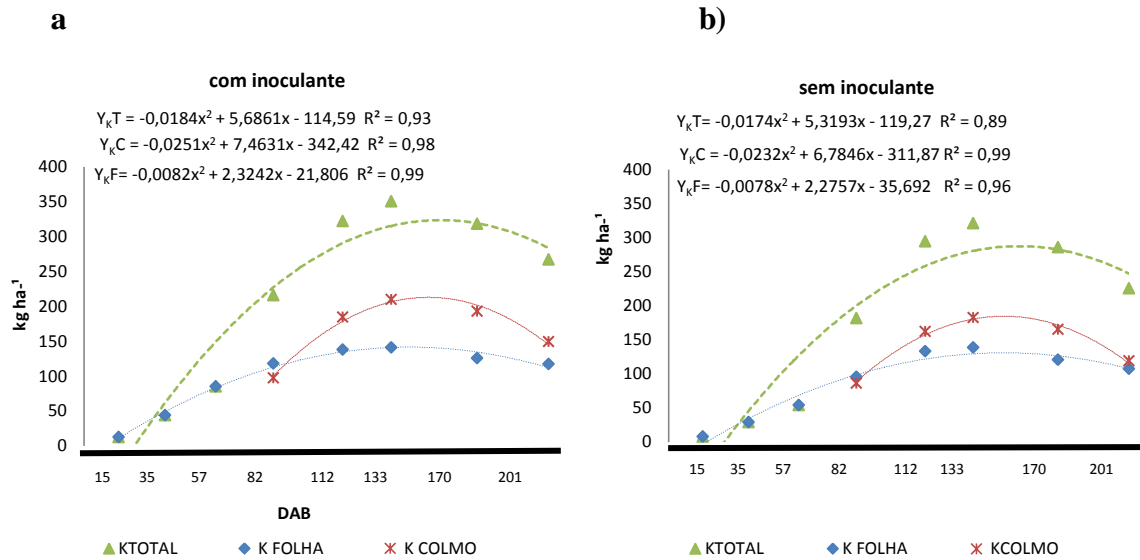
O comportamento de absorção de potássio, o macronutriente que tem maior demanda na planta de cana, ao longo do seu ciclo, ela apresentou conforme a equação de regressão

comportamento quadrático para o desenvolvimento da parte aérea como nas partes folhas e colmos, com e sem a presença do solubilizador tendo ponto de máximo para parte aérea (154; 152 ) DAB; já para as folhas (141,7; 145,8) DAB; e para os colmos (148,6) ;146,2) DAB (Figura 05ab ).

A utilização do solubilizador promoveu um incremento, no acúmulo médio de P, ao longo do ciclo, nas folhas de 14,2 %, nos colmos de 16,9 %, e na parte aérea total de 15,6 %, considerando os tratamentos propostos; já o valor máximo acumulado nas partes foi de: 9,2 % nas folhas, 14,6 % nos colmos, e 13,2% na parte aérea total (Tabela 4).

A extração de K foi crescente, até o final do crescimento vegetativo, com declínio posterior; neste momento houve perda de folhas e aumento de palha, que, apesar do crescente acúmulo de açúcares no colmo, houve perda de matéria seca de planta inteira, bem como do total de nutrientes nela acumulados. Durante todo o ciclo da cultura, a maior demanda foi na fase de maturação dos colmos, onde eles transformaram os nutrientes em açúcar, ademais a utilização do solubilizador fez com que o canavial conseguisse absorver uma quantidade maior de potássio do solo, e por maior tempo, o que favoreceu melhor desempenho agrônômico para o canavial.

Nesta fase de alongamento e de crescimento, da cultura da cana-de-açúcar, houve uma maior demanda de K, pois ele participa de diversas reações enzimáticas no metabolismo de carboidratos e de proteínas, e na translocação de açúcares (KARLEY e WHITE, 2009), produtos esses utilizados para formação e para acúmulo nos órgãos reprodutivos. Assim, com a formação do colmo, este órgão torna-se o dreno preferencial, e demanda a translocação e a redistribuição de metabolitos para formação de seus tecidos, que é mediada pelo K por meio de reações enzimáticas. (FAQUIN, 2005).

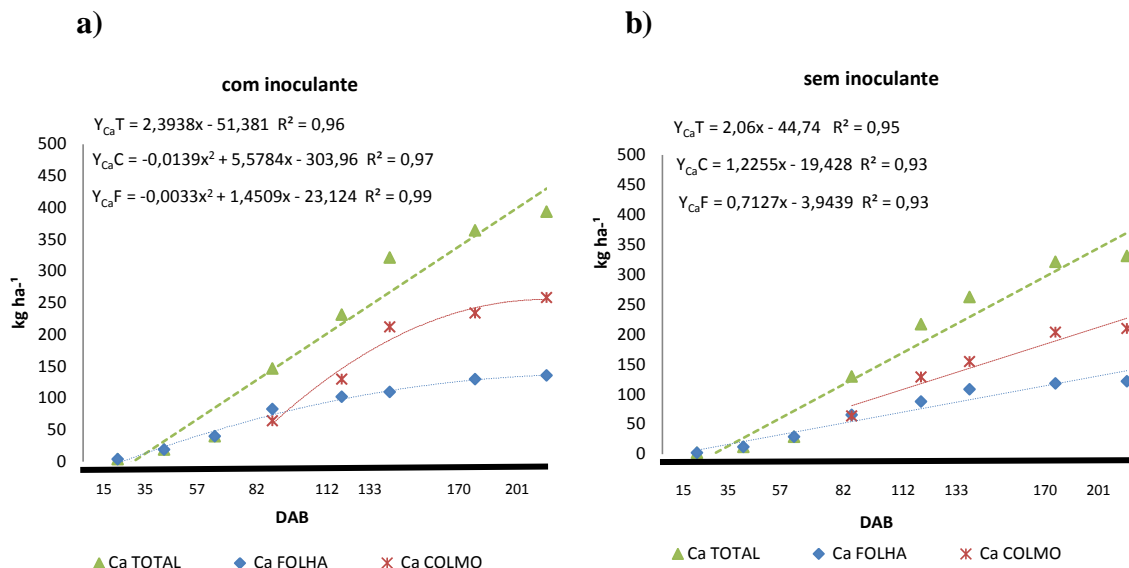


**FIGURA 5.** Acúmulo de potássio (k) em  $\text{kg ha}^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

O acúmulo de Ca, ao longo do ciclo, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, teve comportamento linear e crescente, com ganhos diários de  $2,6 \text{ kg ha}^{-1}$  para a planta inteira, de  $0,7127 \text{ kg ha}^{-1}$  para as folhas, e de  $1,225 \text{ kg ha}^{-1}$  para os colmos, sem inoculação; já para a presença do solubilizador, o comportamento de absorção de cálcio, ao longo do ciclo, para parte aérea total foi linear e crescente, com ganho diário de  $2,3938 \text{ kg ha}^{-1}$ , e nas partes colmos e folhas, apresentou um comportamento quadrático, com o máximo de acúmulo ao final do ciclo, tanto para folhas como para os colmos (Figura 6ab).

A utilização do solubilizador promoveu um incremento, no acúmulo médio de Ca, ao longo do ciclo, nas folhas de 14,3 %, nos colmos de 18,2 %, e na parte aérea total de 16,6 %, considerando os tratamentos propostos; já o valor máximo acumulado nas partes foi de 9,5 % nas folhas, de 21% nos colmos, e na parte aérea total de 17,9% (Tabela 5).



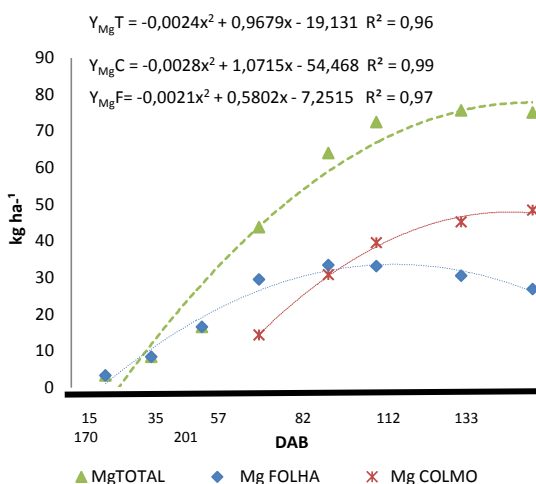


**FIGURA 6.** Acúmulo de cálcio em  $\text{kg ha}^{-1}$ , na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

O comportamento de absorção de magnésio, ao longo do ciclo, para parte aérea total não apresentou diferença estatística, com a utilização ou não do solubilizador, na parte aérea, e nas partes folhas e colmos.

De modo geral, o comportamento de acúmulo de Mg apresentou um comportamento quadrático, sendo o máximo acumulado aos 138 DAB nas folhas, aos 191 DAB nos colmos, e ao final do ciclo, na parte aérea total (Figura 7).

Mas mesmo assim sendo observado ganho médio no acúmulo de Mg na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, com a utilização do solubilizador foi de 12 %, considerando as 8 épocas de coleta; ademais, o acúmulo máximo foi incrementado em 11,8 % nas folhas, 6,3% nos colmos, e 6,2 % na parte aérea total (Tabela 5).

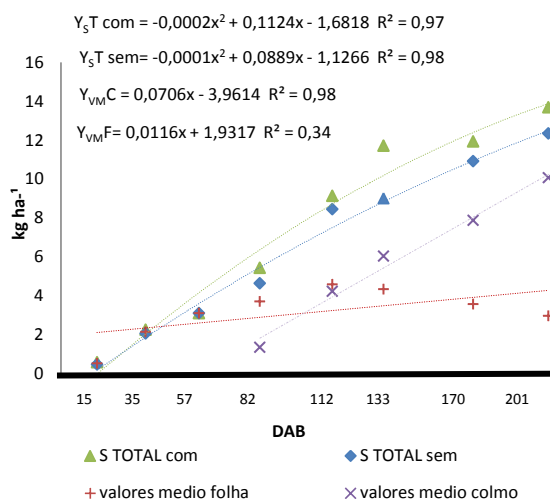


**FIGURA 7.** Acúmulo de magnésio(Mg) em kg ha<sup>-1</sup>, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

O comportamento de absorção de enxofre, ao longo do ciclo, para parte aérea total apresentou um comportamento quadrático, com seu ponto de máximo acúmulo, após o último corte, tanto para inoculação como para não inoculação.

As partes folhas e colmos não apresentaram interação, com a utilização ou não do inoculante, sendo que o comportamento de acúmulo de enxofre foi linear e crescente, com ganhos diários de 0,070 e de 0,011 kg ha<sup>-1</sup>, para colmos e folhas respectivamente (Figura 8).

Houve ganho médio no acúmulo de enxofre, na parte aérea total de 13,4%; já para folhas e colmos, com a utilização do solubilizador, foi de 8,5 e de 17,7 %, respectivamente, considerando as 8 épocas de coleta; além disso, o acúmulo máximo foi incrementado em 11%, tanto para a parte aérea total como para as folhas e os colmos (Tabela 5).



**FIGURA 8.** Acúmulo de enxofre em kg ha<sup>-1</sup>, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

## 8. CONCLUSÃO

O acúmulo de macronutrientes, em cana-de-açúcar variedade RB867515, em 1º rebrota, ao longo dos estádios fenológicos teve ganhos com o uso do solubilizador, em relação a não utilização nos toletes de plantio.

O desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar, a produção de massa vegetal e o teor de sólidos solúveis no caldo, foram incrementados com o uso de solubilizador de P.

A produtividade de colmos, com o uso do solubilizador, teve ganho de 11% a mais que a não utilização do mesmo nos toletes de plantio de cana.

A marcha de acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, teve a seguinte ordem tanto com o solubilizador como sem o uso: k>Ca>N> Mg>P> S.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAHADIR, P. S.; LIAQAT, F.; ELTEM, R.. **Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean Region of Turkey.** Turkish Journal of Botany, v. 42, n. 2, p. 183-196, 2018.

COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D. & OLIVEIRA, G.R.. **Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250.** STAB, 24:32-36, 2006.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. 2023. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Quarto levantamento-safra 2022/23.** <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso: 03 Abril 2023.

CANÇADO, G. M. de A.; VASCONCELOS, J. C. S.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; CHRISTOFOLETTI, D.; SEVERINO, F. J.; PINTO JUNIOR, A. S.; MEDEIROS, G. de; BARBOSA, L. A. F.; SPERANZA, E. A.; ANTUNES, J. F. G.. **Utilização de solubilizador líquido, solubilizador de fosfato formulado a base dos isolados de *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) no plantio da cana-de-açúcar - Campinas : Embrapa Agricultura Digital, 2021.**

FAQUIN, V.. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FERREIRA, D.F.. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0.** In...45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p. 255-258.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMAD, M.; OVES, M.; WANI, P. A.. **Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective.** Archives of Agronomy and Soil Science, 2010.;v. 56, n. 1, p. 73–98

KOLCHINSKI, E.M., SCHUCH, L.O.B.. **Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada.** R. Bras. Ci. Solo, v. 27, p. 1033-1038, 2003.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P.. **Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, n. 1, p. 92-97, 2009.

KRUTMAN, S.. **Do grande período de variedades de cana.** Pesquisa Agropecuária Brasileira . Brasília , v11, 395-400 p, 1966.

MEENA, B. S.; RAM, B.; NAROLIA, R. S.; SINGH.. **Yield, quality, nutrient uptake and economics of spring sugarcane (*Saccharum officinarum*) as influenced by balanced fertilization in clay loam soils of Rajasthan.** Indian Journal of Agronomy, v. 60, p. 457-463, 2015.

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

NAHAS, E.. **Ciclo do fósforo: transformações microbianas.** Jaboticabal, Funep, 1991. 67 p.

OLIVEIRA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. H.. **Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome.** Soil Biology and Biochemistry, v. 41, n. 9, p. 1782-1787, 2009.

OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, F. C. dos; MARRIEL, I. E.; ALMEIDA, C. N. S.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; PASSOS, A. M. A. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; OLIVEIRA, E. C. A.. **Dinâmica de nutrientes na cana de- açúcar em sistema irrigado de produção.** 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E.; SOUZA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C.. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 210). Disponível em: <  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126348/1/Bol-210.pdf> >.  
Acesso em: 27 junho. 2023.

OLIVEIRA, J.B DE, CUNHA, T.J.F, 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, fifth ed. Embrapa Solos, Brasília. (<https://www.embrapa.br/en/solos/sibcs>).

PIMENTEL GOMES, F.. Curso de estatística experimental. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

RIBEIRO, V. P.; MARRIEL, I. E.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; MATTOS, B. B.; PAIVA, C. A. O.; GOMES, E. A.. **Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P.** Brazilian Journal of Microbiology, v. 49S, p. 40-46, 2018.

RODRIGUES, G. S. S. C., & ROSS, J. L. S.. A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental. Uberlândia : EDUFU, 269 p.:ISBN: 978-65-86084-00-9, 2020.

SANTOS, D. dos. Ecofisiologia da cana-de-açúcar. In: Recomendações técnicas para cultura de cana-de-açúcar no estado do Paraná. Londrina: Instituto Agrônômico, 1997, 107p. Circular IAPAR, 6.

SANTOS, H.G DOS, JACOMINE, P.K.T, ANJOS, L.H.C DOS, OLIVEIRA, V.A. DE, LUMBRERAS, J.F, COELHO, M.R, ALMEIDA, JA DE, ARAÚJO FILHO, J.C DE, SILVA, I. D. N. D.A. Resposta da cana-de-açúcar ao uso de bioestimulante sob diferentes densidades de plantio. 2018.

SILVA, I. D. N. DA. Resposta da cana-de-açúcar ao uso de bioestimulante sob diferentes densidades de plantio. 2018.

SILVA, L.C.. Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Coruripe-Al. Alagoas: UFAL, 2007. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas.

SILVA, V. T.. Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar, em cana-soca, na região de Coruripe. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011.

SOUTO, L. A.. MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO: USOS E POTENCIALIDADES NA AGRICULTURA. 2020.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S.. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A.. Nutrição Mineral de Plantas. 2ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018, p. 309-376.

WAHYUDI, A. T.; ASTUTI, R. P.; WIDYAWATI, A.; MERYANDINI, A.; NAWANGSIH, A. A.. **Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria.** Journal of Microbiology Indonesia, v. 3, n. 2, p. 34-40, 2011.

### ARTIGO 3

## ACÚMULO DE MICRONUTRIENTES, DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O USO DE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO

**Resumo** - A cana-de-açúcar é uma das principais culturas produzidas no Brasil, e com produtividade média de 75 t ha<sup>-1</sup>, assim, o manejo da sua fertilidade torna-se essencial, para que a cultura possa aumentar seu potencial produtivo. Na busca de novas alternativas de manejo para fertilidade, o uso de bioinsumos de microrganismos solubilizadores tem se apresentado uma opção viável. Sendo assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar e quantificar, em plantas de cana-de-açúcar, a marcha de acúmulo de matéria seca e de micronutrientes, na parte aérea e de suas partes, considerando duas estratégias de fertilização, com e sem o uso de solubilizador de P, Omsugo™ ECO, que foi aplicado no sulco de plantio ao estabelecer o canavial. O trabalho foi conduzido no canavial de 1ª rebrota (2021/2022), variedade RB867515, com plantio realizado no mês outubro de 2020, e colhido em novembro de 2021, desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), *Campus Sete Lagoas*, MG, não sendo feito reinoculação do solubilizador. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, e os tratamentos dispostos em fatorial 2x8, sendo dois níveis de inoculação (com e sem solubilizador de P) e oito épocas de coleta das plantas (uma na fase de brotação, três na fase de perfilhamento, duas na fase de crescimento intensivo e duas na fase de maturação), com 4 repetições, totalizando 64 parcelas, sendo realizadas análises de regressão, para época, e testes de média, para a interação e as estratégias de adubação. O acúmulo dos micronutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, de 1ª rebrota, apresentou ganhos ao longo dos estádios fenológicos, com a inoculação do solubilizador em relação à não inoculação. A inoculação do solubilizador de P, Omsugo™ ECO, contribuiu para um melhor desenvolvimento do canavial de 1ª rebrota, e para o acúmulo de micronutrientes e de matéria seca. O teor de sólidos solúveis, no caldo, foi incrementado com o uso de solubilizador de P, em toletes de cana-de-açúcar, e a produtividade de colmos, obteve ganho de 11%, em relação à não utilização do solubilizador. A marcha de acúmulo dos nutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, apresentou a seguinte ordem, independente do uso ou não do solubilizador: Fe>Mg>Zn> B.

**Palavras-chave:** Adubação, bioinsumos, solubilizador de fósforo, *Sacharum* spp, fenologia.

## **ACCUMULATION OF MICRONUTRIENTS, DEVELOPMENT AND INDUSTRIAL YIELD OF SUGAR CANE WITH THE USE OF PHOSPHORUS SOLUBILIZER**

**Abstract** - Sugarcane is one of the main crops produced in Brazil, with an average productivity of 75 t ha<sup>-1</sup>, therefore, managing its fertility becomes essential so that the crop can increase its productive potential. In the search for new management alternatives for fertility, using bioinputs from solubilizing microorganisms has been a viable option. Therefore, the objective of this research was to evaluate and quantify, in sugarcane plants, the accumulation of dry matter and micronutrients in the aerial part and its parts, considering two fertilization strategies, with and without the use of P solubilizer, Omsugo™ ECO, which was applied to the planting furrow when establishing the sugarcane field. The work was carried out in the first regrowth sugarcane field (2021/2022), variety RB867515, with planting carried out in October 2020 and harvested in November 2021, developed in the experimental area of Federal University of São João del-Rei (UFSJ), Campus Sete Lagoas, MG, without inoculating the solubilizer. The experimental design was in randomized blocks, and the treatments were arranged in a 2x8 factorial, with two inoculation levels (with and without P solubilizer) and eight plant collection times (one in the budding phase, three in the tillering phase, two in the intensive growth phase and two in the maturation phase), with four replications, totaling 64 plots, with regression analyzes being carried out, for season, and mean tests, for interaction and fertilization strategies. The accumulation of micronutrients in sugarcane, variety RB867515, from first regrowth, showed gains throughout the phenological stages, with the inoculation of the solubilizer concerning non-inoculation. The inoculation of the P solubilizer, Omsugo™ ECO, contributed to the better development of the first regrowth sugarcane field and the accumulation of micronutrients and dry matter. The soluble solids content in the juice was increased using a P solubilizer in sugarcane billets, and stalk productivity gained 11% compared to not using the solubilizer. The rate of nutrient accumulation in sugarcane, variety RB867515, is presented in the following order, regardless of the use or not of the solubilizer: Fe>Mg>Zn> B.

**Keywords:** Fertilization, bioinputs, phosphorus solubilizer, *Sacharum* spp, phenology.

## 10. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das principais culturas produzidas no Brasil, sendo sua matéria prima utilizada para extração de sacarose, com finalidade de fabricação de açúcar e etanol como fonte alternativa de combustível. O setor sucroalcooleiro brasileiro movimenta, direta e indiretamente, cerca de R\$ 40 bilhões por ano, e a estimativa para a safra 2022/23 para o Brasil, é de uma produção de 598,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, e em Minas Gerais fechou o ciclo com 77,99 milhões de toneladas processadas, na safra 2022/2023 (CONAB, 2023).

O desenvolvimento da cana é dividido em quatro estádios fenológicos: do plantio à brotação das gemas, da brotação das gemas ao final do perfilhamento, do final do perfilhamento ao início do acúmulo de açúcar, e do início do acúmulo de açúcar até a maturação (KRUTMAN, 1966).

A cultura da cana-de-açúcar está entre as principais culturas que produzem biomassa por unidade de área, e que apresenta uma elevada extração de nutrientes (MEENA et al., 2015). Para uma melhor produção de biomassa é necessário entender melhor a extração, e o acúmulo de nutrientes pela planta, de acordo com sua fenologia, sendo que essa variável seja essencial para melhor manejo, e melhor eficiência dos fertilizantes, de modo que possibilite a quantidade e o momento adequado, para atender a demanda nutricional da cultura (COLETI et al., 2006).

Entende-se por acúmulo de nutrientes, as quantidades destes na matéria seca de cada parte da planta, ou na planta inteira. Este acúmulo é dado por absorção ou por extração de nutrientes totais, dos acúmulos de nutrientes ocorridos nas diferentes partes da planta. A quantidade do elemento retirada da área de plantio, pelos produtos da colheita, é denominada exportação de nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997).

A produtividade média brasileira da cana-de-açúcar tem sido de 75 t ha<sup>-1</sup>, considerada baixa apesar do alto potencial genético de algumas variedades, que é de 200 t ha<sup>-1</sup> (RODRIGO & ROSS, 2020). Um dos fatores que contribui para baixa produtividade é a cultura ter se expandido para áreas de solos com baixa fertilidade, notadamente a partir da época do programa governamental Pró-álcool, que incentivava a procura por fontes alternativas de combustíveis (RODRIGO & ROSS, 2020). Neste contexto, é necessário



utilizar novas tecnologias para que se possa melhorar a quantidade e a qualidade da produção agrícola, o que depende de vários fatores, o manejo da fertilização do solo, o mais importante.

O acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar, dentre outros fatores, é um dos aspectos importantes que influencia a manutenção da produtividade, especialmente em solos de baixa fertilidade natural. (KOLCHINSKI & SCHUCH, 2003).

Para a manutenção da produtividade das culturas, os micronutrientes são elementos fundamentais. Todavia, os programas de adubação para a cana-de-açúcar, geralmente utilizam apenas os três macronutrientes primários (N-P-K). Isso se deve, segundo Rossetto et al (2010), a fatores como alta capacidade de extração, e profundidade do sistema radicular da cana-de-açúcar, que permite a exploração de grandes volumes de solo, retirando os nutrientes de camadas mais profundas.

Os micronutrientes proporcionam funções vitais no metabolismo das plantas, sendo responsáveis por processos metabólicos e/ou fisiológicos, com papel essencial no desenvolvimento da cana-de-açúcar, resultando em: aumento da resistência dos canaviais à pragas e doença; maior produtividade; melhor qualidade tecnológica; e ampliação da longevidade dos canaviais. A importância dos micronutrientes fica evidenciada, mesmo tendo taxas de extração do solo relativamente baixas, quando comparadas com as de macronutrientes, que possuem grande importância no desenvolvimento da cultura (ORLANDO FILHO 1993).

Como estratégia para manter a sustentabilidade do ambiente explorado, é necessário escolher variedades que apresentem elevada eficiência de absorção, e de utilização dos nutrientes aplicados aos solos. Deste modo, os esforços têm sido direcionados no sentido de aperfeiçoar a eficiência nutricional, visando reduzir os custos de produção, evitar a degradação dos recursos ambientais, e aumentar o rendimento das culturas. (KOLCHINSKI & SCHUCH, 2003).

O manejo do solo inclui aspectos químicos (adequado suprimento de nutrientes), físicos e biológicos, que em conjunto com o clima e o manejo de variedades, são fatores de suma importância para qualquer programa de melhoramento que busque altas produtividades (BECARI, 2010). Para manter competitividade na canavicultura, torna-se necessário cada vez mais, a busca de alternativas para minimizar custos de produção, e para aumentar a

produtividade (SILVA, 2018), dentre essas, as que proporcionem eficiência e sustentabilidade na nutrição da lavoura, como o uso de bioinsumos que acarretem ganhos em nutrição, sanidade e proteção.

Os bioinsumos são produtos específicos e naturais, à base de microrganismos (bactérias, fungos, vírus, etc.), macroorganismos (parasitoides e predadores), ou derivados, que são utilizados para finalidades como o crescimento de plantas, a solubilização de nutrientes, o manejo de pragas e de doenças (OLIVEIRA-PAIVA, 2021), ou seja, potencializar o adequado estabelecimento, a nutrição, a sanidade e a proteção da planta.

Dentre os nutrientes necessários à nutrição da cana-de-açúcar, o P chama a atenção por ser primordial no processo de estabelecimento e de arranque inicial da lavoura, apesar da planta não demandar grandes quantidades, comparativamente a outras espécies. Como forma de minimizar a utilização de P, a utilização de novas tecnologias vem ganhando força entre os produtores, se destacando dentre essas, o uso de produtos à base de bactérias solubilizadoras de fosfatos, que promovem uma melhor brotação e melhor desenvolvimento da cultura, e com isso, aumentando a eficiência de utilização de fertilizantes minerais (SOUSA et al., 2021).

No Brasil, predominam solos mais pobres e intemperados, o que acarreta na baixa eficiência dos fertilizantes fosfatados. A baixa eficiência é ocasionada a fatores como a fixação de P, devido a mineralogia dos solos altamente intemperizados, mineralogia e atividades químicas acarreta em solos do cerrado pobres, menos de 0,1% de fosforo está disponível para plantas. (SOUTO, 2020). Esse nutriente tem funções essenciais para os seres vivos, seja de forma estrutural, funcional, ou pela disponibilidade de energia (NAHAS; 1991); já para o desenvolvimento das plantas, o P é um elemento indispensável, e o uso de aplicações contínuas são necessárias, para que uma pequena porcentagem possa ficar disponível para planta (KHAN et al., 2010).

Entre os manejos que aumentam a eficiência dos fosfatados, e que vêm se sobressaindo, é a inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato, ou a manipulação de suas populações no solo, pois esses microrganismos estão sendo utilizados de forma a minimizar o uso de fertilizantes fosfáticos, já que por meio de seus mecanismos solubilizadores, causam melhor rendimento dos fosfatos naturais existentes ou aplicados ao solo (SOUTO, 2020).

E uma fonte desses microrganismos solubilizadores de fosfato, que tem ganhado evidência, por ser uma opção mais sustentável e econômica, é as bactérias do gênero *Bacillus*, para aumentar a disponibilidade de P para as plantas, já que são capazes de transformar o P insolúvel em formas solúveis, mais acessíveis às plantas (SOUSA et al., 2021). Diferentes espécies desse gênero têm sido relatadas, como potenciais promotores de crescimento de plantas, em razão das características multifuncionais como a solubilização de fosfato (WAHYUDI et al., 2011; BAHADIR et al., 2018).

Além disso, solubilizadores, contendo cepas de *Bacillus*, são considerados mais estáveis no ambiente, por causa da capacidade de formação de endósporos, permitindo adaptação às condições abióticas extremas, como temperaturas, pH ou exposição a pesticidas (BAHADIR et al., 2018). Com base em resultados de laboratório, e de casa de vegetação, foram selecionadas as cepas B119 (*Bacillus megaterium*) e B2084 (*Bacillus subtilis*), eficientes na solubilização e na mineralização de P, e na promoção de crescimento de plantas (OLIVEIRA et al., 2009, 2013; RIBEIRO et al., 2018), para a recomendação de produção de solubilizadores industriais.

Por isso, conhecer a dinâmica da absorção/acúmulo de nutrientes na planta de cana-de-açúcar, ao longo de seu ciclo, considerando suas fases de desenvolvimento, subsidia as análises quanto à demanda e à necessidade, com a identificação de parâmetros quanto à quantidade e ao momento de se adotar estratégias de nutrição e de diagnósticos da lavoura, o que é fundamental para a eficiência no manejo da cultura.

Na busca de conhecer quanto de cada nutriente é acumulado na parte aérea da planta de cana-de-açúcar, e quando isso ocorre, bem como a eficiência de microrganismos solubilizadores de P nesta cultura, este trabalho teve como objetivo avaliar e quantificar em plantas de cana-de-açúcar, a marcha de acúmulo de matéria seca, e de micronutrientes na sua parte aérea e de suas partes, considerando duas estratégias de fertilização, em função dos estádios de desenvolvimento da lavoura.

## 11. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em canavial de 1ª rebrota (2021/2022), variedade RB867515, oriundo de um plantio realizado no mês outubro de 2020, e colhido em novembro

de 2021, na área experimental da Universidade Federal de São João del-Rey, *Campus Sete Lagoas*, MG (“19° 27’ 20” S, 44° 10’ 21” W, a 725 m de altitude). O clima é classificado como CWA, com verões quentes e chuvosos, e invernos secos, (SANTOS et al, 2018). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média.

A coleta de amostras de solo, para análise, foi realizada após o início da 1ª rebrota, de acordo com tratamentos, com e sem solubilizador, a 15 cm da linha de plantio. (Tabela 1).

**TABELA 1** - Características químicas do solo, em amostras da área experimental. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

|   | Características químicas |        |      |        |
|---|--------------------------|--------|------|--------|
|   | Com                      |        | Sem  |        |
|   | Início da 1º rebrota     |        |      |        |
|   | 0-20                     | 20- 40 | 0-20 | 20- 40 |
| pH  | 6,2                      | 5,6    | 6,1  | 5,7    |
| H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )    | 2,7                      | 6,1    | 3,3  | 6,4    |
| Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 0                        | 0      | 0    | 0      |
| Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 6,3                      | 4,8    | 5,9  | 4,7    |
| Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 1,8                      | 0,8    | 1,7  | 1,0    |
| Na (mg dm <sup>-3</sup> )                       | -                        | -      | -    | -      |
| K (mg dm <sup>-3</sup> )                        | 305                      | 215    | 325  | 230    |
| P (mg dm <sup>-3</sup> )                        | 11,8                     | 9      | 8,0  | 7,8    |
| P-rem (mg L <sup>-1</sup> )                     | 16,9                     | 15,1   | 15,7 | 13,2   |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> )                       | 2,2                      | 1,7    | 1,9  | 1,7    |
| Fe (mg dm <sup>-3</sup> )                       | 7,4                      | 8,9    | 5,8  | 6,4    |
| Mn (mg dm <sup>-3</sup> )                       | 94,2                     | 77,9   | 68,5 | 69,5   |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )                       | 0,8                      | 0,9    | 0,7  | 0,7    |
| MO(g kg <sup>-1</sup> )                         | -                        | -      | -    | -      |
| SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )        | 8,9                      | 6,1    | 8,3  | 6,3    |
| V (%)   | 81,4                     | 50,0   | 71,9 | 49,7   |
| CTC pH 7 ( cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 11,5                     | 12,3   | 11,6 | 12,7   |

Extratores; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: Extrator Mehlich I; K acetato de amônio (1 mol/L) a pH 7; K ácido nítrico (1 mol/L); Ca, Mg, Al: Extrator KCl 1 mol/L; H+Al: Acetato de Cálcio; Fósforo remanescente, concentração de P da solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a TFSA com solução de CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação 1:10; M. O.: Oxidação com Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N.

Os tratamentos consistiram na aplicação ou não, nos toletes de plantio, no sulco da cana-planta, da dose de 500 mL/ha do produto comercial Omsugo™ ECO, contendo microrganismo solubilizador de P. A adubação de plantio do canavial foi inicialmente com 357 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 8-28-16. A rebrota recebeu 100 kg/ha de N (ureia) e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) via fertirrigação, realizada com a lâmina d’água de 1,5 mm. O manejo de pragas, de doenças e de plantas daninhas, bem como outras práticas agrícolas, foram realizados sempre que necessário.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, e tratamentos dispostos em fatorial 2x8, sendo dois níveis de inoculação (com e sem solubilizador de P), e oito épocas de coleta das plantas, a saber: uma na fase de brotação; três na fase de perfilhamento; duas na fase de crescimento intensivo; e duas na fase de maturação, com 4 repetições, totalizando 64 parcelas. Cada parcela foi constituída de nove linhas de sete metros, espaçadas de 1,40 m, sendo considerada como área útil, cinco linhas centrais descartando 0,5m nas extremidades. As parcelas foram cortadas rente ao solo, conforme tratamentos propostos (Tabela 2).

**TABELA 2-** Épocas de colheita, de acordo com a fenologia da cana – rebrota.

| <b>Época</b>          | <b>Data da coleta / DAB</b> | <b>Fenologia</b>          |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 ° época de colheita | 30/11/2021 - 15 dias        | Brotação e emergência     |
| 2 ° época de colheita | 20/12/2021 - 35 dias        | Perfilhamento             |
| 3 ° época de colheita | 12/01/2022 - 57 dias        | Crescimento dos perfilhos |
| 4 ° época de colheita | 07/02/2022 - 82 dias        | Perfilhamento pleno       |
| 5 ° época de colheita | 07/03/2022 - 112 dias       | Crescimento dos colmos    |
| 6 ° época de colheita | 28/03/2022 - 133 dias       | Alongamento dos colmos    |
| 7 ° época de colheita | 05/05/2022 -170 dias        | Maturação dos colmos      |
| 8 ° época de colheita | 06/06/2022 - 201 dias       | Maturação dos colmos      |

\*DAB - dias após a brotação

As variáveis avaliadas na planta inteira, e nas partes da planta de cana-de-açúcar foram: % MS e os teores dos micronutrientes B, Fe, Mn e Zn, e foram obtidos os valores de peso verde e de peso seco vegetal, das parcelas utilizadas para a obtenção da quantidade na MS e de micronutrientes acumulados, nas partes vegetais por hectare.

As plantas foram pesadas, picadas e trituradas, homogeneizadas, sendo retiradas uma amostra de cerca de 400 gramas. A partir do 82 DAB, as plantas apresentaram diferenciação nas folha e nos colmos, sendo então as partes coletadas separadamente. Para obtenção do peso seco da amostra, as plantas foram levadas em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C e, com esse dado, calculado a porcentagem de matéria seca (%MS) com a expressão:

$$\% \text{ Matéria seca} = \frac{\text{Peso seco da amostra}(kg) * 100}{\text{peso verde da amostra}(kg)}$$

Para a TCH foram pesados todos os colmos de 2 m, da parcela sem a ponta, sendo os valores também convertidos para hectare. O °TSS foi obtido utilizando cinco colmos aleatórios nos 2 m. Com a multiplicação do °TSS pela TCH foi calculado a TBH (tonelada de °TSS por hectare).

Amostras secas, foram posteriormente levadas para análise e para obtenção dos teores de micronutrientes (B, Fe, Mn e Zn), na matéria seca. Os valores obtidos, para o teor de cada amostra, foram convertidos para  $g\ ha^{-1}$ , considerando a quantidade de matéria seca da parcela, através da expressão:

$$g\ ha^{-1} = \text{Peso seco} * \text{teor do nutriente na MS da parte}$$

Por meio de mistura dos ácidos nítrico e perclórico, foram determinados por espectrofotômetro (comprimento de onda de 725 nm), o ferro, o manganês e o zinco (MALAVOLTA et al., 1997). O boro, após digestão por via seca, também foi determinado espectrofotômetro (comprimento de onda de 420 nm).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2013), e para as diferenças significativas identificadas pelo teste F, se aplicou o teste de médias de Scott-Knott (5%). Também a esses resultados, quando foi o caso e ocorreram diferenças significativas identificadas pelo teste F ( $P < 0,05$ ), foram feitas análises de regressão. Além disso, foram utilizados testes de Lilliefors e de Bartlett para verificação de normalidade e de homogeneidade de variância, respectivamente. Estimou-se ainda, a correlação de Pearson para verificação de possíveis associações entre as respostas medidas.

## 12. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância para: PV da parte aérea total, PS da parte aérea total, TCH (tonelada de colmos por hectare), TBH (tonelada de °TSS por hectare), e °TSS, foram notados efeito significativo para época (EPO), para inoculação (INOC), e também para interação (INOC x EPO) (Figuras 1a, 1b, 2a, 2b).

Para todas essas variáveis e para o acúmulo de: B, Zn, Fe e Mn foram percebidos ganhos percentuais, com a utilização do solubilizador (Tabelas 3 e 4). Isso permite inferir que

áreas implantadas, com o uso de solubilizador de P, incrementam a produção vegetal e a produção industrial, na primeira rebrota.

**TABELA 3.** Ganhos médios e máximos percentuais (Gmed, Gmax), com o uso de solubilizador de P, para PS e do PV: da parte aérea total, da TCH e da TBH, em t ha<sup>-1</sup>, e do °TSS, em cana-de-açúcar (RB867515), considerando 8 épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

|             | Com    | Sem   | Gmed<br>% | Gmax<br>% |
|-------------|--------|-------|-----------|-----------|
| <b>PV</b>   | 50,513 | 43,83 | 15,25     | 13,4      |
| <b>PS</b>   | 12,099 | 10,08 | 20,09     | 18,6      |
| <b>TCH</b>  | 53,111 | 46,39 | 14,49     | 11,5      |
| <b>TBH</b>  | 9,36   | 7,22  | 29,67     | 12,52     |
| <b>°TSS</b> | 15,90  | 13,72 | 15,86     | 7,23      |

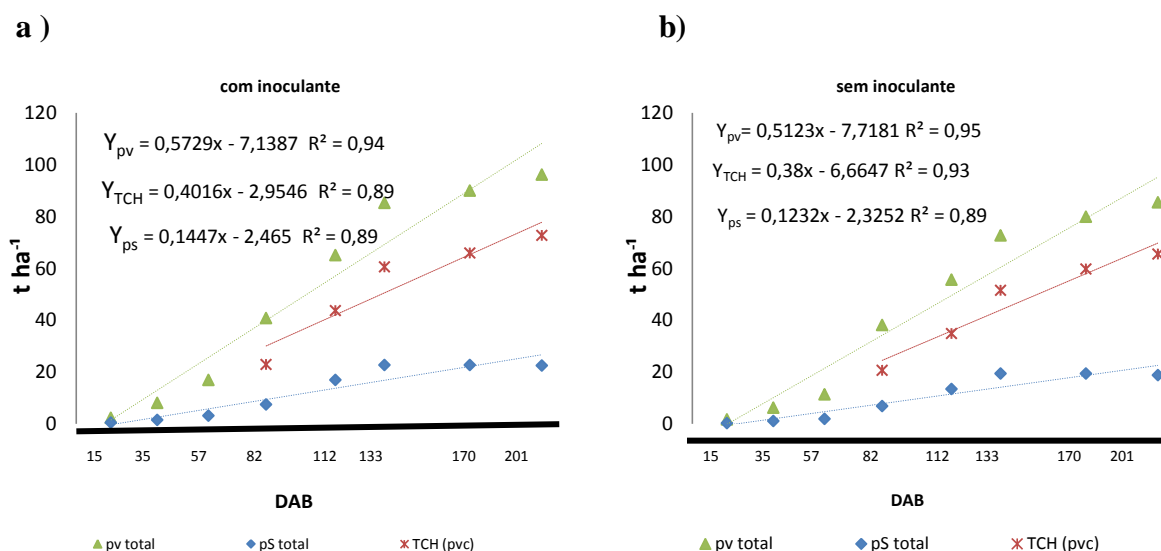
Para a parte aérea total, as folhas e os colmos, no acúmulo de todos os micronutrientes avaliados, houve efeito significativo para EPO; esse mesmo comportamento foi observado para INOC, excetuando o B. Houve efeito significativo da interação EPO\*INOC, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, para Fe; na parte aérea total e nas folhas, para Zn; e na parte aérea total para B (Figuras 3ab, 4ab, 5ab 6ab).

Foi identificado ganho em porcentagem de acúmulo de: B, Zn, Fe e Mn, com a utilização do solubilizador, tanto considerando a média de todas as épocas (Gmed) como o máximo acumulado durante o ciclo (Gmax) (Tabela 4). Notadamente, de maneira geral, os maiores incrementos no acúmulo de micronutrientes, na planta de cana-de-açúcar, na 1ª rebrota do canavial, foram, em ordem decrescente, os de Fe, de Mn e de Zn, com valores mais modestos para ganhos no acúmulo de B (Tabela 4).

**TABELA 4.** Ganhos médios e máximos percentual (Gmed, Gmax), na absorção de micronutrientes, em cana-de-açúcar (RB867515), com o uso de solubilizador de P, considerando 8 épocas de coleta das plantas. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

|           | Folhas                    |                           |           |           | Colmos                    |                         |           |           | Parte aérea total         |                         |           |           |
|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
|           | Com<br>g ha <sup>-1</sup> | Sem<br>g ha <sup>-1</sup> | Gmed<br>% | Gmax<br>% | Com<br>g ha <sup>-1</sup> | Sem<br>ha <sup>-1</sup> | Gmed<br>% | Gmax<br>% | Com<br>g ha <sup>-1</sup> | Sem<br>ha <sup>-1</sup> | Gmed<br>% | Gmax<br>% |
| <b>Mn</b> | 4,740                     | 3,52                      | 34,7      | 7,8       | 5,93                      | 5,15                    | 15,0      | 30,7      | 8,44                      | 6,74                    | 25,3      | 17,3      |
| <b>Zn</b> | 0,784                     | 0,70                      | 10,7      | 11,1      | 1,12                      | 1,01                    | 10,8      | 4,4       | 1,48                      | 1,34                    | 10,7      | 10,2      |
| <b>B</b>  | 0,432                     | 0,42                      | 0,9       | 0,2       | 1,14                      | 1,10                    | 3,4       | 3,3       | 1,14                      | 1,11                    | 2,5       | 0,1       |
| <b>Fe</b> | 22,50                     | 17,00                     | 32,2      | 19,7      | 8,86                      | 7,09                    | 25,0      | 38,1      | 28,00                     | 21,0                    | 30,7      | 22,4      |

O acúmulo de PV, de PS e de TCH, ao longo do ciclo, teve comportamento linear e crescente, em função das épocas de corte das plantas, com ganho diário para: PV de 0,572 e de 0,512 t ha<sup>-1</sup>; PS de 0,145 e de 0,123; e TCH de 0,402 e de 0,380 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para com e sem inoculação, estimados pelas equações de regressão (Figura 1ab). Notou-se ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e para o máximo acumulado, para: PV de 15,3 e de 13,4; PS de 20,09 e de 18,6; TCH de 14,5% e de 11,5 (Tabela 3 e Figuras 1a e 1b). Assim, foi possível deduzir que o uso do bioinsumo solubilizador de P, incrementou a produção de massa vegetal, durante o ciclo da cana-de-açúcar, em cerca de 16%.



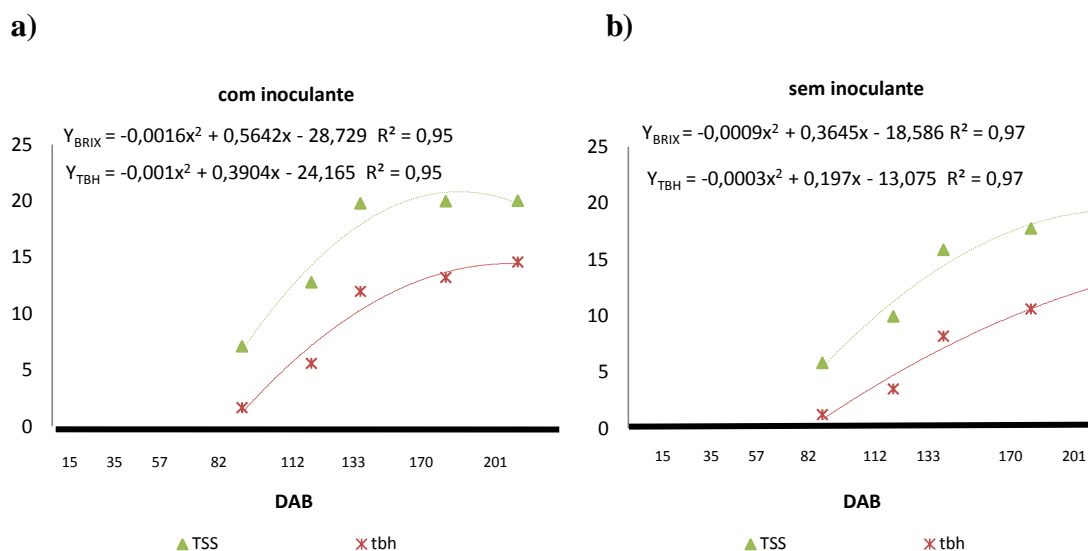
**FIGURA 1.** Acúmulo de PV, de PS e de TCH, em t ha<sup>-1</sup>, na parte aérea total, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

CANÇADO, et al (2021), utilizando as mesmas bactérias solubilizadoras, e testando 6 doses do produto e o controle, mostraram ganho para TCH de 12% até 20 %, mostrando a eficiência do inoculador, comprovando o resultado deste trabalho, que mostra que quando foi utilizado o solubilizador, o canavial teve ganho médio em 14%, evidenciando que a utilização no solubilizador contribuiu positivamente para a TCH. Já OLIVEIRA et al. (2008), estudando o comportamento de variedades de cana-de-açúcar, em primeiro ciclo de cultivo, na região de Carpina – PE, obtiveram produtividades médias de 87,6 t ha<sup>-1</sup>, para a RB86-7515, valor esse semelhante ao de quando se utilizou apenas adubação convencional, no presente trabalho (TCH 85,3 t ha<sup>-1</sup>). Entretanto, quando se utilizou o solubilizador, houve um ganho de 10 t ha<sup>-1</sup> (TCH 95,88 t ha<sup>-1</sup>).



Já para o °TSS e para a TBH, o comportamento em função das épocas de corte das plantas, foi quadrático, com e sem o uso de solubilizador, sendo o ponto de máximo acúmulo ocorrendo aos 176 e aos 195 DAB, respectivamente; já sem o uso do solubilizador, o ponto de máximo acúmulo ocorreu ao final do ciclo, estimado pela equação de regressão (Figura 2ab). Foram também observados ganhos percentuais, respectivamente, para a média dos tratamentos e para o máximo acumulado, para TSS, de 15,9 e de 7,2 %, e para TBH, de 29,7 e de 12,52%.

Assim, o uso de solubilizador de P, não somente incrementa a produção vegetal de cana-de-açúcar, como também fomenta a produção industrial, aqui estimada pela TBH. Isso, possibilita a antecipação do início da colheita, por acelerar o ganho em sólidos solúveis no caldo (°TSS). Segundo KORNDÖRFER (2009), a produção acumulada de açúcar, aumenta com a disponibilidade de P, mostrando que o solubilizador de P contribui para melhor acúmulo dos nutrientes, favorecendo o maior acúmulo de °TSS, com a presença do solubilizador.

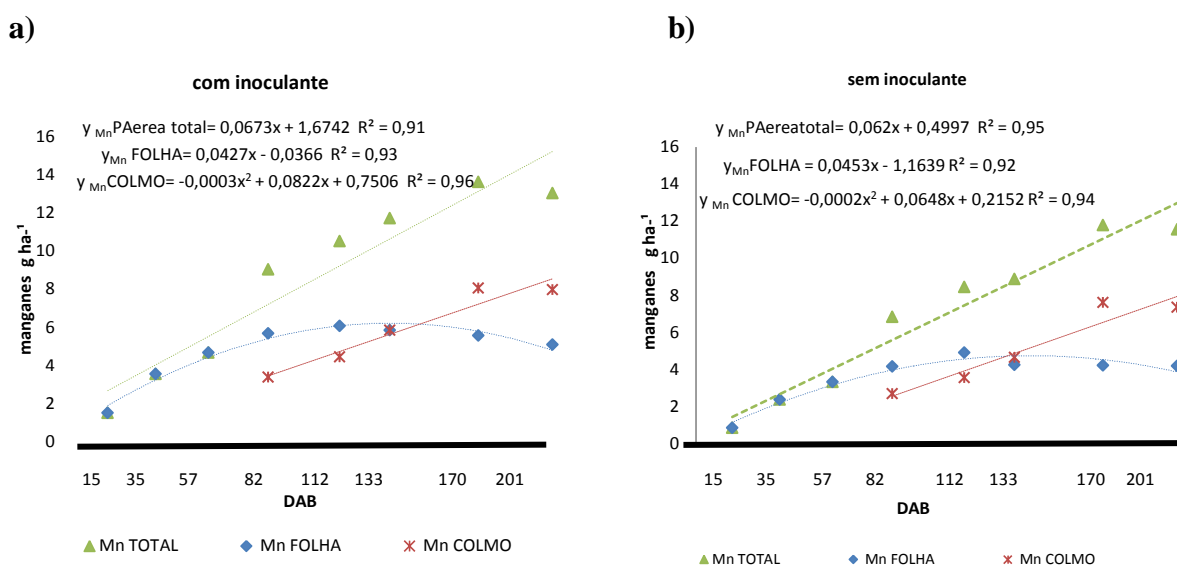


**FIGURA 2.** Acúmulo de TBH em  $t \text{ ha}^{-1}$ , e de °TSS, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

O acúmulo de manganês, ao longo do ciclo, na parte aérea total, teve comportamento linear e crescente, em função das épocas de corte das plantas, com ganhos diários de 0,067 e de 0,062  $g \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente, para com e sem inoculação, estimados pela equação de regressão (Figura 3ab), e sendo também detectados ganhos de 25,30%, na média dos tratamentos, e 17,26%, no máximo acumulado, com o uso do solubilizador (Tabela 4).

Nos colmos, o comportamento foi linear e crescente, com ganhos diários de 0,042 e de 0,045 g ha<sup>-1</sup>, para com e sem inoculação, respectivamente, estimado pelas equações de regressão (Figura 3ab), houve também, ganho de 15 % na média dos tratamentos, e de 30,69 %, no máximo acumulado, com o uso do solubilizador (Tabela 4).

Já para as folhas, o comportamento do acúmulo de Mn foi quadrático, tanto sem como com o uso de solubilizador, com o máximo acúmulo ocorrendo aos 139 DAB, e no final do ciclo, respectivamente (Figura 3ab); ainda percebeu-se ganhos de 34,72%, na média dos tratamentos, e de 7,78%, no máximo acumulado, com o uso do solubilizador (Tabela 4).

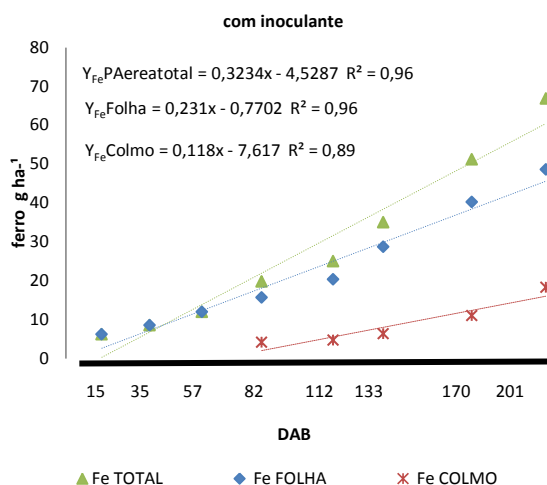


**FIGURA 3.** Acúmulo de manganês (Mn) em g ha<sup>-1</sup>, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

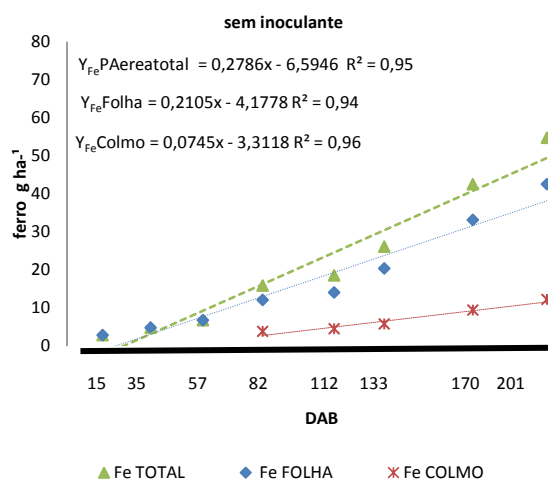
O acúmulo de Ferro, ao longo do ciclo, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, teve comportamento linear e crescente, com ganhos diários de 0,32 e de 0,27 g ha<sup>-1</sup>, para a planta inteira; já para as folhas, o ganho diário foi de 0,23 e de 0,21 g ha<sup>-1</sup>, e para os colmos, de 0,11 e de 0,07 g ha<sup>-1</sup>, com e sem inoculação, respectivamente (Figura 4ab).

A utilização do solubilizador, promoveu um incremento no acúmulo médio de Fe, ao longo do ciclo, de 32,16% nas folhas; no colmo 24,98% e na parte aérea total 30,68 % considerando os tratamentos propostos; já o valor máximo acumulado nas partes foi de 19,74 % nas folhas; de 38,10% nos colmos, e de 22,43%, na parte aérea total (Tabela 4).

a)



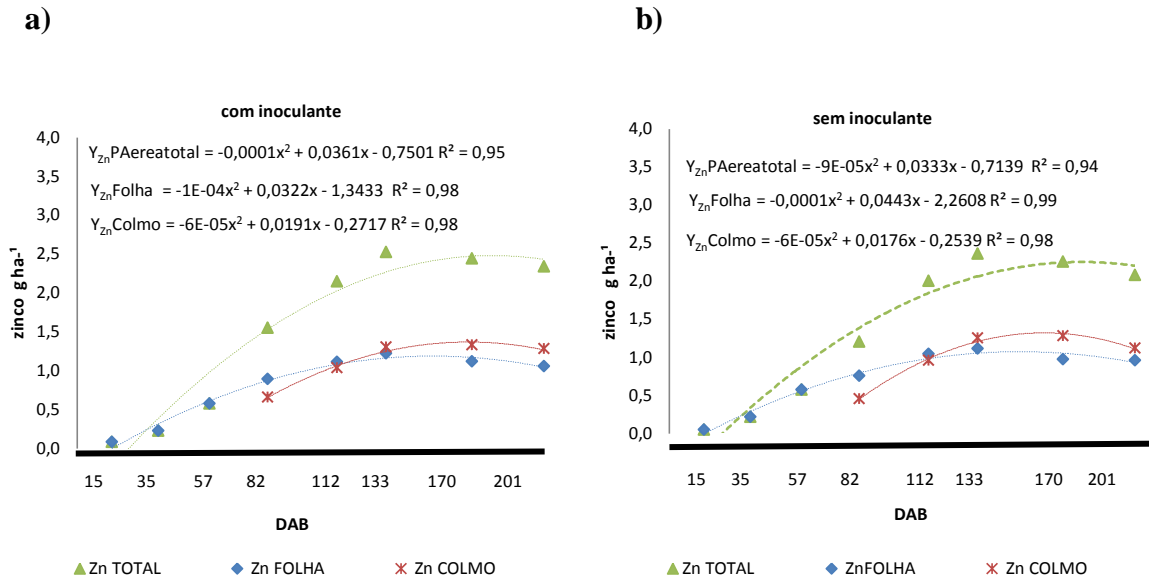
b)



**FIGURA 4.** Acúmulo de ferro em g ha<sup>-1</sup>, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

O acúmulo de Zn, longo do ciclo, na planta de cana-de-açúcar, teve comportamento quadrático, tanto para a parte aérea total como nos colmos e nas folhas, independentemente do uso ou não do solubilizador; os valores máximos observados, segundo equações de regressão, foram: na parte aérea total, 180 e 177 DAB; nas folhas, 153 e 150 DAB; e nos colmos, 169 e 158 DAB, para com e sem inoculação, respectivamente (Figura 5ab).

O ganho médio, no acúmulo de zinco, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, com a utilização do solubilizador, foi de 10,7%, considerando as 8 épocas de coleta; ademais, o acúmulo máximo foi incrementado em 11,5% nas folhas, em 4,44% nos colmos, e em 10,15% na parte aérea total (Tabela 4). O acúmulo de Zn nas plantas, teve um pico de absorção na ocasião na maturação, onde os colmos começam a se encher de açúcar.

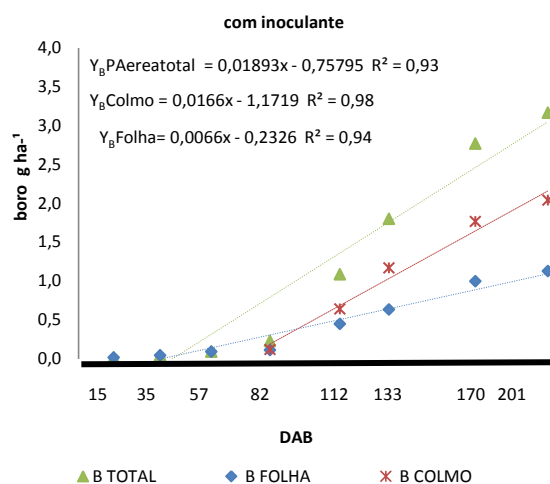


**FIGURA 5.** Acúmulo de zinco em  $g \text{ ha}^{-1}$ , na parte aérea, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

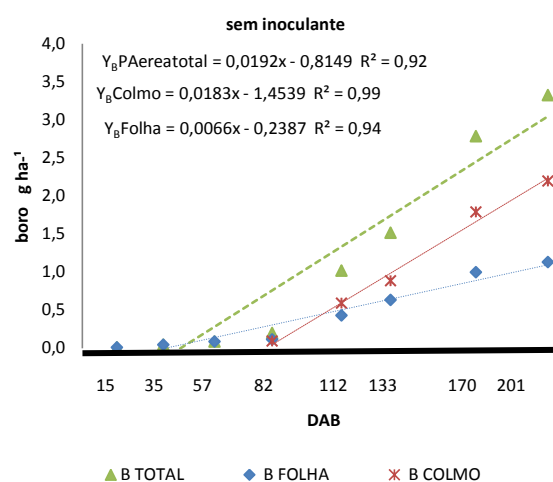
O acúmulo de boro, ao longo do ciclo, para a parte aérea total, para as folhas e para os colmos, apresentaram comportamento linear e crescente, com ganhos diários de 0,92 e de 0,01  $g \text{ ha}^{-1}$ , para a planta inteira; já para as folhas, o ganho diário foi de 0,0066 e de 0,0066  $g \text{ ha}^{-1}$ ; e para os colmos 0,016 0,0118  $g \text{ ha}^{-1}$ , com e sem inoculação, respectivamente (Figura 6ab).

A utilização do solubilizador, promoveu incremento no acúmulo médio de boro, ao longo do ciclo, para as folhas, de 0,89%; para os colmos, de 3,36%; e para a parte aérea total, de 2,45%, considerando os tratamentos propostos; já o valor máximo acumulado nas partes foi de: 0,22% nas folhas, 3,26% nos colmos, e 0,07% na parte aérea total.

a)



b)



**FIGURA 6.** Acúmulo de boro em g ha<sup>-1</sup>, na parte aérea total, nas folhas e nos colmos, em cana-de-açúcar (RB867515), em função das épocas de coleta das plantas (DAB), considerando áreas implantadas, com e sem o uso de solubilizador de P. UFSJ, Sete Lagoas, MG, 2023.

De acordo com DECHEN, et al (1991), o boro é responsável pelo desenvolvimento de raízes, e pelo transporte de açúcares. Assim, o aumento na extração do boro, com a utilização do solubilizador, está relacionado ao aumento de açúcar, conseqüentemente, no TSS e na TBH, com a utilização do solubilizador.

Pode-se notar, que o acúmulo médio dos micronutrientes, com e sem o solubilizador, apresentou o mesmo comportamento, seguindo a ordem decrescente Fe>Mg>Zn> B, seja para as partes, ou para planta inteira. Em TRANI, HIROCE e BATAGLIA (1983) e ORLANDO FILHO; ROSSETO; CASAGRANDE (2001), os micronutrientes também apresentaram essa mesma ordem de acúmulo.

### 13. Conclusão

O acúmulo de micronutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, em 1ª rebrota, ao longo dos estádios fenológicos, teve ganhos com o uso do solubilizador em relação a não utilização, nos toletes de plantio.

O desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar, a produção de massa vegetal e o teor de sólidos solúveis, no caldo, foram incrementados com o uso de solubilizador de P.

A produtividade de colmos teve ganho de 11% a mais, com o solublizador de P, do que com a não utilização do mesmo, nos toletes de plantio de cana.

A marcha de acúmulo de micronutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, segue a ordem Fe>Mg>Zn> B, com ou sem bactérias solubilizadoras de P.

## Referências Bibliográficas

BAHADIR, P. S.; LIAQAT, F.; ELTEM, R.. **Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing Bacillus species isolated from the Aegean Region of Turkey.** Turkish Journal of Botany, v. 42, n. 2, p. 183-196, 2018.

BECARI, G. R. G.. **Resposta da cana-planta à aplicação de micronutrientes.** Campinas, SP. IAC. 2010

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. 2023. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Quarto levantamento-safra 2022/23.** <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso: 03 Abril 2023.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. D. & OLIVEIRA, G. R.. **Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250.** STAB, 24: 32-36, 2006

CANÇADO, G. M. de A.; VASCONCELOS, J. C. S.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; CRISTOFOLETTI, D.; SEVERINO, F. J.; PINTO JUNIOR, A. S.; MEDEIROS, G. de; BARBOSA, L. A. F.; SPERANZA, E. A.; ANTUNES, J. F. G.. **Utilização de solubilizador líquido, solubilizador de fosfato formulado a base dos isolados de *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) no plantio da cana-de-açúcar - Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2021.**

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. C.. **Função dos micronutrientes nas plantas.** In FERREIRA, M. E; CRUZ, M. C. P. (Org.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fostato e CNPq, 1991. p 66-78.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: UFLA, FAEPE, 2008.

FERREIRA, D. F.. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0.** In..45a. Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p. 255-258.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMED, M.; OVES, M.; WANI, P. A.. **Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective**. Archives of Agronomy and Soil Science, 2010.;v. 56, n. 1, p. 73–98

KOLCHINSKI, E. M., SCHUCH, L. O. B.. **Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada**. R. Bras. Ci. Solo, v. 27, p. 1033-1038, 2003.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P.. **Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, n. 1, p. 92-97, 2009.

KRUTMAN, S.. **Do grande período de variedades de cana**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília , v11, 395-400 p, 1966.

MEENA, B. S.; RAM, B.; NAROLIA, R. S.; SINGH, P.. **Yield, quality, nutrient uptake and economics of spring sugarcane (*Saccharum officinarum*) as influenced by balanced fertilization in clay loam soils of Rajasthan**. Indian Journal of Agronomy, v. 60, p. 457-463, 2015.

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

NAHAS, E.. **Ciclo do fósforo: transformações microbianas**. Jaboticabal, Funep, 1991. 67p.

OLIVEIRA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. H.. **Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome**. Soil Biology and Biochemistry, v. 41, n. 9, p. 1782-1787, 2009.

OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, F. C. dos; MARRIEL, I. E.; ALMEIDA, C. N. S.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; PASSOS, A. M. A. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; OLIVEIRA, E. C. A.. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E.; SOUZA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C.. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 210). Disponível em: <

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126348/1/Bol-210.pdf> >

Acesso em: 27 junho. 2023.

OLIVEIRA, JB DE, CUNHA, TJF, 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, fifth ed. Embrapa Solos, Brasília. (<https://www.embrapa.br/en/solos/sibcs>).

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M. E.. (Coord.). *Micronutriente e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. v. 1, p. 355-373.

ORLANDO, J.. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, GMS . e OLIVEIRA, EAM. (editores.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993. p.133-146.

PIMENTEL GOMES, F.. Curso de estatística experimental. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.. **Cana-de-açúcar: Fertilidade do solo, nutrição e adubação**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. 882 p.

ROSSETTO, R. et al. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. In: MARQUES, M. O. et al. Tecnologia na agroindústria canavieira. 2.ed. Jaboticabal: FCAV, 2008, p.125-140.

RIBEIRO, V. P.; MARRIEL, I. E.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; MATTOS, B. B.; PAIVA, C. A. O.; GOMES, E. A.. **Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P**. Brazilian Journal of Microbiology, v. 49S, p. 40-46, 2018.

RODRIGUES, G. S. S. C., & ROSS, J. L. S.. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: Perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Uberlândia: EDUFU, 269 p.: ISBN: 978-65-86084-00-9, 2020

SANTOS, HG DOS, JACOMINE, PKT, ANJOS, LHC DOS, OLIVEIRA, VA. DE, LUMBRERAS, JF, COELHO, MR, ALMEIDA, JA DE, ARAÚJO FILHO, JC DE, SILVA, I. D. N. DA.. Resposta da cana-de-açúcar ao uso de bioestimulante sob diferentes densidades de plantio. 2018.

SOUTO, L. A.. **Microrganismos solubilizadores de fosfato: Usos e potencialidades na agricultura**. 2020.

SOUSA, S. M. de; OLIVEIRA, C. A. de; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G. de; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A.. **Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield**. Journal of Plant Growth Regulation, v. 40, p. 867-877, 2021. DOI: 10.1007/s00344-020-10146-9.

TEIXEIRA, P. C.. **Adubação fosfatada organomineral com pulverização de solubilizador contendo microrganismos solubilizadores**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2017. 11 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 236).



TRANI, P. E.; Hiroce, R.: BATAGLIA, O.. **Análise Foliar: amostragem e interpretação.** Campinas : Fundação Cargill, 1983. 18p.

WAHYUDI, A. T.; ASTUTI, R. P.; WIDYAWATI, A.; MERYANDINI, A.; NAWANGSIH, A. A.. **Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria.** Journal of Microbiology Indonesia, v. 3, n. 2, p. 34-40, 2011.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cana-de-açúcar é umas das culturas mais produzidas no Brasil, sendo dessa forma, de suma importância buscar novas tecnologias, para que se possa melhorar a quantidade e a qualidade dos canaviais.

Assim, a inoculação de solubilizador de P Omsugo <sup>TM</sup> ECO é uma nova tecnologia que contribuiu para um melhor o desempenho agrônômico no acúmulo de nutrientes em cana-de-açúcar variedade RB867515, de 1º rebrota que teve ganhos ao longo dos estádios fenológicos com a inoculação do solubilizador em relação à não inoculação. A inoculação do solubilizador de P contribuiu para um melhor desenvolvimento do canavial de 1ª rebrota e para acúmulo de nutrientes e matéria seca. O teor de sólidos solúveis no caldo foi incrementado com o uso de solubilizador de P em toletes de cana-de-açúcar, e a produtividade de colmos teve ganhos de 11% em relação à não utilização do solubilizador. A marcha de acúmulo de nutrientes em cana-de-açúcar, variedade RB867515, tem a seguinte ordem de acúmulo K>Ca>N> Mg>P>S>Fe>Mg>Zn>B.