

Patrícia Karla Batista de Andrade

**DINÂMICA DE RAÍZES DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE GESSO MINERAL**

RECIFE

PERNAMBUCO – BRASIL

2011

Patrícia Karla Batista de Andrade

**DINÂMICA DE RAÍZES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE GESSO MINERAL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Agronomia: Ciência do Solo.

Orientador:

Fernando José Freire, D.Sc.

Co-orientadores: Djalma Euzébio Simões Neto, D.Sc.

Alexandre Tavares da Rocha, D.Sc.

RECIFE

PERNAMBUCO – BRASIL

2011

Ficha catalográfica

A553d Andrade, Patrícia Karla Batista de
Dinâmica de raízes da cana-de-açúcar em função da
aplicação de gesso mineral / Patrícia Karla Batista de
Andrade. -- Recife, 2011.
110 f. : il.

Orientador: Fernando José Freire.
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Agronomia, Recife, 2011.
Referências.

1. *Saccharum officinarum* 2. Sistema radicular
3. Gypsum I. Freire, Fernando José, orientador II. Título

CDD 631.4

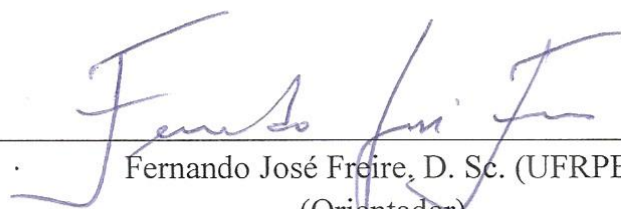
PATRÍCIA KARLA BATISTA DE ANDRADE

DINÂMICA DE RAÍZES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO DE GESSO MINERAL

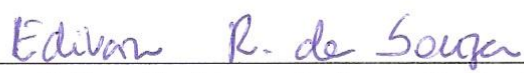
Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Agronomia: Ciência do Solo.

Aprovada em 29 / 07 / 2011.

Examinadores:


Fernando José Freire, D. Sc. (UFRPE)
(Orientador)


Clístenes Williams Araújo do Nascimento D. Sc. (UFRPE)


Edivan Rodrigues de Souza D. Sc. (UFRPE)


Emídio Cantídio Almeida de Oliveira D. Sc. (UAST/ UFRPE)

*“Tudo é do Pai, toda honra e toda glória.
É dele a vitória alcançada em minha vida.”*

(Pe. Fábio de Melo)

*Aos meus pais, José Félix de
Andrade e Hercy Batista de
Andrade, pelo carinho e exemplo
de vida.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo seu misericordioso amor e por ter concedido várias bênçãos ao longo deste mestrado e da minha vida.

À Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina por ter cedido todo o apoio e área necessária para o desenvolvimento do projeto, em especial ao Dr. Djalma Euzébio Simões Neto e aos amigos Rafael “Seu Fafinha”, Sr. Armando, Sr. Josias, Sr. Geraldo, Sr. Sebastião e Suzana, sem vocês nada disso seria possível.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela estrutura e especialmente a CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor Fernando José Freire pela orientação e exemplo profissional, pelas idas e vindas ao campo para acompanhar o desenvolvimento do projeto, sendo sempre paciente e prestativo em todas as etapas deste trabalho.

Aos meus pais José Félix de Andrade e Hercy Batista de Andrade por terem ensinado os princípios do bem, pelo amor incondicional nas horas mais decisivas de minha vida, não medindo esforços para a construção de minha fazenda: os estudos.

Aos meus irmãos José Félix de Andrade Júnior e Hercylio Félix de Andrade pelo carinho, incentivo e compreensão, estando sempre ao meu lado com toda a paciência do mundo.

À minha cunhada Ângela e toda sua família por incentivar os meus estudos e pelos momentos de alegria.

Aos “meninos” do grupo PROGRESSOCANA: Maércio, Cloves, Vital, Silas, Josias, Ricardo, Jaciane, Paulo Vitor, Diógenes, Luiz Fernando e especialmente Nathalia pela amizade, trabalho e momentos de descontração, sem vocês nada disto seria possível, muito obrigada.

Aos colegas de turma do mestrado e doutorado pelas diversões, incentivos e pela amizade construída ao longo desses dois anos de curso, principalmente Karla, Maria, Thales e Mozart Duarte o amigo de Ciências Florestais com sua experiência e sabedoria.

Ao Colega Alexandre Campelo pela força, companheirismo, experiência e grande conselheiro das atividades.

Aos professores Alexandre Tavares da Rocha e Emídio Cantídio Almeida de Oliveira da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela experiência e incentivo nas atividades.

À minha amiga Priscila Maria e ao casal Suzana Kelly e Isaias Mendonça, agradeço grandemente pela nossa amizade que foi fortalecida ao longo dos anos, desde a graduação, não permitindo que me abatesse nos momentos mais difíceis, sempre me apoiando e encorajando em tudo, amo vocês.

Ao professor Egídio Bezerra Neto, Eliza Rosário e a todos do grupo de hidroponia “Aquaponic” pela amizade construída.

Aos Professores Maria Betânia e Valdomiro Souza Júnior, pelo auxílio nas atividades laboratoriais não medindo esforços para a conclusão das análises.

Ao professor José Aleixo do Departamento de Ciências Florestais pelo conhecimento e auxílio na estatística deste trabalho.

Aos funcionários Maria do Socorro, Sr. Josué, Sr. Camilo e Anacleto “Cleto” pela cordialidade e apoio nas atividades.

Muito obrigada!

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I - Dinâmica do crescimento radicular de cana-de-açúcar influenciada pela aplicação de gesso mineral	Pág.
Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m	38
Tabela 2. Características físicas do solo da área experimental nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m	39
Tabela 3. Doses de gesso aplicadas no experimento em função da necessidade de calagem e gessagem da área	42
Tabela 4. Densidade do solo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades de 0,0 - 0,30; 0,30 - 0,60 e 0,60 -0,90 m aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar	51
Tabela 5. Massa seca de raiz em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m a esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis	54
Tabela 6. Massa seca de raiz em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m a direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis	55
Tabela 7. Massa seca de raiz em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m na lateralidade esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis	57
Tabela 8. Massa seca de raiz em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m lateralidade direita da linha de plantio, média, análise de variância e	58

coeficiente de variação das variáveis

Tabela 9. Número de diâmetros diferentes (NDF), volume total de raízes (VTR) e área superficial de raízes (ASR) em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m a esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis 61

Tabela 10. Número de diâmetros diferentes (NDF), volume total de raízes (VTR) e área superficial de raízes (ASR) em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m a direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis 62

Tabela 11. Número de diâmetros diferentes (NDF), volume total de raízes (VTR) e área superficial de raízes (ASR) em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60 – 0,90 m na lateralidade esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis 64

Tabela 12. Número de diâmetros diferentes (NDF), volume total de raízes (VTR) e área superficial de raízes (ASR) em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60 – 0,90 m lateralidade direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis 65

Tabela 13. Comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60 – 0,90 m a direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis 68

Tabela 14. Comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,3; 0,3-0,6 e 0,6-0,9 m a esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação 69

Tabela 15. Comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60 – 0,90 m na lateralidade direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis 71

Tabela 16. Comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m na lateralidade esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis 73

CAPITULO II - Movimentação de cátions influenciada pela aplicação de gesso mineral em solo cultivado com cana-de-açúcar Pág.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,6 e 0,6 – 0,90 m 85

Tabela 2. Características físicas do solo da área experimental nas profundidades de 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,6 e 0,6 – 0,90 m 87

Tabela 3. Doses de gesso aplicadas no experimento em função da necessidade de calagem e gessagem da área 90

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I - Dinâmica do crescimento radicular de cana-de-açúcar influenciada pela aplicação de gesso mineral	Pág.
Figura 1. Dados de pluviometria mensal e temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante a condução do ensaio experimental.	40
Figura 2. Métrica e distribuição das parcelas da área experimental.	41
Figura 3. Sulco de plantio após a aplicação do gesso mineral.	42
Figura 4. Ilustração da abertura das trincheiras (A) para a obtenção de perfis de solo (B) para avaliação do crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar.	44
Figura 5. Esquema da métrica do perfil (A), pintura da parede expositiva das raízes do perfil (B) e exposição das raízes pintadas do perfil (C).	45
Figura 6. Esquema do manejo das imagens para avaliação do crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar: (A) raízes expostas na trincheira; (B) raízes trabalhadas pelo programa SIARCS; (C) imagem de raízes binarizada pelo programa SAFIRA.	46
Figura 7. Esquema da numeração dos quadrantes definidos no perfil do solo para avaliação do crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, determinando-se a lateralidade esquerda (LE), Profundidade esquerda (PE) Profundidade direita (PD) e Lateralidade direita (LD).	47
Figura 8. Esquema da amostragem para a avaliação da massa seca de raiz pelo método do anel volumétrico nas três profundidades do solo.	47
Figura 9. Esquema de amostragem para determinação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico nas três profundidades do solo.	48
Figura 10. Densidade do solo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150 dias após o plantio de cana-de-açúcar na profundidade de 0,30-0,6 m.	52

CAPITULO II - Movimentação de cátions influenciada pela aplicação de gesso mineral em solo cultivado com cana-de-açúcar	Pág.
Figura 1. Dados de pluviometria mensal e temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante a condução do ensaio experimental.	88
Figura 2. Métrica e distribuição das parcelas da área experimental.	89
Figura 3. Sulco de plantio após a aplicação do gesso mineral.	91
Figura 4. Perfil de solo com delimitação da malha de quadrantes estabelecidos e posições de coleta das amostras de solo para realização das análises químicas nas profundidades 0,0-0,30 m (3); 0,30-0,6 m (7) e 0,6-0,90 m (11).	92
Figura 5. Variação do pH em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.	94
Figura 6. Variação dos teores de cálcio em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.	95
Figura 7. Variação dos teores de magnésio em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.	98
Figura 8. Variação dos teores de potássio em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.	100
Figura 9. Variação dos teores de enxofre-sulfato em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.	103
Figura 10. Variação dos teores de Al (A) e saturação por Al (B) em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.	104

LISTA DE SIGLAS

Ca²⁺ - Cálcio trocável

Al³⁺ - Alumínio trocável

K⁺ - Potássio trocável

CTC – Capacidade de troca de cátions

SIARCS – Sistema Integrado para Análise de Raízes e Fibras

SAFIRA – Sistema de Análise de Fibras e Raízes

EECAC – Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina

NC – Necessidade de calagem

NG – Necessidade de gessagem

pH – Acidez ativa

COT – Carbono orgânico total

P-rem – Fósforo remanescente

TFSA – Terra fina seca ao ar

CMAS – Capacidade máxima de adsorção de sulfato

MO – Matéria orgânica

Ds – Densidade do solo

DAP – Dias após o plantio

PE – Profundidade esquerda

PD – Profundidade direita

LE – Lateralidade esquerda

LD – Lateralidade direita

NDF – Número de diâmetros diferentes

VTR – Volume total de raízes

ASR – Área superficial de raízes

C < 2,5 – Comprimento de raízes com diâmetro inferior a 2,5 mm

C (2,6-5,0) – Comprimento de raízes com diâmetro no intervalo de 2,6 a 5,0 mm

C (5,1-7,5) – Comprimento de raízes com diâmetro no intervalo de 5,1 a 7,5 mm

C (7,6-10) – Comprimento de raízes com diâmetro no intervalo de 7,6 a 10 mm

C >10 – Comprimento de raízes com diâmetro superior a 10,0 mm

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	Viii
LISTA DE FIGURAS	Xi
LISTA DE SIGLAS	Xiii
RESUMO GERAL	Xvi
GENERAL ABSTRACT	Xvii
INTRODUÇÃO GERAL	18
A cultura da cana-de-açúcar	18
Sistema radicular da cana-de-açúcar	19
Sistema radicular x Aplicação de gesso	21
Metodologias de análise do sistema radicular	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

CAPITULO I – DINÂMICA DO CRESCIMENTO RADICULAR DE CANA-DE-AÇÚCAR INFLUENCIADA PELA APLICAÇÃO DE GESSO MINERAL

Resumo	33
Abstract	34
1. Introdução	35
2. Material e Métodos	37
2.1. Caracterização da área experimental	37
2.2. Caracterização pluvial	40
2.3. Manejo experimental	41
2.4. Avaliação do sistema radicular	43
2.4.1. Método do perfil com quantificação do sistema radicular pelo Sistema de Análise de Fibra e Raízes (SAFIRA)	43
2.4.2 Método do anel volumétrico com quantificação da massa seca de raízes	47
3. Análise estatística	49
4. Resultados e Discussão	50

4.1. Densidade do solo	50
4.2. Método do anel volumétrico com quantificação de massa seca de raiz	53
4.2.1. Massa seca de raiz: Profundidade Esquerda (PE) e Profundidade Direita (PD)	53
4.2.2. Massa seca de raiz: Lateralidade Esquerda (LE) e Lateralidade Direita (LD)	56
4.3. Método do perfil com quantificação do sistema radicular pelo SAFIRA	59
4.3.1 Profundidade Esquerda (PE) e Profundidade Direita (PD) das raízes	59
4.3.2 Lateralidade Esquerda (LE) e Lateralidade Direita (LD) das raízes	63
4.3.3 Comprimento de raízes com diferentes intervalos de diâmetro em profundidade esquerda e profundidade direita	66
4.3.4 Comprimento de raízes com diferentes intervalos de diâmetro em lateralidade esquerda e lateralidade direita	70
5. Conclusões	74
6. Referências bibliográficas	75

CAPITULO II – MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIONS INFLUENCIADA PELA APLICAÇÃO DE GESSO MINERAL EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

Resumo	80
Abstract	81
1. Introdução	82
2. Material e Métodos	84
2.1. Caracterização da área experimental	84
2.2. Caracterização pluvial	88
2.3. Manejo experimental	89
2.4. Amostragem do solo e protocolo das análises químicas após a aplicação das doses de gesso	91
2.5. Análise estatística	93
3. Resultados e Discussão	93
4. Conclusões	105
5. Referências bibliográficas	106

ANDRADE, Patrícia Karla Batista. M.Sc. **Dinâmica de raízes de cana-de-açúcar em função da aplicação de gesso mineral**

RESUMO GERAL

A cultura da cana-de-açúcar pode se desenvolver sob diversas condições de cultivo, porém, em Pernambuco, na zona canavieira, grande parte dos solos apresenta baixos teores de nutrientes, elevados teores de Al ou ainda impedimentos físicos a cultura. No que se refere aos nutrientes, a utilização do gesso de origem industrial ou mineral, tem se mostrado uma boa opção para o aporte de Ca e S no solo, proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar em subsuperfície, onde atinge profundidades maiores que a camada arável devido a sua mobilidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral por meio de diferentes métodos, bem como o efeito da aplicação de gesso mineral sob a movimentação de cátions no solo sob cultivo de cana-de-açúcar. Realizou-se um experimento em condições de campo em um Argissolo Amarelo distrocoeso típico. Os tratamentos constaram da aplicação de 5 doses de gesso mineral (0; 0,325; 0,65; 1,3 e 2,6 t ha⁻¹) e 4 repetições dispostas em blocos ao acaso. A variedade de cana utilizada foi a RB 92579. Aos 150, 240 e 300 dias após o plantio (DAP) foram abertas trincheiras no solo para avaliação das raízes pelo método do perfil e pelo método do anel volumétrico nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m. No método do perfil, as variáveis estudadas foram: número de diâmetros diferentes (NDF), área superficial de raízes (ASR), volume total de raízes (VTR), comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros (C). No método do anel obteve-se a massa seca de raízes (MSR) com a coleta e secagem das amostras. Para os dois métodos a distribuição radicular foi estudada através da sua lateralidade direita (LD) e esquerda (LE) e profundidade direita (PD) e esquerda (PE) tomando-se como referência a linha central de plantio. Aos 300 DAP, foi realizada a coleta de solo em cada parcela para a análise química após a utilização do gesso mineral. Não foram encontradas diferenças significativas entre as doses de gesso para ASR, NDF, VTR, C e MSR tanto na lateralidade (LD e LE) quanto na profundidade (PD e PE). As doses de gesso não foram suficientes para demonstrar efeito sobre o desenvolvimento radicular, bem como o método do anel não se mostrou adequado operacionalmente para avaliar o crescimento radicular da cana-de-açúcar. Houve crescimento significativo de raízes laterais na cana-de-açúcar, inclusive em profundidade independente da utilização de gesso mineral o que representa ganho para cultura. A aplicação de gesso mineral não alterou o pH do perfil do solo, bem como não proporcionou acúmulo de Ca em subsuperfície. Houve uma considerável perda de Mg e K com a utilização de gesso mineral, principalmente nas camadas superficiais. As doses de gesso empregadas não foram suficientes para reduzir os teores de Al e sua saturação em subsuperfície, porém apresentaram elevação nos teores de SO₄²⁻ nesta camada.

ANDRADE, Patrícia Karla Batista. M.Sc. Dynamics of the roots of sugarcane depending on the application of gypsum mineral

GENERAL ABSTRACT

The cultivation of sugarcane can grow under various conditions of cultivation, however, in Pernambuco, in the sugarcane zone, much of soils with low nutrient content, high levels of Al or physical handicaps culture. With regard to nutrients, the use of gypsum industrial or mineral, has proved a good choice for Ca and S in the soil, thus providing favorable conditions for root development of sugarcane because of their mobility where it reaches deeper than the topsoil. The objective of this study was to evaluate the root development of sugarcane in function of application rates different of gypsum mineral evaluated by different methods as well impact of application gypsum mineral in the movement of cations in the soil under cultivation of sugarcane. For this, an experiment was conducted under field conditions in a Yellow Ultisol, where soil samples were collected for chemical and physical characterization of the area. The treatment contain of five doses of mineral gypsum (0; 0,325; 0,65; 1,3 and 2,6 t ha⁻¹) and four replicates arranged in randomized blocks . A variety of cane used was RB 92579. At 150, 240 and 300 days after planting (DAP) were opened for evaluation trenches in the soil by the roots profile method and the volumetric ring method to at depths of 0,0-0,30; 0,30-0,60 and from 0,60-0,90 m. In the profile method, the variables studied were: number of different diameters (NDF), root surface area (RSA), total volume of roots (VTR), length of roots in different diameter ranges (C). In the ring method obtained the dry mass of roots to the collect and drying of the samples. For both methods the root distribution was studied through its right lateral (LD) and left (LE) and right depth (PD) and left (PE) taking as reference the center line of planting. At 300 DAP, we collected soil from each plot for chemical analysis after application of gypsum mineral. There were no significant differences between the rates of gypsum for ASR, NDF, VTR and C in both lateral (LD and LE) and the depth (PD and PE). The rates of gypsum were not sufficient to demonstrate the effect on root development, and the method of the ring was not operationally suitable to evaluate the root growth of cane sugar. There is a significant growth of lateral roots in the cane sugar, including in-depth independent of the use of gypsum mineral. The application of gypsum mineral did not change the pH of the soil profile, and provided no accumulation of Ca in the subsurface. There was a considerable loss of Mg and K with the use of gypsum mineral, especially in the surface layers. The doses used were not enough gypsum to reduce the levels of Al and its saturation in the subsurface, but showed elevated levels of SO₄²⁻ in this layer.

INTRODUÇÃO GERAL

A Cultura da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar pertence a família *Poaceae* e ao gênero *Saccharum* que abrange várias espécies (*Saccharum* spp.), porém, as canas atualmente cultivadas, na sua maioria, são híbridas. É uma planta semi-perene e própria de climas tropicais e subtropicais (Cronquist, 1981).

O centro de origem da cana tem sido bastante reportado pelos pesquisadores sendo as regiões mais citadas o leste da Indonésia, a Nova Guiné e a Índia (Daniels & Roach, 1987). A cana-de-açúcar foi introduzida na China antes do início da era cristã e na Europa pelos árabes, que iniciaram seu cultivo na Andaluzia. No século XIV, era cultivada em toda a região mediterrânea, mas a produção era insuficiente, levando os europeus a importarem o produto do Oriente.

A introdução da cultura no continente americano ocorreu em 1493 na Ilha da Madeira (atual República Dominicana), espalhando-se posteriormente para o México e daí disseminada para toda a América (Castro & Kluge, 2001).

No Brasil, a cana-de-açúcar chegou no início do século XVI, procedente da Ilha da Madeira e introduzida por Martin Afonso de Souza na primeira expedição colonizadora do Brasil, caracterizando-se, portanto, como uma das primeiras atividades de importância econômica do País, sendo disseminada principalmente para os estados do Nordeste brasileiro como Pernambuco, Paraíba e Alagoas (Rosa *et al.*, 2005).

É uma cultura que produz, em curto período, um alto rendimento de matéria verde, energia e fibras, sendo considerada uma das plantas com maior eficiência fotossintética. Seu plantio em larga escala é tradicional em vários países das regiões tropical e subtropical para a produção de açúcar, álcool e subprodutos (Enriquez-Obregón *et al.*, 1998).

No Brasil, a cana-de-açúcar compõe o mais antigo setor agroindustrial, trazendo muitos benefícios para a economia uma vez que, gera açúcar e álcool para o mercado interno e externo. Colabora ainda com a produção de papel, plásticos e produtos químicos, além de ser matéria prima para fornecimento de energia elétrica. O Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar, cultura que ocupa uma área de 8,2 milhões de hectares e movimenta o agronegócio brasileiro, sendo responsável por 9%

do PIB agrícola nacional e 15% dos empregos gerados no país. A estimativa da produção nacional de cana-de-açúcar para a safra 2010/2011 é de 664,30 milhões de toneladas (Conab, 2011).

A maioria dos solos cultivados com essa cultura no Nordeste do Brasil localiza-se na Unidade de Paisagem dos Tabuleiros Costeiros que tem como uma das principais características a presença de horizontes coesos situados, em geral, entre 30 e 60 cm de profundidade (Jacomine, 2001).

Esses horizontes respondem pela formação de períodos alternados de ressecamento e encharcamento nos solos criando um ambiente inadequado para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Cintra & Neves, 1996), e da cana-de-açúcar em particular, por ser uma espécie que necessita de, no mínimo, 10% de ar (porosidade de aeração) para desenvolver-se adequadamente, sem o qual, estará comprometida a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, seu desenvolvimento (Otto *et al.*, 2009).

Sistema radicular da cana-de-açúcar

O conhecimento do sistema radicular da cana-de-açúcar permite a utilização racional das técnicas agronômicas, tais como o sistema e o espaçamento de plantio, a aplicação dos fertilizantes, as operações de cultivo, a drenagem dos solos, sistemas de irrigação, o controle da erosão e o uso de culturas intercalares entre outros (Casagrande, 1991). Na cana planta, as primeiras raízes originadas após a operação de plantio crescem a partir da região radicular dos colmos plantados, os quais fornecem suas reservas para a divisão e crescimento celular, no caso da soqueira, a morte das raízes ou renovação do sistema radicular ocorre devido aos ciclos de secagem e reumedecimento do solo (Vasconcelos *et al.*, 2004).

Até meados do século XX, as raízes foram consideradas a “metade oculta” dos vegetais com significativa escassez de resultados de pesquisa. As razões para essa carência de dados são historicamente explicáveis devido às dificuldades metodológicas, pela própria inacessibilidade ao sistema radicular como objeto de experimentação. Assim, durante muitos anos, o tempo gasto nas atividades de quantificação do sistema radicular e as incertezas sobre os resultados constituíram fortes desestímulos aos trabalhos com raízes (Zonta *et al.*, 2006).

A compreensão dos fenômenos ocorridos na parte aérea das plantas torna-se mais completa, quando se compreende o que acontece abaixo da superfície do solo, principalmente com relação ao crescimento e à distribuição de raízes no perfil. No Brasil estima-se que 70% das áreas cultivadas com cana-de-açúcar encontram-se em solos ácidos, com baixa disponibilidade de bases trocáveis e elevados teores de Al trocável, comprometendo significativamente o desenvolvimento do sistema radicular dessas plantas (Vasconcelos *et al.*, 2003).

Dentre as limitações impostas pelo ambiente ao desenvolvimento da cana-de-açúcar destaca-se o impedimento ao aprofundamento das raízes da cultura causado por adensamentos físicos, a exemplo de horizontes coesos e/ou cimentações como fragipans e duripans, principalmente nos Tabuleiros Costeiros onde se encontra a maior parte da cana-de-açúcar plantada em Pernambuco. Essa restrição tem como consequência a redução da capacidade das plantas para absorção de água e nutrientes e o aumento da vulnerabilidade ao estresse hídrico (Embrapa, 2006).

Vários trabalhos têm reforçado a tese de que a configuração do sistema radicular das espécies cultivadas é determinada pela conjunção de fatores do sistema solo /planta/ atmosfera (Pereira *et al.*, 1997; Landell *et al.*, 2003; Battie Laclau & Laclau, 2009). Em solos profundos e com alta demanda atmosférica de água, as raízes tendem a aprofundar-se com mais facilidade, mas se a demanda for baixa, um menor volume de solo será explorado. Se, no entanto, houver impedimento físico, a eficiência das raízes para absorção de água e nutrientes sobrepuja a importância do volume total do sistema radicular (Pereira *et al.*, 1997).

Lee (1926) em suas primeiras pesquisas sobre a distribuição do sistema radicular nas Ilhas Havaianas verificou que a maior parte das raízes se encontrava nos primeiros 20 cm do solo. Estudos citados por Van Dillewijn (1952), detalhando a anatomia das raízes da cana-de-açúcar, evidenciam três tipos básicos de raízes: raízes superficiais (ramificadas e absorventes); raízes de fixação mais profundas; e de cordão, que podem atingir até seis metros de profundidade.

Durante vários anos houve uma lacuna nos estudos sobre o sistema radicular devido às dificuldades e variações causadas pelas amostragens. Revisões sobre métodos de avaliação do sistema radicular foram realizadas por Böhm (1979) e Köpke (1981). Esses autores descreveram, detalhadamente, os métodos da escavação, do monólito, do trado, do perfil, do tubo ou paredes de vidro, além de métodos indiretos. No Brasil,

Crestana *et al.* (1994) uniram as técnicas de imagens digitais ao método do perfil com quantificação de comprimento de raízes.

Para um sistema radicular bem desenvolvido, particularmente no caso da cana-de-açúcar, o manejo do gesso torna-se de fundamental importância, uma vez que o sistema radicular da cultura forma-se na fase de cana planta e apenas renova-se nas socarias. Se houver mais espaço propício a esta renovação, as respostas às fertilizações em socas serão certamente mais eficazes e transformadas em aumentos significativos de produtividade, com ganho em relação a parte aérea.

Especificamente para o Nordeste é necessário pesquisar um método adequado de avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar que possa relacionar-se com o manejo de água e nutrientes, principalmente em solos arenosos com impedimentos físicos e/ou químicos, como por exemplo, elevada saturação subsuperficial por Al.

Sistema radicular X Aplicação de gesso

Na cana-de-açúcar as raízes desenvolvem-se logo em seguida ao plantio, a partir das reservas dos colmos sementes. Blackburn (1984) destaca que no início do desenvolvimento radicular são formadas as raízes de fixação que suprirão os rebentos. À medida que a planta se desenvolve, surgem novas raízes tornando as de fixação com função bastante reduzida. Desta forma, a cana planta passa a depender das raízes dos perfilhos. Dependendo das condições edafoclimáticas em torno de 90 dias após o plantio todo o sistema radicular encontra-se distribuído nos primeiros 30 cm do solo (Casagrande, 1991). Fernandes (1985) menciona que 60 a 70% das raízes de cana-de-açúcar estão nos primeiros 40 cm de profundidade na fase inicial de desenvolvimento da cultura. Horizontalmente, a maior concentração de raízes está entre 30 e 40 cm das linhas de cana.

Estudando o crescimento de raízes de cana colhida com queima e sem queima, Alvarez *et al.* (2000) verificaram que 75% das raízes de cana colhida sem queima situaram-se nos primeiros 40 cm de profundidade do solo no primeiro ano de mensuração e 70% delas concentraram-se nessa profundidade na avaliação de segundo ano. Para cana colhida queimada, os valores foram de 72% de raízes nos primeiros 40 cm no primeiro ano e de 68% no segundo ano, de maneira geral, na cana crua há um acúmulo de raízes em superfície e na queimada em profundidade devido à maior umidade no solo com palha.

Durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar, a matéria seca radicular e da parte aérea distribuem-se em função das condições ambientais (Machado, 1987). A variação na distribuição relativa das raízes nas primeiras camadas deve-se principalmente à variação da umidade do solo, segundo Inforzato & Alvarez (1957).

Costa *et al.* (2007) avaliando a distribuição do sistema radicular de dois cultivares de cana em diferentes tipos de solos, observaram que em Latossolo Vermelho-Amarelo houve um melhor desenvolvimento radicular por apresentar menor teor de argila, fato este devido à redução menos acentuada do comprimento radicular em profundidade.

O gesso mineral pode ser considerado um importante insumo para a agricultura, mas, devido a suas características, tem seu emprego limitado a situações particulares bem definidas, uma vez que o uso indiscriminado e sem critérios pode acarretar problemas em vez de benefícios para o agricultor (Nascimento, 2003).

O gesso agrícola é um sal pouco solúvel em soluções aquosas ($2,5 \text{ g L}^{-1}$), mas que pode atuar significativamente sobre a força iônica da solução do solo, de maneira que haja contínua dissociação do Ca e SO_4^{2-} para a solução por longos períodos de tempo. Essa característica, aliada aos teores de Ca ($170 \text{ a } 200 \text{ g kg}^{-1}$) e de S ($140 \text{ a } 170 \text{ g kg}^{-1}$) no insumo, possibilitam o uso do gesso na agricultura (Alvarez V. & Dias, 1994).

Uma vez na solução do solo, o íon Ca^{2+} pode reagir no complexo de troca do solo, deslocando cátions como Al^{3+} , K^+ e Mg^{2+} para a solução do solo, que podem, por sua vez, reagir com o SO_4^{2-} formando AlSO_4^+ (menos tóxico às plantas) e os pares iônicos neutros: K_2SO_4^0 e MgSO_4^0 , além do CaSO_4^0 . Em função da sua neutralidade, os pares iônicos apresentam grande mobilidade ao longo do perfil, ocasionando uma descida de cátions para as camadas mais profundas do solo. Estas reações irão depender de fatores que condicionam a movimentação das bases, bem como da quantidade de gesso aplicado, capacidade de troca catiônica do solo, capacidade do solo em adsorver sulfato, textura do solo e volume de água que se aporta ao solo, o que conseqüentemente pode favorecer o aporte de nutrientes e favorecendo o crescimento do sistema radicular (Soprano & Alvarez V., 1989).

Por ser relativamente móvel, o gesso agrícola aplicado na superfície do solo movimenta-se ao longo do perfil e, como conseqüência, obtêm-se aumento no suprimento de Ca e redução dos teores de Al tóxico no subsolo. Estes efeitos positivos do gesso observados nas mais variadas condições de solo e clima são indicativos de que

seu emprego pode constituir como uma alternativa para a melhoria do ambiente radicular em camadas subsuperficiais dos solos (Sumner, 1995).

A aplicação de gesso não provoca alterações significativas no pH do solo, pois, na faixa de pH dos solos agrícolas ácidos, o íon SO_4^{2-} presente no gesso não é um receptor de prótons, como os íons HCO_3^- e OH^- , produtos da dissociação do CaCO_3 (calcário) presente nos calcários (Alvarez V. & Dias, 1994).

Para correção da acidez, sobretudo ocasionada por elevados teores de Al trocável, usualmente utilizam-se corretivos químicos a base de CaCO_3 . Contudo, os efeitos ficam restritos à camada arável ou superficial do solo, pouco excedendo 15 a 20 cm de profundidade, em vista das dificuldades encontradas para incorporação mecânica dos corretivos a profundidades mais elevadas, além da baixa solubilidade dos calcários agrícolas. Segundo Quaggio (2000) nesta situação o uso do gesso agrícola aparece como alternativa para este problema devido à sua maior mobilidade, movimentando-se para camadas subsuperficiais.

Para um solo de textura arenosa, com baixa CTC e pequena capacidade de adsorver SO_4^{2-} , a movimentação de bases seria, potencialmente maior que aquela para um solo de textura argilosa com alta capacidade de adsorção de SO_4^{2-} e elevada CTC (Nascimento, 2003). Portanto, em solos arenosos, o potencial de movimentação de bases é elevado, observando com critério a quantidade de gesso aplicada ao solo, para se evitar o risco de uma movimentação de bases além das camadas exploradas pelo sistema radicular da planta cultivada.

Caíres *et al.* (1999), objetivando avaliar a correção de um Latossolo álico em subsuperfície com a aplicação de gesso agrícola em gramínea, mostraram que houve redução dos teores de Al trocável nas camadas 40 – 60 e 60 – 80 cm por meio da aplicação de doses de gesso e que essas doses elevaram os teores de Ca trocável em todo o perfil do solo. Os reflexos na produção foram bastante favoráveis, uma vez que resultaram em aumentos na produção da ordem de 1.100 kg ha^{-1} de colmo.

Trabalho realizado por Morelli *et al.* (1992) mostra que a aplicação de doses combinadas de calcário e gesso agrícola em solo cultivado com cana-de-açúcar, resultou em aumentos de produção, com incrementos da ordem de 18 t ha^{-1} em cana planta. Os dados de produção indicaram que ao longo de quatro cortes, as melhores produções obtidas foram com a associação calcário/gesso devido ao reflexo das melhores condições químicas do solo em subsuperfície.

Medina & Brinholi (1998), avaliando os efeitos da aplicação de gesso no comprimento e diâmetro médio dos colmos, no número de colmos e na produção de cana-de-açúcar, constataram que os maiores incrementos de produção foram obtidos com a associação gesso/calcário em solo de textura média. Os resultados mostraram, ainda, que as menores produtividades foram obtidas quando se fez uso isolado do gesso. Esse efeito negativo do uso isolado do gesso agrícola na produção das culturas, certamente está relacionado com a perda de cátions das camadas superficiais que acompanham o SO_4^{2-} em seu movimento descendente ao longo do perfil do solo.

Soratto & Crusciol (2008), estudando os atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema de plantio direto, revelaram que a aplicação de gesso agrícola promoveu aumentos nos teores de Ca e S- SO_4^{2-} , e diminuição no teor de Al trocável no solo, contribuindo para que os efeitos da calagem superficial nas características químicas do solo alcançassem, de forma mais rápida, as camadas de subsuperfície (20 - 60 cm).

Saldanha *et al.* (2007) trabalhando com gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar observaram que houve um aumento nos teores de Ca trocável e nos valores de saturação por bases em subsuperfície com uma conseqüente redução dos teores de Al trocável e saturação por Al, no qual as doses de gesso utilizadas (1,1; 2,3; 3,5; 4,6 e 6,9 t ha⁻¹), não provocaram lixiviação de Mg e K. Na mesma área experimental Rocha *et al.* (2008) avaliando o emprego do gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar, observaram redução de 39% na saturação por Al para camada de 40- 60 cm.

Metodologias de análise do sistema radicular

A importância do estudo do sistema radicular das plantas vem sendo evidenciada através da implantação de novos métodos de avaliação do sistema radicular de diferentes plantas, apresentando também vários métodos para caracterização de raízes, levando em conta custo, precisão e tempo de análise. Na escolha do método a ser utilizado em um levantamento, além de sua exatidão, devem ser considerados os objetivos da pesquisa e quais os parâmetros que devem ser quantificados (Jorge *et al.*, 1996). Böhm (1979) descreve os principais métodos de avaliação do sistema radicular

das plantas e denomina-os de: métodos de escavação, monólito, trado, perfil, sonda, tubo ou parede de vidro e métodos indiretos.

A forma perfeita de avaliar as raízes não existe, pois a adequação de um método para o estudo do sistema radicular depende da condição “in situ” (Vasconcelos *et al.* 2003). Esses autores, estudando cinco diferentes métodos de avaliação do sistema radicular, recomendaram o método de abertura de perfis ou trincheiras aliado a obtenção de imagens analisadas pelo Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura de Solo – SIARCS (Embrapa, 1996) como uma importante ferramenta, uma vez que esse método, além de permitir a mensuração da distribuição de parte do sistema radicular na área amostrada de modo não-destrutivo, apresentou os menores coeficientes de variação quando em comparação com outros métodos.

Novas metodologias de se avaliar o sistema radicular com a utilização de imagens podem ser realizadas com o software SAFIRA – Sistema de Análises de Fibras e Raízes (Embrapa, 2008) que permite verificar a configuração do sistema radicular das culturas com o objetivo de possibilitar medidas de área superficial, volume e comprimento das fibras e raízes, por classes de diâmetros. Estes métodos podem ser considerados um avanço nas técnicas de estudo do sistema radicular obtendo-se medidas consideradas impraticáveis avaliando-se de forma convencional.

O método do perfil ou trincheira pode ser utilizado para avaliar a distribuição de raízes no local em que a cultura está instalada. Foi descrito inicialmente por Böhm (1979) e consiste em cavar uma trincheira ao lado da planta e remover uma fina camada da parede do perfil, de modo a expor as raízes que podem ser contadas e registradas através de imagens.

Outro método bastante utilizado é o método do trado através da quantificação da massa seca das raízes. A tradagem é fundamentada por amostragens próximas à planta de forma que não proporcione o desmoronamento do solo, sendo realizada em profundidades previamente determinadas. Com o trado torna-se possível a obtenção de um volume de raízes com relativa exatidão em cada tradagem. A partir da tradagem é possível avaliar a massa e a distribuição das raízes onde as amostras são coletadas (Vasconcelos *et al.*, 2003). O método do monólito permite estimar maior quantidade de raízes e por isso tem grande exatidão, mas por outro lado, apresenta baixa precisão e pode ser demorado, consistindo em obter amostras de solo nas dimensões equivalentes

ao monólito, quantificando-se a massa seca de raízes ou ainda o comprimento médio de raízes secas.

O método da sonda pode ser considerado uma adaptação do método do monólito, diferenciando-se pela forma de extração das amostras e pelo volume de solo amostrado, necessitando de um maior número de subamostras para favorecer a representatividade (Vasconcelos *et al.*, 2003).

Desta forma os objetivos desses estudos permitem verificar o desenvolvimento do sistema radicular tanto de forma direta, a partir de amostragens como de forma associada com a utilização de ferramentas digitais, o que proporciona ganho na avaliação no desenvolvimento da cultura, o que reflete na sua produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. C. & NOGUEIRA, M. C. S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, v.57, p.653-659, 2000.

ALVAREZ, V. H.; DIAS, L. E. **Enxofre**. Viçosa: ABEAS/Universidade Federal de Viçosa, 1994. 106p.

BATTIE LACLAU, P. LACLAU, J.-P. Growth of the whole system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Fields Crops Research**, (2009), doi: 10.1016/j.fcr.2009.09.004

BLACKBURN, F. **Sugarcane**. England: Longman, 1984. 414p.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer, 1979. 188p.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.315 – 327, 1999.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (ed). **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Editora Stoller do Brasil. 138p. 2001.

CINTRA, F. L. D.; NEVES, C. S. V. J. Aspectos metodológicos do estudo do sistema radicular de plantas perenes através de imagens. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.3, p.91-94, 1996.

CONAB – **COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**. SAFRA 2010/2011. Segundo Levantamento. Acesso em 18 de janeiro de 2011. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/safra 2011](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/safra%202011).

COSTA, M. C. G.; MAZZA, J. A.; VITTI, G. C.; JORGE, L. G. C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois

cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1503-1514, 2007.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE, A. & VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18: 365-371, 1994.

CRONQUIST, A. An integrated system of classification of flowering plants. New York, 1981. 162p.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, D. J. (Ed). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84.

EMBRAPA. JORGE, L. A. C. & CRESTANA, S. **Sistema Integrado para Análise de Raízes e Coberturas do Solo - SIARCS**. Patente BR INPI N.004276 N.5.519111. Dezembro, 1996. São Carlos: CNPDIA. 1996. CD-ROM

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMBRAPA. JORGE, L. A. C. & RODRIGUES, A. F. O. **Sistema de Análise de Fibras e Raízes – SAFIRA**. Patente BR INSS 1678-0434. Novembro, 2008.

Disponível em <http://www.cnpdia.embrapa.br/labimagem>. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, CNPDIA).

ENRIQUEZ-OBREGÓN, G.A., VÁZQUEZ-PADRÓN, R.I., PRIETO-SAMSONOV, D.L., DE LA RIVA, G.A. & SELMAN-HOUSSEIN, G. Herbicide-resistant sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plants by *Agrobacterium*-mediated transformation. **Plant** . v. 206, p. 20-27, 1998.

FERNANDES, J. Observações sobre o sistema radicular da cana-de-açúcar. **Álcool & Açúcar**, v.5, p. 51-52, 1985.

INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar variedade 290, em solo tipo terra-roxa legítima. **Bragantia**, v.16, p.1-13, 1957.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos do Brasil. In: CINTRA, F. L. D.; ANJOS, J. L. dos; IVO, W. M. P. de M. Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros. **Anais**, Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.161-168, 2001.

JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O. J. G.; MEDINA, C.C.; GUIMARÃES, M. F.; NEVES, C. S. V. J.; CRESTANA, S.; CINTRA, F. L. D.; BASOI, L. H.; FERNANDES, S. B. V. Aquisição de imagens de raízes. In: JORGE, L. A. C. (Ed.). Embrapa - **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos: Embrapa-CNPDIA, 48p. (Embrapa-CNPDIA. Circular Técnica, 1). CD-ROM, 1996.

KÖPKE, V. Methods for studying root growth. Symposium on the soil /root system, Londrina, 1981. **Proceedings**. Londrina, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, p.303-318, 1981.

LANDELL, M. G. A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A. C. M.; ROSSETO, R.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, M. A.; XAVIER, M. A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 741-745, 2003.

LEE, H. A. The distribution of the sugarcane roots in the soil in the Hawaiian Islands. **Plant Physiology**, Rockville, v.1, p.363-378, 1926.

MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar In: PARANHOS, S.B. (Coord.) **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 56-87, 1987.

MEDINA, C. C. de; BRINHOLI, O. Uso de resíduos agroindustriais na produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.33, n.11, p. 1821 – 1825, 1998.

MORELLI, J. L.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J. O. C.; DEMATTÊ, J. L. I. Calcário e gesso na produtividade da cana de açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p. 187 – 194, 1992.

NASCIMENTO, C.W.A. **Melhoria do ambiente radicular e fornecimento de nutrientes**. Recife: UFRPE/ Área de Solos, 2003. 9 p. (Apostila do Curso de Gestão Ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da Região do Araripe – PE).

OTTO, R.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C. Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 601-611, 2009.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. São Paulo: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz: FEALQ, São Paulo, 1997. 183 p.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111p.

ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, A. C.; RODRIGUES, A. N.; LIRA JUNIOR, M. A.; FREIRE, F. J.; Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Agrária** (Recife. Online), v. 3, p. 307-312, 2008.

ROSA, G. R. (coord.) **Anuário brasileiro da cana-de-açúcar 2005**. 1ª ed. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 136p.

SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F.J. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 20. 2007.

SOPRANO, E.; ALVAREZ V.V.H. Nutrientes lixiviados de colunas de solo tratados com diferentes sais de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.25- 29, 1989.

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

SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A. (Eds.). **Subsoil management techniques**. Athens: Lewis Publishers, p.147-185, 1995.

Van DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham, The Chronica Botanica, 1952. v.1, 371 p.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 849-858, 2003.

VASCONCELOS, A. C. M.; PRADO, H.; LANDELL, M. G. A. **Desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar e características físico-hídricas e químicas dos ambientes de produção**. Projeto RHIZOCANA: relatório de pesquisa, 2004, 31p.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S.R.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In. FERNANDES, M. S. (Ed) **Nutrição mineral das plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 7-52.

CAPITULO I

DINÂMICA DO CRESCIMENTO RADICULAR DA CANA-DE- AÇÚCAR INFLUENCIADA PELA APLICAÇÃO DE GESSO MINERAL

ANDRADE, Patrícia Karla Batista. M.Sc. **Dinâmica do crescimento radicular da cana-de-açúcar influenciada pela aplicação de gesso mineral**

Resumo

O desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar pode se submeter a vários problemas, dentre os quais se destacam o impedimento ao aprofundamento das raízes, promovido pelas camadas coesas superficiais bem como por barreiras químicas comuns em solos intemperizados. O uso do gesso permite o aumento dos teores de Ca e S e a redução da toxidez do Al em subsuperfície, o que favorece um melhor ambiente para o desenvolvimento das raízes em profundidade. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica do crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar com o uso de doses de gesso mineral a partir de dois métodos; perfil e análise digital de imagens pelo software SAFIRA (Sistema de Análise de Fibras e Raízes) e o método do anel volumétrico com quantificação da massa seca de raízes. Foi realizado um experimento em condições de campo em um Argissolo Amarelo distrocoeso típico. Os tratamentos constaram de 5 doses de gesso mineral (0; 0,325; 0,65; 1,3 e 2,6 t ha⁻¹) e 4 repetições dispostas em blocos ao acaso. A variedade de cana utilizada foi a RB92579. Aos 150, 240 e 300 dias após o plantio (DAP) foram abertas trincheiras no solo para avaliação das raízes pelo método do perfil- SAFIRA e pelo método do anel volumétrico nas profundidades de 0,0 - 0,30; 0,30 - 0,60 e 0,60 - 0,90 m. No método do perfil, as variáveis estudadas foram: número de diâmetros diferentes (NDF), área superficial de raízes (ASR), volume total de raízes (VTR), comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros (C<2,5; 2,6-5,0; 5,1-7,5; 7,6-10 e >10 mm), no método do anel obteve-se a massa seca de raízes (MSR) com a coleta e secagem das amostras. Para os dois métodos a distribuição radicular foi estudada através da sua lateralidade direita (LD) e esquerda (LE) e profundidade direita (PD) e esquerda (PE). Não foram encontradas diferenças significativas entre as doses de gesso para ASR, NDF, VTR e C tanto na lateralidade (LD e LE) quanto na profundidade (PD e PE). O mesmo comportamento foi observado para MSR. As doses de gesso não demonstraram efeito sobre o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, porém houve uma redução no diâmetro das raízes para todas as doses estudadas com o aumento do estágio de desenvolvimento da cultura.

Palavras – chave: Desenvolvimento radicular, *Saccharum spp*, SAFIRA

ANDRADE, Patrícia Karla Batista. M.Sc. **Dynamics of root growth of sugarcane influenced by the application of mineral gypsum**

Abstract

The root development of sugarcane can show several problems, among which we highlight the impediments to the deepening of roots, promoted by the cohesive surface layers as well as chemical barriers common in weathered soils. The use of gypsum permits increased Ca and S and a reduced toxicity of Al in the subsoil, which promotes a better environment for root development in depth. Thus this study aimed to evaluate the growth dynamics of the root system of canesugar with the use of doses of gypsum mineral from two methods, the quantification of the profile with the root SAFIRA software (System Analysis Fiber and Roots) and the volumetric ring method with quantification of the dry mass of roots. An experiment was conducted under field conditions in a Yellow Ultisol, where soil samples were collected for chemical and physical characterization of the area. Chemical analysis supported the calculation for the rates of gypsum employed, with five doses of mineral gypsum (0; 0,325; 0,65; 1,3 and 2,6 t ha⁻¹) and four replicates arranged in randomized blocks . A variety of cane used was RB 92579. At 150, 240 and 300 days after planting (DAP) were opened for evaluation trenches in the soil by the roots SAFIRA-profile method and the method of volumetric ring-root biomass in depths from 0,0 - 0,30; 0,30- 0,60 and 0,60- 0,90 m. In the profile method, the variables studied were: number of different diameters (NDF), root surface area (ASR), total volume of roots (VTR), length of roots in different diameter ranges (C), the ring method obtained the dry mass of roots to the collection and drying of the samples. For both methods the root distribution was studied through its right lateral (LD) and left (LE) and right depth (PD) and left (PE). Parallel to the root study, samples were collected to obtain undisturbed samples of soil density. There were no significant differences between the rates of gypsum for ASR, NDF, VTR and C in both lateral (LD and LE) and the depth (PD and PE). The same behavior was observed to MSR. The rates of gypsum were not sufficient to demonstrate the effect on root development in sugarcane. There was a reduction in the diameter of the roots for all doses studied with increasing stage of development of culture.

Key words: root development, *Saccharum spp*, SAFIRA

1. INTRODUÇÃO

O sistema radicular das culturas varia de acordo com as espécies, sendo as raízes pivotantes encontradas nas dicotiledôneas e as raízes fasciculadas nas gramíneas, cujo tamanho e profundidade estão diretamente ligados à variedade, ao preparo do solo, a idade e número de cortes da planta (Segato *et al.*, 2006).

As principais funções do sistema radicular são: sustentação da planta, absorção e transporte de água e nutrientes, manutenção de reservas e defesa. A eficiência dessas funções depende de diversos mecanismos fisiológicos e têm influência direta sobre alguns atributos vegetais, como tolerância à seca, capacidade de brotação e perfilhamento (Vasconcelos & Casagrande, 2008).

O desenvolvimento e a distribuição ideal do sistema radicular enfrentam vários problemas, dentre os quais se destacam o impedimento ao aprofundamento das raízes, promovido pelas camadas coesas superficiais do solo e pelas barreiras químicas com suas implicações no suprimento de água e nutrientes para as plantas, bem como fatores climáticos como a precipitação e a temperatura que interferem na velocidade das reações bioquímicas afetando a brotação da cultura e as características químicas do solo como elevados teores de Al (Costa, 2007). Souza *et al.* (2002), ressaltam que quaisquer interferências de uso e manejo nos solos devem passar, necessariamente, pela melhoria do sistema radicular em profundidade, buscando-se aumentar a superfície de absorção de nutrientes e, principalmente, de água pelas plantas.

Para corrigir os elevados teores de Al da maioria dos solos intemperizados, estudos apontam a gessagem como uma alternativa para a melhoria do ambiente radicular, sendo este corretivo atuante principalmente em subsuperfície (Sousa, 2007). Concentrações elevadas de Al causam prejuízo ao desenvolvimento das raízes das plantas, além de ser tóxico para a maioria das culturas. As raízes se desenvolvem superficialmente e tornam-se mais grossas, o que dificulta a absorção de água e nutrientes afetando assim o desenvolvimento da planta como um todo.

Ao se avaliar o desenvolvimento do sistema radicular, torna-se mais completa a compreensão dos fenômenos ocorridos na parte aérea da planta, uma vez que o conhecimento e a dinâmica do seu desenvolvimento pode proporcionar o embasamento para a aplicação de técnicas de manejo da cultura, que otimizam a produção (Vasconcelos *et al.*, 2003).

A utilização de metodologias de avaliação do sistema radicular vem sendo discutida ao longo dos anos e não existe a forma perfeita de se avaliar as raízes, uma vez que dependerá das condições “in situ”.

No estudo de campo, a escolha do método a ser utilizado dependerá do propósito da pesquisa e para alguns autores, a variação dos valores de crescimento radicular em função dos métodos utilizados pode não permitir que haja uma comparação entre os dados de outras pesquisas (Böhm, 1979; Köpke, 1981; Fante Júnior & Reichardt, 1994).

As técnicas atualmente disponíveis tornam mais completa a avaliação do sistema radicular, obtendo-se uma visão clara da interface solo-raiz. Crestana *et al.* (1994) apresentaram, um método auxiliar para o estudo do sistema radicular através da técnica de processamento de imagens. Esse método tem proporcionado resultados esclarecedores, com boa precisão na quantificação das raízes, permitindo um estudo amplo da interface solo - raiz.

O método do perfil permite uma boa visualização da dinâmica do crescimento das raízes sendo considerado por Vasconcelos *et al.* (2003), um método que apresenta menores coeficientes de variação, conseqüentemente, supre as necessidades de avaliação do sistema radicular, porém devido a forma de se trabalhar, este método é tido como trabalhoso e demorado.

Outro método empregado no estudo do sistema radicular é o método do trado, a partir da obtenção de amostras de raízes e quantificação de sua massa. Fante Júnior *et al.* (1999) trabalhando com aveia forrageira, utilizaram entre outros métodos, a tradagem em seus estudos e concluíram que a distribuição do sistema radicular no solo apresentou considerável variabilidade espacial, mostrando que há uma maior relação com o tamanho das amostras que com o número delas.

Desta forma o presente trabalho tem por objetivo avaliar a dinâmica do crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar em função da aplicação de gesso mineral a partir de dois métodos, o do perfil com quantificação de raízes pelo software SAFIRA (Sistema de Análise de Fibras e Raízes) e o método do anel volumétrico com quantificação da massa seca de raízes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo no período de fevereiro a dezembro de 2010 na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada na Zona da Mata Norte Pernambucana, no município do Carpina. A vegetação é formada por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, próprias das áreas agrestes. O clima é do tipo Tropical Chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro (CPRM, 2005).

Anteriormente a implantação do ensaio, foram coletadas cinco amostras de solo aleatoriamente nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m. Estas amostras simples foram homogeneizadas formando uma amostra composta por profundidade para a caracterização química e física do solo. As amostras foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas em peneira com malha de 2 mm (TFSA) e acondicionadas em sacos plásticos vedados e identificados para posteriores análises. O solo em que foi desenvolvido o ensaio foi classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso típico conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo - SiBCS (Embrapa, 2006).

Foram caracterizados o pH (H₂O); pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹); Ca²⁺; Mg²⁺; Na⁺; K⁺; Al³⁺; (H+Al); COT (carbono orgânico total); P remanescente (P-rem); S-disponível (S-SO₄²⁻) e capacidade máxima de adsorção de sulfato (CMAS) além dos micronutrientes Fe; Cu; Mn e Zn (Tabela 1). O Ca²⁺, Mg²⁺ e o Al³⁺ foram extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹ e dosados por titulometria, o P, Na⁺ e o K⁺ extraídos por Mehlich-1; o (H+Al) por Ca(CH₃COO) 2H₂O 0,5 mol L⁻¹. O Na⁺ e o K⁺ foram dosados por fotometria de chama, o P por colorimetria, conforme Embrapa (1997), o (H+Al) por titulometria; o COT por combustão úmida com K₂Cr₂O₇ (Embrapa, 1996)

O P-rem consiste na concentração de P presente na solução de equilíbrio após um período de agitação de 1 hora da TFSA (terra fina seca ao ar) com uma solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação de 1:10, sendo determinado por colorimetria de acordo com Alvarez V. *et al.* (2000). Para a determinação de SO₄²⁻ utilizou-se CaCl₂ 10 mmol L⁻¹ e Ca(H₂PO₄)₂ contendo 500 mg L⁻¹ de P em água como extrator, podendo-se obter tanto a porção solúvel quanto parte do adsorvido de SO₄²⁻ da

TFSA. Após a extração, o S foi dosado por turbidimetria a partir da densidade ótica da solução (Alvarez V. *et al.*, 2001).

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m

Atributo	Profundidade (m)		
	0,0-0,3	0,3-0,6	0,6-0,9
pH água (1:2,5)	5,49	5,14	4,83
pH CaCl ₂ (1:2,5)	4,48	4,25	4,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,90	1,20	0,10
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,96	1,23	0,90
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,22	0,12	0,04
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,20	0,12	0,07
P (mg dm ⁻³)	24,12	15,56	4,50
P-Rem (mg L ⁻¹) ¹	35,57	27,28	26,74
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,35	0,81	1,26
(H+Al) (cmol _c dm ⁻³)	8,67	9,44	8,50
H (cmol _c dm ⁻³)	8,32	8,63	7,24
COT (g kg ⁻¹) ²	16,32	13,64	9,74
MO (%) ³	2,81	2,35	1,68
S (mg dm ⁻³)	0,88	0,63	1,07
CMAS (mg cm ⁻³) ⁴	0,016	-0,044	-0,046
Fe (mg dm ⁻³)	105,6	110,5	106,9
Zn (mg dm ⁻³)	1,77	0,70	0,37
Cu (mg dm ⁻³)	0,51	0,40	0,39
Mn (mg dm ⁻³)	11,62	5,65	2,97
CTC pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³) ⁵	12,95	12,11	9,61
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³) ⁶	4,63	3,48	2,37
SB (cmol _c dm ⁻³) ⁷	4,28	2,67	1,11
V (%) ⁸	33,06	22,05	11,55
m (%) ⁹	7,56	23,28	53,16
PST (%) ¹⁰	1,54	0,99	0,73

¹ Fósforo remanescente; ² Carbono orgânico total; ³ Matéria orgânica; ⁴ Capacidade máxima de adsorção de sulfato; ⁵ Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; ⁶ Capacidade de troca de cátions; ⁷ Soma de bases; ⁸ Saturação por bases; ⁹ Saturação por alumínio; ¹⁰ Porcentagem de sódio trocável

Para a avaliação da CMAS, as amostras de cada profundidade receberam doses de S baseadas no valor de P-rem (obtenção do espaço amostral para a escolha das

concentrações crescentes de S). As amostras de TFSA das três profundidades foram saturadas com soluções de concentrações crescentes de S em CaCl_2 10 mmol L^{-1} , após 24 horas de agitação, as amostras foram centrifugadas e a concentração de S no sobrenadante foi determinada por turbidimetria, segundo metodologia de Alvarez V. *et al.* (2001).

O S adsorvido foi calculado pela diferença entre as quantidades de S adicionadas e as quantidades que ficaram em equilíbrio/sobrenadante, obtendo-se a curva de adsorção. Os dados foram submetidos a isoterma de Langmuir para os cálculos das constantes relacionadas a adsorção. Os micronutrientes foram determinados por espectrometria de absorção atômica, segundo metodologia da Embrapa (1997). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da UFRPE e no Laboratório de Solos e Adubação da Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina.

A caracterização física foi realizada com a análise granulométrica pelo método da pipeta para definição da classe textural do solo, densidade do solo pelo método do anel volumétrico, densidade de partículas pelo método do balão volumétrico, capacidade de campo e ponto de murcha permanente através da câmara de Richards, além da condutividade hidráulica, sendo calculada a porosidade total. (Tabela 2). Todas as análises físicas seguiram a metodologia descrita pela Embrapa (1997) e foram realizadas no Laboratório de Solos e Adubação da EECAC.

Tabela 2. Características físicas do solo da área experimental nas profundidades de 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m

Atributo	Profundidade (m)		
	0,0-0,3	0,3-0,6	0,6-0,9
Areia (g kg^{-1})	704	614	624
Silte (g kg^{-1})	30	50	40
Argila (g kg^{-1})	266	336	336
Classe textural	Franco- argilo-arenosa	Franco- argilo-arenosa	Franco-argilo-arenosa
Ds (g.cm^{-3}) ¹	1,46	1,37	1,35
Dp (g.cm^{-3}) ²	2,56	2,50	2,53
Porosidade (%) ³	42,97	45,20	46,64
CC (Mg Mg^{-1}) ⁴	0,143	0,148	0,147
PMP (Mg Mg^{-1}) ⁵	0,075	0,088	0,099
K_0 (mm h^{-1}) ⁶	200	83,7	13,2

¹ Densidade do solo; ² Densidade de partículas; ³ Porosidade total; ⁴ Capacidade de campo; ⁵ Ponto de murcha permanente; ⁶ Condutividade hidráulica.

2.2. Caracterização pluvial

Durante o período de condução do experimento, foi registrada a pluviometria mensal, a temperatura e a umidade relativa média, observando-se que entre a aplicação dos tratamentos e a última coleta de dados o acumulado de precipitação foi de 1.021,3 mm (Figura 1).

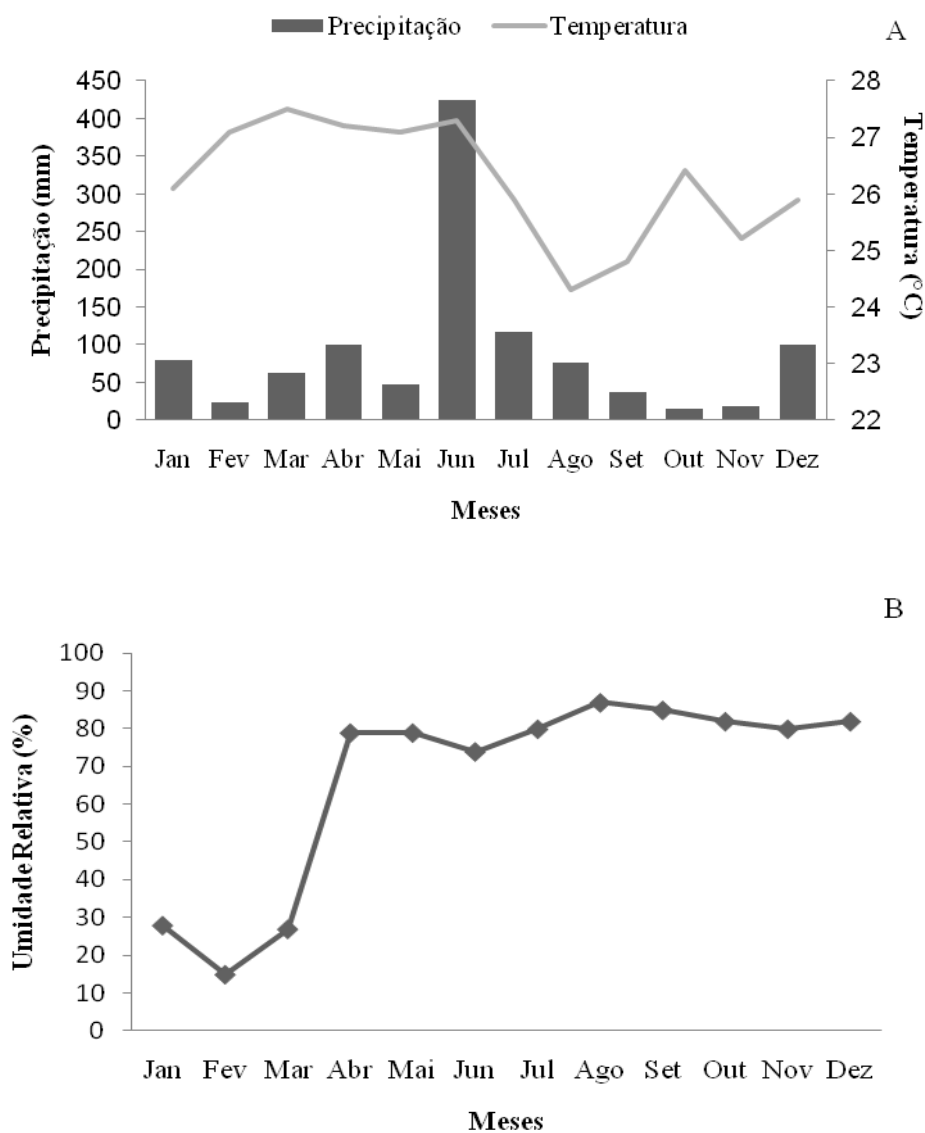


Figura 1. Dados de pluviometria mensal e temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante a condução do ensaio experimental.

2.3. Manejo experimental

As análises químicas e físicas que caracterizaram a área experimental serviram de subsídio para o cálculo da necessidade de calagem e gessagem. A área foi manejada para receber o plantio com uma gradagem e posterior sulcagem.

No ensaio, o delineamento experimental empregado foi disposto em blocos casualizados, sendo os tratamentos constituídos de 5 doses de gesso mineral e 4 repetições perfazendo um total de 20 parcelas experimentais.

As parcelas experimentais foram compostas de 7 sulcos espaçadas entre si de 1,4 m e com 10 m de comprimento, tendo a parcela uma área total de 84 m², com uma área útil que correspondeu a 44,80 m² (Figura 2), quando foram desprezados para efeito de bordadura 1,0 m de cada linha, reduzindo assim a interferência de fatores externos como luminosidade, influência dos ventos, dentre outros.

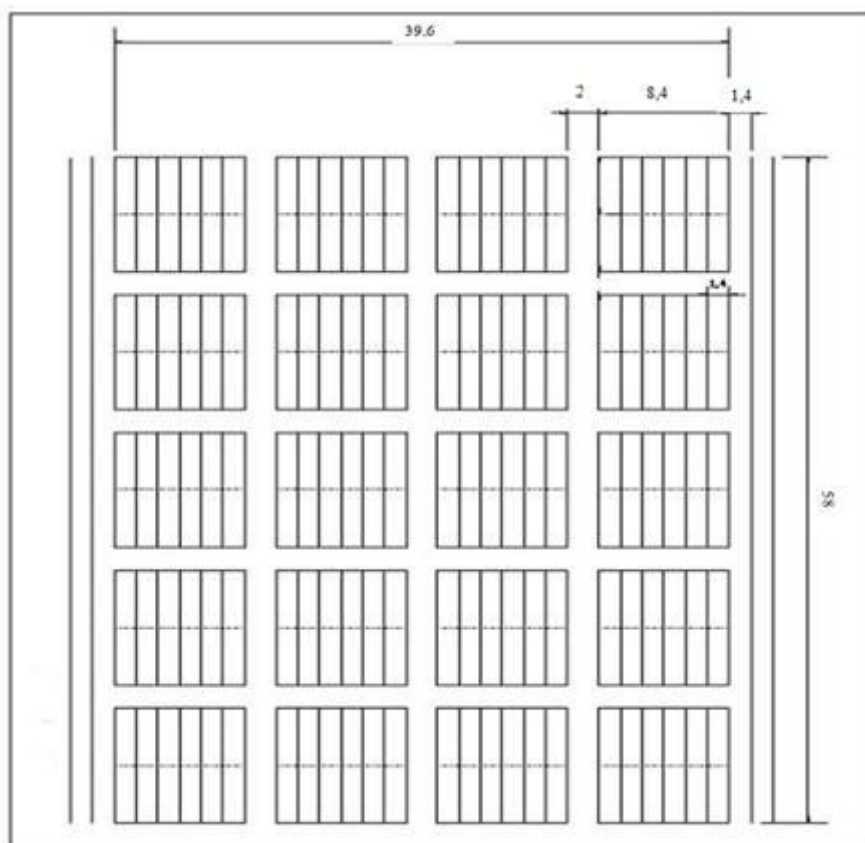


Figura 2. Métrica e distribuição das parcelas da área experimental.

As doses de gesso foram definidas de acordo com a necessidade de calagem (NC), que conforme Alvarez V. *et al.* (1999) a necessidade de gesso (NG) deve corresponder a

25% da NC da camada que se deseja corrigir, que no caso deste trabalho correspondeu a camada 0,60-0,90 m de profundidade. Esta camada foi escolhida devido ao teor de Al apresentado na caracterização (Tabela 1). A NC foi calculada pelo método da neutralização do Al trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg de acordo com o Manual de Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008) para a camada de 0,60 - 0,90 m devido aos teores encontrados durante a caracterização química. Neste estudo se utilizou os seguintes níveis de NG: 0 (zero); 12,5; 25; 50 e 100% da NC da camada 0,60 – 0,90 m de profundidade. Desta forma, as doses de gesso mineral aplicadas foram de 0 (zero); 0,325; 0,65; 1,3 e 2,6 t ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Doses de gesso aplicadas no experimento em função da necessidade de calagem e gessagem da área

Dose	Necessidade de Calagem	Quantidade de gesso
	-----%-----	-----t ha ⁻¹ -----
1	0	0
2	12,5	0,325
3	25	0,65
4	50	1,3
5	100	2,6

O gesso mineral foi aplicado no fundo do sulco de plantio com 0,30 m de profundidade, mantendo-se o solo em repouso por um período de aproximadamente 20 dias para melhor incorporação do gesso antes da adubação e do plantio da cana-de-açúcar (Figura 3). Não foi necessária a aplicação de calcário na área estudada.



Figura 3. Sulco de plantio após a aplicação do gesso mineral.

Da mesma forma que a definição da NC, a adubação mineral foi realizada de acordo com a recomendação proposta por Simões Neto (2008). Os adubos foram aplicados no fundo do sulco de plantio de uma só vez utilizando-se como fertilizantes a uréia, o superfosfato triplo e o KCl, como fontes de N, P e K respectivamente. As quantidades utilizadas foram: 196 kg ha⁻¹ de uréia, 147 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 100 kg ha⁻¹ de KCl, fornecendo assim 90 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada neste experimento foi a RB 92579, por ser considerada de maturação média e por apresentar boa capacidade de adaptação as condições ambientais e boa produtividade (Simões Neto *et al.*, 2005). O plantio foi realizado manualmente, após 20 dias da aplicação das doses de gesso (24 de fevereiro de 2011).

As plantas de cana-de-açúcar utilizadas como semente foram cortadas em colmos e estes foram repartidos no campo, deixando-se no mínimo três gemas por cada rebolo, plantados em fileira simples (ponta-cabeça), sendo o sulco fechado logo em seguida. Durante o período do experimento os tratos culturais foram realizados com capinas manuais, uma vez que a utilização de herbicida poderia interferir nos teores de S do solo. O experimento foi conduzido em condições de sequeiro.

2.4 Avaliação do sistema radicular

O sistema radicular foi avaliado aos 150, 240 e 300 dias após o plantio (DAP), nas profundidades de 0,0-0,30, 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m com a utilização dos métodos do perfil ou trincheira com análise de imagem para quantificação do sistema radicular pelo Sistema de Análises de Fibras e Raízes (SAFIRA) (Embrapa, 2008) e o método do anel volumétrico para amostragens de raízes (Vasconcelos *et al.*, 2003).

2.4.1 Método do perfil com quantificação do sistema radicular pelo Sistema de Análise de Fibras e Raízes (SAFIRA)

As avaliações do crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, foram realizadas com abertura de trincheiras de solo nas dimensões de 1,40 m x 1,00 m x 0,90 m em cada tratamento e suas respectivas repetições e em cada estágio de crescimento da

cana-de-açúcar (150, 240 e 300 dias após o plantio), perfazendo um total de abertura de 60 perfis durante todo o ensaio (Figura 4).



Figura 4. Ilustração da abertura das trincheiras (A) para a obtenção de perfis de solo (B) para avaliação do crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar.

As trincheiras foram abertas utilizando como referência a linha central de plantio da cana, medindo-se 0,70 m para cada lado da linha, totalizando um comprimento total de 1,4 m (Figura 5 A). Após a abertura, procedeu-se a preparação do perfil a partir de uma escarificação cautelosa, removendo-se cerca de 5,0 cm de solo para melhor exposição das raízes utilizando-se rolo escarificador descrito por Jorge (1996), adaptado para este estudo e, em seguida, a parede do perfil onde estavam contida as raízes foi pintada com tinta sintética *spray* na cor branca (Figura 5 B), mesmo nos locais onde não era observada a presença de raízes.

Após a pintura, o excesso de tinta do solo foi removido com o auxílio do rolo escarificador, pincel e lavagem do solo com uma fina lâmina de água utilizando-se pulverizador costal com bico do tipo leque. Com isso, obtêm-se um perfil com apenas as raízes pintadas de branco (Figura 5 C). Na trincheira foi instalado um quadro reticulado com dimensões de 1,40 m de largura por 0,90 m de profundidade (mesma medida do perfil) feito de canos de PVC e *nylon*. Esse quadro foi dividido em doze quadrantes espaçados de 0,35 m de largura por 0,30 m de profundidade, constituindo uma malha de observações de dimensões definidas (Figura 5 C).



Figura 5. Esquema da métrica do perfil (A), pintura da parede expostiva das raízes do perfil (B) e exposição das raízes pintadas do perfil (C).

Após a instalação da malha e identificação dos quadrantes, foram realizadas as tomadas de fotografias utilizando-se câmera digital, com qualidade de imagem de 12.2 Mega pixels. As fotografias foram obtidas perpendicularmente a cada quadrante da malha, tentando-se ao máximo manter um ângulo de 90° , reduzindo o sombreamento e a inclinação. Assim para cada perfil foram obtidas 12 fotografias totalizando 240 fotografias por cada estágio de avaliação do crescimento radicular (Figura 6 A). Devido a luminosidade, foi necessário cobrir o perfil com lona preta para que as imagens ficassem nítidas sem a incidência direta da luz solar.

Após as atividades no campo, as imagens foram trabalhadas no programa SIARCS (Sistema de Avaliação de Raízes e Cobertura do Solo) (Embrapa, 1996) removendo-se as manchas oriundas da pintura do perfil que não foram removidas com a lavagem e escarificação, enfatizando-se apenas as raízes (Figura 6 B). Em seguida as imagens foram importadas para o programa SAFIRA (Figura 6 C), onde foram binarizadas para a obtenção das seguintes variáveis de crescimento: número de diâmetros diferentes (NDF) o que corresponde às quantidades de diâmetros encontrados em uma única raiz e no quadrante como um todo, volume total de raízes (VTR, cm^3), área superficial total de raízes (ASR, cm^2), ou seja, a quantidade de raízes contidas em um certo volume de solo (0,3 m x 0,35 m), comprimento de raízes de acordo com o diâmetro em cinco intervalos distintos: diâmetro inferior a 2,5 mm ($< 2,5$); entre 2,6 – 5,0; 5,1 - 7,5, 7,6 – 10 e diâmetro superior a 10 mm (> 10) o que corresponde a diferentes diâmetros presentes nas raízes. As escalas de diâmetro foram definidas de acordo com os valores apresentados pelo SAFIRA, uma vez que a ponderação não seria viável.

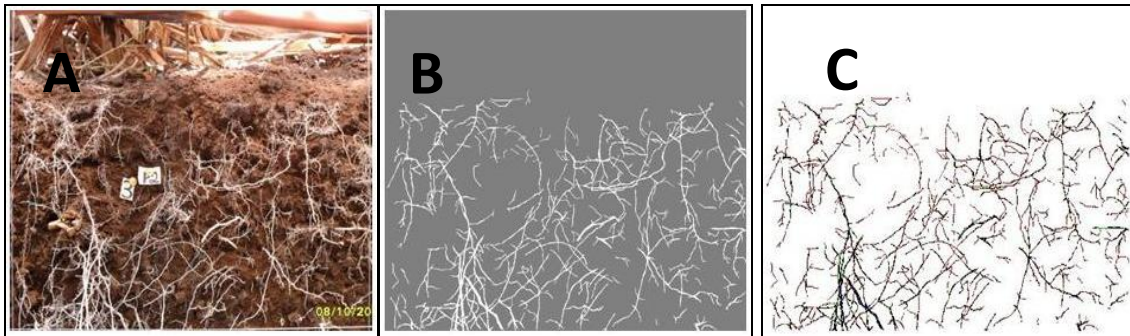


Figura 6. Esquema do manejo das imagens para avaliação do crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar: (A) raízes expostas na trincheira; (B) raízes trabalhadas pelo programa SIARCS; (C) imagem de raízes binarizada pelo programa SAFIRA.

O perfil do solo foi dividido ainda de acordo com o sentido de crescimento das raízes, separando em profundidade e lateralidade sempre tendo como referência a linha central da cana-de-açúcar. Poucos estudos tratam de distâncias superiores a 0,30 m da linha da cana, onde geralmente a referência é das raízes mais próximas aos colmos da touceira. Assim, para suprir esta deficiência, aos 0,35 m de distância para cada lado da linha, denominamos profundidade esquerda (PE), correspondente aos quadrantes 2, 6 e 10 e profundidade direita (PD), corresponde aos quadrantes 3, 7 e 11. Assim foi possível observar o quanto as raízes tinham o potencial de crescer distanciando-se da planta.

O mesmo raciocínio foi utilizado para a lateralidade distanciando-se da linha de plantio da cana-de-açúcar a 0,70 m para cada lado, obtendo-se assim a lateralidade esquerda (LE), corresponde aos quadrantes 1, 5 e 9 e lateralidade direita (LD), corresponde aos quadrantes 4, 8 e 12, englobando as profundidades 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m (Figura 7).

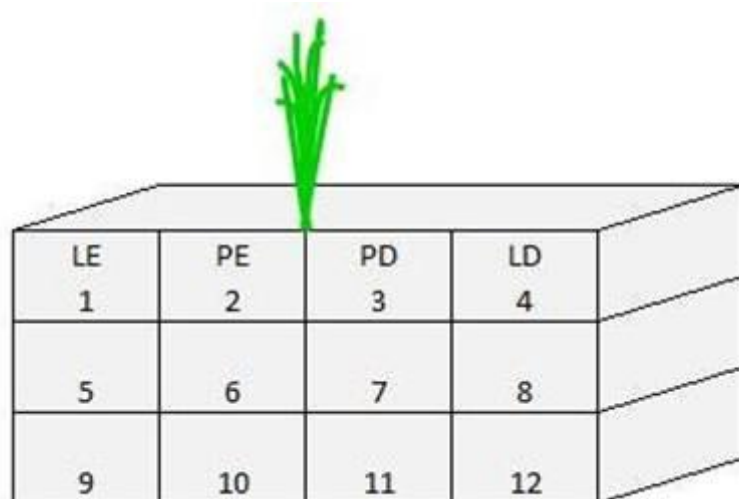


Figura 7. Esquema da numeração dos quadrantes definidos no perfil do solo para avaliação do crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, determinando-se a lateralidade esquerda (LE), Profundidade esquerda (PE) Profundidade direita (PD) e Lateralidade direita (LD).

2.4.2. Método do anel volumétrico com quantificação da massa seca de raízes

O método do anel volumétrico foi utilizado para quantificar a massa seca de raízes no qual, consiste em realizar coletas de solo por meio de anel de aço de volume conhecido nos quadrantes das trincheiras abertas para o método do perfil, nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m. As amostragens foram realizadas utilizando-se as mesmas malhas e suas dimensões como referência, onde em cada quadrante da malha foi retirada uma amostra na porção central do quadrante, totalizando 12 amostras por perfil (Figura 8).

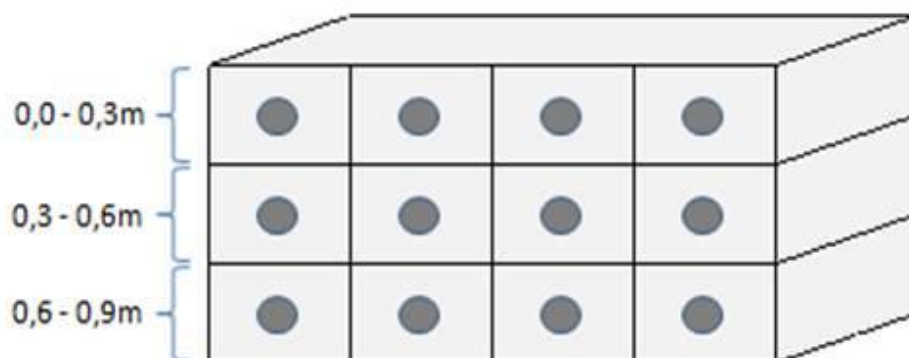


Figura 8. Esquema da amostragem para a avaliação da massa seca de raiz pelo método do anel volumétrico nas três profundidades do solo.

As amostras foram retiradas com o auxílio de um anel volumétrico com 7,0 cm de diâmetro por 7,0 cm de altura, introduzidos no solo em uma posição perpendicular a parede do perfil aberto para a avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar. As amostras foram retiradas e acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e levadas para o Laboratório de Química do Solo da UFRPE, para posterior tratamento. As raízes foram separadas do solo por catação manual e lavadas em água corrente sobre peneira de 1,0 mm de malha, evitando-se as perdas durante o processo.

Para retirar o excesso de umidade, as raízes foram dispostas em papel toalha e depois pesadas para a obtenção da massa úmida, posteriormente foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para secar em estufa de aeração forçada de ar a uma temperatura de 65 °C, até peso constante. Após este processo, as raízes foram novamente pesadas, para obtenção da massa seca das raízes. A partir da massa de solo e de raízes, foi possível calcular a massa seca de raízes em kg ha^{-1} .

Paralelamente a este estudo, foram coletadas amostras de solo não deformadas, com o mesmo cilindro utilizado para a amostragem das raízes no método do anel volumétrico para quantificação da massa seca de raízes (Figura 9), contemplando as profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m nas posições correspondentes aos quadrantes 3, 7 e 11 em sua face inferior direita, a fim de se obter a densidade do solo para cada camada do perfil, sendo retiradas três amostras em cada parcela totalizando 60 amostras.

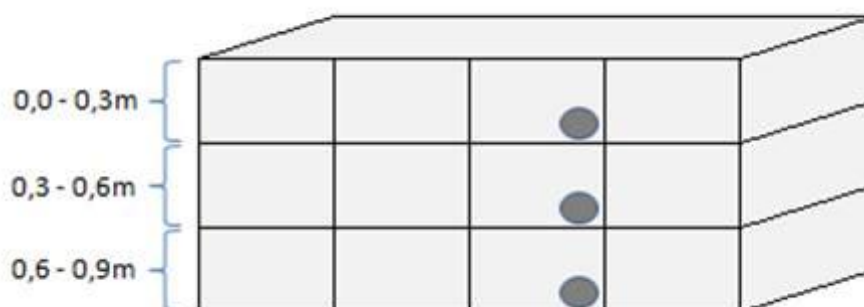


Figura 9. Esquema de amostragem para determinação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico nas três profundidades do solo.

As amostras foram postas para secar em estufa de aeração forçada a uma temperatura de 105 °C até peso constante, posteriormente foi calculada a densidade do solo para cada profundidade e para todos os tratamentos aplicados.

3. Análise estatística

Os dados das variáveis para avaliar o crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar pelos diferentes métodos foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), separadamente para cada profundidade. Nas variáveis qualitativas cujos efeitos principais e/ou interação foram significativos, se aplicou o teste de médias de Scott & Knott ($p < 0,05$) utilizando-se o programa estatístico SAEG (SAEG, 1999). Nas variáveis quantitativas aplicou-se regressão.

Os dados de densidade do solo foram tabulados e submetidos a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), separadamente para cada tempo. Nas variáveis qualitativas cujos efeitos principais e/ou interação foram significativos, se aplicou o teste de médias de Scott & Knott ($p < 0,05$) utilizando-se o programa estatístico SAEG (SAEG, 1999). Nas variáveis quantitativas aplicou-se regressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Densidade do solo

A densidade do solo nas três profundidades estudadas não foi influenciada pelas doses de gesso aplicadas e nem em profundidade (Tabela 4). Esta densidade pode ter sido afetada pelo preparo da área antes do plantio, ou seja, pela carga imposta ao solo pelo tráfego de máquinas para a abertura dos sulcos. Segundo Hamza & Anderson (2005) o tráfego de máquinas e implementos agrícolas podem compactar o solo expresso pelo aumento da densidade.

Este aumento de densidade fica evidente ao se comparar com os valores de densidade obtidos antes da implantação do experimento cuja média foi de $1,46 \text{ g cm}^{-3}$ na camada 0,0-0,30 m (Tabela 3). Reinert *et al.* (2008) estudando limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes em Argissolo Vermelho afirmaram que densidades acima de $1,75 \text{ g cm}^{-3}$ podem causar restrição ao desenvolvimento do sistema radicular além de causar deformações na morfologia das raízes o que não foi o caso do presente estudo uma vez que não houve restrição.

Reichert *et al.* (2003) avaliando a qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas propuseram uma densidade do solo crítica para o desenvolvimento das raízes em solos de textura franco-argilosa de $1,40$ a $1,50 \text{ g cm}^{-3}$ devido a deficiência de aeração. Aos 240 e 300 DAP, os valores de densidade foram menores, principalmente para a camada intermediária. Este resultado foi contrário ao encontrado por Reinert *et al.* (2008) que encontraram as menores densidades nas camadas mais superficiais e atribuíram este fato a maior densidade de raízes das culturas utilizadas, como milho, crotalária e plantas de cultivo de verão. Assim, mesmo com a utilização de culturas diferentes ou diferentes formas de plantio, a densidade do solo é afetada pelo desenvolvimento das raízes.

Outro aspecto que deve ser considerado é em relação ao diâmetro das raízes estudadas, onde quanto maior o diâmetro das raízes, maior será a pressão exercida no solo, compactando-o e dificultando a penetração das raízes (Reinert *et al.*, 2008), o que não foi o caso deste estudo, uma vez que as raízes afinaram com o aumento da profundidade (Tabela 8, 9, 10 e 11).

Tabela 4. Densidade do solo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m, aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar

Fator	Densidade do solo (g cm ⁻³)			Média
	0,0 – 0,3	Profundidade (m) 0,3-0,6	0,6-0,9	
150 DAP				
Dose				
0	1,68	1,68	1,61	1,66
0,325	1,57	1,49	1,56	1,54
0,65	1,58	1,59	1,57	1,58
1,3	1,66	1,57	1,62	1,62
2,6	1,55	1,64	1,64	1,61
Média	1,61	1,59	1,60	
F				
Dose		2,24 ^{ns}		
Profundidade		0,08 ^{ns}		
Dose * Profundidade		0,92 ^{ns}		
CV (%)		6,12		
240 DAP				
Dose				
0	1,04	1,12	0,99	1,05
0,325	0,95	0,98	0,87	0,93
0,65	1,08	0,99	1,00	1,03
1,3	1,12	1,01	1,08	1,07
2,6	1,02	1,06	0,91	1,00
Média	1,04	1,03	0,97	
F				
Dose		1,62 ^{ns}		
Profundidade		1,07 ^{ns}		
Dose * Profundidade		0,29 ^{ns}		
CV (%)		15,78		
300 DAP				
Dose				
0	1,32	1,33	1,26	1,30
0,325	1,21	1,18	1,15	1,18
0,65	1,20	1,25	1,20	1,22
1,3	1,09	1,14	1,22	1,15
2,6	1,18	1,00	1,16	1,11
Média	1,20	1,18	1,20	
F				
Dose		2,06 ^{ns}		
Profundidade		0,07 ^{ns}		
Dose * Profundidade		0,51 ^{ns}		
CV (%)		14,75		

ns – não significativo pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

Ao isolar o tempo concomitante com a profundidade foi possível encontrar diferença significativa para as doses de gesso aos 150 DAP na profundidade 0,30-0,60 m (Figura 10). Possivelmente o gesso promoveu uma melhor mobilização das raízes nesta camada, fazendo com que ao penetrarem no solo aumentassem o volume de poros e conseqüentemente, promovessem diminuição da densidade, o que corrobora com Borges *et al.* (1997), ao utilizarem gesso agrícola em seu trabalho, constataram redução da densidade do solo e aumento da porosidade total em solos compactados. Este efeito favorece um melhor equilíbrio na relação ar/água na porosidade do solo favorecendo o crescimento das plantas.

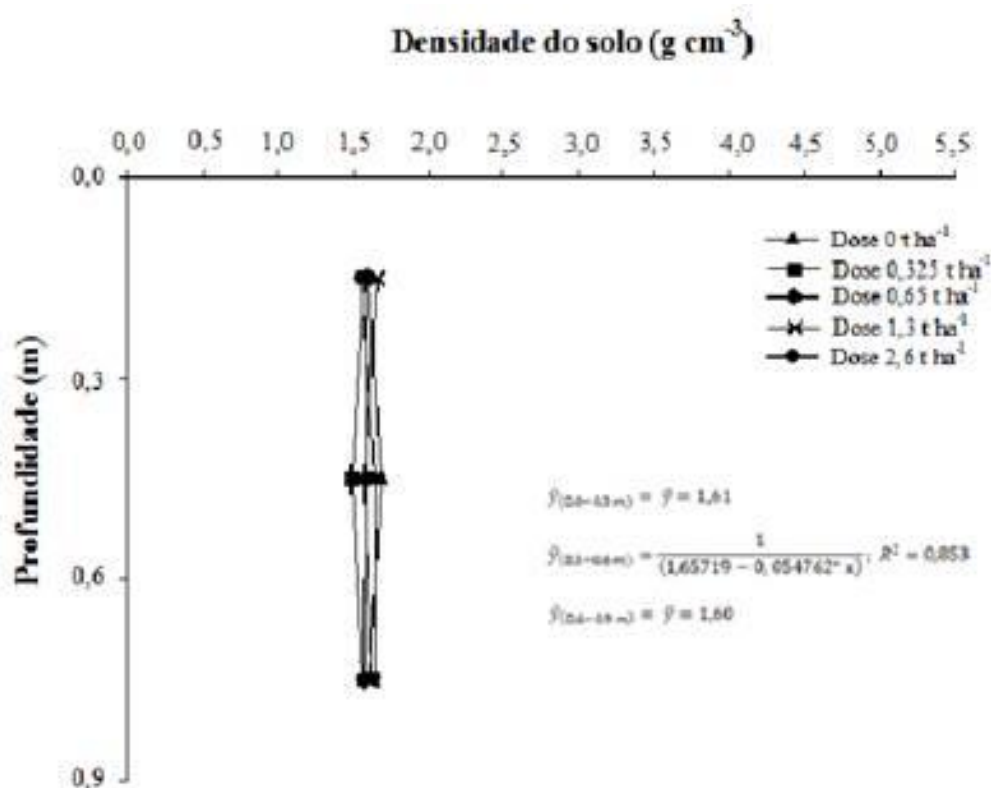


Figura 10. Densidade do solo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150 dias após o plantio de cana-de-açúcar na profundidade de 0,30-0,60 m.

4.2. Método do anel volumétrico com quantificação de massa seca de raiz

4.2.1. Massa seca de raízes: Profundidade Esquerda (PE) e Profundidade Direita (PD)

Não houve diferença significativa tanto para a profundidade esquerda (PE) quanto para a profundidade direita (PD), possivelmente devido à grande variação encontrada neste método. Quanto maior o coeficiente de variação menor a precisão do experimento, indicando que este método não se mostrou adequado para detectar diferenças entre os tratamentos (Tabelas 5 e 6).

Esta variação pode ter ocorrido devido à forma de extração das raízes, uma vez que foi possível notar que a eficiência do cilindro para cortar as raízes apresentou significativas dificuldades operacionais, pois parte considerável delas não eram cortadas pela parede do cilindro, permanecendo no perfil, o que corrobora com afirmações descritas por Taylor (1986) e Vasconcelos *et al.* (2003) de que amostragens feitas com cilindro ou anel volumétrico são impraticáveis quando o solo apresenta raízes com diâmetros superiores a 2 mm. A forma de aplicação do gesso pode ter favorecido a não significância dos tratamentos, uma vez que ao se aplicar o insumo no fundo do sulco, a possibilidade de movimentação lateral diminui devido ao elevado teor de areia do solo.

Farias *et al.*, (2008) analisando os índices de crescimento da cana-de-açúcar em solos de textura média, não encontraram diferença estatística entre a cana submetida a irrigação e a cana de sequeiro em seis profundidades analisadas, no entanto, uma maior concentração radicular foi encontrada nas plantas que receberam irrigação em relação as que não receberam. Este fato se deve devido a emissão mais rápida das raízes das plantas irrigadas devido a umidade presente, assim o sistema radicular se encontra ainda superficial (principalmente entre 0 e 0,30 m), ainda segundo este autor, uma maior concentração radicular em superfície favorece uma maior absorção de água após a irrigação ou precipitação, minimizando a evaporação.

Tabela 5. Massa seca de raiz em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m a esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Massa seca de raiz (kg ha ⁻¹)			
	150	Tempo (DAP) 240	300	Média
Profundidade esquerda (0,0-0,3 m)				
Dose				
0	416,05	645,79	779,28	613,71
0,325	2206,09	612,34	1041,91	1286,78
0,65	1085,41	621,12	725,60	810,71
1,3	591,08	547,24	1022,75	720,35
2,6	367,68	433,69	1356,20	719,19
Média	933,26	572,04	985,15	
		F		
Dose		1,49 ^{ns}		
Tempo		1,80 ^{ns}		
Dose * Tempo		1,59 ^{ns}		
CV (%)		90,46		
Profundidade esquerda (0,3-0,6 m)				
Dose				
0	159,83	84,76	211,48	152,02
0,325	390,96	320,49	400,72	370,72
0,65	822,28	103,86	766,10	564,08
1,3	429,30	159,20	454,39	347,63
2,6	366,91	239,50	346,00	317,47
Média	433,86	181,56	435,74	
		F		
Dose		1,46 ^{ns}		
Tempo		2,40 ^{ns}		
Dose*Tempo		0,51 ^{ns}		
CV (%)		120,40		
Profundidade esquerda (0,6-0,9 m)				
Dose				
0	186,38	583,48	156,90	308,92
0,325	130,62	165,13	194,26	163,34
0,65	168,33	69,77	185,41	141,17
1,3	178,30	177,67	65,94	140,64
2,6	82,32	197,61	270,72	183,55
Média	149,19	238,73	174,65	
		F		
Dose		0,78 ^{ns}		
Tempo		0,45 ^{ns}		
Dose* Tempo		0,90 ^{ns}		
CV (%)		149,70		

ns – não significativo pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Massa seca de raiz em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m a direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Massa seca de raiz (kg ha ⁻¹)			
	150	Tempo (DAP)		Média
		240	300	
	Profundidade direita (0,0-0,3 m)			
Dose				
0	867,10	425,26	1156,16	816,17
0,325	677,16	540,47	906,20	707,95
0,65	1308,81	666,57	1543,15	1172,84
1,3	945,52	663,57	558,67	722,58
2,6	756,83	485,55	419,54	553,97
Média	911,08	556,28	916,74	
		F		
Dose		0,98 ^{ns}		
Tempo		1,30 ^{ns}		
Dose * Tempo		0,36 ^{ns}		
CV (%)		102,10		
	Profundidade direita (0,3-0,6 m)			
Dose				
0	88,03	398,91	231,27	239,41
0,325	237,62	304,04	491,75	344,47
0,65	220,82	68,38	510,64	266,61
1,3	515,24	745,54	223,19	494,66
2,6	69,28	254,34	443,52	255,72
Média	226,20	354,24	380,07	
		F		
Dose		0,48 ^{ns}		
Tempo		0,48 ^{ns}		
Dose*Tempo		0,57 ^{ns}		
CV (%)		165,69		
	Profundidade direita (0,6-0,9 m)			
Dose				
0	86,92	48,65	194,05	109,87
0,325	60,92	170,91	102,53	111,45
0,65	74,16	192,31	239,36	168,61
1,3	223,88	104,69	224,37	184,32
2,6	94,24	199,63	59,67	117,84
Média	108,03	143,24	164,00	
		F		
Dose		0,53 ^{ns}		
Tempo		0,68 ^{ns}		
Dose* Tempo		0,59 ^{ns}		
CV (%)		138,17		

ns – não significativo pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

4.2.2. Massa seca de raízes: Lateralidade Esquerda (LE) e Lateralidade Direita (LD)

A quantidade de massa seca de raiz tanto para a lateralidade esquerda (LE) quanto a lateralidade direita (LD) não se mostrou influenciada pelas doses de gesso nas profundidades de 0,0-0,30 e 0,30-0,60 m atingindo coeficientes de variação elevados (Tabelas 7 e 8). Entretanto, a quantidade de raízes presentes na LE na última camada avaliada (0,60-0,90 m de profundidade) apresentou diferença significativa na interação, indicando que dependendo do estágio de avaliação do sistema radicular, a aplicação de gesso mineral influenciou o crescimento das raízes, evidenciando-se que a influência do gesso mineral foi mais intensa aos 300 DAP (Tabela 7).

Vasconcelos *et al.* (1999) constataram uma redução gradativa da quantidade de raízes de cana-de-açúcar a partir da linha de plantio para o meio da entrelinha, podendo essas quantidades variar de acordo com a variedade cultivada e seu estágio de desenvolvimento. A comparação com outras pesquisas se torna muito complicada a partir do momento em que não se encontra correspondência com outros métodos de avaliação, mas pode-se inferir que a massa das raízes depende da interação entre os atributos do solo, a variedade e o manejo, sendo sempre bastante variável.

Tabela 7. Massa seca de raiz em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m na lateralidade esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Massa seca de raiz (kg ha ⁻¹)			
	150	Tempo (DAP) 240	300	Média
Profundidade lateral esquerda (0,0-0,3 m)				
Dose				
0	53,46	207,30	482,27	247,68
0,325	297,00	675,84	654,16	542,33
0,65	16,52	758,43	560,62	445,19
1,3	205,62	218,03	324,88	249,51
2,6	163,73	48,79	436,69	216,40
Média	147,27	381,68	491,72	
		F		
Dose		1,23 ^{ns}		
Tempo		3,02 ^{ns}		
Dose * Tempo		0,63 ^{ns}		
CV (%)		132,96		
Profundidade lateral esquerda (0,3-0,6 m)				
Dose				
0	51,09	132,71	183,60	122,47
0,325	13,31	142,26	309,13	154,90
0,65	492,31	235,04	176,84	301,39
1,3	724,49	377,09	435,15	512,24
2,6	50,19	335,90	150,63	178,90
Média	266,28	244,60	251,07	
		F		
Dose		1,62 ^{ns}		
Tempo		0,01 ^{ns}		
Dose*Tempo		0,58 ^{ns}		
CV (%)		170,82		
Profundidade lateral esquerda (0,6-0,9 m)				
Dose				
0	34,85Bb	33,81Ab	528,00Aa	198,88
0,325	13,31Bb	158,22Aa	136,20Ca	102,58
0,65	22,37Bc	63,99Ab	364,54Ba	150,30
1,3	722,40Aa	202,14Ab	14,08Dc	312,87
2,6	123,65Bb	28,23Ac	244,45Ca	132,11
Média	183,32	97,28	257,45	
		F		
Dose		0,67 ^{ns}		
Tempo		1,19 ^{ns}		
Dose* Tempo		2,22*		
CV (%)		181,99		

Letras maiúsculas idênticas na coluna e minúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade; ns – não significativo.

Tabela 8. Massa seca de raiz em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m lateralidade direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Massa seca de raiz (kg ha ⁻¹)			
	150	Tempo (DAP) 240	300	Média
Profundidade lateral direita (0,0-0,3 m)				
Dose				
0	43,49	103,44	345,55	164,15
0,325	116,89	1048,74	388,45	518,03
0,65	13,10	367,33	294,14	224,86
1,3	298,05	165,19	75,07	179,44
2,6	161,08	114,24	603,13	292,82
Média	126,52	359,79	341,26	
		F		
Dose		1,17 ^{ns}		
Tempo		1,57 ^{ns}		
Dose * Tempo		1,36 ^{ns}		
CV (%)		167,57		
Profundidade lateral direita (0,3-0,6 m)				
Dose				
0	216,57	267,10	121,56	201,74
0,325	27,25	132,92	252,60	137,59
0,65	10,59	88,73	384,83	161,38
1,3	48,93	300,35	54,65	134,64
2,6	49,42	58,48	400,30	169,40
Média	70,55	169,52	242,79	
		F		
Dose		0,17 ^{ns}		
Tempo		2,93 ^{ns}		
Dose*Tempo		1,57 ^{ns}		
CV (%)		140,42		
Profundidade lateral direita (0,6-0,9 m)				
Dose				
0	45,31	101,97	84,69	77,32
0,325	275,74	214,96	0,000	163,56
0,65	121,98	185,55	287,80	198,44
1,3	22,51	55,97	8,85	29,11
2,6	70,61	25,72	155,78	84,03
Média	107,23	116,84	107,42	
		F		
Dose		1,70 ^{ns}		
Tempo		0,14 ^{ns}		
Dose* Tempo		1,95 ^{ns}		
CV (%)		132,97		

ns – não significativo pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

4.3. Método do perfil com quantificação do sistema radicular pelo SAFIRA

4.3.1. Profundidade Esquerda (PE) e Profundidade Direita (PD) das raízes

Foi possível observar que para a variável número de diâmetros diferentes (NDF) o tempo de cultivo da cana, ou seja, o estágio de desenvolvimento da cultura, influenciou significativamente essa variável nas camadas mais superficiais do solo (0,0-0,30 e 0,30-0,60 m), ou seja, à medida que o estágio de desenvolvimento avançou, o NDF diminuiu, demonstrando que as raízes encontravam-se em pleno desenvolvimento reduzindo seu diâmetro (Tabelas 9 e 10).

Não se pode afirmar que haja um padrão de distribuição ou um percentual radicular em profundidade, pois o sistema radicular da cana-de-açúcar encontra uma grande variabilidade nas proporções de raízes em profundidade, mas pode-se afirmar que este comportamento é esperado uma vez que as raízes tendem a ficar mais finas, gerando uma aparente uniformidade, o que facilita a ocorrência de uma maior exploração do solo e consequente absorção de água e nutrientes.

O NDF não se mostrou sensível as doses de gesso aplicadas. Houve variabilidade nas análises uma vez que foram contabilizados tanto raízes vivas quanto mortas, estas provavelmente oriundas de plantios passados. As raízes mortas apresentavam um maior diâmetro (visual) em relação às vivas.

Como o experimento foi conduzido em condições de sequeiro, pode ter havido uma redução das reservas hídricas em profundidade, o que acarreta em uma eventual morte das raízes, principalmente aos 300 dias, onde as chuvas se encontravam irregulares. Vasconcelos (2002) estudando seis variedades de cana-de-açúcar, em Latossolo Vermelho distrófico típico álico verificou que na cana-planta as ramificações e crescimento em diâmetro ao longo do tempo são menores em relação a terceira soca (4º ciclo) o que corrobora com os dados encontrados neste trabalho.

Quanto ao volume total de raízes (VTR), percebe-se que na PE, o comportamento observado no crescimento das raízes foi semelhante ao NDF, havendo influência significativa do tempo de cultivo nas camadas mais superficiais (0,0-0,30 e 0,30-0,60 m) (Tabela 9 e 10). Apesar de não ter havido influência das doses de gesso no VTR, foi possível observar que a dose 0,65 t ha⁻¹, que corresponde a 25% da NC foi que concentrou os maiores volumes de raízes em superfície, principalmente aos 150 DAP, sendo superior as outras doses, estendendo-se para a camada intermediária, onde a maior média foi verificada aos 150 DAP evidenciando a importância de analisar em profundidade.

Não houve diferença significativa na camada 0,60-0,90 m, no VTR, porém a tendência foi a mesma e o volumes total de raízes foi de 1,80; 1,13 e 0,78 respectivamente aos 150, 240 e 300 DAP. É interessante perceber como um maior volume de raiz se concentra na camada superficial, reduzindo-se gradativamente a medida que a profundidade aumenta.

Segundo Fante Júnior & Reichardt (1994) a avaliação do sistema radicular das plantas considerando volume explorado, comprimento de raízes, atividade radicular, dentre outros, é tarefa difícil e grandes dificuldades são encontradas em qualquer técnica utilizada de amostragem, como o tempo gasto, a pouca informação obtida e a grande variabilidade dos resultados.

Este método permite a verificação das raízes em um único plano, o que pode justificar os coeficientes de variação elevados, pois sobreposições de raízes são quantificadas como um único elemento, tornando difícil a diferenciação. Segundo Evans (1936) no método do perfil a ocorrência de raízes com crescimento perpendiculares a posição da imagem podem resultar em valores menores tanto em volume, quanto em comprimento.

Tabela 9. Número de diâmetros diferentes (NDF), volume total de raízes (VTR) e área superficial de raízes (ASR) em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m a esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	NDF			Média	VTR (cm ³)			Média	ASR (cm ²)			Média	
	Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				
	150	240	300		150	240	300		150	240	300		
Profundidade esquerda (0,0-0,30 m)													
Dose													
0	7,25	4,25	3,50	5,00	9,61	8,22	3,74	7,19	196,79	258,77	139,88	198,48	
0,325	10,25	4,00	4,50	6,25	17,13	4,56	5,46	9,05	343,80	151,93	198,38	231,37	
0,65	7,25	4,00	3,75	5,00	20,46	7,82	4,17	10,82	285,85	250,51	159,14	231,83	
1,3	7,75	4,50	3,75	5,33	8,94	4,24	5,14	6,11	221,58	131,67	186,12	179,79	
2,6	6,25	3,50	4,50	4,75	9,73	5,92	4,76	6,80	162,34	194,23	167,54	174,70	
Média	7,75a	4,05b	4,00b		13,17a	6,15b	4,65b		242,07	197,42	170,21		
		F				F				F			
Dose		2,19 ^{ns}				0,65 ^{ns}				0,76 ^{ns}			
Tempo		49,02*				6,04*				2,24 ^{ns}			
Dose*Tempo		1,66 ^{ns}				0,60 ^{ns}				1,16 ^{ns}			
CV (%)		26,08				103,50				53,37			
Profundidade esquerda (0,30-0,60 m)													
Dose													
0	5,50	4,00	3,50	4,33	2,20	3,95	1,83	2,66	40,64	133,26	62,32	78,74	
0,325	6,25	4,50	3,75	4,83	6,11	3,32	3,07	4,17	144,16	107,54	114,47	122,06	
0,65	7,50	4,25	3,00	4,92	19,28	3,48	1,96	8,24	233,21	119,90	73,12	142,08	
1,3	5,25	3,75	3,75	4,25	4,34	2,84	2,84	3,34	109,98	85,62	107,67	101,09	
2,6	6,50	4,00	3,50	4,67	3,69	2,98	2,15	2,94	56,30	96,18	84,67	79,05	
Média	6,20a	4,10b	3,50b		7,12a	3,31b	2,37b		116,86	108,50	88,45		
		F				F				F			
Dose		0,37 ^{ns}				1,67 ^{ns}				1,30 ^{ns}			
Tempo		14,06*				3,35*				0,61 ^{ns}			
Dose*Tempo		0,49 ^{ns}				1,74 ^{ns}				1,28 ^{ns}			
CV (%)		36,76				143,96				80,21			
Profundidade esquerda (0,60 – 0,90 m)													
Dose													
0	2,75	3,25	2,50	2,83	2,69	1,75	0,47	1,64	37,64	60,60	17,29	38,51	
0,325	3,25	3,25	2,50	3,00	1,01	1,16	0,96	1,04	24,98	34,45	37,87	32,43	
0,65	4,25	3,25	2,50	3,33	2,23	1,19	0,72	1,38	28,29	42,46	30,33	33,69	
1,3	3,00	2,75	2,75	2,83	2,06	0,97	0,89	1,31	44,82	33,34	33,98	37,38	
2,6	4,75	2,75	2,75	3,42	1,03	0,61	0,87	0,83	17,15	23,20	34,21	24,85	
Média	3,60	3,05	2,60		1,80	1,13	0,78		30,58	38,81	30,73		
		F				F				F			
Dose		0,37 ^{ns}				0,41 ^{ns}				0,36 ^{ns}			
Tempo		2,05 ^{ns}				1,88 ^{ns}				0,45 ^{ns}			
Dose*Tempo		0,49 ^{ns}				0,34 ^{ns}				0,59 ^{ns}			
CV (%)		50,77				136,26				93,54			

Letras minúsculas idênticas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade; ns – não significativo

Tabela 10. Número de diâmetros diferentes (NDF), volume total de raízes (VTR) e área superficial de raízes (ASR) em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m a direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	NDF			Média	VTR (cm ³)			Média	ASR (cm ²)			Média
	Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)			
	150	240	300		150	240	300		150	240	300	
Profundidade direita (0,0-0,30 m)												
Dose												
0	7,75	4,25	4,00	5,33	12,61	7,41	4,87	8,30	223,74	216,12	166,51	202,12
0,325	6,25	4,00	3,75	4,67	8,28	4,69	3,34	5,43	179,25	164,04	122,51	155,27
0,65	11,25	5,25	4,50	7,00	23,90	7,63	6,63	12,72	262,48	222,35	227,01	237,28
1,3	6,75	4,00	3,50	4,75	5,22	4,10	3,17	4,16	140,32	137,68	120,11	132,70
2,6	8,25	4,25	3,25	5,25	13,89	5,37	3,35	7,54	232,71	165,35	121,53	173,20
Média	8,05a	4,35b	3,80b		12,78a	5,84b	4,27b		207,70	181,11	151,53	
		F				F				F		
Dose		2,42 ^{ns}				1,94 ^{ns}				2,45 ^{ns}		
Tempo		24,28*				6,15*				1,94 ^{ns}		
Dose*Tempo		0,76 ^{ns}				0,69 ^{ns}				0,20 ^{ns}		
CV (%)		38,85				106,98				50,13		
Profundidade direita (0,30-0,60 m)												
Dose												
0	4,50	4,25	3,75	4,17	3,16	3,15	2,46	2,92	64,69	101,38	84,16	83,41
0,325	5,25	5,50	4,00	4,92	4,48	5,31	2,80	4,20	100,31	159,62	102,03	120,66
0,65	7,25	4,75	3,50	5,17	11,40	5,64	3,09	6,71	136,52	158,82	112,35	135,89
1,3	4,50	4,25	4,25	4,33	3,19	3,52	2,55	3,09	80,49	110,53	94,56	95,19
2,6	4,75	3,50	4,25	4,17	1,48	2,43	2,12	2,01	23,04	88,08	73,52	61,54
Média	5,25a	4,45b	3,95b		4,74	4,01	2,60		81,01	123,69	93,32	
		F				F				F		
Dose		1,21 ^{ns}				2,17 ^{ns}				2,06 ^{ns}		
Tempo		4,04*				1,30 ^{ns}				1,89 ^{ns}		
Dose*Tempo		1,27 ^{ns}				0,80 ^{ns}				0,20 ^{ns}		
CV (%)		32,07				112,58				71,84		
Profundidade direita (0,60 – 0,90 m)												
Dose												
0	3,75	4,00	2,50	3,42	1,11	1,23	0,52	0,95	15,99	44,61	19,40	26,67
0,325	4,00	3,50	3,00	3,50	1,20	2,13	1,52	1,61	29,66	73,36	56,02	53,02
0,65	3,75	3,25	3,25	3,42	2,42	1,21	1,30	1,64	26,06	40,07	46,97	37,70
1,3	3,75	3,25	3,25	3,42	2,16	1,36	1,50	1,68	48,44	45,81	56,19	50,14
2,6	4,00	2,25	3,75	3,33	0,33	0,62	1,48	0,81	5,94	24,85	46,55	25,78
Média	3,85	3,25	3,15		1,44	1,31	1,26		25,22	45,74	45,03	
		F				F				F		
Dose		0,02 ^{ns}				0,84 ^{ns}				1,63 ^{ns}		
Tempo		1,65 ^{ns}				0,07 ^{ns}				2,27 ^{ns}		
Dose*Tempo		0,71 ^{ns}				0,52 ^{ns}				0,51 ^{ns}		
CV (%)		38,57				118,57				89,46		

Letras minúsculas idênticas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade; ns – não significativo

Para área superficial de raízes (ASR) não houve interferência das doses (Tabela 9 e 10), resultado este pouco interessante, pois se esperava que a ASR aumentasse em função das doses de gesso e ao longo do tempo de cultivo. O efeito da pouca disponibilidade de água nos meses de outubro e novembro (Figura 3) pode ser uma possível causa, pois as raízes reduzem seu crescimento a partir do momento que há uma redução na umidade do solo.

Com relação a PD, pode-se dizer que houve um rebatimento simétrico, o que ocorreu a esquerda da linha da planta (PE), ocorreu a direita, exceto para a variável VTR na profundidade 0,30-0,60 m, onde não foi possível observar a influência do tempo de cultivo. Esperava-se que as doses de gesso aplicadas neste trabalho promovessem um maior crescimento do sistema radicular, porém, apesar de não ter sido perceptível o efeito significativo das doses, verificou-se que houve um aumento médio da ASR na camada mais profunda deste estudo (0,60-0,90 m), o que representa um ganho para a cultura, pois a partir desta maior exploração da área, se faz possível uma maior exploração do solo. Esse pouco efeito do gesso mineral no crescimento das raízes da cana pode ter ocorrido em decorrência do baixo acúmulo de Ca em camadas mais profundas do perfil do solo, pela pouca eficiência que teve o gesso para contribuir com esse acúmulo, provavelmente em decorrência da aplicação de baixas doses do insumo.

Segundo Demattê, (2005), o desenvolvimento radicular em profundidade é fundamental para o acréscimo de produtividade principalmente em solos pouco férteis e com baixa retenção de umidade. Este autor destaca ainda a necessidade de aprofundamento do sistema radicular da cana-de-açúcar nos solos dos tabuleiros costeiros, enfatizando a importância de estudos de raízes como índice para identificação de práticas culturais e de preparo de solo mais adequadas.

4.3.2. Lateralidade Esquerda (LE) e Lateralidade Direita (LD) das raízes

O crescimento em profundidade das raízes a 0,35 m de distância da linha da cana (Tabelas 11 e 12).

Tabela 11. Número de diâmetros diferentes (NDF), volume total de raízes (VTR) e área superficial de raízes (ASR) em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60 – 0,90 m na lateralidade esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	NDF			Média	VTR (cm ³)			Média	ASR (cm ²)			Média
	Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)			
	150	240	300		150	240	300		150	240	300	
Profundidade lateral esquerda (0,0-0,30 m)												
Dose												
0	6,00	3,25	2,50	3,92	3,70	2,75	1,36	2,60	58,51	96,46	58,47	71,15
0,325	6,25	3,00	3,75	4,33	4,94	1,43	1,56	2,64	109,73	56,29	63,35	76,46
0,65	5,00	4,50	2,00	3,83	1,60	3,46	1,07	2,04	27,11	120,63	46,83	64,86
1,3	5,25	2,75	3,25	3,75	1,60	1,11	1,85	1,52	48,71	44,38	73,61	55,57
2,6	7,50	2,75	4,00	4,75	4,50	2,85	2,29	3,21	75,67	109,39	84,65	89,90
Média	6,00a	3,25b	3,10b		3,27	2,32	1,63		63,95	85,43	65,38	
		F			F				F			
Dose		0,78 ^{ns}			1,01 ^{ns}				1,00 ^{ns}			
Tempo		19,63*			2,74 ^{ns}				1,45 ^{ns}			
Dose*Tempo		1,24 ^{ns}			1,00 ^{ns}				1,80 ^{ns}			
CV (%)		40,03			92,55				62,37			
Profundidade lateral esquerda (0,30-0,60 m)												
Dose												
0	4,25	3,50	2,75	3,50	1,60	1,94	0,75	1,43	26,89	66,25	29,98	41,04
0,325	5,25	3,75	3,75	4,25	2,88	1,37	1,18	1,81	51,10	44,48	45,66	47,08
0,65	3,75	4,00	2,75	3,50	0,65	2,68	0,69	1,34	12,22	89,28	27,05	42,85
1,3	4,75	3,50	3,50	3,92	2,23	1,15	1,07	1,48	57,71	40,42	37,78	45,30
2,6	4,00	3,00	3,50	3,50	2,29	0,60	1,09	1,32	35,97	21,31	43,61	33,63
Média	4,40	3,55	3,25		1,93	1,55	0,95		36,78	52,35	36,82	
		F			F				F			
Dose		0,39 ^{ns}			0,12 ^{ns}				0,22 ^{ns}			
Tempo		2,01 ^{ns}			1,20 ^{ns}				1,10 ^{ns}			
Dose*Tempo		0,21 ^{ns}			0,64 ^{ns}				1,37 ^{ns}			
CV (%)		50,46			135,63				91,28			
Profundidade lateral esquerda (0,60 – 0,90 m)												
Dose												
0	4,00	2,50	2,00	2,83	1,05	1,01	0,34	0,80	14,13	34,72	14,16	21,00
0,325	4,00	2,50	2,25	2,92	1,83	0,58	0,35	0,92	28,57	21,10	14,23	21,30
0,65	1,50	3,25	2,00	2,25	0,14	0,82	0,35	0,43	2,39	30,75	14,28	15,81
1,3	4,00	2,50	3,50	3,33	1,83	0,41	0,70	0,98	34,87	15,97	23,97	24,94
2,6	2,50	2,00	3,00	2,50	0,27	0,23	0,59	0,36	4,96	9,37	19,35	11,23
Média	3,20	2,55	2,55		1,02	0,61	0,46		16,98	22,38	17,20	
		F			F				F			
Dose		1,09 ^{ns}			1,09 ^{ns}				1,20 ^{ns}			
Tempo		1,49 ^{ns}			1,91 ^{ns}				0,65 ^{ns}			
Dose*Tempo		1,55 ^{ns}			1,24 ^{ns}				1,72 ^{ns}			
CV (%)		49,66			134,66				89,81			

Letras minúsculas idênticas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade; ns – não significativo

Tabela 12. Número de diâmetros diferentes (NDF), volume total de raízes (VTR) e área superficial de raízes (ASR) em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60 – 0,90 m lateralidade direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	NDF			Média	VTR (cm ³)			Média	ASR (cm ²)			Média
	Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)			
	150	240	300		150	240	300		150	240	300	
Profundidade lateral direita (0,0 - 0,30 m)												
Dose												
0	5,50	3,50	3,00	4,00	0,83	2,18	1,37	1,46	15,30	80,77	52,81	49,63
0,325	4,75	3,75	3,50	4,00	1,59	2,08	2,01	1,89	44,30	76,42	77,81	66,18
0,65	3,25	4,25	3,75	3,75	1,07	3,58	2,20	2,28	23,98	122,21	80,82	75,67
1,3	4,00	3,00	3,00	3,33	1,37	1,36	1,14	1,29	43,92	54,36	47,75	48,68
2,6	7,00	3,50	3,50	4,67	3,82	1,63	3,13	2,86	81,17	65,43	110,64	85,75
Média	4,90a	3,60b	3,35b		1,74	2,17	1,97		41,73b	79,84a	73,97a	
		F				F				F		
Dose		1,03 ^{ns}				2,06 ^{ns}				1,37 ^{ns}		
Tempo		5,08*				0,39 ^{ns}				3,66*		
Dose*Tempo		1,24 ^{ns}				1,33 ^{ns}				1,01 ^{ns}		
CV (%)		41,81				78,46				73,54		
Profundidade lateral direita (0,30 - 0,60 m)												
Dose												
0	2,50	3,75	3,25	3,17	0,39	1,20	0,62	0,74	7,46	43,98	24,72	25,39
0,325	3,75	4,25	3,00	3,67	1,23	2,15	1,44	1,61	30,42	57,63	53,44	47,16
0,65	2,75	4,50	3,50	3,58	0,21	2,26	1,53	1,33	3,14	66,50	53,24	40,96
1,3	2,75	3,50	3,25	3,17	0,29	1,49	1,36	1,04	8,86	48,82	46,73	34,80
2,6	4,25	3,00	3,00	3,42	0,86	0,73	1,11	0,90	16,35	28,45	41,58	28,79
Média	3,20	3,80	3,20		0,60b	1,57a	1,21a		13,24b	49,08a	43,94a	
		F				F				F		
Dose		0,27 ^{ns}				1,50 ^{ns}				1,50 ^{ns}		
Tempo		1,02 ^{ns}				5,01*				12,01*		
Dose*Tempo		0,69 ^{ns}				0,79 ^{ns}				0,73 ^{ns}		
CV (%)		47,11				87,08				70,59		
Profundidade lateral direita (0,60 - 0,90 m)												
Dose												
0	2,25	2,75	2,50	2,50	0,17	0,61	0,34	0,37	3,58	21,14	12,57	12,43
0,325	2,50	2,75	2,75	2,67	0,69	0,69	0,58	0,65	17,24	24,68	23,68	21,86
0,65	1,50	3,25	3,00	2,58	0,04	1,22	1,06	0,77	1,19	41,45	37,50	26,71
1,3	3,00	2,75	2,00	2,58	0,45	0,61	0,29	0,45	9,52	25,04	11,80	15,45
2,6	4,25	2,00	3,25	3,17	0,80	0,21	0,94	0,65	9,52	6,96	32,98	16,49
Média	2,70	2,70	2,70		0,43	0,67	0,64		8,21b	23,85a	23,70a	
		F				F				F		
Dose		0,49 ^{ns}				0,83 ^{ns}				1,18 ^{ns}		
Tempo		0,00 ^{ns}				0,90 ^{ns}				4,93*		
Dose*Tempo		1,45 ^{ns}				1,43 ^{ns}				1,40 ^{ns}		
CV (%)		48,81				106,99				97,43		

Letras minúsculas idênticas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade; ns – não significativo.

O NDF na LE e LD, semelhantemente ao que ocorreu com as PE e PD, também se mostrou significativo para o tempo de cultivo, onde com o avanço do estágio de desenvolvimento das plantas o NDF se reduziu praticamente para todas as doses de gesso mineral. Possivelmente o que ocorreu é que as raízes tenderam a tornarem-se mais finas nas zonas de crescimento.

Com relação ao VTR, apesar de não ter ocorrido diferença estatística significativa para os dados analisados, houve um maior VTR onde se aplicou gesso mineral, quando comparada com a testemunha, o que evidencia um potencial favorecimento da exploração das raízes, exceto para a dose aplicada de $1,3 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso mineral que apresentou média inferior a testemunha (uma redução de cerca de $0,23 \text{ cm}^3$). É provável que outros fatores não controlados no experimento pelas dificuldades impostas em trabalhos de campo devam ter interferido para que nesse tratamento especificamente, o resultado tenha sido contraditório e equivocado. Alguns autores ressaltam que a falta de significância é um dos problemas encontrados em experimentos de campo com cana-de-açúcar devido ao elevado coeficiente de variação, bem diferente dos encontrados sob condições de laboratório (Marun, 1996; Paulino *et al.*; 2004).

Nas camadas 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m de profundidade, o tempo de cultivo passou a não exercer influência na quantidade de raízes encontradas na LE, explicada mais uma vez, provavelmente, pela grande variabilidade apresentada nestas profundidades. Para as raízes encontradas na LD, a dose de $1,3 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso mineral apresentou um menor VTR em relação a testemunha e todas as outras doses. Para as três profundidades estudadas, a dose de $0,65 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso mineral aos 240 e 300 DAP apresentou as melhores médias, ou seja, os maiores VTR, o que ressalta a importância de se aplicar gesso com a recomendação mínima de 25% da NC. Nesse trabalho, especificamente, mesmo as doses mais elevadas aplicadas parecem ter sido subestimadas.

A ASR localizadas na LE não apresentou diferença estatística significativa para nenhum dos fatores estudados, ou seja, nem a aplicação de gesso mineral e nem o tempo de cultivo influenciaram a ASR, talvez pelo fato do plano de visualização das imagens não ter obtido em três dimensões, as raízes podem ter aparecido sobrepostas, formando um único elemento, sendo contabilizada uma única vez. Nas raízes localizadas na LD, o tempo de cultivo influenciou os resultados nas três profundidades analisadas, sendo encontradas maiores quantidades de raízes na dose de $2,6 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso mineral na camada mais superficial.

4.3.3. Comprimento de raízes com diferentes intervalos de diâmetros em Profundidade Direita (PD) e Profundidade Esquerda (PE)

Para as raízes localizadas na PD da camada 0,0-0,30 m, observou-se que o maior comprimento de raízes encontradas nessa localização apresentou diâmetro inferior a 2,5

mm (Tabela 13), isto indica que as raízes nesta camada são finas, o que facilita a eficiência da planta em buscar água e nutrientes, daí a importância da efetividade das raízes na camada superficial. Houve diferença significativa no comprimento de raízes com o tempo de cultivo, o que era de esperar uma vez que a planta estava em pleno desenvolvimento vegetativo, mas este efeito foi verificado até o comprimento com intervalo de diâmetro entre 2,6-5,0 mm apesar do coeficiente de variação ter sido elevado. Poucas raízes cresceram com diâmetro superior a 10 mm.

Vasconcelos *et al.* (2003), ao utilizarem o método do perfil com quantificação de comprimento pelo SIARCS, encontraram grande variação no comprimento das raízes mais superficiais devido a predominância de crescimento horizontal das raízes, o que acarreta em uma subestimação com relação às raízes mais profundas, que mostram predominância de crescimento vertical. Foi possível observar o mesmo comportamento neste trabalho. Este método possui a vantagem de possibilitar a visualização da direção das raízes podendo demonstrar a arquitetura do sistema radicular.

Ainda em relação ao comprimento das raízes localizadas na PD, na camada intermediária também houve predomínio dos maiores comprimentos detectados com os menores diâmetros. Houve ainda interação significativa no comprimento de raízes com diâmetro no intervalo de 7,6-10 mm, simplesmente pelo fato da dose 0,65 t ha⁻¹ de gesso mineral ser a única a apresentar raízes neste intervalo de diâmetro. Tanto na profundidade 0,3-0,60 e 0,60-0,90 m não houve presença de raízes com diâmetro superior a 7,6 mm. Isto significa que as raízes relativamente finas foram encontradas em camadas mais profundas do perfil do solo, capazes, portanto, de absorver nutrientes em profundidade.

Mesmo trabalhando com dados transformados, Cintra *et al.* (2006) estudando a distribuição das raízes de cana-de-açúcar em sistemas de cultivo com adubação orgânica e *Crotalaria spectabilis* não encontraram efeito significativo de tratamentos entre os comprimentos médios das raízes na área que recebeu adubação orgânica e nem na área em que a cana sucedeu a *Crotalaria spectabilis*.

O comprimento das raízes localizadas na PE com diâmetro inferior a 2,5 mm foi influenciado tanto pelas doses de gesso mineral quanto pelo tempo de cultivo na camada superficial (Tabela 14). Aos 150 e 300 DAP os maiores comprimentos médios foram encontrados para as doses de 0,325 e 1,3 t ha⁻¹ de gesso mineral respectivamente.

Tabela 13. Comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60 – 0,90 m a direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Diâmetro < 2,5 (mm)			Média	Diâmetro 2,6-5,0 (mm)			Média	Diâmetro 5,1-7,5 (mm)			Média	Diâmetro 7,6-10 (mm)			Média	Diâmetro >10 (mm)			Média
	Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)			
	150	240	300		150	240	300		150	240	300		150	240	300		150	240	300	
Profundidade direita (0,0-0,30 m)																				
Dose																				
0	361,08	571,88	515,59	482,85	72,31	19,01	7,70	33,01	2,95	0,00	0,00	0,98	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	365,70	518,49	391,93	425,37	32,60	3,11	3,42	13,04	0,48	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	230,60	625,16	651,51	502,43	107,73	15,06	55,32	59,37	15,31	0,51	0,04	5,29	5,99	0,00	0,00	2,00	0,85	0,00	0,00	0,28
1,3	366,07	424,66	400,51	397,08	15,05	2,88	1,35	6,42	0,06	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	373,19	464,37	391,74	409,77	81,42	16,82	1,87	33,37	3,66	0,06	0,00	1,24	0,06	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	339,33b	520,91a	470,26 ^a		61,82a	11,38b	13,93b		4,49	0,12	0,01		1,22	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00		
		F				F				F			F			F				
Dose		0,69 ^{ns}				2,42 ^{ns}				1,36 ^{ns}			1,16 ^{ns}			1,00 ^{ns}				
Tempo		4,67*				7,57*				3,19 ^{ns}			1,21 ^{ns}			1,00 ^{ns}				
Dose*Tempo		0,89 ^{ns}				0,68 ^{ns}				1,22 ^{ns}			1,16 ^{ns}			1,00 ^{ns}				
CV (%)		43,73				159,03				416,57			702,76			774,60				
Profundidade direita (0,30-0,60 m)																				
Dose																				
0	124,31	299,53	263,39	229,07	13,30	6,05	1,77	7,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00Ba	0,00Aa	0,00Aa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	221,03	444,71	332,43	332,72	15,42	16,96	2,89	11,76	0,25	0,00	0,00	0,08	0,00Ba	0,00Aa	0,00Aa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	97,36	435,29	367,07	299,91	73,40	10,11	1,22	28,24	11,07	0,00	0,00	3,69	1,33Aa	0,00Ab	0,00Aa	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	193,69	321,00	314,75	276,48	6,51	3,32	0,76	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00Ba	0,00Aa	0,00Aa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	38,39	287,78	235,93	187,37	5,67	0,82	1,85	2,78	1,07	0,00	0,00	0,36	0,00Ba	0,00Aa	0,00Aa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	134,96b	357,66a	302,71a		22,86a	7,45b	1,70b		2,48	0,00	0,00		0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F			F			F				
Dose		1,34 ^{ns}				2,01 ^{ns}				1,27 ^{ns}			2,90*			-				
Tempo		9,09*				3,67*				1,67 ^{ns}			2,90 ^{ns}			-				
Dose*Tempo		0,28 ^{ns}				1,62 ^{ns}				1,27 ^{ns}			2,90*			-				
CV (%)		64,91				239,46				598,83			454,87			-				
Profundidade direita (0,60- 0,90 m)																				
Dose																				
0	15,75	143,16	63,53	74,15	8,03	1,84	0,04	3,30	0,34	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	66,20	228,78	176,78	157,25	4,31	0,79	0,84	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	12,46	119,27	148,63	93,45	14,26	0,50	1,13	5,30	1,38	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	96,06	141,21	180,97	139,42	8,84	0,88	1,51	3,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	9,60	84,88	120,65	71,71	1,95	0,00	16,73	6,23	0,10	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	40,02b	143,46a	138,11a		7,48	0,80	4,05		0,36	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F			F			F				
Dose		2,00 ^{ns}				0,28 ^{ns}				0,89 ^{ns}			-			-				
Tempo		7,42*				1,86 ^{ns}				1,71 ^{ns}			-			-				
Dose*Tempo		0,46 ^{ns}				1,08 ^{ns}				0,89 ^{ns}			-			-				
CV (%)		89,21				266,23				592,15			-			-				

Letras maiúsculas idênticas na coluna e minúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade; ns – não significativo.

Tabela 14. Comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,3; 0,3-0,6 e 0,6-0,9 m a esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação

Fator	Diâmetro < 2,5 (mm)			Média	Diâmetro 2,6-5,0 (mm)			Média	Diâmetro 5,1-7,5 (mm)			Média	Diâmetro 7,6-10 (mm)			Média	Diâmetro >10 (mm)			Média
	Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)			
	150	240	300		150	240	300		150	240	300		150	240	300		150	240	300	
Profundidade esquerda (0,0-0,30 m)																				
Dose																				
0	374,66Bc	741,44Aa	458,11Cb	524,74	44,18	7,69	4,85	18,91	0,74	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	665,11Aa	472,72Bc	632,24Ab	590,02	79,49	2,56	6,10	29,38	2,75	0,00	0,00	0,92	0,23	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
0,65	300,73Bc	727,46Aa	533,40Bb	520,53	155,42	14,81	1,69	57,31	7,57	0,00	0,00	2,52	0,73	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
1,3	548,95Ab	392,54Bc	599,07Aa	513,52	36,59	5,29	4,34	15,41	0,92	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	262,66Bc	576,35Ba	534,99Bb	458,00	72,54	6,57	9,03	29,38	1,66	0,00	0,00	0,55	0,24	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
Média	430,42	582,10	551,56		77,64a	7,38b	5,20b		2,73a	0,00b	0,00b		0,24	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F			F				F			F
Dose		0,59 ^{ns}				0,60 ^{ns}				0,77 ^{ns}			0,71 ^{ns}				-			-
Tempo		2,95 ^{ns}				6,28*				3,62*			2,28 ^{ns}				-			-
Dose*Tempo		2,25*				0,53 ^{ns}				0,77 ^{ns}			0,71 ^{ns}				-			-
CV (%)		40,74				244,49				406,87			513,23				-			-
Profundidade esquerda (0,30-0,60 m)																				
Dose																				
0	71,35	404,65	192,86	222,95	8,89	3,69	4,65	5,75	0,88	0,00	0,00	0,29	0,00Ba	0,00Aa	0,00Aa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	328,44	326,30	376,23	343,66	20,18	2,06	3,61	8,62	0,25	0,00	0,00	0,08	0,00Ba	0,00Aa	0,00Aa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	175,80	379,98	236,51	264,10	105,02	1,80	1,79	36,20	20,34	0,00	0,00	6,78	0,96Aa	0,00Ab	0,00Ab	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	268,30	240,54	356,42	288,42	11,17	5,64	3,97	6,93	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00Ba	0,00Aa	0,00Aa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	87,80	290,61	290,92	223,11	14,89	2,29	0,68	5,95	2,97	0,00	0,00	0,99	0,03Ba	0,00Ab	0,00Ab	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	186,34b	328,41a	290,59a		32,03a	3,10b	2,94b		4,89	0,00	0,00		0,20	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F			F				F			F
Dose		1,04 ^{ns}				1,64 ^{ns}				1,14 ^{ns}			2,92*				-			-
Tempo		3,69*				4,41*				1,79 ^{ns}			3,18 ^{ns}				-			-
Dose*Tempo		1,04 ^{ns}				1,83 ^{ns}				1,14 ^{ns}			2,92*				-			-
CV (%)		63,82				281,15				578,70			434,14				-			-
Profundidade esquerda (0,60 – 0,90 m)																				
Dose																				
0	25,14	186,60	55,33	89,02	24,71	1,75	0,49	8,98	0,32	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	55,85	96,87	127,50	93,41	3,49	1,28	0,45	1,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	24,86	132,76	106,70	88,11	11,15	1,90	0,12	4,39	1,87	0,00	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	84,70	101,72	112,23	99,55	6,44	2,59	0,90	3,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	23,59	78,20	116,82	72,87	6,48	0,15	0,24	2,29	0,43	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	42,83b	119,23a	103,71 ^a		10,45a	1,53b	0,44b		0,52	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F			F				F			F
Dose		0,22 ^{ns}				0,65 ^{ns}				0,98 ^{ns}			-				-			-
Tempo		6,15*				3,94*				2,25 ^{ns}			-				-			-
Dose*Tempo		1,14 ^{ns}				0,61 ^{ns}				0,98 ^{ns}			-				-			-
CV (%)		82,17				398,95				516,72			-				-			-

Letras maiúsculas idênticas na coluna e minúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade; ns – não significativo.

Geralmente as raízes em cana-planta são mais eficientes em absorver água e nutrientes, por serem mais novas e estarem concentradas na camada que recebe correção e preparo do solo. Nas profundidades 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m também foi possível observar um maior crescimento de raízes com diâmetro inferior a 2,5 mm com significância estatística em relação ao tempo de cultivo, em que o comprimento de raízes aos 240 e 300 DAP não foi diferente entre si com maiores médias de comprimento no diâmetro inferior a 2,5 mm e menores médias no comprimento com intervalo de diâmetro de 2,6-5,0 mm. Isto mostra que aos 150 DAP, as raízes ainda estavam grossas apesar de serem jovens, provavelmente pela ineficiência da atuação do gesso em intervalos de tempo relativamente curto.

Houve ainda uma interação significativa no comprimento de raízes com diâmetro no intervalo de 7,6 - 10 mm, onde a dose de 1,3 t ha⁻¹ de gesso mineral apresentou uma média de 0,96 mm de comprimento demonstrando ainda haver raízes neste intervalo de diâmetro (Tabela 14).

Da mesma forma que as raízes localizadas na PD, as que se localizaram na PE não apresentaram diâmetro superior a 7,6 mm.

4.3.4. Comprimento de raízes com diferentes intervalos de diâmetros em Lateralidade Direita (LD) e Lateralidade Esquerda (LE)

Da mesma forma que as raízes localizadas na PD e PE, o comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros relativo a sua localização na LD, demonstrou uma maior concentração de raízes nos primeiros 30 cm de solo, sendo estas raízes também consideradas finas, pois apresentaram diâmetro inferior a 2,5 mm.

Em média os tratamentos que receberam doses de gesso mineral apresentaram comprimento de raízes relativamente maior que a testemunha apesar de não ter havido detecção de diferença estatística para aplicação de doses de gesso mineral (Tabela 15). Com relação ao tempo de cultivo, as raízes cresceram mais aos 240 e 300 DAP o que é de se esperar, porém, as maiores médias foram encontradas para os 240 DAP com 261,17 cm.

Tabela 15. Comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60 – 0,90 m na lateralidade direita da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Diâmetro < 2,5 (mm)			Média	Diâmetro 2,6- 5,0 (mm)			Média	Diâmetro 5,1-7,5 (mm)			Média	Diâmetro 7,6-10 (mm)			Média	Diâmetro >10 (mm)			Média
	Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)			
	150	240	300		150	240	300		150	240	300		150	240	300		150	240	300	
Profundidade lateral direita (0,0-0,30 m)																				
Dose																				
0	29,24	262,70	176,98	156,31	4,12Ba	2,07Ab	0,77Bc	2,32	0,21	0,00	0,00	0,07	0,15	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	120,44	250,82	263,67	211,64	3,33Ba	1,60Ab	0,92Bc	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	52,41	376,63	262,32	230,45	4,19Bb	4,43Aa	2,27Ac	3,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	133,73	188,20	169,86	163,93	1,21Ba	0,63Ab	0,38Bc	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	168,73	227,52	345,17	247,14	18,57Aa	0,10Ac	4,05Ab	7,57	0,60	0,00	0,00	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	100,91b	261,17a	243,60a		6,28	1,77	1,68		0,16	0,00	0,00		0,03	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F				F				F		
Dose		0,96 ^{ns}				3,09*				0,88 ^{ns}				0,97 ^{ns}				-		
Tempo		7,60*				5,17*				1,71 ^{ns}				1,18 ^{ns}				-		
Dose*Tempo		0,86 ^{ns}				2,45*				0,88 ^{ns}				0,97 ^{ns}				-		
CV (%)		70,62				159,83				593,01				713,68				-		
Profundidade lateral direita (0,30-0,60 m)																				
Dose																				
0	13,06	142,74	84,00	79,93	1,95	1,15	0,33	1,15	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	72,89	139,54	172,20	128,21	2,87	8,47	1,33	4,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	4,08	188,35	170,41	120,95	1,38	6,06	1,28	2,91	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	25,17	149,02	146,62	106,94	0,09	1,17	1,11	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	31,93	95,46	138,51	88,63	2,67	0,57	0,13	1,12	0,39	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	29,43b	143,02a	142,35a		1,79	3,48	0,84		0,09	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F				F				F		
Dose		1,13 ^{ns}				1,47 ^{ns}				0,92 ^{ns}				-				-		
Tempo		19,06*				2,01 ^{ns}				1,38 ^{ns}				-				-		
Dose*Tempo		0,81 ^{ns}				0,87 ^{ns}				0,92 ^{ns}				-				-		
CV (%)		63,83				207,27				658,84				-				-		
Profundidade lateral direita (0,60 – 0,90 m)																				
Dose																				
0	6,01	66,69	40,47	37,73	1,13	0,23	0,28	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	38,28	79,00	81,01	66,10	1,86	0,03	0,22	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	3,14	128,15	120,09	83,79	0,03	1,08	0,90	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	17,07	87,03	40,90	48,33	1,52	0,23	0,19	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	9,71	20,59	103,68	44,66	2,57	0,08	0,70	1,12	1,43	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	14,84b	76,29a	77,23a		1,42a	0,33b	0,46b		0,29	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F				F				F		
Dose		1,31 ^{ns}				0,28 ^{ns}				1,00 ^{ns}				-				-		
Tempo		8,02*				3,47*				1,00 ^{ns}				-				-		
Dose*Tempo		1,23 ^{ns}				0,99 ^{ns}				1,00 ^{ns}				-				-		
CV (%)		100,57				195,10				774,60				-				-		

Letras maiúsculas idênticas na coluna e minúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade; ns – não significativo.

Aos 150 e 300 DAP a dose de 2,6 t ha⁻¹ de gesso mineral apresentou os maiores comprimentos de raízes no intervalo de diâmetro entre 2,6-5,0 mm (Tabela 15). O comprimento de raízes com diâmetro entre superior a 5,1 e até 10 mm foi verificado apenas aos 150 DAP, o que revela que na fase inicial de desenvolvimento, as raízes são mais grossas e vão se afinando ao longo do tempo de cultivo, isso se não encontrarem condições adversas ao seu desenvolvimento como densidade do solo elevada que causa deformidade na zona de crescimento radicular, principalmente em culturas que possuam sistema radicular pivotante, como descreve Reinert *et al.* (2008).

Na profundidade intermediária, apenas o tempo de cultivo influenciou o crescimento de raiz com diâmetro inferior a 2,5 mm. Mesmo nesta profundidade, as raízes mantiveram a tendência de afinamento, o que é muito válido sob o aspecto de eficiência de absorção. Estas raízes não se mantiveram apenas nesta camada, sendo possível encontrar raízes a 0,90 m de profundidade a uma distância de até 0,70 m da linha da cana. Este crescimento lateral serve de indício para o manejo de práticas agrícolas como sistema de irrigação, sabendo-se que potencialmente as raízes da variedade RB 92579 podem se distanciar bastante da touceira.

Se esse comportamento se estender a cana soca, essa informação pode ser útil para o planejamento de uma segunda calagem com aplicação do calcário aplicado localizadamente em cobertura, bem como possível aplicação de P aplicado localizadamente em cobertura, ao invés de utilização de todo o P em fundação.

Foi interessante verificar que apesar da não influência das doses de gesso diretamente sobre as raízes, os teores de Al trocável no solo nesta camada sofreram uma ligeira redução (ver capítulo II), e apesar da cana ser uma cultura tolerante a teores considerados elevados de Al, seu crescimento não foi prejudicado nem favorecido pelas doses de gesso.

Quanto ao comprimento de raízes a partir de sua localização na LE, apenas o tempo de cultivo nas três camadas mostraram significância significativa. Mais uma vez foi possível observar a presença de raízes a 0,90 m de profundidade e estas com diâmetro considerado ideal para a absorção da planta. Apesar de haver raízes mortas computadas pelo método, as mesmas não interferiram no comprimento com diâmetro superior a 10 mm, ou seja não houve presença de raízes desta magnitude (Tabela 16).

Tabela 16. Comprimento de raízes em diferentes intervalos de diâmetros em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral aos 150, 240 e 300 dias de cultivo de cana-de-açúcar nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m na lateralidade esquerda da linha de plantio, média, análise de variância e coeficiente de variação das variáveis

Fator	Diâmetro < 2,5 (mm)			Média	Diâmetro 2,6- 5,0 (mm)			Média	Diâmetro 5,1- 7,5 (mm)			Média	Diâmetro 7,6-10 (mm)			Média	Diâmetro >10 (mm)			Média
	Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)				Tempo (DAP)			
	150	240	300		150	240	300		150	240	300		150	240	300		150	240	300	
Profundidade lateral esquerda (0,0-0,30 m)																				
Dose																				
0	85,71	299,04	208,83	197,86	17,55	5,63	0,01	7,73	1,93	0,00	0,00	0,64	0,17	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	240,05	195,08	218,16	217,76	22,33	0,15	1,10	7,86	0,63	0,00	0,04	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	41,14	378,64	169,06	196,28	9,75	7,01	0,00	5,59	0,08	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	144,29	152,65	252,48	183,14	3,45	1,25	2,84	2,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	113,73	363,56	276,80	251,36	29,15	1,09	2,13	10,79	0,92	0,00	0,00	0,31	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	124,98b	277,79a	225,07a		16,45a	3,02b	1,22b		0,71	0,01	0,01		0,04	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F				F				F		
Dose		0,59 ^{ns}				0,61 ^{ns}				0,68 ^{ns}				0,91 ^{ns}				-		
Tempo		8,32*				7,44*				2,80 ^{ns}				1,55 ^{ns}				-		
Dose*Tempo		2,11 ^{ns}				0,92 ^{ns}				0,70 ^{ns}				0,91 ^{ns}				-		
CV (%)		57,50				197,83				447,64				623,15				-		
Profundidade lateral esquerda (0,30-0,60 m)																				
Dose																				
0	37,65	202,38	103,48	114,50	10,01	0,75	0,11	3,62	0,37	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	94,59	138,13	155,70	129,47	12,02	2,03	1,14	5,06	1,19	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	21,66	271,27	91,33	128,09	4,01	5,02	0,19	3,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	145,57	126,53	122,99	131,70	3,60	0,85	0,59	1,68	0,12	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	45,46	69,74	151,32	88,84	12,04	0,92	1,09	4,68	0,86	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	68,98b	161,61a	124,97a		8,34a	1,91b	0,62b		0,51	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F				F				F		
Dose		0,49 ^{ns}				0,21 ^{ns}				0,53 ^{ns}				-				-		
Tempo		5,50*				0,27*				2,69 ^{ns}				-				-		
Dose*Tempo		2,12 ^{ns}				0,30 ^{ns}				0,53 ^{ns}				-				-		
CV (%)		75,06				282,11				472,01				-				-		
Profundidade lateral esquerda (0,60 – 0,90 m)																				
Dose																				
0	11,62	105,88	49,27	55,59	6,49	0,90	0,00	2,46	0,28	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,325	32,50	68,15	48,71	49,79	12,32	0,18	0,10	4,20	0,44	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,65	2,73	100,78	49,30	50,94	1,27	0,74	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	57,09	53,71	73,78	61,53	9,08	0,03	1,84	3,65	0,12	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,6	6,74	32,05	57,63	32,14	2,08	0,00	0,56	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	22,14b	72,12a	55,74a		6,25a	0,37b	0,50b		0,17	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
		F				F				F				F				F		
Dose		0,97 ^{ns}				0,74 ^{ns}				0,68 ^{ns}				-				-		
Tempo		8,63*				5,53*				2,66 ^{ns}				-				-		
Dose*Tempo		1,66 ^{ns}				0,73 ^{ns}				0,68 ^{ns}				-				-		
CV (%)		77,57				269,23				474,65				-				-		

Letras minúsculas idênticas não diferem estatisticamente pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade; ns – não significativo

5. CONCLUSÕES

De maneira geral, as doses de gesso mineral utilizadas neste estudo não apresentaram efeito nas variáveis avaliadas em virtude da grande variação tanto para o método do anel volumétrico (massa seca de raiz) como para o método do perfil com quantificação do sistema radicular pelo software SAFIRA;

O método do anel volumétrico não se mostrou adequado operacionalmente para avaliar o crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar;

Houve um crescimento significativo de raízes laterais na cana-de-açúcar, inclusive em profundidade, independente da utilização de gesso mineral.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, V. H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO, A. C.; SOUZA, R. B. de. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Quinta aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 67-78.

ALVAREZ V, V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25 p.27-32. 2000.

ALVAREZ V, V. H. DIAS, L.E.; RIBEIRO, A. C. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. Viçosa: UFV, 131 p. 2001.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. New York, Springer-Verlag, 1979. 194p.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; da COSTA, L. M. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um Latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 125-130, 1997.

CINTRA, F. L. D.; MELLO-IVO, W. M. P.; SILVA, L. V.; LEAL, M. L. S. Distribuição das raízes de cana-de-açúcar em sistemas de cultivo com adubação orgânica e *Crotalaria spectabilis*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2006.

COSTA, M. C. G.; MAZZA, J. A.; VITTI, G. C.; JORGE, L. A. C. de.; Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. São Paulo. V.31, p.1503-1514. 2007.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil Projeto. **Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Carpina, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 21 p., 2005.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE, A. & VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18: 365-371, 1994.

DEMATTE, J. L. I.; Recuperação de manutenção da fertilidade dos solos. Piracicaba, POTAFOS, **Informações Agronômicas**, Piracicaba, SP, n. 111, p. 1-24, 2005 (Encarte Técnico)

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, 212 p.1997.

EMBRAPA. **Sistema Integrado de Análise de raízes e coberturas do solo -SIARCS**. Patente BR INPI N.004276 N.5.519111. Dezembro, 1996. São Carlos: CNPDIA. 1996, CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p

EMBRAPA. JORGE, L. A. C. & RODRIGUES, A. F. O. **Sistema de Análise de Fibras e Raízes – SAFIRA**. Patente BR INSS 1678-0434. Novembro, 2008. Disponível em <http://www.cnpdia.embrapa.br/labimagem>. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

EVANS, H. The root system of the sugarcane. **Emp. J. Exp. Agric.**, v. 3, p. 351-362, 1936.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L. A. C.; BACCHI, O. O. S. Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira. **Scientia Agricola**, v. 56. n. 4, p. 1091- 1100, 1999.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K. Avaliação do sistema radicular por diferentes métodos. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água: pequena propriedade x desenvolvimento sustentável, 10, Florianópolis. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.318-319. 1994.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compactation in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Till.** V. 82, p. 121-145, 2005.

IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Recomendações de Adubação Para o Estado de Pernambuco**. Recife, 2^a aproximação, 2. ed. rev., IPA, 2008. 198p.

JORGE, L.A.C. **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Paulo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, 1996. 57p. (Circular Técnica, 1/96).

KÖPKE, V. Methods for studying root growth. In: Symposium on the soil/root system, 1, Londrina, 1981. **Proceedings**. Londrina, Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, p.303-318, 1981.

MARUN, F. Propriedades físicas e biológicas de um Latossolo Vermelho escuro do arenito Caiuá sob pastagens e culturas anuais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 593-597. 1996.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B. *et al.* Chisel plowing in a oxisol in post harvest of ratoon cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 911-917, 2004.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1805-1816, 2008.

SAEG – **Sistema de análises estatísticas e genéticas**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Manual do usuário, 183 p. (versão 8.0), 1999.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. *et al.* (org). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2(2) 19-36, 2006.

SIMÕES NETO, D. E.; MELO, L. J. O. T. **Lançamentos de novas variedades RB de cana-de-açúcar**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária. 28 p. 2005.

SIMÕES NETO, D. E. Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do estado de Pernambuco. Universidade Federal Rural de Pernambuco (Tese Doutorado), 105 f. 2008.

SOUSA, D. M. G. Acidez do solo e sua correção. In **Fertilidade do Solo**. Viçosa, 1017 p. 2007.

SOUZA, L. DA S.; BORGES, A. L.; CINTRA, F. L. D.; SOUZA, L. D.; IVO, W. M. P. DE M. Perspectivas de uso dos solos dos tabuleiros costeiros. In: Araújo, Q. R. de (org.). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus/UESC, 2002. p.521-579.

TAYLOR, H. M. Methods of studying root system in Field. **Hort Sci.**, v. 21, p. 952-959, 1986.

VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A. Fisiologia do sistema radicular. In Cana-de-açúcar, São Paulo: **Instituto Agrônomo de Campinas**, 882 p.2008.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; BARBOSA, J. C. LANDELL, M.G.A. Aplicação de métodos de amostragem do sistema radicular da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIENCIA DEL SUELO, 14., Pucon, 1999. **Proceedings**. Pucon, Sociedad Latino-americana de la Ciencia del Suelo, 1999. P. 832.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana de açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. 27, p. 849 – 858. 2003.

CAPITULO II

MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIIONS INFLUENCIADA PELA APLICAÇÃO DE GESSO MINERAL EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

ANDRADE, Patrícia Karla Batista. M. Sc. Movimentação de cátions influenciada pela aplicação de gesso mineral em solo cultivado com cana-de-açúcar.

Resumo

A cana-de-açúcar é uma cultura capaz de produzir sob condições edáficas diversas. Na Zona da Mata de Pernambuco, em solos de clima tropical, há uma extensa presença de solos com elevados teores de Al trocável em subsuperfície, o que pode prejudicar o desenvolvimento da cultura apesar de ser considerada tolerante a condições de elevada acidez. Uma alternativa utilizada para reduzir ou até mesmo eliminar os efeitos tóxicos do Al abaixo da camada arável é a gessagem, cuja mobilidade de seus constituintes permite uma melhor eficiência mesmo se aplicado em superfície. Desta forma o objetivo do presente estudo foi avaliar a movimentação de cátions em função da aplicação de diferentes doses de gesso em solo sob cultivo de cana-de-açúcar. Para tanto, foi conduzido um experimento na área da Estação experimental de cana-de-açúcar do Carpina da Universidade Federal Rural de Pernambuco em um Argissolo Amarelo distrocoeso típico. O ensaio consistiu em cinco doses de gesso mineral (0; 0,325; 0,65; 1,3 e 2,6 t ha⁻¹) em quatro blocos distribuídos casualmente. A variedade de cana utilizada foi a RB 92579. Aos 300 dias após a aplicação dos tratamentos, foram coletadas amostras de solos em três profundidades (0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,6-0,90 m) para avaliar o efeito do gesso mineral sob os atributos químicos do solo. A aplicação de gesso mineral não alterou o pH do perfil do solo, bem como não proporcionou acúmulo de Ca em subsuperfície. Houve perda de Mg e K com a utilização de gesso mineral, principalmente nas camadas superficiais. As doses de gesso empregadas não foram suficientes para reduzir os teores de Al e sua saturação em subsuperfície, porém apresentaram elevação nos teores de SO₄²⁻ nesta camada.

Palavras- chave: cálcio, magnésio, potássio

ANDRADE, Patrícia Karla Batista. M. Sc. Cations Movement influenced by application gypsum mineral in soil grown with sugarcane.

Abstract

The sugarcane is a culture capable of producing under different soil conditions. In the Zona da Mata in Pernambuco, in tropical soils there is a extensive presence of Ultisols with high exchangeable Al levels in the subsurface, which may hinder the development of culture is considered to be tolerant to conditions of high acidity. An alternative used to reduce or even eliminate the toxic effects of Al below the topsoil is gypsum, which allows mobility of their constituents better efficiency even if applied to the surface. Thus the objective of this study was to evaluate the movement of cations according to the application of different rates of gypsum in the soil under cultivation of sugarcane. For this, an experiment was conducted in the Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina in Universidade Federal Rural de Pernambuco in a Yellow Ultisol. The test consisted of five doses of mineral gypsum (0; 0,325; 0,65; 1,3 and 2,6 t ha⁻¹) randomly distributed in four blocks. The sugarcane variety RB 92579 was used. At 300 days after treatment application, soil samples were collected at three depths (0,0 - 0,30; 0,30 - 0,60 and 0,60 - 0,90 m) to evaluate the effect of gypsum on mineral the soil chemical properties. The application of gypsum mineral did not change the pH of the soil profile, and provided no accumulation of Ca in the subsurface. There was a loss of Mg and K with the use of gypsum mineral, especially in the surface layers. The doses used were not enough gypsum to reduce the levels of Al and its saturation in the subsurface, but showed elevated levels of SO₄²⁻ in this layer.

Key words: calcium, magnesium, potassium

1. INTRODUÇÃO

O solo é o principal ambiente para o crescimento e estabelecimento das culturas, como a cana-de-açúcar. No entanto, muitos fatores diretamente relacionados ao solo podem influenciar sua produtividade, como por exemplo, suas condições de fertilidade, que são essenciais e permitem a sustentabilidade da cultura ao longo dos anos (Rossetto, 2004), impactando na longevidade do canavial, que muitas vezes é mais importante do que a produtividade.

A maioria dos solos brasileiros apresenta limitações ao estabelecimento e desenvolvimento dos sistemas de produção de grande parte das culturas, em decorrência dos efeitos da acidez. Esta acidez pode estar associada a presença de Al e Mn em concentrações tóxicas e de baixos teores de cátions de caráter básico, como Ca e Mg (Rossetto *et al.*, 2004).

A acidez dos solos também pode ocorrer devido a processos que favorecem a remoção de elementos básicos, provocando baixas concentrações desses elementos, importantes para as plantas. Esses processos podem ocorrer por cultivos sucessivos que removem as bases da superfície dos colóides e da solução do solo, no entanto, o principal processo de retirada desses elementos do perfil do solo é a lixiviação, através de água de percolação, que substitui as bases por H^+ , que por sua vez atua sobre o $Al(OH)_3$ e libera Al intensificando a acidificação (Abichequer, 2003).

A calagem é a prática mais eficiente para elevar os teores de Ca e reduzir os teores de Al trocável nos solos, no entanto seu efeito de correção se restringe a camada arável, não atendendo à correção da acidez no subsolo, que por sua vez, depende da lixiviação de sais (Caíres *et al.*, 2004).

A presença de teores altos de Al ou baixos de Ca em subsuperfície podem ser fatores limitantes ao aprofundamento do sistema radicular das culturas. Segundo Caíres *et al.* (2004), uma alternativa na melhoria da distribuição relativa de raízes em profundidade pode ser observada quando há aplicação de gesso em superfície ou incorporado.

No Brasil, grande parte das pesquisas realizadas com a utilização de gesso trata de resultados obtidos com a gipsita secundária de origem industrial, gerada como subproduto da fabricação de ácido fosfórico, que recebe o nome de fosfogesso ou simplesmente gesso agrícola (Wadt, 2000; Caíres *et al.*, 2002; Saldanha *et al.*, 2007).

Em outros países, algumas alternativas de gesso-resíduo são testadas, como no caso do “coal-gypsum”, proveniente da dessulfurização de gases combustíveis; o “red-gypsum”, da fabricação de dióxido de titânio; “fluorgypsum”, do ácido hidrofúorídrico (Amezqueta *et al.*, 2005).

Por outro lado, no Brasil, são raros os trabalhos com o uso do gesso mineral oriundo de jazidas do mineral gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), onde o estado de Pernambuco possui uma grande reserva deste mineral encontrado em depósitos sedimentares situado no Sertão do Araripe (Saldanha *et al.*, 2007; Rocha *et al.*, 2008). Tanto o gesso mineral quanto os resíduos da indústria têm, predominantemente, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em sua composição e são simplesmente chamados de gesso.

O gesso é considerado um importante insumo para a agricultura como alternativa para a redução da acidez trocável em subsuperfície, por sua maior mobilidade no perfil, atingindo profundidades além da camada arável (Quaggio, 2000). Caíres *et al.* (2004) avaliando as alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso em solo se textura média, observaram que houve um aumento na produção do milho em decorrência do aumento da saturação por Ca ao longo do perfil do solo, sendo uma estratégia eficiente para maximizar a produção do milho.

De acordo com Rocha *et al.* (2008), o efeito do gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar, relaciona-se com o aumento no teor de Ca em subsuperfície com conseqüente incremento de raiz nessa zona de prospecção radicular. Esse aumento de Ca foi atribuído a mobilização desse elemento na forma de CaSO_4^0 , o que foi determinante para a melhoria do ambiente radicular em profundidade.

O efeito da aplicação de gesso nas propriedades químicas do solo depende fundamentalmente das características eletroquímicas desses solos. Segundo Wadt (2000), realizando trabalho que avaliou as alterações eletroquímicas de um Latossolo Vermelho-amarelo tratado com carbonato e sulfato de Ca, conclui que havendo predomínio de superfícies com potencial eletronegativo, e elevados teores de Al trocável, a principal reação do sulfato passa a ser a de precipitação com o Al, reduzindo assim seus teores nas camadas subsuperficiais, Desta forma o presente estudo teve por objetivo avaliar a movimentação de cátions em profundidade em função da aplicação de diferentes doses de gesso em solo sob cultivo de cana-de-açúcar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo no período de fevereiro a dezembro de 2010 na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada na Zona da Mata Norte Pernambucana, especificamente no município do Carpina. A vegetação é formada por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, próprias das áreas agrestes. O clima é do tipo Tropical Chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro (CPRM, 2005).

Anteriormente a implantação do ensaio, foram coletadas cinco amostras de solo aleatoriamente nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m. Estas amostras simples foram homogeneizadas formando uma amostra composta para cada profundidade para a caracterização química e física da área.

O solo em que foi desenvolvido o ensaio foi classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso típico conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo - SiBCS (Embrapa, 2006). A caracterização química e física do solo foi realizada em amostras retiradas nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m e postas para secar ao ar, destorroadas, peneiradas em peneira com malha de 2 mm (TFSA) e acondicionadas em sacos plásticos vedados e identificados para posteriores análises.

As características químicas do solo foram determinadas pelo pH (H₂O); pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹); Ca²⁺; Mg²⁺; Na⁺; K⁺; Al³⁺; (H+Al); COT (carbono orgânico total); P remanescente (P-rem); S-disponível (S) e capacidade máxima de adsorção de sulfato (CMAS) além dos micronutrientes: Fe; Cu; Mn e Zn (Tabela 1). O Ca²⁺, Mg²⁺ e o Al³⁺ foram extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹ e dosados por titulometria, o P, Na⁺ e o K⁺ extraídos por Mehlich-1; o (H+Al) por Ca(CH₃COO) 2H₂O 0,5 mol L⁻¹. O Na⁺ e o K⁺ foram dosados por fotometria de chama, o P por colorimetria, conforme Embrapa (1997), o (H+Al) por titulometria; o COT por combustão úmida com K₂Cr₂O₇ (Embrapa, 1997).

O P-rem consiste na concentração de P presente na solução de equilíbrio após um período de agitação de 1 hora da TFSA (terra fina seca ao ar) com uma solução de

CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação de 1:10, sendo determinado por colorimetria de acordo com Alvarez V. *et al.* (2000).

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m

Atributo	Profundidade (m)		
	0,0-0,3	0,3-0,6	0,6-0,9
pH água (1:2,5)	5,49	5,14	4,83
pH CaCl ₂ (1:2,5)	4,48	4,25	4,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,90	1,20	0,10
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,96	1,23	0,90
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,22	0,12	0,04
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,20	0,12	0,07
P (mg dm ⁻³)	24,12	15,56	4,50
P-Rem (mg L ⁻¹) ¹	35,57	27,28	26,74
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,35	0,81	1,26
(H+Al) (cmol _c dm ⁻³)	8,67	9,44	8,50
H (cmol _c dm ⁻³)	8,32	8,63	7,24
COT (g kg ⁻¹) ²	16,32	13,64	9,74
MO (%) ³	2,81	2,35	1,68
S (mg dm ⁻³)	0,88	0,63	1,07
CMAS (mg cm ⁻³) ⁴	0,016	-0,044	-0,046
Fe (mg dm ⁻³)	105,6	110,5	106,9
Zn (mg dm ⁻³)	1,77	0,70	0,37
Cu (mg dm ⁻³)	0,51	0,40	0,39
Mn (mg dm ⁻³)	11,62	5,65	2,97
CTC pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³) ⁵	12,95	12,11	9,61
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³) ⁶	4,63	3,48	2,37
SB (cmol _c dm ⁻³) ⁷	4,28	2,67	1,11
V (%) ⁸	33,06	22,05	11,55
m (%) ⁹	7,56	23,28	53,16
PST (%) ¹⁰	1,54	0,99	0,73

¹ Fósforo remanescente; ² Carbono orgânico total; ³ Matéria orgânica; ⁴ Capacidade máxima de adsorção de sulfato; ⁵ Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; ⁶ Capacidade de troca de cátions; ⁷ Soma de bases; ⁸ Saturação por bases; ⁹ Saturação por alumínio; ¹⁰ Porcentagem de sódio trocável

Para a determinação de SO_4^{2-} utilizou-se CaCl_2 10 mmol L^{-1} e $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ contendo 500 mg L^{-1} de P em água como extrator, podendo-se obter tanto a porção solúvel quanto parte do adsorvido de SO_4^{2-} da TFSA. Após a extração, o S foi dosado por turbidimetria a partir da densidade ótica da solução, segundo Alvarez V. *et al.* (2001).

Para a avaliação da CMAS, as amostras de cada profundidade receberam doses de S baseadas no valor de P-rem (obtenção do espaço amostral para a escolha das concentrações crescentes de S). As amostras de TFSA das três profundidades foram saturadas com soluções de concentrações crescentes de S em CaCl_2 10 mmol L^{-1} , após 24 horas de agitação, as amostras foram centrifugadas e a concentração de S no sobrenadante foi determinada por turbidimetria, segundo metodologia de Alvarez V. *et al.* (2001).

O S adsorvido foi calculado pela diferença entre as quantidades de S adicionadas e as quantidades que ficaram em equilíbrio/sobrenadante, obtendo-se a curva de adsorção. Os dados foram submetidos a isoterma de Langmuir para os cálculos das constantes relacionadas a adsorção.

Os micronutrientes foram dosados por espectrometria de absorção atômica, segundo metodologia da Embrapa (1997). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da UFRPE e no Laboratório de Solos e Adubação da Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina.

A caracterização física foi realizada com a análise granulométrica pelo método da pipeta para definição da classe textural do solo, densidade do solo pelo método do anel volumétrico, obtendo-se amostras indeformadas, densidade de partículas pelo método do balão volumétrico, capacidade de campo e ponto de murcha permanente através da câmara de Richards, além da porosidade e condutividade hidráulica (Tabela 2). Todas as análises físicas seguiram a metodologia descrita pela Embrapa (1997) e foram realizadas no Laboratório de Solos e Adubação da EECAC.

Tabela 2. Características físicas do solo da área experimental nas profundidades de 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m

Atributo	Profundidade (m)		
	0,0-0,3	0,3-0,6	0,6-0,9
Areia (g kg ⁻¹)	704	614	624
Silte (g kg ⁻¹)	30	50	40
Argila (g kg ⁻¹)	266	336	336
Classe textural	Franco- argilo-arenosa	Franco- argilo-arenosa	Franco-argilo-arenosa
Ds (g.cm ⁻³) ¹	1,46	1,37	1,35
Dp (g.cm ⁻³) ²	2,56	2,50	2,53
Porosidade (%) ³	42,97	45,20	46,64
CC (Mg Mg ⁻¹) ⁴	0,143	0,148	0,147
PMP (Mg Mg ⁻¹) ⁵	0,075	0,088	0,099
K ₀ (mm h ⁻¹) ⁶	200	83,7	13,2

¹ Densidade do solo; ² Densidade da partícula; ³ Porosidade total; ⁴ Capacidade de campo; ⁵ Ponto de murcha permanente; ⁶ Condutividade hidráulica.

2.2. Caracterização pluvial

Durante o período de condução do experimento, foi registrada a pluviometria mensal, a temperatura e a umidade relativa média, observando-se que entre a aplicação dos tratamentos e a última coleta de dados o acumulado de precipitação foi de 1.021,3 mm (Figura 1).

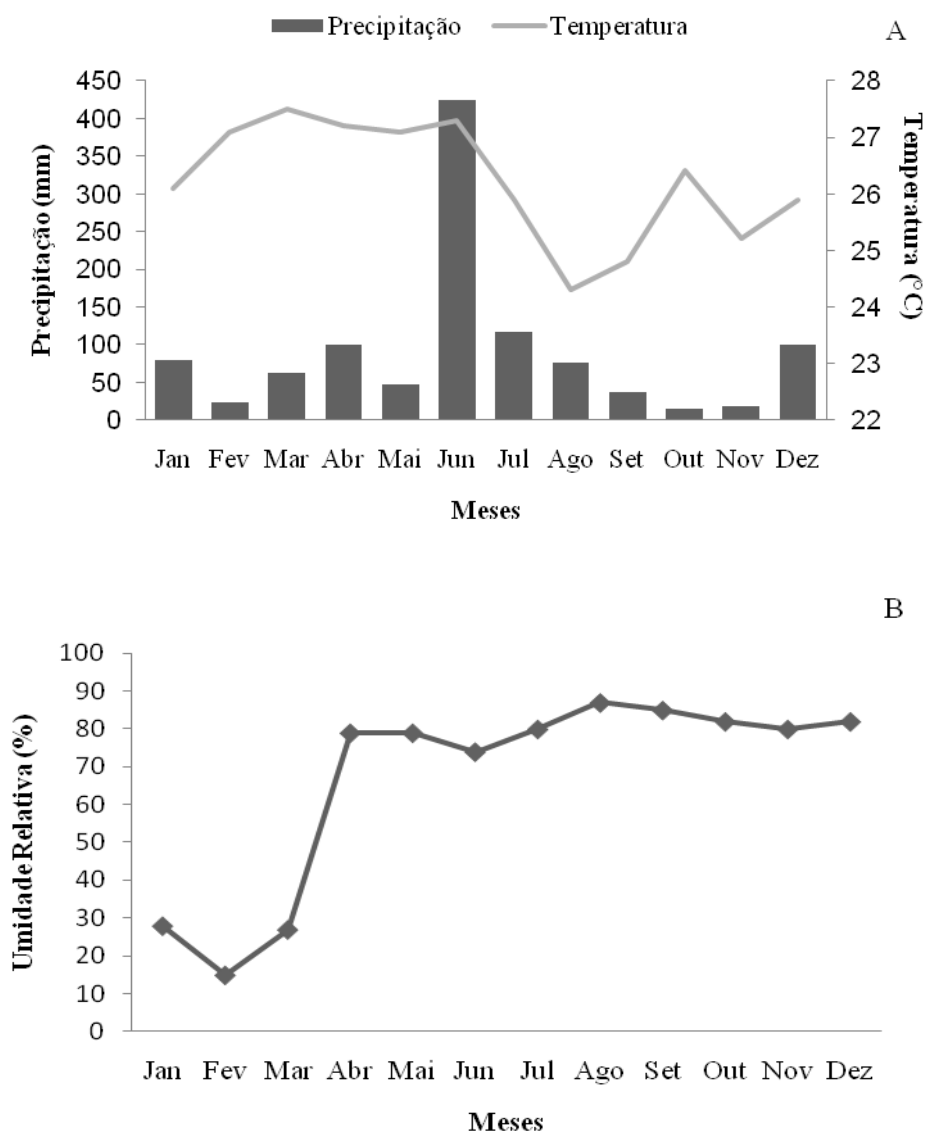


Figura 1. Dados de pluviometria mensal e temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante a condução do ensaio experimental.

2.3. Manejo experimental

As análises químicas e físicas que caracterizaram a área experimental serviram de subsídio para o cálculo da necessidade de calagem e gessagem. A área foi manejada para receber o plantio com uma gradagem e posterior sulcagem.

No ensaio, o delineamento experimental empregado foi disposto em blocos casualizados, sendo os tratamentos constituídos de 5 doses de gesso mineral e 4 repetições perfazendo um total de 20 parcelas experimentais.

As parcelas experimentais foram compostas de 7 sulcos espaçados entre si de 1,4 m e com 10 m de comprimento, tendo a parcela uma área total de 84 m², com uma área útil que correspondeu a 44,80 m² (Figura 2), quando foram desprezados para efeito de bordadura 1,0 m de cada linha, reduzindo assim a interferência de fatores externos como luminosidade, influência dos ventos, dentre outros.

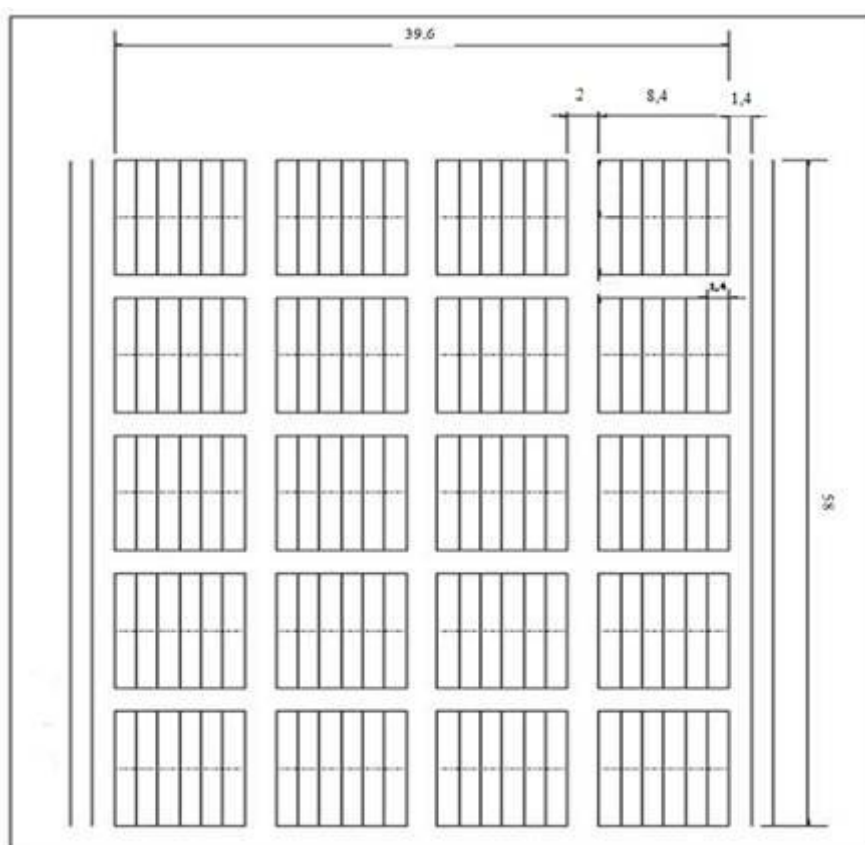


Figura 2. Métrica e distribuição das parcelas da área experimental.

As doses de gesso foram definidas de acordo com a necessidade de calagem (NC), que conforme Alvarez V. *et al.* (1999) a necessidade de gesso (NG) deve corresponder a 25% da NC da camada que se deseja corrigir, que no caso deste trabalho correspondeu a camada 0,60-0,90 m de profundidade. A NC foi calculada pelo método da neutralização do Al trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg de acordo com o Manual de Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008) para a camada de 0,60 - 0,90 m. Esta camada foi escolhida de acordo com o teor de Al apresentado na caracterização (Tabela 1). Neste estudo se utilizou os seguintes níveis de NG: 0 (zero); 12,5; 25; 50 e 100% da NC da camada 0,60 – 0,90 m de profundidade. Desta forma, as doses de gesso mineral aplicadas foram de 0 (zero); 0,325; 0,65; 1,3 e 2,6 t ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Doses de gesso aplicadas no experimento em função da necessidade de calagem e gessagem da área

Dose	Necessidade de Calagem	Quantidade de gesso
	-----%-----	-----t ha ⁻¹ -----
1	0	0
2	12,5	0,325
3	25	0,65
4	50	1,3
5	100	2,6

O gesso mineral foi aplicado no fundo do sulco de plantio com 0,30 m de profundidade, mantendo-se o solo em repouso por um período de aproximadamente 20 dias para melhor incorporação do gesso antes da adubação e do plantio da cana-de-açúcar (Figura 3). Não foi necessário aplicar calcário.



Figura 3. Sulco de plantio após a aplicação do gesso mineral.

A adubação mineral foi realizada de acordo com Simões Neto (2008). Os adubos foram aplicados no fundo do sulco de plantio de uma só vez utilizando-se como fertilizantes a ureia, o superfosfato triplo e o KCl, como fontes de N, P e K respectivamente. As quantidades utilizadas foram 196 kg ha^{-1} de ureia, 147 kg ha^{-1} de superfosfato triplo e 100 kg ha^{-1} de KCl, fornecendo assim 90 kg ha^{-1} de N, 60 kg ha^{-1} P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O .

A variedade de cana-de-açúcar utilizada neste experimento foi a RB 92579, por ser considerada de maturação média e por apresentar boa capacidade de adaptação as condições ambientais e boa produtividade (Simões Neto *et al.*, 2005). O plantio foi realizado manualmente, após 20 dias da aplicação das doses de gesso e conseqüente diferenciação dos tratamentos.

As plantas de cana-de-açúcar utilizadas como semente foram cortadas em colmos e estes foram repartidos no campo, deixando-se no mínimo três gemas por cada rebolo, plantados em fileira simples (ponta-cabeça), sendo o sulco fechado logo em seguida. Durante o período do experimento os tratos culturais foram realizados com capinas manuais, uma vez que a utilização de herbicida poderia interferir nos teores de S do solo.

2.4. Amostragem do solo e protocolo das análises químicas após a aplicação das doses de gesso

Após 300 dias do emprego das doses de gesso, em trincheiras abertas para avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar, foram coletadas amostras de solo para realização das análises químicas, com o auxílio de um anel volumétrico feito de aço

inox, nas profundidades de 0,0-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m na porção inferior direita do terceiro quadrante da esquerda para a direita da malha nos quadrantes, correspondentes às posições 3, 7 e 11, respectivamente da malha (Figura 4).



Figura 4. Perfil de solo com delimitação da malha de quadrantes estabelecidos e posições de coleta das amostras de solo para realização das análises químicas nas profundidades 0,0-0,30 m (3); 0,30-0,60 m (7) e 0,60-0,90 m (11).

As amostras de solo foram identificadas, acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o Laboratório, onde foram postas para secar em estufa de circulação fechada de ar a uma temperatura de 105 °C por 72 h. Posteriormente as amostras foram destorroadas, passadas em peneira com malha de 2 mm e acondicionadas em sacos plásticos para posteriores análises químicas.

As análises químicas do solo realizadas foram: pH (H₂O - 1:2,5); pH (CaCl₂ 0,01mol L⁻¹ - 1:2,5); Ca²⁺; Mg²⁺; Na⁺; K⁺; Al³⁺; (H+Al); C; P e S-SO₄²⁻. O pH (tanto em água como em CaCl₂) foi obtido por potenciometria, o Ca²⁺, Mg²⁺ e o Al³⁺ foram extraídos utilizando-se KCl 1,0 mol L⁻¹ e dosados por titulometria conforme Embrapa (1997). Para P, Na⁺ e K⁺ utilizou-se Mehlich-1 como extrator, sendo o Na⁺ e o K⁺ obtidos por fotometria de chama e o P por colorimetria, conforme Embrapa (1997).

O (H+Al) foi extraído por Ca(CH₃COO) 2H₂O a 0,5 mol L⁻¹; e determinado por titulometria; o C foi obtido por combustão úmida em oxidação com K₂Cr₂O₇, sendo realizada a titulação com NaOH 0,0125 mol L⁻¹ pelo método de Walkley-Black modificado, ambos conforme metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

Para determinar o S disponível utilizou-se o Ca(H₂PO₄)₂ contendo 500 mg L⁻¹ de P em água como extrator, podendo-se obter tanto a porção solúvel quanto parte do

adsorvido de S da terra fina seca em estufa. As amostras foram agitadas em agitador horizontal por um período de 45 minutos e depois filtradas em papel de filtro, obtendo-se um extrato límpido e incolor. Após este processo, retirou-se uma alíquota do extrato para a determinação do S através da turbidimetria, que consiste na obtenção de concentrações do elemento através da densidade ótica da solução, sendo realizada em colorímetro, segundo metodologia descrita por Alvarez V *et al.* (2001).

De acordo com os valores obtidos nas análises foram calculadas a soma de bases (SB), a saturação por bases (V) e a saturação por Al (m).

2.5. Análise estatística

Os dados das análises químicas foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando os efeitos foram significativos, foram realizadas regressões em que os parâmetros foram testados até 10% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SAEG (SAEG, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH do solo não se alterou com o emprego do gesso mineral (Figura 5). Entretanto, houve uma ligeira redução dos valores de pH após o cultivo, mas esta acidificação provavelmente se deve a absorção de cátions básicos pelas raízes da cana-de-açúcar, que pode acidificar a rizosfera.

Este fato corrobora os estudos sobre a ineficiência do gesso mineral em alterar o pH do solo (Nascimento, 2003). Ensaio de campo e em laboratório têm demonstrado que, caso haja aumento do pH do solo, a magnitude desse aumento é da ordem de 0,2 a 0,3 unidades (Nascimento, 2003). Pode-se inferir que existirá alteração de pH em função de duas reações básicas que ocorrem entre o gesso e a superfície dos colóides do solo. Na primeira, o Ca^{2+} desloca Al^{3+} (cuja hidrólise produz H^+) e na segunda, o SO_4^{2-} desloca OH^- pela troca de ligantes. O pH resultante depende da extensão dessas duas reações.

Sun *et al.* (2000), estudando o efeito da cal virgem e do gesso na redução da acidez e lixiviação de nutrientes em solos ácidos, perceberam que o uso isolado do

gesso é ineficiente em corrigir a acidez ativa. Seu ensaio foi realizado em colunas de PVC, e a sensibilidade a resposta da elevação do pH foi obtida com o uso do calcário e da associação calcário/gesso em relação ao controle e ao gesso isolado.

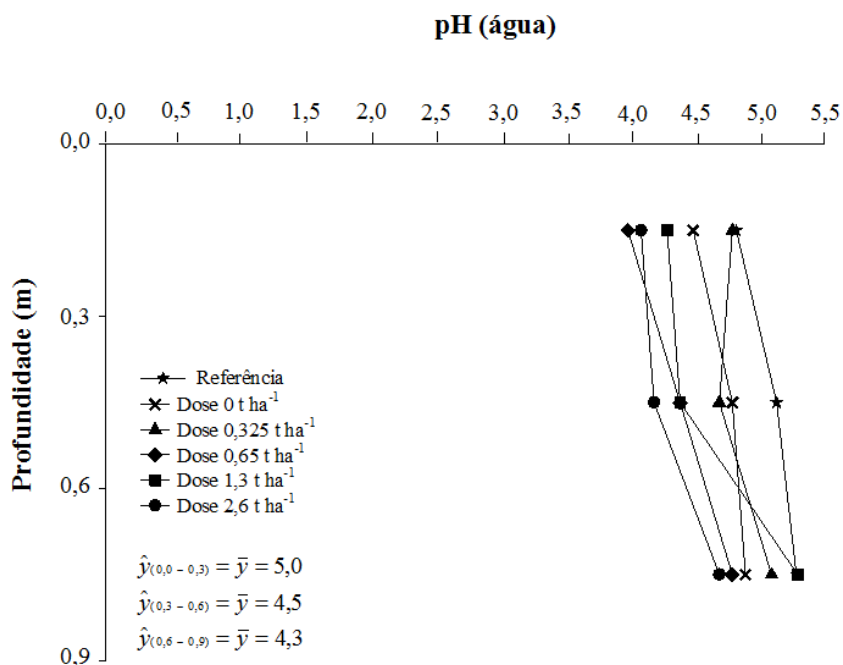


Figura 5. Variação do pH em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.

No trabalho de Rocha *et al.* (2008) também não foi observadas diferenças significativas para o pH do solo entre os tratamentos, mesmo com a utilização de calcário na camada 0,0-0,20 m de profundidade, possivelmente devido ao elevado coeficiente de variação observado no ensaio, que impossibilitou a avaliação adequada do efeito do gesso, ou ainda pelo curto período de tempo em que o solo foi submetido ao insumo, que foi de cerca de 30 dias, não havendo tempo suficiente para a correção da acidez.

De acordo com o comportamento observado Caíres *et al.* (2003), o aumento de pH em resposta a aplicação de gesso observado em seu trabalho, principalmente nas camadas subsuperficiais, foi explicado pelo mecanismo de reação de troca de ligantes, na qual a OH⁻ é substituída pelo SO₄²⁻, principalmente na superfície dos óxidos

hidratados de Fe e Al, e seguida pela precipitação do Al^{3+} como $\text{Al}(\text{OH})_3$ na solução do solo.

A aplicação das doses de gesso influenciou os teores de Ca na camada superficial, porém não interferiu nos teores de Ca em subsuperfície (Figura 6). Isto indica que houve movimentação de Ca da camada 0,0 a 0,30 m de profundidade para camadas mais profundas, provavelmente devido a ocorrência da formação de par-iônico com o ânion SO_4^{2-} .

Como o gesso mineral é composto por $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, na presença de água, ele se dissocia e libera para a solução do solo o íon Ca^{2+} que nesta forma fica prontamente disponível para as plantas, em que parte deste elemento pode ser absorvida e parte pode ser carregada ou lixiviada no solo. Este comportamento também foi observado no trabalho de Maria *et al.* (1993), que mostraram haver uma maior movimentação do Ca^{2+} na menor profundidade do solo.

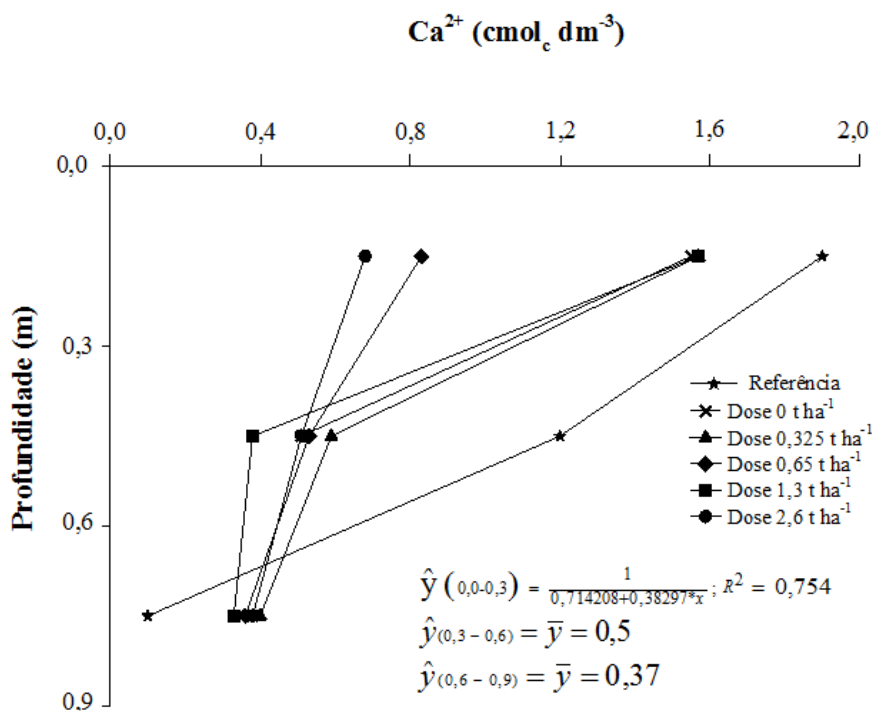


Figura 6. Variação dos teores de cálcio em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.

A formação de pares-iônicos neutros pode ocorrer através da junção do Ca com o SO_4^{2-} gerando uma carga zero (CaSO_4^0), que não são atraídas pelas cargas de superfícies dos minerais ou derivadas de compostos orgânicos fazendo com que em função desta neutralidade haja uma grande mobilidade deste par-iônico ao longo do perfil do solo podendo ocorrer não apenas com o Ca mas também com outros cátions do solo como o K e o Mg.

Maria *et al.* (1993), trabalhando com o efeito da adição de fontes de Ca no movimento de cátions em coluna de solo, observaram que os tratamentos que receberam gesso isolado e gesso com calcário apresentaram perdas significativas de cátions e que essas perdas foram mais severas em solos de textura média em comparação com os de textura argilosa, o que corrobora com os dados encontrados neste trabalho, cujo ensaio ocorreu em solo de textura franco-argilo-arenosa (Tabela 2).

Comparando-se os teores de Ca antes e após o cultivo de cana-de-açúcar (Tabela 1 e Figura 6), foi possível observar que houve uma redução do teor de Ca de cerca de 18% após o cultivo, indicando ter havido absorção deste elemento para a cultura ou pode ter havido concomitantemente perdas por lixiviação, ou seja, este elemento foi absorvido pelas plantas e/ou lixiviado no solo. Mesmo com o aumento das doses de gesso, não foram observados teores de Ca superiores aos encontrados antes da aplicação do gesso (Tabela 1), confirmando a movimentação do Ca.

A maior dose de gesso ($2,6 \text{ t ha}^{-1}$) apresentou o menor teor de Ca no solo na camada superficial (Figura 6), fortalecendo a hipótese de formação de par-iônico e, conseqüentemente, sua lixiviação. Esta movimentação pode ser explicada ainda em função da textura do solo, por se tratar de um solo de textura média (Tabela 2).

Adicionalmente, este solo devido as suas características químicas e físicas (Tabela 1 e 2), apresenta baixa capacidade máxima de adsorção de sulfato (CMAS), fazendo com que ele fique livre na solução do solo ligando-se aos cátions básicos, formando assim pares iônicos de carga neutra, favorecendo a lixiviação.

Na profundidade 0,30-0,60 m não foram observadas diferenças entre os tratamentos. O Ca aparentemente continuou a se movimentar ao longo do perfil, não sendo possível observar seu acréscimo nesta camada, uma vez que seus teores foram inferiores aos encontrados antes do cultivo da cana-de-açúcar (Tabela 1 e Figura 6).

Observou-se que mesmo para o tratamento onde não foi adicionado gesso, o teor de Ca encontrado não apresentou diferença em relação ao tratamento com aplicação da maior dose de gesso ($2,6 \text{ t ha}^{-1}$) (Figura 6), demonstrando não ter havido influência das doses de gesso sobre o teor de Ca. Provavelmente a movimentação deste Ca também deva ter ocorrido em associação com o SO_4^{2-} , mesmo quando não se aplicou gesso, pois o solo não apresenta uma forte adsorção de sulfato (Tabela 1), além da absorção pela cultura, porque as raízes efetivas da cana-de-açúcar são capazes de explorar profundidades superiores a camada arável (Vasconcelos *et al.*, 2003).

Também não houve influência dos tratamentos nos teores de Ca na profundidade 0,60 a 0,90 m (Figura 6). Observou-se que o Ca continuou se movimentando ao longo do perfil, porém houve um enriquecimento de Ca para todas as doses de gesso aplicadas de aproximadamente 38%, em relação aos teores antes do cultivo (Tabela 1 e Figura 6).

Nessa profundidade também há relatos na literatura que identificaram efetividade de raízes de cana-de-açúcar (Vasconcelos *et al.*, 2003; Reinert *et al.*, 2008), que pode ter contribuído para não se obter diferenças no enriquecimento de Ca em subsuperfície com a aplicação de diferentes doses de gesso, porque a maior quantidade de Ca disponível proporcionada pela dose mais elevada de gesso, provavelmente foi absorvida por raízes efetivas nessa região, reduzindo a capacidade de detectar-se teores diferentes de Ca entre a maior e menor dose aplicada na camada superficial. Este comportamento discorda dos resultados obtidos em diversas pesquisas (Garrido *et al.*, 2003; Ritchey *et al.*, 2004 e Rocha *et al.*, 2008) que constataram movimento descendente de Ca para os tratamentos com gesso aumentando seu teor em profundidade.

Outro aspecto que deve ser considerado na explicação de não se ter obtido enriquecimento significativo desse elemento em profundidade, pode estar relacionado as condições ambientais, principalmente a precipitação pluviométrica, uma vez que durante o período de condução do experimento, no mês de junho a precipitação foi de 423,6 mm (Figura 1A), sendo esta bastante elevada para um único mês, podendo ter favorecido na aceleração da lixiviação dos cátions do solo, por se tratar de um solo de textura média (Tabela 2) e bastante profundo.

Para o Mg, na camada de 0,0 - 0,30 m de profundidade também houve movimentação descendente em função da aplicação das doses de gesso mineral (Figura 7). Esse comportamento não é considerado ideal uma vez que a maior efetividade das raízes das culturas se encontra nesta camada, e com essa movimentação, as plantas

podem apresentar algum tipo de deficiência pela menor disponibilidade do nutriente (Vasconcelos *et al.*, 2003).

O arraste de Mg foi relativamente grande em comparação com o teor inicial do solo sem a aplicação das doses de gesso antes do cultivo (Tabela 1 e Figura 7), semelhantemente ao ocorrido com o Ca, provavelmente também pela formação de par-iônico neutro ($MgSO_4^0$) que fica livre no solo e é facilmente transportado para as camadas mais profundas.

De acordo com Nascimento (2003), solos de textura arenosa, com baixa CTC e pequena capacidade de adsorver sulfato, possuem um maior potencial em movimentar as bases do que solos de textura argilosa. Desta forma o cuidado com a recomendação de doses elevadas de gesso deve ser ainda maior, fazendo-se necessário encontrar uma dose de gesso mineral ideal para reduzir estas perdas.

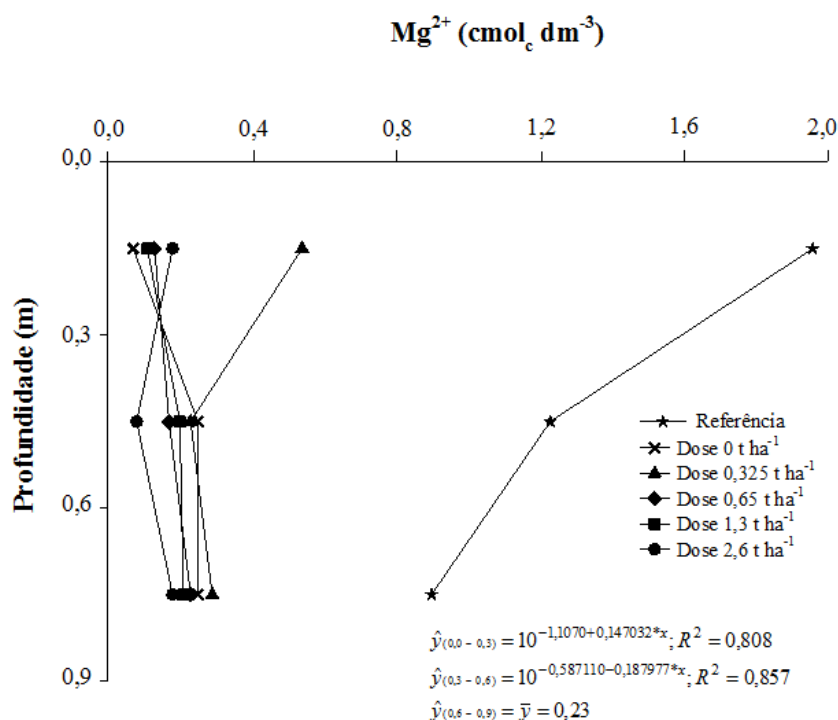


Figura 7. Variação dos teores de magnésio em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.

É preciso também considerar que os teores iniciais de Mg no solo antes do cultivo eram bastante elevados, inclusive superiores aos de Ca (Tabela 1). A hipótese é que

como não havia SO_4^{2-} suficiente para a formação de pares iônicos neutros, a lixiviação de Mg era mínima, com a aplicação de gesso, a adição de SO_4^{2-} foi significativa, elevando a lixiviação de Mg. Assim, a recomendação de gesso deve considerar os teores iniciais de Mg do solo, podendo ser mais elevada quando menor for os teores iniciais desse nutriente. Não se pode negligenciar ou deixar de considerar a atuação da cana-de-açúcar na redução dos teores de Mg, uma vez que a interação é plena e o Mg é absorvido pelas raízes fazendo parte de compostos vitais da planta. Segundo Caíres *et al.*, (2004) o uso isolado do gesso pode promover a lixiviação do Mg para profundidades superiores a 0,2 m, porém essas perdas podem ser reduzidas associando o uso combinado do calcário dolomítico e gesso.

Na camada 0,30-0,60 m de profundidade, o Mg continuou seu movimento, porém de maneira menos acentuada do que na camada superficial, demonstrando certo acúmulo (Figura 7). Observa-se que com o aumento da dose de gesso houve uma diminuição dos teores de Mg, onde o maior teor encontrado foi quando não se aplicou gesso e o menor para a maior dose de gesso aplicada ($2,6 \text{ t ha}^{-1}$) com valores de 0,25 e $0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente (Figura 7).

De acordo com Soratto & Crusciol (2008), a aplicação de gesso afetou os teores de Mg trocável no perfil do solo, principalmente na ausência de calagem. Seus teores foram elevados na camada 0,10 - 0,20 m, nos tratamentos que não receberam calagem. Este comportamento foi observado aos 12 meses após a aplicação do gesso, no entanto houve uma redução dos teores de Mg em praticamente todo o perfil estudado, fato este atribuído a lixiviação do Mg com o uso isolado do gesso.

Para a camada 0,60 - 0,90 m de profundidade, os teores de Mg foram ainda abaixo dos encontrados antes do cultivo (Tabela 1 e Figura 7), porém sem interferência das doses de gesso aplicadas, neste caso demonstrando que o elemento possivelmente se estabilizou nesta camada uma vez que não houve influência dos tratamentos. O ocorrido não é ideal, pois se encontra muito abaixo da zona explorada pelo sistema radicular da maioria das culturas, inclusive para cana-de-açúcar, desta forma deve-se encontrar uma dose de gesso ideal para que se possa evitar ao máximo as perdas de Mg, ou que ele seja carregado para zonas distantes do sistema radicular das plantas. Há de considerar, no entanto, que os teores de Mg nessa camada após o cultivo (Figura 7) são inferiores aos encontrados antes do cultivo (Tabela 1), demonstrando efetividade de raízes de cana nessa profundidade.

Com relação aos teores de K no solo, na camada 0,0-0,30 m de profundidade observa-se que o comportamento foi idêntico ao ocorrido com o Ca e o Mg, havendo influência dos tratamentos sobre seus teores (Figura 8). O K também foi carregado para camadas mais profundas do solo, provavelmente devido ao mesmo motivo dos outros cátions básicos, através da formação de $K_2SO_4^0$ que fica livre no solo podendo ser carregado com facilidade. Outra alternativa seria a absorção do K pela cana-de-açúcar, elemento este de bastante importância, podendo ser extraído inclusive excessivamente sem que haja toxidez. Nogueira & Monzeto (1990) comentam que esse comportamento é comum com a aplicação de gesso isolado, mas essas perdas podem ser amenizadas com a utilização de calcário.

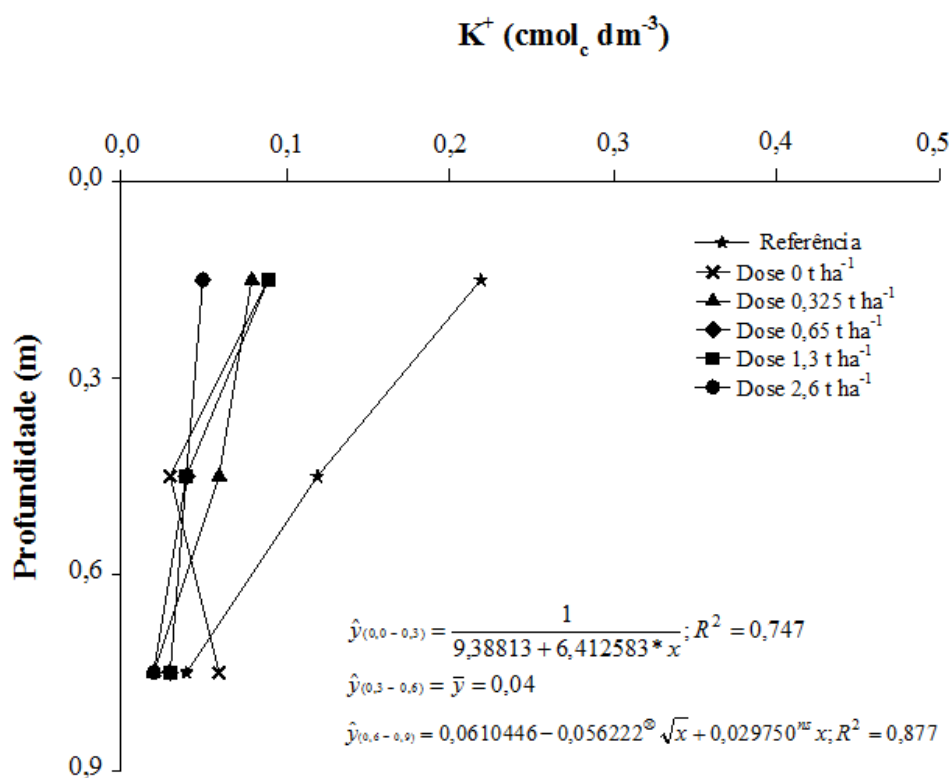


Figura 8. Variação dos teores de potássio em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.

No estudo realizado por Rocha *et al.* (2008), os autores concluíram que, o emprego isolado do gesso aos trinta dias após a diferenciação dos tratamentos promoveu a redução dos teores de K em superfície e, apesar de não ter ocorrido um aumento do teor em profundidade, indicava o início do processo de percolação, que poderia ter ido além da última camada amostrada.

É comum em solos tropicais que as quantidades de K sejam baixas em relação aos outros cátions, como Ca e Mg, desta forma, um bom ajuste nas adubações e quantidades de corretivos que reduzam essa movimentação do K ao longo do perfil do solo são importantes, proporcionando um equilíbrio químico adequado, facilitando a disponibilidade deste elemento para a planta. Assim, é recomendável que a aplicação de gesso seja precedida de um amplo trabalho de pesquisa, visando o estabelecimento de doses adequadas.

Outro aspecto que deve ser considerado é que os sais de K possuem alta solubilidade, isso aumenta a sua mobilidade no solo, fazendo com que fatores como altos índices pluviométricos possam colaborar com a descida de K no perfil do solo, principalmente em associação com o SO_4^{2-} , como foi o caso desse trabalho. As elevadas precipitações ocorridas durante a condução do ensaio (Figura 1A), provavelmente, foram responsáveis pela elevada lixiviação desse elemento, principalmente quando associada a aplicação de gesso mineral.

Na profundidade de 0,30-0,60 m, a influência das doses de gesso sobre os teores de K no solo não foi observada, como também não houve aporte de K nesta camada (Figura 7), indicando que uma fração do K continuou seu movimento descendente e outra foi absorvida pela cultura pela capacidade da cana-de-açúcar apresentar raízes efetivas nessa camada. Como o K não é um nutriente adicionado ao solo com a aplicação de gesso, sua perda é mais evidenciada do que a de Mg, devido a sua movimentação e competição com o Ca.

Na profundidade de 0,60-0,90 m, o comportamento foi atípico havendo ainda movimentação do K com o aumento das doses de gesso (Figura 8), indicando que ainda há atuação dos tratamentos sobre os teores de K do solo. Essa movimentação nessa camada não ocorreu nem com o Ca (Figura 6), nem com o Mg (Figura 7).

Quanto mais o K se movimenta mais difícil fica para a planta absorvê-lo, pois ultrapassa as profundidades onde se encontram os maiores percentuais de raízes efetivas da cana-de-açúcar. É provável que a elevada solubilidade do K, aliada a baixa CMA

desse solo (Tabela 1), fazendo com que mais SO_4^{2-} fique disponível para a formação de pares iônicos neutros com esse elemento em função da aplicação de gesso e, ainda, as elevadas precipitações ocorridas durante a condução do ensaio tenham proporcionado lixiviação de K para camadas superiores a 0,90 m de profundidade. Isso evidencia a necessidade de se considerar características químicas do solo, como a CMAS quando se for recomendar gesso para correção de acidez em subsuperfície.

A aplicação das doses de gesso não interferiu nos teores de S- SO_4^{2-} na camada superficial (Figura 9), observando-se valores inferiores aos encontrados antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1), demonstrando que este ânion se movimentou para camadas mais profundas do perfil do solo. Este comportamento mostra a capacidade de mobilização deste ânion no solo associada às condições climáticas, onde provavelmente esse transporte excessivo de S- SO_4^{2-} se deu devido às precipitações também excessivas ocorridas durante o período do experimento (Figura 1 A). Essa descida de S- SO_4^{2-} não foi isolada, provavelmente este ânion se ligou aos cátions que estavam presentes no solo ou foram adicionados, como Ca, por exemplo, por meio da aplicação de gesso, além de Mg e K formando pares neutros e sendo facilmente transportados para camadas mais profundas do solo (Figura 5, 6 e 7).

Este deslocamento se evidencia nas profundidades de 0,30-0,60 e 0,60-0,90 m, onde os teores de S- SO_4^{2-} sofreram alterações em função das doses de gesso aplicadas (Figura 8). Soratto & Crusciol (2008) avaliando os atributos químicos do solo em função da aplicação de gesso e calcário em superfície sob plantio direto observaram um aumento no teor de SO_4^{2-} em todo o perfil do solo com o uso isolado do gesso, porém de forma mais acentuada no subsolo, sendo esse aumento mais substancial aos 12 meses após a aplicação do insumo. Os autores atribuíram a pequena retenção de S- SO_4^{2-} nas camadas superficiais do solo aos maiores valores de pH observados nesta camada (entre 5,5 e 6,0).

Observou-se que os teores de S- SO_4^{2-} na dose 2,6 t ha⁻¹ cresceram com o aumento das doses de gesso gerando acúmulo deste ânion principalmente na camada 0,60-0,90 m de profundidade (Figura 9).

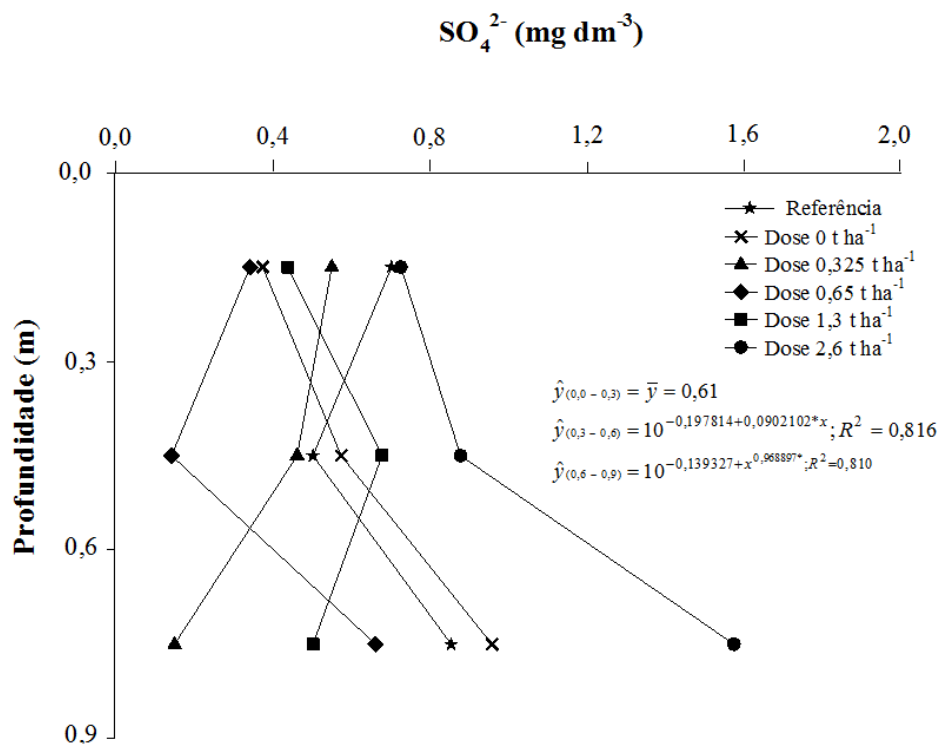


Figura 9. Variação dos teores de enxofre-sulfato em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.

No trabalho de Quaggio *et al.* (1993) foi possível observar que após seis meses da aplicação de doses de calcário e gesso isolado, houve uma movimentação intensa de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} , porém o interessante é que o S-SO_4^{2-} se movimenta muito mais rápido no solo sendo encontrado apenas nas camadas mais profundas 0,2-0,4 e 0,4-0,60 m de profundidade, semelhante ao que ocorreu nesse trabalho.

Apesar de trabalhar com profundidades e solos diferentes as propostas neste trabalho, esses dados corroboram com os observados por Camargo & Raji (1989) que verificaram movimentação do S-SO_4^{2-} com a aplicação de calcário associado ao gesso e de gesso isolado. O gesso isolado proporcionou movimentação do S-SO_4^{2-} , para camadas mais profundas do solo. Segundo Raji (1998), aos dezoito meses após a aplicação do gesso isolado na cana-de-açúcar, quase todo o S-SO_4^{2-} aplicado foi lixiviado para camadas inferiores a 0,60 m de profundidade.

A aplicação de gesso é citada frequentemente como eficientes na diminuição do Al trocável e na saturação por Al, principalmente em camadas mais profundas do perfil do solo, como nos trabalhos de Nogueira & Monzeto, (1990) e Camargo & Raij, (1989).

Mas neste estudo, a aplicação de gesso não foi eficiente na diminuição do Al trocável em profundidade e nem de sua saturação (Figura 10 A e B). Apesar dos dados deste ensaio terem demonstrado que houve acúmulo de SO_4^{2-} em profundidade com a aplicação de gesso (Figura 9), o que seria suficiente para formação de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e conseqüentemente, sua lixiviação para fora da zona das raízes da cana-de-açúcar, isto não ocorreu porque não havia Ca acumulado nas profundidades mensuradas suficiente para deslocar o Al do complexo de troca, possibilitando sua reação com o SO_4^{2-} .

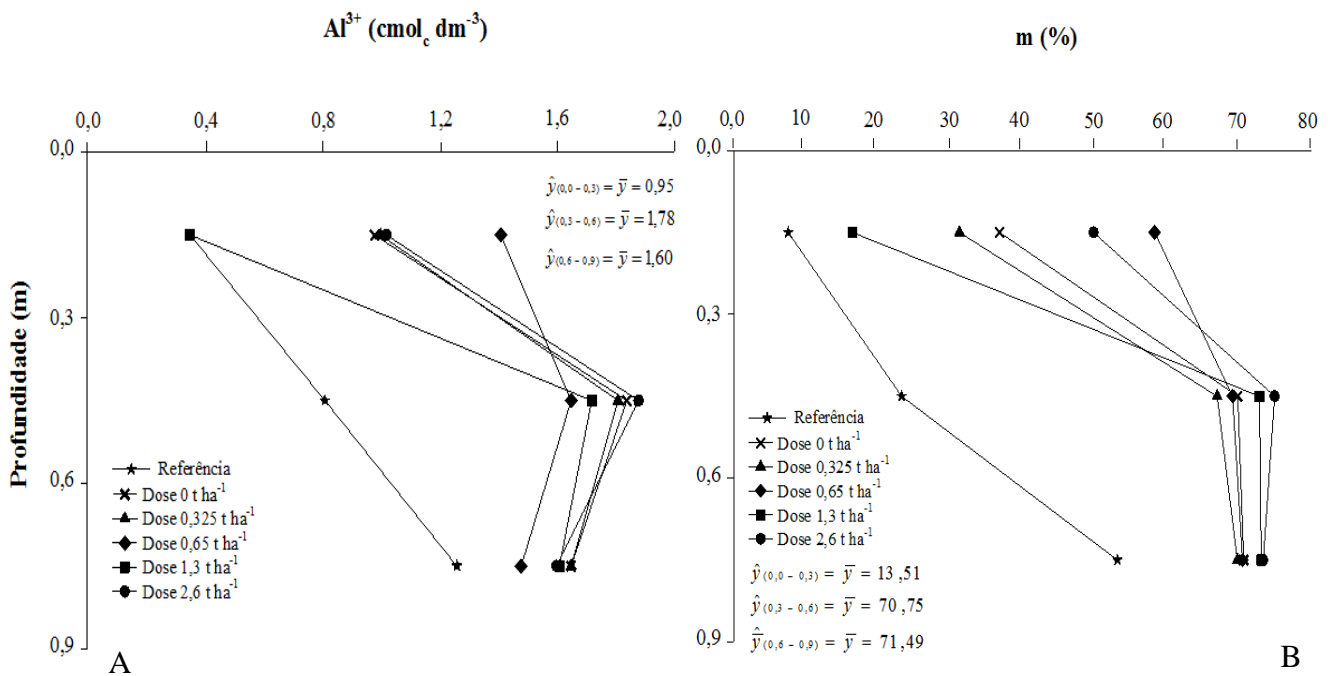


Figura 10. Variação dos teores de Al (A) e saturação por Al (B) em solo cultivado com cana-de-açúcar após dez meses de cultivo em função da aplicação de diferentes doses de gesso mineral nas profundidades 0,0 – 0,30; 0,30 – 0,60 e 0,60 – 0,90 m.

4. CONCLUSÕES

A aplicação de gesso mineral não alterou o pH do perfil do solo;

A aplicação de gesso mineral não proporcionou acúmulo de Ca em subsuperfície;

O gesso mineral proporcionou perdas de Mg e K, principalmente nas camadas superficiais;

O gesso mineral elevou os teores de SO_4^{2-} em subsuperfície;

As doses de gesso empregadas não foram suficientes para reduzir os teores de Al e sua saturação em subsuperfície.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICHEQUER, A. D. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 373-378, 2003.

ALVAREZ, V. H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO, A. C.; SOUZA, R. B. de. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Quinta aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 67-78.

ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25 p.27-32, 2000.

ALVAREZ V, V. H. *et al.* **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas**. Viçosa: UFV, 131 p. 2001.

AMEZKETA, E R. A.; GAZO R. Efficiency of Sulfuric Acid, Mined Gypsum, and Two Gypsum By-Products in Soil Crusting Prevention and Sodic Soil Reclamation, **Agronomy Journal**, v. 97, n.2, p.983-987, 2005.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop **Scientia Agricola**, v. 59, p. 357-364, 2002.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-283, 2003.

CAÍRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G. GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 28, p. 125-136, 2004.

CAMARGO, O. A.; RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 275-280, 1989.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil Projeto. **Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Carpina, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 21 p., 2005.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p

GARRIDO, F., ILLERA, V., VIZCAYNO, C.; GARCIA-GONZALEZ, M.T. Evaluation of industrial by-products as soil acidity amendments: Chemical and mineralogical implications. **European Journal of Soil Science**, v. 54, p. 411- 422, 2003.

IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Recomendações de Adubação Para o Estado de Pernambuco**. Recife, 2ª aproximação, 2. ed. rev., IPA, 2008. 198p.

MARIA, I. C.; ROSSETO, R.; AMBROSANO, E. J.; CASTRO, O. M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Ciência Agrícola**. Piracicaba, v. 50 (1), p. 87-98, 1993.

NASCIMENTO, C.W.A. **Melhoria do ambiente radicular e fornecimento de nutrientes**. Recife: UFRPE/ Área de Solos, 2003. 9 p. (Apostila do Curso de Gestão Ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da Região do Araripe – PE).

NOGUEIRA, A. R. A.; MOZETO, A. A. Interações químicas do sulfato e carbonato de cálcio em seis solos paulistas sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 1-6, 1990.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n.3, p. 375-383, 1993.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 111 p.2000.

RAIJ, B., van; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; PETTINELLI JR., A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 101-108, 1998.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RITCHEY, K. D.; BELESKY, D. P.; HALVORSON, J. J. Soil properties and clover establishment six years after surface application of calcium-rich by-products. **Agronomy Journal**. v. 96, p. 1531-1538, 2004.

ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, A. C.; RODRIGUES, A. N.; LIRA JUNIOR, M. A.; FREIRE, F. J. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 3, n. 4, p. 307-312, 2008.

ROSSETO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

ROSSETTO, R. A cultura da cana-de-açúcar da degradação a conservação. **Visão Agrícola**, v. 1, n. 1, p. 86-87, 2004.

SAEG – **Sistema de análises estatísticas e genéticas**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Manual do usuário, 183 p. (versão 8.0), 1999.

SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso de gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 20, n.1, p. 36-42, 2007.

SIMÕES NETO, D. E.; MELO, L. J. O. T. **Lançamentos de novas variedades RB de cana-de-açúcar**. Recife:UFRPE, Imprensa Universitária. 28 p. 2005.

SIMÕES NETO, D. E. Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do estado de Pernambuco. Universidade Federal Rural de Pernambuco (Tese Doutorado), 105 f. 2008.

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

SUN, B.; POSS R; MOREAU, R; AVENTURIER, A.; FALLAVIER, P. Effect of slaked lime and gypsum on acidity alleviation and nutrient leaching in an acid soil from Southern China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 57, p. 215- 223, 2000.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 849-858, 2003.

WADT, P. J. S. Alterações eletroquímicas de um Latossolo Vermelho-amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 519-524, 2000.