

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU**

**EFICIÊNCIA DE USO DE FÓSFORO POR DOIS GENÓTIPOS DE
CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADOS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

MIRIAM BÜCHLER TARUMOTO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU – SP

Fevereiro – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFICIÊNCIA DE USO DE FÓSFORO POR DOIS GENÓTIPOS DE
CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADOS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

MIRIAM BÜCHLER TARUMOTO

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU – SP

Fevereiro - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

T196e Tarumoto, Miriam Büchler, 1990-
Eficiência de uso de fósforo por dois genótipos de cana-de-açúcar cultivados em solução nutritiva / Miriam Büchler Tarumoto. - Botucatu : [s.n.], 2016
xi, 55 f. : fots. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Adubação. 2. Cana-de-açúcar - Raízes. 3. Plantas - Efeito do fósforo. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

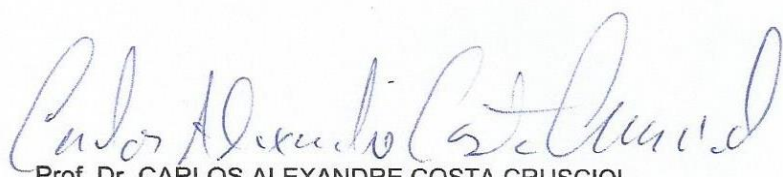
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "EFICIÊNCIA DE USO DE FÓSFORO POR DOIS GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADOS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA"

AUTORA: MIRIAM BUCHLER TARUMOTO

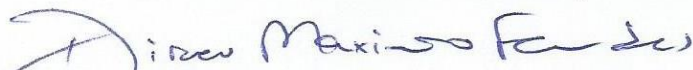
ORIENTADOR: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



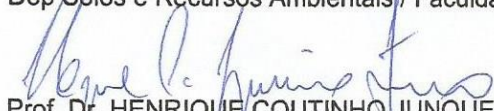
Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu



Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Dep Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu



Prof. Dr. HENRIQUE COUTINHO JUNQUEIRA FRANCO

Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol / Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais

Botucatu, 26 de fevereiro de 2016.

À minha amada mãe Telma Valéria Büchler

Endo de Almeida dedico.

OFEREÇO

Aos meus orientadores CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL, ORIVALDO ARF e GISELE HERBST VAZQUEZ que, mesmo ocupados, estiveram sempre ao meu lado, com paciência e compreensão. A vocês que, depositaram em mim confiança, seus ensinamentos científicos e filosóficos ofereço a minha vitória, com a mais profunda gratidão e respeito.

AGRADECIMENTOS

A Divindade, acima de tudo, que com sua presença e misericórdia, permitiu que eu trilhasse o caminho por mim escolhido. Agradeço pelos amigos e familiares que preparou para estar comigo nessa longa caminhada, dividindo comigo minhas derrotas e vitórias.

À minha querida e idolatrada mãe Telma Valéria Büchler Endo de Almeida, que me proporcionou recursos para mais esta conquista, e que junto ao Renato Endo de Almeida, com amor e incentivo me deram forças e coragem nos momentos de dificuldade, me orientando, e tornando meus sonhos reais.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pelo apoio, paciência e amizade construída. Sou imensamente grata por ter me dado esta oportunidade.

Aos meus orientadores da graduação Prof. Dr. Orivaldo Arf e Prof. Dra. Gisele Herbst Vazquez, que me deram “a mão”, e me “colocaram em pé”, me ensinando a dar “os primeiros passos”, que mesmo com “tropeços e tombos” se mantiveram sempre ao meu lado, rumo à formação e a realização deste trabalho. A estes, só tenho a agradecer.

Ao meu namorado e companheiro de vida Bruno Timóteo Rodrigues, por me dar forças para alcançar essa conquista, me aguentar e me abraçar nos momentos ruins, me ajudar em todas as horas, mesmo nas mais difíceis, por dedicar seu tempo e fazer a parte pesada desse trabalho. Sem você eu não conseguiria!

Às parceiras de trabalho Virley Gardeny Sena e Tamires Ester Ferreira que me ajudaram muito e me acompanharam nessa difícil caminhada.

Ao companheiro de pesquisa Jorge Martinelli Martelo por compartilhar sua experiência do experimento conduzido.

Às amigas Samara Zanetti, Lais Fernanda Melo, Fernanda Almeida Prado Bortolheiro e Marcela Cristina Brunelli que me acompanharam, motivaram e me proporcionaram momentos de descontração mesmo nos piores dias.

Às companheiras de departamento Michely Alves, Letícia Moreno, Maria Rita, Paula Moura que se dispuseram a me ajudar, me aconselharam e me abraçaram sempre que precisei e à Letusa Momesso e Sueko Tanaka por serem receptivas e me acolherem na minha chagada à Botucatu.

Aos amigos André Job e Felipe Manete que me auxiliaram e deram oportunidades que me permitiram escolher esse caminho.

Aos parceiros de todas as horas Fabrício Kumabe, Paula Lima, Dalila Dias e aos meninos da República Mato Minas.

Aos amigos Pedro Henrique Favareto, Nadia Poloni, Juliana Costa Pereira, Michelle Traete, Merielle Barbero, Edson Sakata, Lincoln Correia, Suellen Cosme, Wilson Romero, Carol Borro e Barbara Gomes que mesmo na distância, me apoiaram e motivaram de alguma forma para chegar até aqui.

À minha segunda família Flávia, PC e Davi que sempre me deram exemplos, motivos para sorrir e enxergar a vida com outros olhos.

À minha Família, tia Tânia, Cirlene, minhas primas e em especial os bebês da família que na reta final deste trabalho me deram motivação maior para concluí-lo.

À minha tia Clarice e tio Osni pelos momentos maravilhosos que me proporcionaram nos almoços de domingo em família.

Aos meus avós Lourdes Barbosa Büchler, Oswaldo Büchler que pela experiência de vida me ensinaram a enfrentar o mundo e Jorge Tarumoto e Aurora Tarumoto que me ensinaram sobre a vida no campo com conhecimentos técnicos.

Aos meus cachorros Baruch e Leona de La Piega que são meus companheiros de alegrias e angustias, que não importa a sabedoria, aparência ou humor, me dão amor.

Aos docentes do curso de Pós-graduação em Agronomia - FCA, os quais dedicaram várias horas de seus afazeres para nos auxiliar, sempre demonstrando muito carinho, respeito e atenção às nossas dificuldades.

Aos funcionários da Fazenda Lageado da UNESP, pelo apoio na condução dos experimentos, em especial ao Cirinho e ao Kasimiro, pela plena dedicação, pelo entusiasmo e carinho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de bolsa de estudos que possibilitou execução deste trabalho de pesquisa.

Assim pelos amigos e funcionários da UNESP pela amizade que me concederam durante a pós-graduação.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Cana-de-açúcar.....	5
2.1.1. Atual cenário da cana-de-açúcar no Brasil.....	5
2.1.2. Características da planta e desenvolvimento da cultura.....	6
2.2. Importância do fósforo	7
2.2.1. Fósforo no solo.....	8
2.2.2. Fósforo nas plantas.....	10
2.3. Nutrição fosfatada em cana-de-açúcar.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Localização e características do ambiente experimental.....	14
3.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	14
3.2.1. RB966928.....	15
3.2.2. RB867515.....	15
3.2.3. Ensaio preliminar.....	15
3.3. Instalação e condução do experimento.....	16
3.3.1. Obtenção das plântulas.....	16
3.3.2. Transferência de plântulas.....	17
3.3.3. Solução nutritiva.....	18
3.4. Variáveis analisadas.....	20
3.4.1. Parâmetros morfológicos radiculares.....	21
3.4.2. Massa de matéria seca de raiz, parte aérea e total.....	22
3.4.3. Análises químicas.....	22
3.4.4. Eficiência de adaptação à disponibilidade de fósforo.....	23
3.4.5. Eficiência de utilização de nutrientes	23
3.4.6. Acúmulo de nutrientes.....	23
3.4.7. Relação entre os teores de nutrientes e o teor de fósforo.....	24
3.4.8. Absorção de nutrientes por comprimento radicular.....	24
3.5. Análises estatísticas.....	24

4. RESULTADOS.....	26
4.1. Parâmetros biométricos.....	26
4.2. Acúmulo de nutrientes.....	28
4.3. Absorção de nutrientes.....	30
4.4. Relação entre teores de nutrientes com teor de fósforo na parte aérea.....	31
4.5. Eficiência de utilização de nutrientes.....	33
4.6. Correlação de Pearson.....	36
5. DISCUSSÃO.....	39
6. CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição da solução nutritiva por Furlani e Furlani (1988) modificada.....	19
Tabela 2. Comprimento radicular (CR), Diâmetro radicular (DR), Massa de matéria seca de raiz (MSR), Número de perfilhos (P), Número de entrenós (E), Diâmetro de colmos (DC), Altura do colmo principal até a primeira lígula visível (ALT), Número de folhas (F), Comprimento de entrenós do colmo principal (CECP), Massa de matéria seca de parte aérea (MSPA), Massa de matéria seca total (MST), Relação de massa de matéria seca de raiz e parte aérea (R:PA) para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.....	27
Tabela 3. Desdobramento de comprimento radicular, diâmetro radicular, número de perfilhos para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.....	28
Tabela 4. Acúmulo de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.....	29
Tabela 5. Desdobramento de acúmulo de Cobre (Cu) e Ferro (Fe) para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.....	30
Tabela 6. Absorção de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	31
Tabela 7. Relação dos teores de nutrientes e teor de fósforo para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.....	32
Tabela 8. Desdobramento da relação de teor de nutrientes e teor de fósforo para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.....	33

Tabela 9. Eficiência de utilização dos nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.	34
Tabela 10. Desdobramento de eficiência de utilização de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.....	35
Tabela 11. Correlação de Pearson para parâmetros biométricos e acúmulo de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.....	36
Tabela 12. Correlação de Pearson para absorção de nutrientes por comprimento radicular, relação entre teores de nutrientes com teor de fósforo e eficiência de utilização de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ensaio preliminar para definição das concentrações de P nas soluções de crescimento consideradas insuficiente e suficiente para o crescimento da planta.....	16
Figura 2. Plantio de minitoletes em areia lavada.....	17
Figura 3. Unidades experimentais com aeração de 4 plântulas de cana-de-açúcar por unidade experimental de 4L contendo solução nutritiva em casa-de-vegetação.....	18
Figura 4. Unidades experimentais de 8 L de volume contendo 3 plantas.....	20
Figura 5. Avaliações biométricas aos 73 dias após o transplante das plântulas.....	21
Figura 6. Parte do sistema radicular de cana-de-açúcar inserido em scanner para avaliação de comprimento, superfície e diâmetro radicular pelo software WinRhizo.....	22

RESUMO

Existindo diferentes comportamentos na absorção e utilização de fósforo entre genótipos, e devido à importância deste elemento para a cana-de-açúcar, objetivou-se por meio do acompanhamento do desenvolvimento inicial de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva, avaliar parâmetros nutricionais e biométricos de dois genótipos de cana-de-açúcar quando submetidas a condições distintas de disponibilidade de fósforo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2x2), composto por duas variedades: 1- RB966928 (variedade classificada como precoce e exigente) e 2- RB867515 (variedade classificada como tardia e rústica) submetidas a duas concentrações de P nas soluções nutritivas de crescimento, consideradas de baixa (2 mg L^{-1}) e alta (16 mg L^{-1}) disponibilidade. Foram cultivadas cinco repetições por tratamento, perfazendo-se 20 unidades experimentais. Os resultados do trabalho mostraram que a variedade RB867515 é mais eficiente em usar P em condições limitantes. Porém, em condições de alta disponibilidade de fósforo a variedade RB966928 é mais eficiente. Apesar da variedade RB867515 ser responsiva quando submetida à alta disponibilidade de P, apresenta maior influência das variações do teor de fósforo em cana-de-açúcar, quando comparada à variedade RB966928, que se mostrou responsiva e não exigente, ou seja, é menos sensível a diferentes teores de fósforo em cana-de-açúcar. Em início de desenvolvimento há diferença entre as variedades para parâmetros biométricos e nutricionais da planta e morfológicos de raiz de cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva em níveis de fósforo, sendo a variedade RB966928 mais responsiva. O nível de alta disponibilidade de fósforo proporciona maiores parâmetros morfológicos de raiz, massa de matéria seca da planta e reduz a relação raiz/parte aérea; aumenta o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe; aumenta a absorção de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn e Fe por metro de raiz. A eficiência da utilização de nitrogênio, fósforo e zinco foi prejudicada em condições de alta disponibilidade de fósforo. A variedade RB966928 apresenta maior acúmulo de nutrientes por planta, maior absorção de nutrientes por comprimento de raiz e é mais eficiente no uso de N, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe.

Palavras-chave: nutrição de cana-de-açúcar; raízes; absorção de nutrientes; eficiência de uso de P; *Saccharum* spp.

PHOSPHORUS USE EFFICIENCY OF TWO GENOTYPES SUGARCANE CULTIVATED IN NUTRITIVE SOLUTION. Botucatu, 2016. 55 p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MIRIAM BÜCHLER TARUMOTO

Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

SUMMARY

Existing different behavior in the absorption and utilization of phosphorus among genotypes, and because of its importance for sugarcane, aimed to by monitoring the initial development of sugarcane plants cultivated in nutrient solution, to evaluate nutritional and biometric parameters of two genotypes of sugarcane when subjected to distinct conditions of phosphorus availability. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme (2x2), composed of two varieties: 1- RB966928 (variety classified as early and demanding) and 2- RB867515 (variety classified as late and rustic) submitted to two concentrations of P in solutions nutritive growth considered low (2 mg L^{-1}) and high (16 mg L^{-1}) availability. Five replicates per treatment were grown, making up 20 experimental units. Our results showed that RB867515 variety is more efficient in use of P in limiting conditions. However, in high availability of phosphorus conditions RB966928 variety is more efficient. Despite the variety RB867515 be responsive when subjected to the high availability of P, has greater influence of phosphorus variations in sugarcane compared to the variety RB966928, which proved to be responsive and unfussy, meaning it is less sensitive the different levels of phosphorus in sugarcane. In the beginning of development there are differences between varieties for biometric and nutritional plant parameters and morphological root sugarcane grown in nutrient solution in phosphorus levels, and the RB966928 is more responsive. The phosphorus high availability provides greater morphological parameters of root, dry weight of the plant and reduces the root/shoot; increases the accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe; increases the absorption of N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn and Fe by roots length. The efficient use of nitrogen, phosphorus and zinc was impaired in high availability phosphorus conditions. The RB966928 variety has a higher accumulation of nutrients per plant, increased nutrient uptake by root length and is more efficient in the use of N, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe.

Keywords: sugarcane nutrition; roots; nutrient absorption; efficiency of P use; *Saccharum* spp.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira tem como grande empecilho a deficiência de fósforo no solo, pela grande reatividade e à alta taxa de retenção de íons, relacionados a constituintes dos solos, o que acarreta em oneração de produção, devido às altas doses e frequentes aplicações de fertilizante fosfatado requerido para suprir a demanda do solo como dreno e da planta, sem causar prejuízos à produção (ORLANDO FILHO et al., 1994; MIMURA et al., 1999; NOVAIS; SMITH, 1999; MENDES et al., 2003; TEIXEIRA et al., 2014), para reduzir essa quantidade e gastos com esse macronutriente são necessários estudos quanto a sua absorção e utilização pela planta (SANTOS, 2006).

O fertilizante fosfático é originado de rochas como a apatita, que tem suas reservas finitas (FERREIRA, 2014) e segundo Isherwood (2000) se esgotariam em 80 anos, porém o novo relatório do IFDC (International Fertilizer Development Center) aponta que tais reservas são suficientes para suprir as necessidades mundiais por no mínimo 300 anos, contudo não com a mesma qualidade (KAUWENBERGH, 2010). A maioria das reservas mundiais de rocha fosfática estão localizados em Marrocos, incluindo Saara Ocidental. Outros grandes detentores de reservas de rocha fosfática (classificados de acordo com o tamanho de suas reservas, da maior para a menor) são o Iraque, China, Argélia, Síria, Jordânia, África do Sul, os EUA e a Rússia (De RIDDER et al., 2012).

É praticamente exclusivo o uso de híbridos (clones) complexos das espécies do gênero *Saccharum* spp. no plantio da cana-de-açúcar que acarreta em redução do custo de produção e incremento em produtividade (FREITAS et al., 2006) e apesar de existirem diferentes variedades para o mesmo ambiente de produção a adubação é realizada sem a distinção de híbridos.

Portanto as hipóteses são embasadas na diferença no comportamento de variedades recomendadas para o mesmo ambiente de produção em condições distintas de disponibilidade de fósforo; apesar da planta da cana-de-açúcar ser considerada eficiente no aproveitamento de nutrientes, a baixa disponibilidade de P limita o desenvolvimento, absorção e eficiência de utilização de nutrientes, mesmo em variedades rústicas e a sensibilidade de variedades exigentes em fertilidade do solo quanto à disponibilidade de fósforo.

Para avaliar essas hipóteses, com o acompanhamento do desenvolvimento inicial de plantas de cana-de-açúcar em solução nutritiva, o presente trabalho teve por objetivo encontrar respostas entre variedades de cana-de-açúcar quanto à utilização dos nutrientes, quando submetidas a condições distintas de disponibilidade de fósforo, procurando relacioná-las a parâmetros nutricionais e biométricos da planta, morfológicos de raiz e eficiência de adaptação e utilização deste mineral.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cana-de-açúcar

2.1.1. Atual cenário da cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais culturas nacionais, introduzida no Brasil em 1532 e desde então se destaca economicamente com a maior produção mundial atingindo na última safra uma área de 8,9 milhões de hectares que cultivaram 660 milhões de toneladas processadas em 423 usinas e geraram 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos, sendo assim considerado o setor que mais emprega no país (AGRIANUAL, 2015).

Segundo Ramos e Nachiluk (2015), o setor sucroenergético brasileiro, na safra 2014/15, movimentou R\$ 70 bilhões com a produção de cana-de-açúcar, etanol, açúcar e bioeletricidade, representando 1,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional.

O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, obtendo 34,6 milhões de toneladas. A produção nacional de etanol a partir da cana-de-açúcar, também é a maior do mundo, com 29 bilhões de litros de álcool, devido a utilização em larga escala no Brasil do etanol como combustível renovável e alternativo ao petróleo (AGRIANUAL, 2015).

Globalmente reconhecido por benefícios ambientais e socioeconômicos, o etanol desperta interesse de diversos países nessa promissora tecnologia brasileira (ALBINO et al., 2006).

Apesar da importância da cultura de cana-de-açúcar para o Brasil, o rendimento nacional é baixo, com média de 71 toneladas por hectare (AGRIANUAL, 2015), sendo que a principal estratégia para aumento de produtividade, além do desenvolvimento de cultivares melhoradas, é a otimização no aproveitamento de recursos, para tanto é necessário o estudo de variedades mais adaptadas e da consequência da fertilidade dos solos brasileiros para as variedades amplamente utilizadas.

Mundialmente, os programas de melhoramento genético procuram características de cultivares altamente produtivas, com aprimoramento de tolerância a fatores bióticos e abióticos, para aperfeiçoar o potencial da cultura em determinadas condições ambientais. As variedades comerciais usadas atualmente foram originadas de hibridações interespecíficas, entre a espécie rica em açúcar, *S. officinarum*, e espécies selvagens *S. spontaneum*, *S. edule*, *S. barbieri* e *S. sinense*, seguidas de retrocruzamentos com *S. officinarum* (ALBINO et al., 2006; JADOSKI et al., 2010).

2.1.2. Características da planta e desenvolvimento da cultura

A cana-de-açúcar, planta considerada semiperene pertencente à família Poaceae, é cultivada em áreas subtropicais, em latitude que varia entre 15° e 30°. Seu hábito de crescimento é em touceiras constituída por colmos, folhas, inflorescências, e a parte subterrânea composta por raízes e rizoma. Sua inflorescência é classificada como panícula aberta, chamada de bandeira ou flecha (THOMPSON; HALSE, 1964; CASAGRANDE, 1991; CASTRO; KLUGE, 2001; MOZAMBANI et al., 2006; CRISTOFOLETTI Jr., 2012).

A cada nó uma folha é originada a partir do meristema apical, e são dispostas de forma oposta e alternada. A posição, idade e variedade da cana e disponibilidade hídrica do solo determinam sua coloração (RAMME, 2010). A interação planta-atmosfera é intermediada pela folha, onde os estômatos presentes realizam as trocas gasosas e de vapor de água e produzem parte dos carboidratos essenciais para o desenvolvimento (HERMANN; CÂMARA, 1999; DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

O mecanismo de concentração de CO₂ nas células do mesófilo movimenta as partículas do gás e as transporta na forma de composto orgânico com quatro carbonos para descarboxilação nas células da bainha vascular, devido seu metabolismo C4 (ALLEN et al., 1985).

Características biométricas no colmo, folhas e parte aérea, podem sofrer influência de condições edafoclimáticas, clima, sistema de manejo, porém geralmente a variedade e o ciclo fenológico que definem tais fatores, variando a duração e constituído por basicamente três estádios de desenvolvimento: fase inicial de crescimento lento, fase de rápido crescimento e desenvolvimento e fase final lenta, definida, sobretudo por acúmulo de sacarose e afetados pela intensidade e quantidade de luz, concentração de CO₂, disponibilidade térmica, de água e nutrientes (RODRIGUES, 1995; ROBERTSON et al., 1996; INMAN-BAMBER et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2007; TUTA, 2013).

A propagação ocorre vegetativamente por brotação de rizomas e colmos ou por reprodução sexuada por sementes, que sob condições favoráveis de temperatura (21°C a 44 °C) e umidade do solo após o plantio, desenvolvem sistema radicular, e então origina o broto que compõe a planta de cana-de-açúcar, com duração de 20 a 30 dias depois do plantio ou após o corte da cana-soca e pode variar dependendo do genótipo utilizado, o estado nutricional e dimensão do tolete plantado e condições edafoclimáticas (CÂMARA, 1993; RODRIGUES, 1995; CASTRO, 2000; MOZAMBANI et al., 2006; DINARDO-MIRANDA et al., 2008; MAGRO; LACA-BUENDÍA, 2010).

O perfilhamento se inicia após o surgimento do colmo primário, tanto em cana-planta ou soqueira, por volta de 30 dias após a brotação. O número de perfilhos pode aumentar até os seis meses de idade da cultura, após esse período pode ocorrer a redução pela metade, e seu estabelecimento se dá em torno de 9 meses. A luminosidade, é um fator crucial nessa fase devido a indução da fotodestruição de auxinas e surgimento de brotos laterais que prejudicam os processos de alongamento e perfilhamento (GASCHO; SHIH, 1983; LUCCHESI, 2001; SILVA et al., 2010).

Com o estabelecimento do estágio de perfilhamento, inicia-se o crescimento intenso em que os colmos são formados. Ocorre então a maturação e a constituição de colmos industrializáveis ricos em sacarose formada pela fotossíntese (RAMME, 2010; TUTA, 2013).

A maturação ocorre em condições limitantes de temperatura e água ao crescimento da cana-de-açúcar em que se dá o ápice de acúmulo de sacarose, em que há baixa taxa de crescimento e os fotossintatos são priorizados aos colmos, e são armazenados na forma de sacarose, porém podem ocorrer fenômenos naturais que acarretem a perda dessa matéria prima (RODRIGUES, 1995; BENVENUTI, 2005; BACHI; SOUZA, 1978; PIMENTEL, 2004; FLEXAS et al., 2006).

2.2. Importância do fósforo

2.2.1. Fósforo no solo

Em solos altamente intemperizados, como os brasileiros, tornam-se necessárias elevadas doses de fertilizantes fosfatados, pois além de ser pouco móvel no solo, apresenta alta capacidade de ser sorvido por colóides inorgânicos como minerais de argila e óxidos de ferro e alumínio (MALAVOLTA, 1976; GILBERT, 2009; RAIJ, 2011).

Os fertilizantes fosfatados solúveis quando aplicados ao solo, dissolvem e se dirigem à solução do solo, porém pela baixa solubilidade dos compostos de P e forte disposição à adsorção, grande parte do P fica retida na fase sólida como P lábil, tornando-se gradativamente P não lábil (RAIJ, 2011). Isso contribui para o reduzido grau de eficiência da adubação fosfatada, sendo frequentemente observado o aproveitamento de apenas 10 a 15% do P do fertilizante aplicado pela cana-de-açúcar (ROSSETTO et al., 2010).

As formas de fósforo na solução do solo são dependentes do pH, em pH muito ácido, menor que 2,1 há predomínio da forma de ácido ortofosfórico ($\text{H}_3\text{PO}_4^{3-}$), em condições alcalinas, entre 7,2 e 12, a forma de fósforo mais encontrada é hidrogenofosfato (HPO_4^{2-}), enquanto o fosfato (PO_4^{3-}) em pH acima de 12. Já a forma dihidrogenofosfato (H_2PO_4^-) predomina em pH entre 2,1 e 7,2, incluindo a faixa de maior disponibilidade de P, entre 5,5 e 6,5, nessa faixa há menor precipitação de formas de P complexadas ao Al além da carga do íon ser menor, contribuindo para predominância de cargas negativas, devido à carga variável das argilas, reduzindo a atração do íon fosfato pelo colóide inorgânico, e assim proporciona menor potencialidade eletrostática da superfície adsortiva (HAYNES, 1984; BARROW, 1985; RAIJ, 2011).

Em solos intemperizados e ácidos, a forma predominante de fósforo é o íon H_2PO_4^- e, em menores proporções, o íon HPO_4^{2-} , aumentando a proporção à medida que o pH do solo aumenta. É um elemento de baixa mobilidade no solo e essencial para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas (PENATTI, 2013).

A forte interação com o solo e a reduzida entrada por intemperismo de rochas com baixas concentrações de P, são as principais causas dos solos brasileiros serem considerados pobres nesse nutriente (RAIJ, 1991). Além disso, vários fatores levam à limitação desse nutriente a absorção em função do tempo, como a lixiviação, que apesar de pouco representativa no ciclo do P no solo, pode levar ao esgotamento do P orgânico

dissolvido e dos minerais primários do solo, embora demore milhões de anos para efetivar-se (VITOUSEK et al., 2010).

Atualmente, concretizam-se alterações no sistema de produção das culturas, com adoção de sistema de plantio direto ou preparo reduzido, porém, o manejo antes amplamente utilizado agravaram situações de camadas de impedimento físico, que dificulta o acesso das raízes ao fósforo potencialmente disponível (SÁ, 2004; GATIBONI, 2007; VITOUSEK et al., 2010).

As plantas e organismos adaptados utilizam de diversos mecanismos para este elemento ser absorvido e extraído com maior eficiência. Dentre eles, o aumento da relação raiz/parte aérea, as alterações na morfologia de raízes, o aumento de pelos radiculares e as associações simbióticas com microrganismos na rizosfera (COSTA; LOVATO, 2004).

As estratégias também podem ser bioquímicas ou fisiológicas, como a diminuição do efluxo de P, mobilização do P_i vacuolar, liberação de exsudatos como ácidos orgânicos (citrato e malato), incremento da produção de fosfatases e RNases e ativação de genes para alterações nos carregadores de fósforo, modificando parâmetros cinéticos de absorção, tornando-se hábeis para a redução da quantidade de sítios de sorção de P pela complexação de Fe e Al (DUFF et al., 1994; WATTS; EVANS, 1999; RAGHOTHAMA, 1999).

Apesar da baixa taxa de lixiviação, ocorrem reações químicas do fósforo inserido no solo com a fase mineral, resultando em formas de baixa disponibilidade para absorção pelas culturas. Segundo Kamprath (1977), a fixação do fósforo aplicado na forma de fertilizantes ocorre principalmente por formação de complexos com ferro e alumínio. Porém, a cana-de-açúcar parece ser capaz de absorver P em formas consideradas não disponíveis, como aquelas que se encontram combinadas com o Al e Fe (BITTENCOURT, 1978).

Os atributos do solo rizosférico podem sofrer alterações que variam de acordo com a espécie de planta cultivada (BERTRAND et al., 1999; HINSINGER; GILKES, 1996; MOREL; HINSINGER, 1999; PEARSE et al., 2006, 2007). Com isso, é importante a identificação de genótipos mais capazes de acessar as formas de P menos disponíveis e a introdução delas no sistema, podendo trazer benefícios às plantas que são mais sensíveis em deficiência de P por meio da decomposição de resíduos de plantas, disponibilizando o P presente em seus tecidos (SOUSA et al., 2003).

2.2.2. Fósforo nas plantas

O requerimento de fósforo é relativamente pequeno quando comparado à outros macronutrientes, contudo o fósforo é um dos nutrientes mais importantes às plantas sendo o elemento que mais restringe a produção de biomassa em solos tropicais, como os brasileiros (NOVAIS; SMYTH, 1999).

As espécies vegetais compõem os fatores que afetam a eficiência agronômica de adubos fosfatados por constituir essencialidade na solubilização do P, como o P não-lábil, tendo algumas espécies a habilidade de solubilizá-lo por meio da exsudação radicular, que podem conter ácidos orgânicos que agem na dissolução do colóide, abastecendo a solução do solo com P (CHIEN; MENON, 1995).

A recomendação de doses de fertilização fosfatada deve ter como base os níveis críticos de fósforo no solo e na planta que variam com o genótipo, condições edafoclimáticas, disponibilidade e eficiência de utilização de outros nutrientes, idade da planta – que reduz o nível crítico de fósforo no solo e na planta, e manejo de fertilizantes, além da avaliação do estado nutricional das plantas (BATES, 1971; ALVAREZ , 1996; NOVAIS et al., 1982).

Deste modo, é importante a determinação dos níveis críticos a cada estágio fenológico para manter e suprir a demanda ótima econômica ao longo do ciclo da cultura, distinguindo a recomendação para genótipos com diferentes exigências nutricionais.

2.3. Nutrição fosfatada em cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar apresenta diferentes respostas à adubação fosfatada dependendo do tipo de solo, que interfere na perda do elemento principalmente por fixação; ambiente de produção, abrangendo a capacidade da área em disponibilizar condições propícias ao desenvolvimento da cultura; pluviosidade propiciando o meio para ocorrência da difusão considerado o principal mecanismo de deslocamento do fósforo no solo até as plantas, o genótipo responsivo ou não ao fósforo e principalmente a fase em que se encontra: cana-planta ou soqueira (KORNDÖRFER, 2004; ROSSETTO; DIAS, 2005; ROSSETTO, 2010).

Em cana-planta, principalmente em áreas de expansão, ocorre incremento de produção a medida em que se aumenta a dose aplicada de fósforo em sulco de plantio ou associado à fosfatagem em área total (KORNDÖRFER, 2004).

Enquanto as soqueiras mostram respostas variáveis, pode ser devido à expectativa de que haja a mesma resposta da cana-planta, porém por outros fatores, como as soqueiras se tornarem mais superficiais ao longo do ciclo, a constante compactação, entre outros, o comportamento da cultura relacionado à adubação pode ser menos intenso (KORNDÖRFER, 2004; ROSSETTO; DIAS, 2005; ROSSETTO, 2010).

As fontes podem ser sólidas ou fluidas, e seu uso depende da forma de aplicação, manejo e custo de produção almejado. Na fosfatagem, que consiste na aplicação de fertilizantes a lanço, como termofosfatos, resultante do tratamento térmico de rochas fosfáticas, fosfatos naturais, fosfatos totalmente acidulados e alternativos, geralmente com maior efeito residual que os demais fertilizantes além de fornecer outros nutrientes como magnésio, cálcio e silício (KORNDÖRFER, 2004; ROSSETTO; DIAS, 2005; ROSSETTO, 2010).

Em sulco de plantio, os fertilizantes sólidos superfosfato triplo, simples, fosfato monoamônico e diamônico contendo em suas fórmulas outros nutrientes como nitrogênio e cálcio, são mais utilizados, e também podem funcionar como matéria prima para a fertilização fluida, e assim obter associado a outros fertilizantes como aquamônia e cloreto de potássio, formulações completas de NPK que podem ter maior flexibilidade operacional apesar de não mostrar maior eficiência quando comparado aos sólidos (KORNDÖRFER, 2004; ROSSETTO; DIAS, 2005; ROSSETTO, 2010).

A indústria canaveira tem como subprodutos a vinhaça e a torta de filtro que podem ser analisados e utilizados em doses balanceadas via fertirrigação no caso da vinhaça rica em potássio ou a torta de filtro rica em fósforo em área total em substituição da fosfatagem ou até em sulco de plantio. Em plantio de inverno a torta de filtro é frequentemente utilizada em sulco de plantio para manter a umidade e reduzir a amplitude térmica dos toletes, favorecendo a brotação (ROSSETTO; SANTIAGO, 2007; ROSSETTO, 2010).

O fósforo é absorvido como íons $\text{HPO}_4^{=}$ ou H_2PO_4^- , mas não é reduzido na planta; pode se ligar a íons OH^- para criar fosfato de açúcar além de auxiliar na maturação por permitir a diluição da biomassa de alta concentração de N nos tecidos vegetais (KINGSTON, 2014).

Importantes funções são desempenhadas pelo P na formação e desenvolvimento da raiz, relacionado à absorção e utilização dos demais nutrientes (ROSSETTO et al., 2010), dentre elas estão a constituição de ácidos nucleicos, portanto a essencialidade para divisão celular e transferência de hereditariedade, destacando-se no crescimento do sistema radicular, perfilhamento e parte aérea. Além disso, é requerido em ligações ricas em energia (ADP e ATP), portanto a assimilação de carbono (C), crucial no processo fotossintético, depende da assimilação de P no sistema (KINGSTON, 2014).

O fósforo tem participação em inúmeros processos metabólicos da vida da planta, como no fornecimento e armazenamento de energia e formação de sacarose quando o composto glucose-1-fosfato junta-se a frutose para formar a sacarose (ALEXANDER, 1973), que é o principal produto, no caso da cana-de-açúcar, além de seu valor comercial ter como base o teor de açúcar total recuperável (ATR).

O P é um elemento importante para a cultura da cana-de-açúcar, em virtude de participar, direta e indiretamente, de processos metabólicos; está relacionado ao desenvolvimento das raízes, aumento na produção de colmos, considerado um quesito essencial para alta produção e atua nas características industriais, como porcentagem aparente de sacarose contida no caldo da cana (pol%), pureza e clarificação do caldo; sua deficiência pode levar à redução na formação de sacarose (KORNDÖRFER et al., 2004).

A deficiência de fósforo se manifesta primeiro nas folhas mais velhas, visto que, ao contrário do seu comportamento no solo, é considerado um nutriente móvel na planta. As lâminas foliares podem se tornar verde-escuras a verde-arroxeadas, com reflexos avermelhados ou roxos nas margens e pontas das folhas. Essa coloração vermelho-arroxeadas está associada à formação de pigmentos de antocianina, enquanto o verde escuro é relativo efeito da deficiência de fósforo na redução da expansão foliar. Ocorre o estreitamento e encurtamento de colmos e folhas, e estas parecem mais eretas que o normal, em deficiência extrema as folhas amarelecem e morrem no sentido das pontas e margens para a nervura central. Há redução no perfilhamento, no teor de fósforo no caldo o que ocasiona a oneração do processo de moagem pela adição de ácido fosfórico para auxiliar a formação de fosfato de cálcio e assim melhorar a clarificação do caldo (KORNDÖRFER, 2004; KINGSTON, 2014).

A eficiência nutricional a fim de entender a demanda por nutrientes nos estágios iniciais de desenvolvimento na cultura da cana-de-açúcar é um dos principais parâmetros devido às condições em que é cultivada, constituídos por solos tropicais, de

baixa capacidade de disponibilização dos nutrientes minerais às plantas. Esta avaliação pode conduzir à distinção de genótipos, pela possível seleção de cultivares adaptadas às condições adversas de fertilidade do solo (FAGERIA et al., 1982; MARTINEZ et al., 1993). Relacionado à nutrição, a eficiência do genótipo é embasada no crescimento e produção mesmo em condições restritivas de suprimento de nutrientes pelo solo, portanto possui maior capacidade de absorção de nutrientes requeridos e empregá-los na produção de biomassa (FURLANI et al., 1984).

A absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar foi estudada principalmente nas décadas de 70 e 80, e foi minimamente avaliada a eficiência nutricional da cultura, além das variedades utilizadas nessas pesquisas não serem mais cultivadas, portanto, atualmente, as informações a respeito desse assunto estão escassas, com isso pesquisas que abordem exigência nutricional e exportação de nutrientes comparando variedades modernas de cana-de-açúcar, que passaram por expressivas alterações genéticas com os programas de melhoramento, como seletividade a nutrientes durante o ciclo ou em ambientes de produção, são necessárias (ORLANDO FILHO et al., 1980, MACHADO et al., 1982, BITTENCOURT et al., 1986; OLIVEIRA, 2008).

As variedades diferem quanto à eficiência na absorção e na utilização de fósforo. Existem materiais que mesmo em condições limitantes de fósforo na solução do solo atingem uma boa produção, enquanto variedades, principalmente as consideradas altamente produtivas, por serem muito exigentes, não apresentam esse comportamento (MAULE et al., 2001; MENDES, 2006; BARBOSA et al., 2007).

No melhoramento, geralmente a adubação, nutrição e disponibilidade de nutrientes para os clones são extremamente elevadas, portanto, para a seleção de genótipos mais eficientes na aquisição e utilização do fósforo do meio, é de grande importância estudos na eficiência de utilização de fósforo, de modo que haja a adaptação dos genótipos à reduzidas taxas de fertilizantes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características do ambiente experimental

O trabalho de pesquisa foi instalado em casa de vegetação, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA, Campus de Botucatu/UNESP, localizada no município de Botucatu-SP, latitude 22° 51'S, longitude 48° 26'W Grw, e altitude de 740 m.

A casa de vegetação é de polipropileno com ambiente semi climatizado. Possui circulador de ar interno e sistema de refrigeração e aquecimento para manter a temperatura entre 23 a 32°C e fotoperíodo de 14 horas de luz.

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial, composto por duas variedades de cana-de-açúcar: 1- RB966928 – variedade com ciclo de maturação precoce e alta exigência em fertilidade do solo; 2- RB867515 variedade com ciclo de maturação tardia e baixa exigência em fertilidade do solo; submetidas a duas concentrações de P nas soluções nutritivas de crescimento. Solução 1 - 2 mg de P L⁻¹, considerada como de baixa disponibilidade; Solução 2 - 16 mg de P L⁻¹, considerada como de alta disponibilidade para as plantas de cana-de-açúcar. Foram realizadas cinco repetições, perfazendo-se 20 unidades experimentais.

A definição das variedades utilizadas foi feita previamente a implantação do experimento levando-se em consideração as características descritas para cada variedade por Ridesa (2010):

3.2.1. RB966928

Segundo CanaOnline (2015), esta é a variedade mais plantada nas regiões produtoras do Brasil. Dentre suas características está a excelente germinação em cana-planta, brotação em soqueiras muito boa, alto perfilhamento em cana-planta e cana-soca, com excelente fechamento de entrelinhas. Produção agrícola muito alta, PUI (Período Útil de Industrialização) médio e maturação precoce. É de rápido desenvolvimento, porte médio, com hábito de crescimento semi-decumbente, com eventual tombamento, raro florescimento e chochamento ausente, a despalha é fácil, restritiva quanto à fertilidade do solo, recomendada a ambientes de médio a alto potencial, possui médio teor de sacarose e teor de fibras e é considerada tolerante ao carvão, ferrugem marrom, escaldadura e mosaico (RIDESA, 2011).

3.2.2. RB867515

É a segunda variedade mais plantada (CANAONLINE, 2015). Devido a sua característica de rusticidade e ao seu rápido desenvolvimento. Possui hábito de crescimento ereto, média despalha, diâmetro de colmo médio, entrenós cilíndricos de cor verde arroxeado e roxo intenso quando exposto ao sol, pouca rachadura e leve ziguezague e pouca cera. É de alta produtividade agrícola, a colheita é recomendada entre os meses de julho a setembro, possui boa brotação de soca e fechamento de entrelinhas, e porte alto. Eventualmente ocorre o tombamento e florescimento. O ciclo de maturação é médio tardio. Possui PUI médio, e média a baixa restrição de fertilidade do solo, recomendado a ambientes de média fertilidade natural, com alto teor de sacarose e médio teor de fibras. É tolerante a carvão e a escaldadura e mosaico, resistente a ferrugem marrom (RIDESA, 2011).

3.2.3. Ensaio preliminar

Para a definição dos níveis de P, antes da implantação do experimento foi realizado um estudo preliminar com diversas concentrações de P na solução nutritiva. Os tratamentos foram constituídos por duas fontes de fósforo: KH_2PO_4 e

H₃PO₄ em 6 níveis: 0, 2, 4, 8, 16, 32 mg L⁻¹ com duas variedades: RB966928 e RB867515. As plantas foram provenientes de minitoletes crescidos em areia umedecida diariamente. Foram selecionadas plantas uniformes para todos os tratamentos (Figura 1).

Notou-se que os tratamentos no nível 16 mg L⁻¹ apresentaram características semelhantes ao nível de 32 mg L⁻¹, e que a fonte H₃PO₄ apresentou pH mais estável no decorrer do ensaio. Os tratamentos de baixa disponibilidade (2 e 4 mg L⁻¹) apresentaram comportamentos parecidos.

Portanto, definiu-se as concentrações de P nas soluções de crescimento consideradas de baixa (2 mg L⁻¹) e alta (16 mg L⁻¹) disponibilidade.

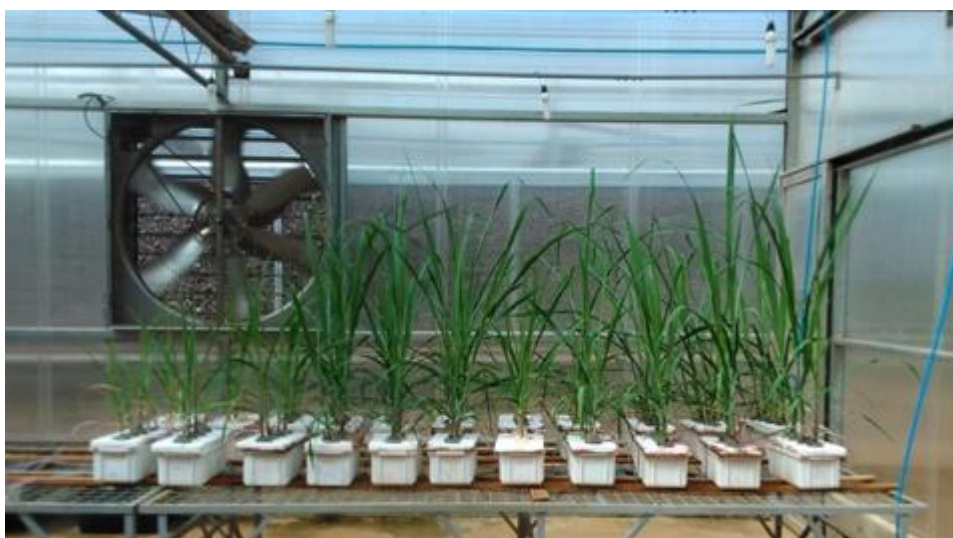


Figura 1. Ensaio preliminar para definição das concentrações de P nas soluções de crescimento consideradas insuficiente e suficiente para o crescimento da planta.

3.3. Instalação e condução do experimento

3.3.1. Obtenção das plântulas

As plantas foram obtidas por mini toletes de aproximadamente 3 cm contendo gemas vegetativas. Os mini toletes foram colocados para germinar em areia lavada mantendo a umidade (Figura 2) e após 27 dias, foram selecionadas quanto à sanidade e uniformidade.



Figura 2. Plantio de mini toletes em areia lavada.

3.3.2. Transferência das plântulas

As plântulas previamente selecionadas foram transferidas para vasos plásticos. Cada respectivo vaso recebeu 4 plântulas de cana-de-açúcar. Os vasos foram devidamente equipados, para que os 4L de solução nutritiva fossem aerados constantemente (Figura 3).

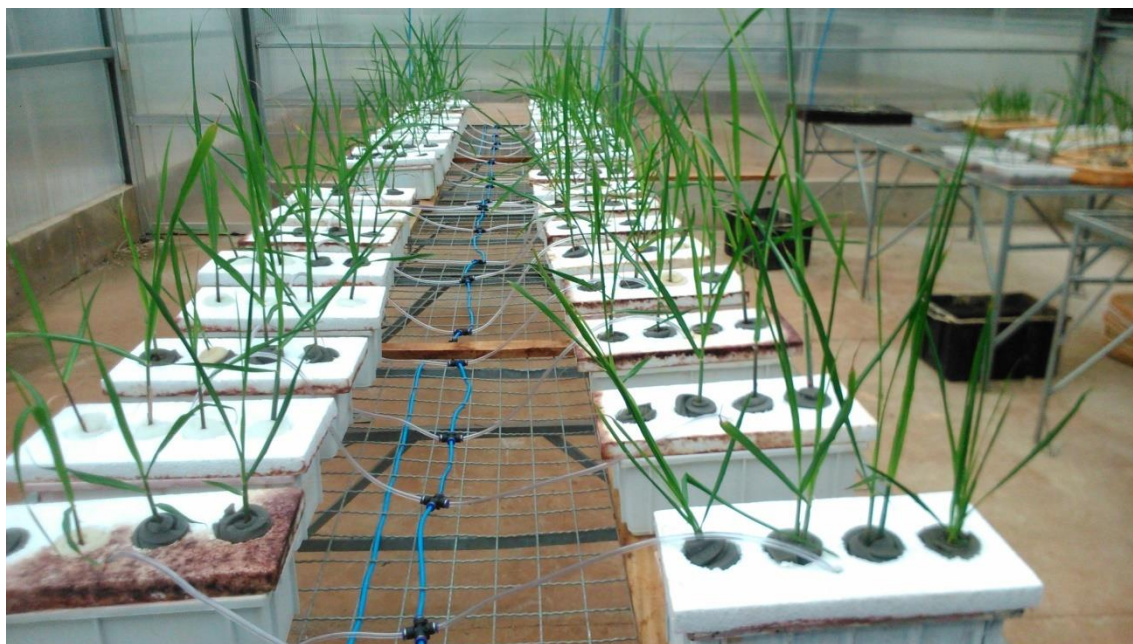


Figura 3. Unidades experimentais com aeração de 4 plântulas de cana-de-açúcar por unidade experimental de 4L contendo solução nutritiva em casa-de-vegetação.

3.3.3. Solução nutritiva

A solução nutritiva utilizada no experimento (alta e baixa disponibilidade de P), foi baseada em Furlani e Furlani (1988) e as doses e fontes de fósforo definidas após testes preliminares. Como fonte de fósforo foi utilizado H_3PO_4 nas concentrações de 2 e 16 mg de P L^{-1} (Tabela 1).

Tabela 1. Composição da solução nutritiva por Furlani e Furlani (1988) modificada.

Solução Estoque			Relação solução estoque / solução nutritiva	Solução Nutritiva	
Nº	Componentes	Concentração		Concentração	
	Reagentes	g L ⁻¹	mL L ⁻¹	Nutriente	mg L ⁻¹
1	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	351	3	N-NO ₃	138
	NH ₄ NO ₃	43,94		N-NH ₄	20
2	K ₂ SO ₄	70,4	3	K	141
	KNO ₃	39,36		Ca	151
3	MgSO ₄ .7H ₂ O	191,66	1	Mg	17
4	Rexolim M48	55,39	1	S	56
5	MnCl ₂ .4H ₂ O	1,755	1	Cu	0,04
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,66		Fe	3,6
	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,15		Mn	0,5
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	0,147		Mo	0,08
	H ₃ BO ₃	0,003		Zn	0,15
6	KCl	187,2	3	B	0,003
				Cl	33
7	H ₃ PO ₄	mL.L ⁻¹	1	P	
	Alto	29		Alto	16
	Baixo	3,74		Baixo	2

Os volumes das soluções foram mantidos com variação máxima de 5%. O volume de água evapotranspirado foi completado com água destilada. Foram monitorados diariamente os valores de pH e quando necessário foi utilizado NaOH para seu ajuste na faixa de 5,5 a 6,5. As soluções nutritivas foram renovadas semanalmente.

Após 51 dias do transplântio, as plantas foram novamente transferidas para vasos de 8 litros de volume e reduziu-se o número de plantas para 3 por unidade experimental (Figura 4).



Figura 4. Unidades experimentais de 8 L de volume contendo 3 plantas.

Na época de análises, as plantas foram coletadas e divididas em parte aérea e raízes, para posterior análise química e morfológica. Os mini toletes foram descartados.

3.4. Variáveis analisadas

Para os estudos nutricionais e biométricos foram realizadas avaliações aos 73 dias após o transplante das plântulas (Figura 5).



Figura 5. Aspecto da planta aos 73 dias após o transplante das plântulas.

3.4.1. Parâmetros morfológicos radiculares

As plantas foram separadas em parte aérea e raiz. A planta foi dividida em folhas (bainha+limbo foliar), colmo, mini tolete e raiz.

Foi retirada uma amostra da raiz de cada unidade experimental constituída de subdivisões da massa fresco, extraída no sentido do comprimento, ou seja, do ponto de surgimento das raízes adventícias, no colo da planta, até a extremidade do sistema radicular; em seguida, as amostras foram armazenadas em coletor universal, com capacidade de 100 mL, em solução alcoólica 70%, e acondicionadas em ambiente refrigerado a 2 °C, para posterior análise.

As variáveis: comprimento e diâmetro médio das raízes foram avaliadas em Scanner, desenvolvido para esse fim, acoplado a um computador contendo o Software WinRhizo (Figura 6), que utiliza como princípio o método proposto por Tennant (1975).

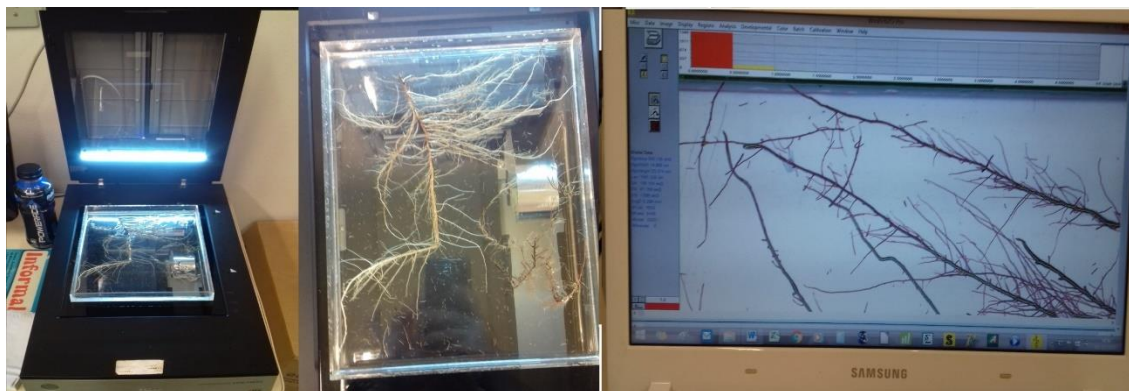


Figura 6. Parte do sistema radicular de cana-de-açúcar inserido em scanner para avaliação de comprimento, superfície e diâmetro radicular pelo software WinRhizo.

3.4.2. Massa de matéria seca da parte aérea, raiz e matéria seca total (g planta⁻¹)

A parte aérea das plantas foi lavada em água corrente e a seguir submetida à secagem, em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, até atingirem peso constante, em seguida foram pesadas para a determinação da matéria seca da parte aérea.

O restante do sistema radicular juntamente com a parte utilizada nas determinações morfológicas também foi seco em estufa a 65°C, onde, posteriormente foi determinada a massa seca radicular.

A matéria seca total foi determinada por meio do somatório da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular.

3.4.3. Análises químicas

Os teores de nutrientes foram determinados com a parte aérea e sistema radicular coletados de cada tratamento após serem submetidos a uma lavagem com água deionizada, em três porções sucessivas, sendo a seguir colocados sobre papel absorvente (MALAVOLTA et al., 1997).

As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, até atingirem peso constante de massa de

matéria seca. A seguir, o material foi moído em moinho tipo Willey, para posterior determinação dos teores de nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997).

Na parte aérea das plantas, foram realizadas análises químicas para determinação de fósforo, por meio de digestão nitro-perclórica. A partir do extrato obtido foram feitas as determinações de P total por colorimetria pelo método do molibdato (MALAVOLTA et al., 1997).

3.4.4. Eficiência de adaptação à disponibilidade de fósforo

A eficiência de adaptação à disponibilidade de fósforo foi determinada pela relação (SANT'ANA et al., 2003; FAGERIA, 2007):

$$EA = \frac{MMSR}{MMSPA}$$

Sendo:

EA = Eficiência de adaptação à disponibilidade de fósforo,

MMSR = Massa de matéria seca de raiz (g),

MMSPA = Massa de matéria seca de parte aérea (g).

3.4.5. Eficiência de utilização de nutrientes

A eficiência de utilização dos nutrientes foi calculada pelo índice proposto por Siddiqi e Glass (1981) definido pela expressão:

$$E = \frac{W}{C}, \text{ onde } C = \frac{Q}{W}$$

Sendo:

E = Eficiência de utilização (mg de MS mg⁻¹ de nutriente);

W = Matéria seca da parte aérea (mg),

C = Concentração do nutriente no tecido (mg planta⁻¹),

Q = Quantidade do nutriente na biomassa (mg).

3.4.6. Acúmulo de nutrientes

O acúmulo de nutrientes foi calculado pela seguinte expressão:

$$A_{nutrientes} = MSPA \times CN$$

Sendo:

$A_{nutrientes}$ = Acúmulo de nutrientes (g ou mg planta⁻¹),

MSPA = Massa de matéria seca da parte aérea (g),

CN = Concentração de nutrientes (g ou mg kg⁻¹).

3.4.7. Relação entre os teores de nutrientes e o teor de fósforo

A relação entre os teores de nutrientes e o teor de fósforo foi calculada pela fórmula:

$$NP = \frac{TN}{TP}$$

Sendo:

NP = Relação teor de nutriente e teor de fósforo,

TN = Teor de nutriente na parte aérea (g ou mg kg⁻¹),

TP = Teor de fósforo na parte aérea (g ou mg kg⁻¹).

3.4.8. Absorção de nutrientes por comprimento radicular

A Absorção de nutrientes por comprimento radicular foi calculada pela expressão (ROSOLEM et al., 1994):

$$AR_{nut} = \frac{MSPA \times CN}{CR}$$

Sendo:

AR_{nut} = Absorção de nutrientes por comprimento radicular (g ou kg m⁻¹ raiz)

MSPA = Massa de matéria seca da parte aérea (g)

CN = Concentração de nutrientes (g ou mg kg⁻¹)

CR = Comprimento radicular (m)

3.5. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância e aplicação do teste t (LSD) de Fisher a 5% de probabilidade para as médias obtidas. Os coeficientes de correlação de Pearson também foram utilizados. As variáveis que apresentaram interação significativa no teste f de probabilidade e o teste de média não identificou sua interação não foram incluídas nas tabelas de desdobramento.

4. RESULTADOS

4.1. Parâmetros biométricos

Analisando a Tabela 2, com exceção do diâmetro de colmos e do número de folhas, todas as variáveis foram influenciadas pelo fator variedade. As variáveis: comprimento radicular, diâmetro radicular, massa de matéria seca de raiz, número de perfilhos, massa de matéria seca de parte aérea e total, relação de massa de matéria seca de raiz e parte aérea foram afetadas pelos níveis de P. Houve interação significativa entre os fatores para as variáveis: comprimento radicular, diâmetro radicular, número de perfilhos e a massa de matéria seca de raiz.

A variedade RB867515 apresentou menor comprimento radicular, matéria seca radicular, número de entrenós, altura, comprimento de entrenós do colmo principal, massa de matéria seca de parte aérea e massa de matéria seca total que a variedade RB966928. Por outro lado, apresentou maior diâmetro radicular, número de perfilhos e relação de massa de matéria seca de raiz e parte aérea (Tabela 2).

No maior nível de P (16 mg L⁻¹) verificou-se aumento no comprimento radicular, diâmetro radicular, superfície radicular, massa de matéria seca de raiz, número de perfilhos, comprimento de entrenós do colmo principal, massa de matéria seca de parte aérea e massa de matéria seca total e redução da relação de massa de matéria seca de raiz e parte aérea. Para as demais variáveis avaliadas não se observou diferenças significativas entre os níveis de P (Tabela 2).

Tabela 2. Comprimento radicular (CR), Diâmetro radicular (DR), Superfície radicular (SR), Massa de matéria seca de raiz (MSR), Número de perfilhos (P), Número de entrenós (E), Diâmetro de colmos (DC), Altura do colmo principal até a primeira lígula visível (ALT), Número de folhas (F), Comprimento de entrenós do colmo principal (CECP), Massa de matéria seca de parte aérea (MSPA), Massa de matéria seca total (MST), Relação de massa de matéria seca de raiz e parte aérea (R:PA) para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

Fatores	CR	DR	SR	MSR	P	E	DC
	m	mm	m ²	g	nº	nº	mm
Variedade							
RB867515	19,3 b	0,3465 a	0,20 a	2,3 b	2,0 a	2,0 b	11,6 a
RB966928	22,7 a	0,3260 b	0,24 a	3,8 a	1,0 b	4,1 a	11,1 a
Níveis de P							
Baixo	16,5 b	0,3278 b	0,16 b	2,4 b	1,0 b	2,9 a	11,6 a
Alto	25,5 a	0,3448 a	0,27 a	3,7 a	3,0 a	3,3 a	11,0 a
ANOVA							
Variedade (V)	0,023	<0,001	0,476	<0,001	<0,001	<0,001	0,261
Níveis de P (P)	<0,001	<0,001	0,039	<0,001	<0,001	0,109	0,166
V x P	0,005	0,011	0,314	0,004	<0,001	0,574	0,102

	ALT	F	CECP	MSPA	MST	R:PA
	cm	nº	cm	g	g	-
Variedade						
RB867515	62,8 b	6,5 a	9,7 b	18,9 b	21,1 b	0,13 a
RB966928	85,4 a	7,4 a	11,6 a	47,0 a	50,9 a	0,08 b
Níveis de P						
Baixo	71,9 a	7,2 a	10,0 a	23,8 b	26,2 b	0,12 a
Alto	76,3 a	6,7 a	11,2 a	42,2 a	45,8 a	0,09 b
ANOVA						
Variedade (V)	<0,001	0,084	0,006	<0,001	<0,001	<0,001
Níveis de P (P)	0,152	0,303	0,058	<0,001	<0,001	0,011
V x P	0,062	0,998	0,235	0,810	0,676	0,333

Letras diferentes diferem entre si no teste t LSD a 5%.

Para o desdobramento da interação entre o fator variedade e níveis de P (Tabela 3) observa-se que em baixa disponibilidade de P (2 mg L⁻¹), a variedade RB867515 apresentou menor comprimento radicular e número de perfilhos, e maior diâmetro radicular. No maior nível de P (16 mg L⁻¹), não se observou diferenças para o comprimento radicular, mas a variedade RB867515 propiciou maior diâmetro radicular e maior número de perfilhos que a variedade RB966928.

Para o desdobramento do fator níveis de P dentro das variedades observou-se que para ambas as variedades a maior disponibilidade de P (16 mg L⁻¹) aumentou o comprimento radicular. A variedade RB867515 quando sob maior

disponibilidade de P aumentou o número de perfilhos. Já para a variedade RB966928, a maior disponibilidade de P (16 mg L^{-1}) aumentou o diâmetro radicular (Tabela 3).

Tabela 3. Desdobramento de comprimento radicular, diâmetro radicular, número de perfilhos para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

Variedades	Níveis de P	
	Baixo	Alto
	<u>Comprimento radicular (m planta^{-1})</u>	
RB867515	12,5 bB	26,0 aA
RB966928	20,5 bA	24,9 aA
	<u>Diâmetro radicular (mm)</u>	
RB867515	0,3426 aA	0,3505 aA
RB966928	0,3130 bB	0,3391 aB
	<u>Perfilhos (n°)</u>	
RB867515	0,0 bB	4,0 aA
RB966928	1,0 aA	1,0 aB

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

4.2. Teor nutricional

Avaliando a Tabela 4, nota-se que a variedade RB867515 mostrou maiores teores para todos os nutrientes, exceto Boro que não apresentou diferença de teores entre as variedades estudadas. Enquanto os teores de N, P e Zn foram maiores em alta disponibilidade de fósforo, o teor de Boro foi maior em condições de baixa disponibilidade de P, os demais nutrientes não apresentaram diferença significativa para os níveis de fósforo. Nota-se interações significativas para os teores de N, P, Cu, Zn e Fe.

Tabela 4. Teor de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Variedade						
RB867515	21,29 a	3,25 a	37,74 a	4,19 a	1,33 a	2,89 a
RB966928	17,91 b	2,43 b	36,41 b	3,32 b	1,07 b	2,11 b
Níveis de P						
Baixo	17,95 b	1,41 b	37,16 a	3,78 a	1,19 a	2,54 a
Alto	21,25 a	4,27 a	36,99 a	3,73 a	1,21 a	2,46 a
ANOVA						
Variedade (V)	<0,001	<0,001	0,229	<0,001	<0,001	<0,001
Níveis de P (P)	<0,001	<0,001	0,870	0,547	0,304	0,327
V x P	<0,001	<0,001	0,888	0,244	0,694	0,404

	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg kg ⁻¹				
Variedade					
RB867515	13,78 a	13,95 a	51,96 a	104,41 a	111,49 a
RB966928	14,58 a	11,06 b	37,16 b	92,93 b	76,30 b
Níveis de P					
Baixo	17,95 a	12,18 a	38,36 b	98,04 a	93,89 a
Alto	10,40 b	12,84 a	50,76 a	99,30 a	93,90 a
ANOVA					
Variedade (V)	0,237	0,007	<0,001	0,005	<0,001
Níveis de P (P)	<0,001	0,474	<0,001	0,709	0,997
V x P	0,186	0,019	<0,001	0,148	0,006

Letras diferentes diferem entre si no teste t LSD a 5%.

Quando comparadas variedades dentro de níveis de fósforo, em baixa disponibilidade de fósforo os teores de N, Cu e Zn mostraram os maiores valores na variedade RB966928. Já em alta disponibilidade de P a variedade RB867515 teve maior média para os teores dos mesmos nutrientes (Tabela 5).

Enquanto para teores de P e Fe, para níveis de fósforo dentro de variedades, em alta disponibilidade de P foram maiores as médias da variedade RB867515. A variedade RB966928 não se destacou em nenhum dos níveis de fósforo (Tabela 5).

Tabela 5. Desdobramento de teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Ferro (Fe) submetidos a níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

Variedades	Níveis de P	
	Baixo	Alto
	<u>N (g kg⁻¹)</u>	
RB867515	18,15 bA	24,43 aA
RB966928	17,75 aA	18,08 aB
	<u>P (g kg⁻¹)</u>	
RB867515	1,32 bA	5,17 aA
RB966928	1,50 bA	3,37 aB
	<u>Cu (mg kg⁻¹)</u>	
RB867515	12,40 bA	15,50 aA
RB966928	11,95 aA	10,18 aB
	<u>Zn (mg kg⁻¹)</u>	
RB867515	40,23 bA	63,70 aA
RB966928	36,50 aA	37,83 aB
	<u>Fe (mg kg⁻¹)</u>	
RB867515	105,50 bA	117,48 aA
RB966928	82,28 aB	70,33 bB

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

4.3. Acúmulo de nutrientes

Analisando a Tabela 6, o acúmulo de todos os nutrientes foi influenciado pelo fator variedade. O fator níveis de P influenciou o acúmulo de todos os nutrientes, exceto boro. Houve efeito da interação para o acúmulo de cobre, ferro e zinco.

Tabela 6. Acúmulo de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva (continua).

	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg planta ⁻¹					
Variedade						
RB867515	432 b	79 b	709 b	79 b	25 b	54 b
RB966928	842 a	122 a	1716 a	155 a	50 a	99 a
Níveis de P						
Baixo	423 b	35 b	875 b	84 b	26 b	54 b
Alto	850 a	166 a	1550 a	151 a	49 a	98 a
ANOVA						
Variedade (V)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níveis de P (P)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
V x P	0,063	0,841	0,758	0,129	0,343	0,142

Tabela 6. Acúmulo de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva (continuação).

	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg planta ⁻¹				
Variedade					
RB867515	221 b	283 b	1091 b	2001 b	2171 b
RB966928	659 a	511 a	1746 a	4340 a	3514 a
Níveis de P					
Baixo	427 a	286 b	883 b	2286 b	2058 b
Alto	452 a	508 a	1954 a	4056 a	3627 a
ANOVA					
Variedade (V)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níveis de P (P)	0,5864	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
V x P	0,119	0,030	0,005	0,167	0,004

Letras diferentes diferem entre si no teste LSD a 5%.

Os teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, os maiores acúmulos ocorreram na maior disponibilidade de fósforo (16 mg L⁻¹) e para a variedade RB966928, exceto o Boro que não apresentou diferença significativa para os níveis de fósforo, mostrando médias iguais estatisticamente tanto em baixa como em alta disponibilidade de fósforo (Tabela 6).

Para o desdobramento dos níveis de fósforo dentro das variedades, constatou-se maior acúmulo de cobre na planta quando em alta disponibilidade de fósforo (16 mg L⁻¹) para a variedade RB867515 enquanto a RB966928 não diferiu quanto aos níveis de fósforo (Tabela 7).

Tabela 7. Desdobramento de acúmulo de Cobre (Cu) e Ferro (Fe) submetidos a níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

Variedades	Níveis de P	
	Baixo	Alto
	<u>Cu (mg planta⁻¹)*</u>	
RB867515	118 bB	448 aB
RB966928	455 aA	567 aA
	<u>Fe (mg planta⁻¹)</u>	
RB867515	986 bB	3355 aA
RB966928	3129 bA	3900 aA

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

Na Tabela 7, desdobrando a interação de variedades dentro de níveis de fósforo, verificou-se que o acúmulo de ferro na planta ocorreu na variedade RB966928 em condições de baixa disponibilidade de P (2 mg L⁻¹), enquanto para

suficiência de fósforo não houve diferença entre as variedades. Ambas as variedades tiveram maior acúmulo de ferro em condições de alta disponibilidade de fósforo (16 mg L⁻¹).

4.4. Absorção de nutrientes

A absorção de todos os nutrientes por comprimento de raiz foi influenciada pelo fator variedade, e os níveis de fósforo interferiram, com exceção de cobre, a absorção dos demais nutrientes (Tabela 8). Houve efeito da interação apenas para a absorção de zinco.

Tabela 8. Absorção de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg m ⁻¹ de raiz					
Variedade						
RB867515	20,1 b	3,3 b	34,6 b	3,9 b	1,2 b	2,6 b
RB966928	37,3 a	5,2 a	75,8 a	6,9 a	2,2 a	4,4 a
Níveis de P						
Baixo	23,4 b	1,9 b	48,5 b	4,7 b	1,5 b	3,1 b
Alto	34,0 a	6,7 a	61,9 a	6,0 a	2,0 a	3,9 a
ANOVA						
Variedade (V)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Níveis de P (P)	0,003	<0,001	0,030	0,021	0,015	0,009
V x P	0,437	0,748	0,873	0,677	0,902	0,989

	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg m ⁻¹ de raiz				
Variedade					
RB867515	12,0 b	13,2 b	49,6 b	96,6 b	103,8 b
RB966928	29,8 a	22,9 a	76,9 a	193,2 a	157,3 a
Níveis de P					
Baixo	23,7 a	15,9 a	49,1 b	127,4 b	116,4 b
Alto	18,1 b	20,3 a	77,4 a	162,4 a	144,7 a
ANOVA					
Variedade (V)	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001
Níveis de P (P)	0,050	0,083	<0,001	0,036	0,044
V x P	0,362	0,184	0,034	0,712	0,128

Letras diferentes diferem entre si no teste LSD a 5%.

Relacionado à absorção de nutrientes por metro de raiz, todos os macronutrientes, além dos micronutrientes zinco, manganês e ferro apresentaram o mesmo comportamento para os níveis de fósforo, com as maiores médias apresentadas alta disponibilidade de fósforo (16 mg L^{-1}). Enquanto o boro mostrou comportamento inverso, em que a maior absorção por metro de raiz foi observada para baixa disponibilidade de fósforo (2 mg L^{-1}). O cobre não mostrou diferença significativa para os níveis de fósforo testados. A variedade RB966928 absorveu maiores quantidades de nutrientes por metro de raiz para todos os nutrientes avaliados (Tabela 8).

4.5. Relação entre os teores de nutrientes e teor de fósforo

A relação entre os teores de nitrogênio, enxofre e zinco com os teores de fósforo na planta foram influenciados pelo fator variedade. O fator níveis de P influenciaram a relação de todos os nutrientes com o teor de fósforo. Houve efeito da interação para a relação de todos os nutrientes com o teor de fósforo (Tabela 9).

Tabela 9. Relação entre teores de nutrientes e teor de fósforo para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

	N	K	S	Zn
Variedade				
RB867515	9,2 a	17,9 a	1,4 a	21,4 a
RB966928	8,6 b	17,6 a	1,0 b	17,8 b
Níveis de P				
Baixo	12,8 a	26,5 a	1,8 a	27,4 a
Alto	5,1 b	9,1 b	0,6 b	11,8 b
ANOVA				
Variedade (V)	0,001	0,725	<0,001	0,001
Níveis de P (P)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
V x P	<0,001	<0,001	<0,001	0,015

Letras diferentes diferem entre si no teste LSD a 5%.

A relação entre teores de N e K com teor de fósforo, apresentou comportamento semelhante para a interação e o desdobramento de variedades dentro de níveis de fósforo constatando-se maior valor para a RB867515 em condições de baixa disponibilidade de fósforo (2 mg L^{-1}), enquanto em condições de alta disponibilidade (16 mg L^{-1}) a variedade RB966928 apresenta o maior valor (Tabela 10).

Na interação para relação entre teores de S e Zn com teor de fósforo, o desdobramento de variedades dentro de níveis de fósforo apresentou

comportamento semelhante para esses nutrientes, constatando-se maior valor para a RB867515 em condições de baixa disponibilidade de fósforo (2 mg L^{-1}), enquanto em condições de alta disponibilidade (16 mg L^{-1}), não houve diferença entre as variedades (Tabela 10).

Tabela 10. Desdobramento da relação entre teores de nutrientes e teor de fósforo para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

Variedades	Níveis de P	
	Baixo	Alto
	<u>N/P</u>	
RB867515	13,7 Aa	4,8 bB
RB966928	11,9 aB	5,4 bA
	<u>K/P</u>	
RB867515	28,5 aA	7,3 bB
RB966928	24,5 aB	10,8 bA
	<u>S/P</u>	
RB867515	2,2 aA	0,5 bA
RB966928	1,4 aB	0,6 bA
	<u>Zn/P</u>	
RB867515	30,4 aA	12,4 bA
RB966928	24,4 aB	11,2 bA

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas entre linhas e minúsculas entre colunas, não diferem entre si pelo teste LSD, a 5% de probabilidade.

4.6. Eficiência de utilização de nutrientes

Na avaliação da eficiência da utilização de nutrientes (Tabela 11) observou-se que todos os nutrientes, com exceção de fósforo e potássio, apresentaram influência do fator variedade. Para o fator níveis de P, houve influência apenas para nitrogênio, fósforo, boro e zinco. Houve interação significativa para o nitrogênio, fósforo, boro, cobre, zinco e ferro.

Tabela 11. Eficiência de utilização dos nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg de MS/mg de nutriente					
Variedade						
RB867515	48,05 b	475,02 a	26,55 a	238,96 b	749,87 b	347,66 b
RB966928	55,95 a	483,52 a	27,55 a	301,64 a	936,13 a	475,85 a
Níveis de P						
Baixo	55,80 a	712,41 a	26,96 a	267,82 a	850,77 a	406,59 a
Alto	48,20 b	246,13 b	27,14 a	272,78 a	835,23 a	416,92 a
ANOVA						
Variedade (V)	<0,001	0,541	0,227	<0,001	<0,001	<0,001
Níveis de P (P)	<0,001	<0,001	0,825	0,362	0,191	0,403
V x P	<0,001	<0,001	0,849	0,151	0,472	0,518

	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg de MS/mg de nutriente				
Variedade					
RB867515	80,42 a	73,73 b	20,29 b	9,62 b	9,03 b
RB966928	72,90 b	91,79 a	27,05 a	10,81 a	13,28 a
Níveis de P					
Baixo	56,03 b	82,38 a	26,17 a	10,27 a	10,86 a
Alto	97,30 a	83,14 a	21,17 b	10,16 a	11,44 a
ANOVA					
Variedade (V)	0,041	0,005	<0,001	0,006	<0,001
Níveis de P (P)	<0,001	0,889	<0,001	0,755	0,279
V x P	0,027	0,017	<0,001	0,172	0,010

Letras diferentes diferem entre si no teste LSD a 5%.

A eficiência de utilização de nitrogênio e cobre, apresentou o mesmo comportamento na interação e desdobrando variedades dentro de níveis de P, constatou-se menor valor para RB867515 em alta disponibilidade de fósforo (16 mg L^{-1}), enquanto em baixa disponibilidade (2 mg L^{-1}), não teve diferença entre as variedades (Tabela 12).

Na interação para eficiência de utilização de fósforo, desdobrando variedades dentro de níveis de fósforo, constatou-se maior valor para RB867515 em baixa disponibilidade de fósforo (2 mg L^{-1}), enquanto em condições de alta disponibilidade de fósforo (16 mg L^{-1}), a maior média foi encontrada na variedade RB966928, ou seja, a RB867515 foi mais eficiente na utilização de fósforo mesmo em deficiência do elemento (Tabela 12).

Em eficiência de utilização de nutrientes, a variedade RB966928 se destacou em Ca, Mg, S, Mn, enquanto para o K as variedades não diferiram significativamente. Esses nutrientes não apresentaram diferenças significativas em níveis de P (Tabela 12).

Tabela 12. Desdobramento de eficiência de utilização de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

Variedades	Níveis de P	
	Baixo	Alto
	<u>EUN</u>	
RB867515	55,15 aA	40,95 bB
RB966928	56,46 aA	55,45 aA
	<u>EUP</u>	
RB867515	755,07 aA	194,96 bB
RB966928	669,76 aB	297,29 bA
	<u>EUB</u>	
RB867515	55,63 bA	105,22 aA
RB966928	56,43 bA	89,38 aB
	<u>EUCu</u>	
RB867515	81,46 aA	66,01 aB
RB966928	84,82 aA	98,76 aA
	<u>EUZn</u>	
RB867515	24,87 aB	15,72 bB
RB966928	27,47 aA	26,62 aA
	<u>EUFe</u>	
RB867515	9,53 aB	8,54 aB
RB966928	12,20 bA	14,35 aA

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas entre linhas e minúsculas entre colunas, não diferem entre si pelo teste LSD, a 5% de probabilidade.

No desdobramento da interação de variedades dentro de níveis de fósforo para a eficiência de utilização de boro, verificou-se que em condições de alta disponibilidade de fósforo (16 mg L⁻¹), o maior valor foi encontrado na RB867515, enquanto em condições de baixa disponibilidade (2 mg L⁻¹), não houve diferença significativa entre as variedades (Tabela 12). Na interação para eficiência de utilização de zinco, desdobrando níveis de fósforo dentro de variedades, observou-se menor valor em alta disponibilidade de fósforo (16 mg L⁻¹), para a variedade RB867515, enquanto a RB966928 não apresentou diferença significativa entre os níveis de fósforo (Tabela 12).

Na eficiência de utilização de ferro, o desdobramento da interação de níveis de fósforo dentro de variedades, a maior média foi em condições de alta disponibilidade de fósforo (16 mg L⁻¹), para RB966928, enquanto a RB867515 não apresentou diferença significativa entre os níveis de P (Tabela 12).

4.7. Correlação de Pearson

As correlações entre os parâmetros biométricos e os teores de P na parte aérea (Tabela 13) mostram que as maiores correlações com o P acumulado na parte aérea para a variedade RB867515 foram o comprimento radicular ($r = 0,95$), matéria seca de raiz ($r=0,95$), matéria seca da parte aérea ($r=0,922$) e matéria seca total ($r=0,927$) e número de perfilhos ($r=0,976$). Também foram encontradas correlações significativas para diâmetro de colmos ($r=-0,823$) e altura ($r=0,750$). Houve correlações significativas na variedade RB966928 para o diâmetro radicular ($r=0,921$), massa de matéria seca da parte aérea ($r=0,778$) e total ($r=0,779$).

Tabela 13. Correlação de Pearson para parâmetros biométricos e acúmulo de nutrientes para níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

Parâmetro	Teor P parte aérea			
	RB867515		RB966928	
	r	P	r	P
		<u>Biometria</u>		
Comprimento Radicular	0,950	<0,001	0,550	0,158
Diâmetro radicular	0,690	0,058	0,921	0,001
Matéria seca raiz	0,950	<0,001	0,728	0,041
Matéria seca parte aérea	0,922	0,001	0,778	0,023
Matéria seca total	0,927	0,001	0,779	0,023
Relação R:PA	-0,671	0,069	-0,692	0,057
Número folhas	-0,409	0,315	-0,314	0,449
Número perfilhos	0,976	<0,001	0,016	0,971
Número entrenós	0,550	0,158	0,237	0,572
Diâmetro colmos	-0,823	0,012	0,021	0,961
Comprimento entrenós	0,500	0,207	0,371	0,365
Altura	0,750	0,032	-0,079	0,853
		<u>Acúmulo nutriente (mg planta⁻¹)</u>		
N	0,940	0,001	0,835	0,010
P	0,970	<0,001	0,957	<0,001
K	0,944	<0,001	0,701	0,053
Ca	0,916	0,001	0,777	0,023
Mg	0,941	0,001	0,813	0,014
S	0,946	<0,001	0,836	0,010
B	0,748	0,033	-0,327	0,429
Cu	0,837	0,010	0,607	0,110
Zn	0,937	0,001	0,835	0,010
Mn	0,927	0,001	0,804	0,016
Fe	0,903	0,002	0,723	0,043

Na variedade RB867515, o acúmulo de todos os nutrientes aumenta com o aumento do teor de fósforo, enquanto na RB966928 somente o acúmulo de K, B e Cu não é afetado pelo aumento do teor de fósforo (Tabela 13).

Na RB867515 a absorção de todos os nutrientes por comprimento de raiz é afetada pelo aumento do teor de fósforo, exceto boro que tem a absorção reduzida com o aumento do teor de fósforo. A RB966928 tem o aumento de absorção somente de fósforo quando o teor de fósforo aumenta (Tabela 14).

Tabela 14. Correlação de Pearson para absorção de nutrientes por comprimento radicular, relação entre teores de nutrientes e teor de fósforo na parte aérea e eficiência de utilização de nutrientes em níveis de fósforo em variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva.

Parâmetro	Teor P parte aérea			
	RB867515		RB966928	
	r	P	r	P
<u>Absorção de nutriente (mg m⁻¹ de raiz)</u>				
N	0,929	0,001	0,499	0,208
P	0,983	<0,001	0,914	0,001
K	0,909	0,002	0,406	0,318
Ca	0,820	0,013	0,393	0,335
Mg	0,868	0,005	0,492	0,216
S	0,877	0,004	0,523	0,183
B	-0,732	0,039	-0,594	0,121
Cu	0,730	0,040	0,082	0,848
Zn	0,946	<0,001	0,624	0,098
Mn	0,858	0,006	0,361	0,379
Fe	0,826	0,011	0,111	0,794
<u>Relação nutriente P⁻¹</u>				
N/P	-0,992	<0,001	-0,992	<0,001
K/P	-0,985	<0,001	-0,992	<0,001
S/P	-0,979	<0,001	-0,989	<0,001
Zn/P	-0,991	<0,001	-0,981	<0,001
<u>Eficiência de utilização de nutriente (mg de MS/mg de nutriente)</u>				
N	-0,986	<0,001	-0,278	0,504
P	-0,991	<0,001	-0,996	<0,001
K	-0,025	0,953	0,167	0,693
Ca	-0,199	0,637	0,603	0,114
Mg	-0,268	0,520	-0,671	0,069
S	0,314	0,449	-0,021	0,961
B	0,993	<0,001	0,958	<0,001
Cu	-0,585	0,127	0,580	0,132
Zn	-0,967	<0,001	-0,242	0,563
Mn	-0,511	0,196	0,221	0,600
Fe	-0,661	0,074	0,645	0,084

Na relação do teor de nutrientes por teor de fósforo, como esperado, todos nutrientes foram altamente significativos negativamente para ambas variedades (Tabela 14).

A eficiência de utilização de fósforo para ambas variedades reduz com o aumento do teor de fósforo, enquanto a eficiência de utilização de boro aumenta com o aumento do teor de fósforo (Tabela 14).

A eficiência de utilização de nitrogênio e zinco na variedade RB867515 assim como a de fósforo, reduz a medida que há aumento no teor de fósforo (Tabela 14).

5. DISCUSSÃO

O perfilhamento, diâmetro de colmos, a altura da planta dependem da variedade e são influenciados dentre outros fatores por práticas culturais notadamente a adubação (MAGRO et al., 2011). A variedade RB966928 teve um desenvolvimento mais vigoroso em número de entrenós, altura e comprimento de entrenós, mostrando maior capacidade adaptativa em condições de limitação de fósforo. Por outro lado, a variedade RB867515 apresentou maior número de perfilhos quando sob baixos teores de fósforo. O número de perfilhos é o componente de produção que mais se relaciona com a produtividade e é influenciado entre outros fatores pela adubação e principalmente por doses de fósforo (MOURA et al., 2005; CAIONE et al., 2011).

A variedade RB966928 apresentou maior número de entrenós que a variedade RB867515, assim como para altura de plantas, esse fato explica-se pelo número de entrenós acompanhar o crescimento em altura das plantas, pois participa diretamente no processo de divisão e alongamento das células meristemáticas, atrelado a funções do fósforo na planta (ARANTES, 2012), apesar dessa ligação, no presente estudo não teve diferenças quanto aos níveis de fósforo para tal parâmetro.

A variedade RB966928 teve o maior comprimento de entrenós que é controlado pelo ácido giberélico, que apesar de ter o fósforo como componente de precursores na formação de sua molécula (AUDE, 1993; RODRIGUES 2010), não foi influenciado por níveis de fósforo neste trabalho. Segundo Oliveira et al. (2010), as variedades diferiram em crescimento inicial do diâmetro do colmo, contudo neste estudo essa diferença não foi observada tanto para variedades como para níveis de fósforo.

As variedades não diferiram quanto ao número de folhas, contrário do encontrado por Magro (2011) que mostra que essa variável depende da variedade e

condições de crescimento. As variedades estudadas têm como atributo o rápido crescimento que caracteriza alta quantidade de folhas em relação às outras variedades, possivelmente por isso não teve diferença entre as variedades.

A massa de matéria seca de parte aérea e total foi maior na RB966928 condizente com Oliveira et al. (2010) que encontrou diferença para massa de matéria seca entre as variedades. A massa de matéria seca de parte aérea e total também foram melhores em alta disponibilidade de fósforo, em contrapartida, Caione et al. (2011) mostrou que a massa de matéria seca de cana-de-açúcar não diferiu entre as doses de fósforo.

A rusticidade e capacidade de adaptação de variedades a ambientes de produção, rege o maior diâmetro e quantidade além de desenvolvimento de massa de raízes, que compõem um aumento no número de sítios de absorção do sistema radicular para adequar o fornecimento de nutrientes para as plantas (LANDELL, 2005; VASCONCELOS; CASAGRANDE, 2010). Em nosso trabalho foi encontrado maior comprimento radicular na variedade RB867515 em condição de baixa disponibilidade de P, a mesma variedade se destacou para ambos os níveis de P em diâmetro radicular enquanto a massa de matéria seca de raiz foi maior na RB966928, mostrando características de rusticidade e capacidade de adaptação para ambas as variedades.

Apesar da influência de propriedades físico-químicas do solo, características genéticas essenciais à absorção de fósforo controlam o padrão de enraizamento, como o amplo crescimento radicular e elevada capacidade de aquisição de água e nutrientes. Isso se explica, pois mesmo em ambientes restritivos, como os propícios a longo período de seca aliados a solos com baixa capacidade de retenção de água, podem proporcionar à planta, como estratégia adaptativa, aumento da exploração de volume de solo, garantindo a absorção de fósforo (HORST et al., 2001; GUIMARÃES et al., 2007; FAGERIA; BALIGAR, 2008; ROTILI et al., 2010; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2011). Em soja, milho e algodão o incremento de massa de matéria seca de raiz e o aumento de absorção de nutrientes foram observados com a adubação fosfatada (FAGERIA; STONE, 2006; FAGERIA; MOREIRA, 2011). Enquanto o padrão do sistema radicular tem efeito sobre a absorção de fósforo pela planta, o nível de fósforo estimula o crescimento radicular (ZHANG; BARBER, 1992).

A relação raiz/parte aérea na variedade RB867515 aumentou com a redução da dose de fósforo, concordante com o encontrado para outras espécies em

condições de P limitante, devido à relação fonte-dreno, como um mecanismo adaptativo de incremento de eficiência de absorção, pois os nutrientes, sobretudo N e P, à medida que se tornam restritos ao desenvolvimento das plantas, as raízes passam a funcionar como drenos preferenciais de fotoassimilados (ALVES et al., 1988; FÖHSE et al., 1988; HORST et al., 1993; MACHADO et al., 2001).

A capacidade da cana-de-açúcar em absorver nutrientes disponíveis na solução do solo pode limitar o potencial de crescimento e desenvolvimento da planta (OLIVEIRA, 2008). A absorção da maioria dos nutrientes por comprimento de raiz foi maior em suficiência de fósforo, mostrando que a insuficiência de um elemento nutritivo no solo reduz a capacidade de absorção dos demais nutrientes. A variedade RB966928 também se destacou na absorção da maioria dos nutrientes mostrando maior capacidade absorptiva quando comparada a outra variedade, que pode ser explicado por parâmetros morfológicos radiculares como maior comprimento radicular e massa de matéria seca de raiz, proporcionando amplo volume de solo explorado e com isso maior aptidão para absorção de nutrientes.

Em alta disponibilidade de P, a absorção de B foi menor que no menor nível de P, concordante com encontrado em tomate (VOISIN, 1973; YAMANOUCHI, 1980), como a quantidade acumulada de B, em alta e baixa disponibilidade de P foi a mesma, e a produção de matéria seca de parte aérea foi maior na maior disponibilidade de P a menor absorção de boro ocorreu em razão do efeito diluição.

A absorção de nitrogênio e seu metabolismo são alterados pela biodisponibilidade de fósforo na planta (MALAVOLTA, 1980; MAGALHÃES, 1996; NOVAIS; SMITH, 1999). O inapropriado fornecimento de fósforo às plantas pode reduzir a absorção e translocação de nitrato, porém há aumento de absorção, translocação e consequentemente de aminoácidos na planta quando o fósforo é fornecido adequadamente, por isso a disponibilidade desse elemento é crucial na nutrição nitrogenada (ALVES et al., 1998; NOVAIS; SMITH, 1999; MAGALHÃES, 1996). A concentração e acúmulo de nitrogênio dependem, dentre outros fatores, da variedade e a relação com outros nutrientes do solo, como o fósforo (CALHEIROS, 2008).

Neste trabalho, o acúmulo da maioria dos nutrientes foi maior em suficiência de fósforo na variedade RB966928, devido à possibilidade de apresentar maior capacidade de acúmulo de nutrientes, com exceção de boro que permaneceu praticamente inalterado mesmo em condições de insuficiência de fósforo. O cobre e o ferro

apresentaram menor acúmulo na RB867515 em insuficiência de fósforo, isso pode ser relacionado à planta pela interação controlada geneticamente, tendo efeito de diminuição de absorção sinérgico ou antagônico no caso de cobre ou na absorção, transporte e metabolismo, com a precipitação de Fe-O na superfície da raiz ou junções nervura-mesófilo no caso do ferro ou então relacionado à reações de substrato por precipitação por óxidos de Ferro na presença de fósforo (MALAVOLTA, 2004).

As relações entre teores de nutrientes e teor de fósforo foram mais expressivas em condições de insuficiência de fósforo na variedade RB867515. A relação do nitrogênio e do fósforo é embasada basicamente na influência do nitrogênio no crescimento radicular e com isso aumenta sítios de absorção de nutrientes, também do fósforo. O potássio é relacionado ao fósforo por seu efeito no balanço cátion/ânion, participando de ácidos orgânicos (MALAVOLTA, 2004).

De acordo com Kumar e Singh (1980), Haq e Carlson (1993), Furtini Neto et al. (2000) e Crusciol et al. (2006), a máxima produtividade pode estar relacionada a relação S/P dentro da planta que varia o valor de espécie para espécie. Foram encontrados valores para essa relação de 0,04 a 0,71 para feijão, espécies florestais e arroz (CRUSCIOL et al., 2006; MISSIO et al., 2004; CRUSCIOL et al., 2013). Enquanto neste trabalho, foram encontrados valores de 0,5 a 0,6, em suficiência de fósforo, em ambas as variedades.

A inibição não competitiva em que há precipitação P-Zn na superfície da raiz, pode ocorrer em função do aumento do pH, prejudicando a absorção e utilização do zinco (MALAVOLTA, 2004). Porém, nesse trabalho a absorção de zinco não mostrou alteração com os níveis de fósforo estudados, enquanto a utilização desse micronutriente apresentou menor eficiência em alta disponibilidade de P.

Em geral, sob fósforo em alta disponibilidade, a variedade RB867515 mostrou a menor eficiência de utilização, enfatizando diferença em eficiência de utilização de nutrientes dos diferentes genótipos, pois a RB966928 em suficiência de fósforo obteve alta eficiência, ou não diferiu entre os tratamentos apontando uma possível estabilidade ao elemento. As variedades de cana-de-açúcar mostram-se diferentes quanto à utilização dos nutrientes classificadas em baixa, média ou alta exigência em fertilidade do solo. A interação significativa dos tratamentos de variedades e níveis de fósforo para a eficiência de utilização ocorreu com alguns dos principais nutrientes que interagem com o

fósforo tanto na planta como no solo como o N, B, Cu, Zn e Fe (SILVA; TREVISAN, 2015; ARAÚJO; MACHADO, 2006; LOPEZ; MALAVOLTA, 1974).

De acordo com Mendes (2006), variedades capazes de acumular maior quantidade de nutrientes sob as mesmas condições edafoclimáticas possuem mecanismos absorptivos mais eficientes e tem maior eficiência na utilização de nutrientes os genótipos que produzem maior biomassa por concentração de nutrientes. Portanto, o fósforo é mal aproveitado em plantas com maior velocidade de crescimento e reduzido desenvolvimento radicular, e assim alta disponibilidade desse nutriente é requerida. No entanto, genótipos de ciclo longo e sistema radicular bem distribuído, ainda que em solos com teores restritos de fósforo, são capazes de se desenvolver (MENGEL; KIRKBY, 1987; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Algumas espécies incluem propriedades como alta capacidade de absorção de cálcio, associações com microrganismos do solo e liberação de exsudatos que podem alterar propriedades químicas do solo como o pH, que favorecem o aproveitamento de fósforo (RAIJ, 1991; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Apesar da caracterização da variedade RB966928 ser recomendada para ambientes de média a alta fertilidade do solo e a RB867515 de baixa a média fertilidade do solo (RIDESA, 2010), na correlação a variedade RB867515 parece ser mais influenciada pelos teores de fósforo na planta, quando comparada a variedade RB966928 que sofre poucos efeitos do teor de fósforo, ou seja, pode ser caracterizada como uma variedade não exigente e responsiva, provando sua rusticidade.

6. CONCLUSÕES

Os resultados do trabalho mostraram que a variedade RB867515 é mais eficiente em usar P em condições limitantes. Porém, em condições de alta disponibilidade de fósforo a variedade RB966928 é mais eficiente.

Apesar da variedade RB867515 ser responsiva quando submetida à alta disponibilidade de P, apresenta maior influência das variações do teor de fósforo em cana-de-açúcar, quando comparada à variedade RB966928, que se mostrou responsiva e não exigente, ou seja, é menos sensível a diferentes teores de fósforo em cana-de-açúcar.

Em início de desenvolvimento há diferença entre as variedades para parâmetros biométricos e nutricionais da planta e morfológicos de raiz de cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva em níveis de fósforo, sendo a variedade RB966928 mais responsiva.

O nível de alta disponibilidade de fósforo proporciona incremento nos parâmetros morfológicos de raiz, massa de matéria seca da planta e reduz a relação raiz/parte aérea; aumenta o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe; aumenta a absorção de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn e Fe por metro de raiz.

A eficiência da utilização de nitrogênio, fósforo e zinco foi prejudicada em condições de alta disponibilidade de fósforo.

A variedade RB966928 apresenta maior acúmulo de nutrientes por planta, maior absorção de nutrientes por comprimento de raiz e é mais eficiente na utilização de N, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Agrianual 2015**. São Paulo: Informa Economics, 2015.
- ALBINO, J. C.; CRESTE, S.; FIGUEIRA, A. Mapeamento genético da cana-de-açúcar. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 36, p. 82-91, 2006.
- ALEXANDER, A.G. Sugarcane physiolog. Amsterdam: **Elsevier**, 52 p, 1973.
- ALLEN, L.H.; JONES, P.H.; JONES, J.W. Rising atmospheric CO₂ and evapotranspiration. In: **Advances in evapotranspiration**. St. Joseph MI: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 1985, p.13-27.
- ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo do Brasil**. Viçosa - Mg: Editora Manoela, 1996.
- ALVES, V.M.C. et al. Seleção de genótipos de milho para eficiência ao fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.10, p.1083-1090, 1988.
- ALVES, V. M. C. et al. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1047-1052, jul. 1998.
- ARANTES, M. T. **Potencial de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. 2012. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, 2012.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 254-273.
- AUDE, M.I.S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 241-248, 1993.
- BACHI, O. O. S.; SOUZA, J. A. G. C. Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1978, São Paulo, SP. **Proceedings...** São Paulo, 1978. v. 2, p. 1733-1741.
- BARROW, N.J. Reaction of anions and cations with variable-charge soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p.183-230, 1985.
- BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. **Soil Sci.**, v. 112, p.116- 130, 1971.
- BARBOSA, M.H.P. et al. Variedades melhoradas de cana-de-açúcar para Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.28, n.239, p.20-24, 2007.
- BENVENUTI, F.A. **Relação de índices de Vegetação com a Produtividade da Cana-de-açúcar e Atributos Edáficos**. 2005, 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

BERTRAND, I. et al. Dynamics of phosphorus in the rhizosphere of maize and rape grown on synthetic, phosphated calcite and goethite. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.211, p.111–119, 1999.

BITTENCOURT, V. C. Planalsucar. **Comemoração dos 50 anos da Estação Experimental “José Vizioli”**, Piracicaba, 51-68. 1978.

BITTENCOURT, V.C.; FAGANELLO, B.F.; SALATA, J.C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). **STAB - Açúcar, Alcool Subpr.**, v. 5, p. 26-33, 1986.

CAIONE, G. et al. Modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em Latossolo Vermelho amarelo. **Revista de Ciências Agro-ambientais**, Alta Floresta, v. 9, n. 1, p.1-11, maio, 2011.

CALHEIROS, A. S. **Acúmulo de biomassa, de nutrientes e de sacarose por duas variedades de cana-de-açúcar, influenciados por doses de fósforo**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2008.

CÂMARA, G.M. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.; OLIVEIRA, E.A. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.31-64.

CANAONLINE. **Variedade de cana RB966928 é a mais plantada no Brasil**. Disponível em: <<http://www.canaonline.com.br/conteudo/variedade-de-cana-rb966928-e-a-mais-plantada-no-brasil.html#.VoxQQvkrLIU>>. Acesso em: 26 dez 2015.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, 360 p.

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

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

CASTRO, P.R.C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000, 9 p.

CEOTTO, E.; CASTELLI, F. Radiation-use efficiency in fluecured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): Response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitation. **Field Crops Res.**, 74:117-130, 2002.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v.41, p.227-234, 1995.

COLETI, J.T. et al. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. **STAB**, 24:32-36, 2006.

COSTA, D.M.; LOVATO, P.E. Fosfatases na dinâmica do fósforo no solo sobre culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.603-605, 2004.

CRISTOFOLETTI Jr., S. C. **Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini-toletes de variedades de cana-de-açúcar**. 2012, 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Upland Rice Growth and Mineral Nutrition as Affected by Cultivars and Sulfur Availability. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 77, n. 1, p.328-335, 2013.

CRUSCIOL, C.A.C. et al. Side dressing sulfur fertilization in common bean crop in no-tillage system. **Bragantia** v. 65, p. 459–465, 2006.

DE RIDDER et al. Risks and Opportunities in the Global Phosphate Rock Market. The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS), Report No 17 | 12 | 12. ISBN/EAN: 978-94-91040-69-6, 2012.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.; LANDELL, M.G. **Cana-de-açúcar**. 1ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008, v.1, p. 585-598.

DUFF S. M. G., SARATH G., PLAXTON W.C. The role of acid phosphatase in plant phosphorus metabolism. **Physiologia Plantarum**, v.90, p.791-800, 1994.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ª edição, Londrina, Ed. Planta, 2006, 403p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Physical, chemical, and biological changes in the rhizosphere and nutrient availability. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, n. 7, p. 1327-1356, 2006.

FAGERIA, N. K. Yield physiology of rice. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 30, n. 1, p. 843-879, 2007.

FAGERIA, N. I. Tolerância diferencial de cultivares de arroz ao alumínio em solução nutritiva. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, v. 17, n. 1, p.1-9, 1982.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. 179 p. 2005.

FERREIRA, N. R. **Eficiência agrônômica de fertilizantes Organominerais sólidos e fluidos em relação à Disponibilidade de fósforo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia Agricultura) Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu. 2014.

FLEXAS, J. et al. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, v.172, p.73-82, 2006.

FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.110, p.101-109, 1988.

FREITAS, A. W. P. et al. Avaliação da divergência nutricional de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 5, p.229-236, jan. 2006.

FURLANI, A. M. C. et al. Sorghum genotype differences in phosphorus uptake, phosphorus efficiency, phosphorus mobilization and utilization. **Journal of Plant Nutrition**, Weinheim, v. 7, n.7, p. 1113- 1126, 1984.

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R. **Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1988. 34p. (Boletim técnico, 121).

FURTINI NETO, A.E. et al. Response of bean cultivars to sulphur. **Pesq. Agropecu. Bras.** v. 35, n. 3, p. 567-573, 2000.

GATIBONI, L.C. et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 691-699, 2007.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. Crop-water relations. New York: **Wiley-Interscience**, 1983, p. 445-479.

GILBERT, N. The disappearing nutrient. **Nature News**, v. 461, p. 716-718, 2009.

GLASS, A. D. M. Ion absorption and utilization: the cellular level. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R. (Ed.). **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 41-64.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; NEVES, P. C. F. Resposta de arroz de terras altas ao estresse de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 578-584, 2007.

HAQ, I.U.; R.M. CARLSON. Sulphur diagnostic criteria for French prune trees. **J. Plant Nutr.** v. 16, p. 911-931, 1993.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 37, p. 249-315, 1984.

HERMANN, E.R.; CÂMARA; G.M. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

HINSINGER, P.; GILKES, R. J. Mobilization of phosphate from phosphorus rock and alumina-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.533–544, 1996.

HORST, W. J. et al. Agronomic measures for increasing P availability to crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 237, n. 2, p. 211-223, 2001.

HORST, W.J.; ABDOL, M.; WIESLER. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.155/156, p.293-296, 1993.

INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Dry partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, v.76, p.71-84, 2002.

ISHERWOOD, K. F. **Mineral Fertilizer Use and the Environment**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2000, 51p.

JADOSKI, C.J et al. Physiology development in the vegetative stage of sugarcane. **Pesquisa aplicada e agrotecnologia**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 169-176, maio/ago 2010.

KAMPRATH, E. J. Phosphorus fixation and availability in weathered soils. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4, 1976. Brasília. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1977. p. 333-347.

KAUWENBERGH, S. J. **World Phosphate Rock Reserves and Resources**. Muscle Shoals: International Fertilizer Development Center (IFDC), 2010. 48 p. Disponível em: <http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadw835.PDF>. Acesso em 11 jan 2016.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 290-306.

KINGSTON, G. Mineral Nutrition of Sugarcane. In: MOORE, Paul H.; BOTHA, Frederik C. (Ed.). **Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology**. Oxford: John Wiley & Sons, 2014. Cap. 5. p. 85-120.

KUMAR, V.; M. SINGH. Sulfur, phosphorus, and molybdenum interactions in relation to growth, uptake, and utilization of sulfur in soybean. **Soil Sci**. v. 129, p. 297–304, 1980.

LANDELL, M.G.A. et al. Seleção de novas variedades de cana-de-açúcar e seu manejo de produção. **Informações Agronômicas**, Ribeirão Preto, jun. 2005, p. 18-24.

LOPEZ G., O.E.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre as relações entre zinco e fósforo na nutrição da planta. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 31, 1974, p. 467-483.

LUCCHESI, A.A. Ecofisiologia de culturas extrativas: Cana-de-açúcar, Seringueira, Coqueiro, Dendzeiro e Oliveira. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE R.A. (Coord). **Cana- de-açúcar (Saccharum spp.)**. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.

MACHADO, C.T. de T.; Furlani, A.M.C.; MACHADO, A.T. Índices de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, v.60, p.225-238, 2001.

MACHADO, E.C.; et al. Índices biométricos de duas cultivares de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF. v.17, n.9, p. 1323- 1329, 1982.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G.(Ed.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Edusp, 1979. v.1. p. 331-349.

MAGALHÃES, J.V. **Absorção e translocação de nitrogênio por plantas de milho (*Zea mays* L.) submetidos a períodos crescentes de omissão de fósforo em solução nutritiva**. 1996. 76f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1996.

MAGRO, C.R.; LACA-BUENDÍA, J.P. Efeito da profundidade de plantio no perfilhamento da cana-de-açúcar. **Fazu em Revista**, Uberaba, n.7, p.48- 54, 2010.

MAGRO, F.J. et al. **Biometria em cana-de-açúcar**. 2011. [Trabalho de] LPV0684: Produção de Cana-de-Açúcar, USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, jun. 2011.

MALAVOLTA, E. O Fósforo na planta e interações com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira: ANAIS DO SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, 2004, 726 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MALAVOLTA, E.. Os elementos minerais. In: MALAVOLTA, E.. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. p. 219-252.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528p.

MARTINEZ, H.E.P. et al. Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferente níveis de fósforo: II. Translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.239-244, 1993.

MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA Jr., G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, v.58, n.2, p.295-301, 2001.

MENDES, C.Q. **Silagem de cana-de-açúcar na alimentação de ovinos e caprinos: valor nutritivo, desempenho e comportamento ingestivo**. Piracicaba, 2006, 103p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, 2006.

MENDES, I. C.; JUNIOR, F. B. R. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. EMBRAPA - CPAC, Documentos, 85, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 26 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4ª edição, Berne: International Potash Institute, 1987, 655p.

MIMURA, T. Regulation of phosphate transport and homeostasis in plant cells. **International Review of Cytology**, Salt Lake City, v. 190, n. 2, p. 149-200, 1999.

MISSIO, E.L. et al. Nutritional demand of grápia to phosphorus and sulfur in a Paleudalf soil: Fertilization effects on growth. **Cienc. Rural** v. 34, p. 1051–1057, 2004.

MOREL, C.; HINSINGER, P. Root-induced modifications of the exchange of phosphate ion between soil solution and soil solid phase. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 211, p. 103–110, 1999.

MOURA, M.V.P.S. et al. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.4, p.753-760, 2005.

MOZAMBANI, A.E. et al. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Cadernos Planalsucar. 2006. p.11-18.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R.F. et al. Níveis críticos de fósforo no solo para o eucalipto. **R. Arv**, v. 6, p. 29-37, 1982.

OLIVEIRA, R.A. et al. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2008.

OLIVEIRA, E.C.A. et al. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p. 1343-1352, 2010.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Soybean yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 376-385, 2011.

ORLANDO FILHO, J. ; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JR., E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo. **Boletim Técnico**, n. 2, Planalsucar, Piracicaba: fev. 1980. p. 1-128.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. **Seja o doutor do seu canavial**. Arquivo do agrônomo, n.6, POTAFÓS, 1994.

PEARSE, S.J. et al. *Triticum aestivum* (L.) shows a greater biomass response to a supply of aluminium phosphate than *Lupinus albus* despite releasing fewer carboxylates into the rhizosphere. **New Phytology**, v. 169, 2006, p. 515–524, 2006.

PEARSE, S. J. et al. Carboxylate composition of root exudates does not relate consistently to a crop species' ability to use phosphorus from aluminium, iron or calcium phosphate sources. **New Phytology**, v. 173, p. 181–190, 2007.

PENATTI, C.P. **Adubação da cana de açúcar**. Ed. Ottoni, 2013, 349p.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191p.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato; Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, 1999, p. 665-686.

RAMME, F.L.P.; LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V. Perfis Temporais NDVI MODIS, na cana-soca, de maturação tardia. **Revista Engenharia Agrícola**. v. 30, p. 480-494, 2010.

RAMOS, R. C.; NACHILUK, K. **Diagnóstico do Setor Sucroenergético em 2014**. Instituto De Economia Agrícola. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=13797>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

RIDESA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010.

RIDESA. Rede Interuniversitária para Desenvolvimento Do Setor Sucroalcooleiro . **Censo Varietal 2011**. Revista Censo Varietal. Disponível em: <<http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/downloads>>. Acesso em: 07 jan 2016.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia: I. radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, v.48, p.11-25, 1996.

RODRIGUES, C. **Produção, Extração e Purificação de Hormônio vegetal (Ácido Giberélico) por Fermentação no Estado Sólido em Polpa Cítrica e Utilização do Extrato em Meiod e Cultivo de Bromélias in vitro**. 2010, 180 F. Curitiba, Tese (Doutorado em Processos Biotecnológicos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1995, 99p.

ROSOLEM, C. A.; ASSIS, J. S.; SANTIAGO, A. D. Root growth and mineral nutrition of corn hybrids as affected by phosphorus and lime. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 13-14, p. 249-254, 1994.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR: indagações e reflexões. **Informações Agronômicas** nº 110 junho/2005. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AD1D0D574326386683257AA1006BC3D8/\\$FILE/Enc6-11-110.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AD1D0D574326386683257AA1006BC3D8/$FILE/Enc6-11-110.pdf)>. Acesso em: 06 jan 2016.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Cana-de-açúcar: Adubação - resíduos alternativos**. Agência de Informações Embrapa, Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>. Acesso em: 05 jan 2016.

ROSSETTO, R. et al. Fósforo. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010, p. 271-288.

ROTILI, E. A. et al. Eficiência do uso e resposta à aplicação de fósforo de cultivares de arroz em solos de terras altas. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 705-710, 2010.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no Sistema de plantio direto. IN: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. 726p.

SANT'ANA, E. P. et al. Utilização de fósforo e características do sistema radicular e da parte aérea da planta de arroz. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 370-381, 2003.

SANTOS, V. R. **Crescimento e produção da cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo**. 2006, 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2006.

SIDDIQUI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **The Journal of Plant Nutrition**, New York, v.4, p. 289-302, 1981.

SILVA, F. et al. Impactos da aplicação de lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar e no ambiente. **HOLOS Environment**, v. 10, n. 1, p. 62, 2010.

SILVA, M. L. S; TREVISAN, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações agronômicas**, nº 149, 2015, p. 10-16.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. Piracicaba, Potafos, **Informações Agronômicas**, v. 102, 2003, 16p.

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

TENNANT, D. A test of a modified line intercept method of estimating root length. **J. Ecol. Applied.**, v. 63, p. 995-1001, 1975.

THOMPSON, G. D.; HALSE, C. G. Some notes on sugarcane planting procedures. Proc. **Annual Congress South African of Sugar Technology**. Ass, v. 38, 1964, p. 154-165.

TUTA, N. F. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar no ciclo da cana-planta com aplicação de efluente de esgoto tratado via gotejamento subsuperficial**. 2013, 107 f. Dissertação de mestrado, UNICAMP. Campinas, 2013.

VASCONCELOS, A.C.M. de; CASAGRANDE, A.A. Fisiologia do sistema radicular. In: DINARDO- MIRANDA, L.L. et al. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. p. 79-101.

VITOUSEK, P.M. et al. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions. **Ecological Applications**, Tempe, v. 20, n. 1, p. 5-15, 2010.

VOISIN, A. **Adubos - Novas leis científicas de sua aplicação**. São Paulo, Mestre Jou, 1973. 130 p.

WATT, M.; EVANS, J.R. Proteoid roots physiology and development. **Plant Physiology**, v.121, p.317-323, 1999.

YAMANOUCHI, M. Effect of phosphorus, potassium, calcium, magnesium and iron treatment on the absorption and translocation of boron in several crop grown in high concentration of boron. **Nippon Dojo Hiriyogaku Zasshi**, v. 51, p. 126-130, 1980.

ZHANG, J.; BARBER, S.A. Mayze root distribution between phosphorus-fertilized and unfertilized soil. **Soil Sci. Soc. Am.J.**, v. 56, p. 819-822, 1992.