

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ENRAIZAMENTO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-
DE-AÇÚCAR APÓS TRANSPLANTIO EM FUNÇÃO DE
ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E FÓSFORO**

Tayene Franco Mello
Engenheira-Agrônoma

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ENRAIZAMENTO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-
DE-AÇÚCAR APÓS TRANSPLANTIO EM FUNÇÃO DE
ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E FÓSFORO**

Tayene Franco Mello

Orientadora: Prof^a. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2018

M527e Mello, Tayene Franco
Enraizamento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar após transplante em função de adubação com nitrogênio e fósforo / Tayene Franco Mello. -- Jaboticabal, 2018
45 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

1. Saccharum spp.. 2. adubação nitrogenada. 3. adubação fosfatada. 4. muda pré-brotada. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

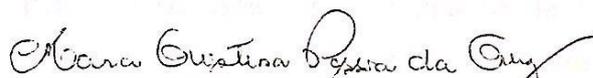
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ENRAIZAMENTO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR APÓS TRANSPLANTIO EM FUNÇÃO DE ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E FÓSFORO

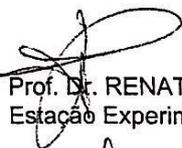
AUTORA: TAYENE FRANCO MELLO

ORIENTADORA: MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

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



Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. RENATO YAGI
Estação Experimental-Instituto Agrônomo do Paraná / Ponta Grossa/PR



Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 10 de julho de 2018

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Tayene Franco Mello – nascida em 04 de março de 1991, na cidade de Penápolis – SP, concluiu o ensino médio em dezembro de 2008 na Escola de Ensino Médio e Educação Profissional em Nível Técnico São Francisco de Assis - Penápolis. Em fevereiro de 2009 iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Ilha Solteira. Foi bolsista PIBIC/CNPq no período de agosto de 2010 a junho de 2011 e PIBIC/Reitoria no período de agosto de 2013 a janeiro de 2014. Durante a graduação participou do Congresso Brasileiro de Sementes (Natal – 2011), da FertBio (Maceió – 2012) e do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (Florianópolis – 2013). Realizou intercâmbio para estágio de iniciação científica, no período de agosto de 2014 a fevereiro de 2015 na Université Laval – Quebec – Canadá. Em março de 2016 iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Unesp, Câmpus de Jaboticabal. Durante o mestrado foi bolsista CAPES.

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar.”

Chico Xavier

DEDICO,

*Aos meus pais, Edson Roberto de Mello e Shirlei Quideroli Franco de Mello, pelo incomensurável esforço realizado com o intuito de deixar a mim, como herança, o maior bem que um ser humano pode ter: **o conhecimento**.*

Às minhas irmãs, Kainara Franco Mello e Maria Eduarda Franco de Mello, que mesmo à distância, sempre me ajudaram, transmitindo confiança e amor fraterno.

À minha família, sem esquecer nunca daqueles que já não estão mais entre nós, mas que vivem em meu coração, pelo apoio, confiança e amor que depositaram em mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a oportunidade de mais essa vitória.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em especial à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), pela excelente qualidade de ensino.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) da FCAV/UNESP, que foram tão importantes na minha vida acadêmica, e que além de mestres, foram amigos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), pelo aperfeiçoamento e oportunidades oferecidas.

À Professora Mara Cristina Pessôa da Cruz pela orientação, dedicação, paciência, e confiança que teve em mim.

Ao Professor Manoel Evaristo Ferreira, pelos conhecimentos transmitidos e dedicação.

À equipe do Laboratório de Fertilidade do Solo, pelo companheirismo, apoio e paciência. Em especial à Aline, que sempre esteve disposta a me ajudar.

Ao Laboratório de Fisiologia Vegetal, que disponibilizou equipamento e pessoal para análises do presente trabalho.

Aos meus pais, Edson Roberto de Mello (*in memoriam*) e Shirlei Quideroli Franco de Mello, muito obrigada pelo investimento que fizeram em mim, pela confiança, pela oportunidade, pelo amor incondicional, pelo exemplo de pessoas honestas e trabalhadoras que são. Amo vocês!

Às minhas irmãs, Kainara Franco Mello e Maria Eduarda Franco de Mello pelo companheirismo, amizade e apoio. Sem vocês a minha vida não teria sentido.

À minha família, em especial aos meus avós Antônio Medeiros Franco (*in memoriam*), Nelson de Mello (*in memoriam*), Maria Aparecida Quideroli Franco e Aparecida Duarte de Mello (*in memoriam*), pelo apoio nessa jornada e pelas sábias palavras que, quando mais precisei, estavam presentes.

A Leon de Oliveira Santos, pelo carinho, apoio e compreensão.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, amizade, e por todos os momentos em que estiveram comigo, me fortalecendo durante toda a caminhada da vida

acadêmica.

À minha segunda casa, “República Toca da Onça” e às meninas do apartamento 401, Flávia, Mirela e Mylla, que fizeram minha vida em Jaboticabal a mais prazerosa possível.

A todos aqui citados, minha admiração, carinho e respeito. Muito obrigada é pouco frente a participação que cada um teve no desenvolvimento deste trabalho e em minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Muito obrigada!

SUMÁRIO**Página**

RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Produção e produtividade de cana-de-açúcar no Brasil	3
2.2. Sistemas de plantio de cana-de-açúcar.....	3
2.2.1. Sistema convencional.....	3
2.2.2. Sistema de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar.....	4
2.3. O sistema radicular da cana-de-açúcar	7
2.4. Efeito do nitrogênio no crescimento de raízes.....	10
2.5. Efeito do fósforo no crescimento de raízes	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Instalação e condução do experimento	14
3.2 Características avaliadas	15
3.3 Análise dos dados	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÕES	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

ENRAIZAMENTO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR APÓS TRANSPLANTIO EM FUNÇÃO DE ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E FÓSFORO

RESUMO – Nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar em que se empregam mudas pré-brotadas, o transplântio é um momento crítico, e há necessidade de adoção de práticas de manejo que levem ao enraizamento rápido, de modo que irrigações suplementares possam ser reduzidas ou dispensadas. A adubação, sobretudo o uso de fósforo e de nitrogênio, pode ser um fator de aceleração do enraizamento. Deste modo, objetivou-se, com o presente estudo, avaliar o enraizamento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em função do fornecimento de nitrogênio e fósforo, buscando a redução de tempo para o início da emissão radicular após o transplântio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando amostra da camada superficial (0-20 cm) de solo de textura média, com baixo teor de fósforo. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial com três fatores (doses de nitrogênio, doses de fósforo e tempos de crescimento), em delineamento inteiramente ao caso com cinco repetições. As doses de nitrogênio e fósforo foram equivalentes a 0 e 100 mg dm⁻³, e os tempos de crescimento foram 7, 14, 21 e 28 dias. O experimento foi conduzido empregando mudas do cultivar RB97 5201, produzidas em condições comerciais. Em cada data de avaliação foram determinados comprimento, área, diâmetro médio e densidade de raízes, matéria seca de raízes e da parte aérea e concentrações e acúmulos de nitrogênio e de fósforo na parte aérea. O aumento da concentração de nitrogênio no solo promoveu diminuição no diâmetro das raízes de mudas de cana-de-açúcar, cultivar RB97 5201, aos 28 dias após o transplântio. O aumento da concentração de fósforo no solo diminuiu a área, o diâmetro, o comprimento e a densidade de raízes de mudas de cana-de-açúcar após o transplântio, aumentou a produção de matéria seca da parte aérea e a relação matéria seca de parte aérea/raízes, o que pode tornar as plantas mais suscetíveis a estresses hídricos.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*, adubação nitrogenada, adubação fosfatada, muda pré-brotada.

ROOTING OF PRE-SPROUTED SUGARCANE SEEDLINGS AFTER TRANSPLANTATION DUE TO THE NITROGEN AND PHOSPHORUS FERTILIZATION

ABSTRACT - In sugarcane cultivation areas where pre-sprout seedlings are used, transplanting is a critical moment and there is a need to adopt methods that lead to fast rooting, so that additional irrigations can be minimized or dispensed. Fertilization, especially the use of phosphorus and nitrogen, can be a factor of rooting acceleration. Thus, the objective of the present study was to evaluate the rooting of pre-sprouted sugarcane seedlings due the supply of nitrogen and phosphorus, aiming to reduce the time to start root emission after transplanting. The experiment was carried out in a greenhouse, using a sample of sandy loam topsoil layer (0-20 cm) with low phosphorus content. The treatments were arranged in a factorial scheme with three factors (nitrogen doses, phosphorus doses and growth times), in a full design with five replicates. The nitrogen and phosphorus doses were equivalent to 0 and 100 mg dm⁻³ N or P, and growth times were 7, 14, 21 and 28 days. The experiment was conducted using seedlings of cultivar RB97 5201, produced under commercial conditions. At each evaluation date, length, area, root average diameter, root density, dry matter in roots and shoot, and concentration and accumulation of nitrogen and phosphorus in shoot were determined. The increase in concentration of nitrogen in the soil promoted the reduction of root diameter in the sugarcane seedlings at 28 days after transplantation. The increase in concentration of phosphorus in the soil decreased the area, diameter, length and root density of sugarcane seedlings after transplantation, and increased the shoot dry matter and the relation of shoot/roots dry matter, which may make the plants more susceptible to water stresses.

Keywords: *Saccharum spp.*, nitrogen fertilization, phosphate fertilization, pre-budded seedling.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, destacando-se não somente pela quantidade, mas também pela qualidade da matéria-prima, pelos níveis de produtividade e pelos custos de produção competitivos. Esta cultura é responsável por uma parte significativa do produto interno bruto brasileiro, gerando divisas com a exportação de açúcar e etanol. É também, uma atividade que gera numerosos postos de trabalho.

No Estado de São Paulo estão as maiores áreas destinadas ao cultivo de cana no Brasil, com estimativas para a safra 2017/2018 de 4.553,6 mil hectares e 76.204 kg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2017). Entre as tecnologias de cultivo mais recentes e mais promissoras está o plantio com mudas pré-brotadas (MPB), que foi introduzido para substituir o método de propagação tradicional em que são empregadas estruturas vegetativas (toletes ou rebolos). O sistema MPB tem como vantagens a diminuição da quantidade de mudas utilizadas no plantio, a obtenção de canaviais de melhor qualidade e vigor, além da diminuição do risco de disseminação de pragas e doenças, o que proporciona canaviais mais homogêneos e sadios (Landell et al., 2013). No entanto, o mini-tolete de MPB, devido ao tamanho, tem pequena quantidade de reservas, o que interfere no fornecimento de nutrientes, hormônios vegetais e, principalmente, água, que são os fatores mais importantes para o crescimento e o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar.

As poucas reservas do mini-tolete implicam na necessidade de manejo adequado de nutrientes na formação das mudas, de modo que, no momento em que elas apresentem condições ideais para serem levadas ao campo, tenham vigor e estejam bem enraizadas. A integridade do sistema radicular minimiza problemas com estresse hídrico e facilita sobremaneira a realização do plantio e o pegamento da muda pós-plantio (Landell et al., 2013).

Para garantir bom enraizamento das mudas no transplântio, o solo deve estar em condições adequadas para o pegamento, ou seja, o valor de pH e os teores de nutrientes devem estar em níveis satisfatórios. A limitação de nutrientes no solo dificulta o desenvolvimento radicular, o que leva a diminuição da taxa de crescimento e ao aumento do número de irrigações após o transplântio. A

necessidade de irrigação por vários dias após o transplântio é um fator que dificulta a adoção do sistema MPB, de modo que há necessidade de definição de estratégias de aceleração da emissão de raízes após o transplântio para que a muda explore maior volume de solo em curto intervalo de tempo.

Entre os nutrientes que mais interferem no crescimento de raízes estão o nitrogênio (N) e o fósforo (P). Estes nutrientes são, de modo geral, utilizados nas adubações de plantio, mas a colocação dos adubos é feita no fundo do sulco, distante das raízes das mudas. Considerando que há concentração de raízes nas zonas de maior concentração de nutrientes no solo, estabeleceu-se a hipótese de que o aumento da concentração de N e de P no solo próximo às raízes das mudas transplantadas diminui o tempo necessário para o início da emissão radicular e favorece o crescimento das raízes de mudas de cana-de-açúcar após o transplântio.

Objetivou-se, deste modo, avaliar o enraizamento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em função do fornecimento de nitrogênio e de fósforo, buscando a diminuição do tempo para o início da emissão radicular após o transplântio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Produção e produtividade de cana-de-açúcar no Brasil

A cultura da cana-de-açúcar destaca-se no cenário agrícola brasileiro não somente pela extensão da área cultivada, mas também pelo potencial que a cultura exibe para alimentação e geração de energia. A cana-de-açúcar está entre as culturas que mais passaram por mudanças no sistema de produção para atender às necessidades de maior eficiência em razão de questões sócio-econômicas e ambientais.

Atualmente, a cana-de-açúcar é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial (Batista, 2013). No Brasil, a cultura é explorada em aproximadamente 10 milhões de hectares, sendo o País, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com cerca de 650 milhões t/ano (IBGE, 2017).

A agroindústria canavieira brasileira é tecnicamente qualificada e com os menores custos de produção do mundo, além de contar com bom potencial para aumento da produção (Viana et al., 2012). A produção de cana-de-açúcar estimada para a safra 2017/18 é de 635,6 milhões de toneladas, o que significa diminuição de 3,3% em relação à safra anterior. A produtividade média de cana-de-açúcar da Região Sudeste está estimada, na safra 2017/2018, em 76,3 t ha⁻¹, 0,3% menor que a obtida na safra anterior (CONAB, 2017).

Na região Centro-Sul do Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada em 9,48 milhões de hectares, dos quais 5,71 milhões estão no Estado de São Paulo, onde mais de 78% dos canaviais são colhidos sem queima prévia (CONAB, 2017).

2.2. Sistemas de plantio de cana-de-açúcar

2.2.1 Sistema convencional

No sistema convencional de plantio são utilizadas cerca de 18 a 20 toneladas

por hectare de colmo-semente. Este material é constituído por hastes (toletes) de aproximadamente 25 a 30 cm, com 2 a 3 gemas (Xavier, 2014). A grande massa de material de plantio representa problema no transporte, movimentação e armazenagem, uma vez que os colmos sofrem deterioração rápida, reduzindo a viabilidade de gemas plantadas posteriormente, à medida que o intervalo entre o corte e o plantio aumenta.

Uma alternativa para reduzir a massa necessária e melhorar a qualidade da cana-planta é usar mini-rebolos pré-germinados, no sistema conhecido como mudas pré-brotadas (MPB). Esses mini-rebolos são menos volumosos e facilmente transportáveis, tornando o processo mais econômico. Além disso, esta tecnologia é uma grande promessa na multiplicação rápida de novas variedades de cana-de-açúcar (Fraga Júnior, 2015).

2.2.2.Sistema de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar

O sistema de multiplicação de cana-de-açúcar usando MPB vem contribuindo para aceleração de produção de mudas, com elevado padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio. O sistema é uma tecnologia desenvolvida pelo Programa Cana do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, direcionado a aumentar a eficiência e os ganhos econômicos na implantação de viveiros, replantio de áreas comerciais e, possivelmente, renovação e expansão de áreas de cana-de-açúcar.

O sistema MPB aumenta a uniformidade na distribuição de plantas na linha de plantio, reduz o número de falhas, reduz a quantidade de mudas utilizadas no plantio, diminui o risco de disseminação de pragas e doenças e acelera a introdução de tecnologias varietais na área agrícola (Landell et al., 2013).

Para o plantio de um hectare de cana-de-açúcar, o consumo de toletes é reduzido de 18 a 20 toneladas, no plantio convencional, para 2 toneladas no plantio de MPB. Isso significa que aproximadamente 18 toneladas que seriam enterradas como colmo-semente irão para a indústria produzir álcool e açúcar, gerando ganhos diretos e indiretos para a cadeia produtiva canavieira (Xavier, 2014).

Além desta redução do volume de mudas, o sistema permite obter melhor controle na qualidade e vigor, levando a obtenção de canaviais de excelente padrão

clonal e mais homogêneos. Também, a forma de distribuição espacial das mudas na área de produção induz ao melhor aproveitamento dos recursos hídricos e dos nutrientes, o que reduz a competição intraespecífica estabelecida em canaviais com excesso de mudas (Landell et al., 2013).

O Instituto Agronômico de Campinas (IAC) classifica a produção de MPB de cana-de-açúcar em sete etapas, conforme esquema apresentado a seguir (Xavier et. al., 2014).

1

CORTE DE MINIRREBOLOS

Na tecnologia do MPB, no lugar dos colmos como sementes, entram as mudas pré-brotadas, que são produzidas a partir de cortes de canas, chamados minirrebolos – nos quais estão as gemas.



2

TRATAMENTO DOS MINIRREBOLOS

Após o corte, é feita uma seleção visual para garantir que todos os minirrebolos estejam com as gemas saudáveis. Em seguida eles recebem um banho térmico e são tratados com fungicida.



3

CAIXAS DE BROTAÇÃO

No passo seguinte os minirrebolos são colocados em caixas de brotação com um substrato próprio para a produção de mudas e levados à estufa com temperatura e umidade controlada.



4

INDIVIDUALIZAÇÃO OU REPICAGEM

Depois de 12 dias na estufa, as gemas são individualizadas e cada uma é colocada em tubete próprio.



5

ACLIMATAÇÃO

É iniciada a primeira fase de aclimação, que dura cerca de 15 dias, período no qual a muda volta para a estufa e as raízes se desenvolvem.



6

RUSTIFICAÇÃO

A etapa seguinte é a aclimação a pleno sol, quando a muda é exposta às condições do ambiente onde será cultivada, com irrigação reduzida e realização de podas.



7

MUDA PRÉ-BROTA

Ao final de 60 dias, período do ciclo completo, a muda é retirada do tubete e está pronta para ser plantada. No IAC o plantio é feito usando uma transplantadora de mudas adaptada de outros cultivos.



Segundo Segato et al. (2006), além dos cuidados normais de plantio para a condução de um viveiro, ou seja, bom preparo de solo e adequada adubação no plantio, outras práticas devem ser adotadas nas áreas de viveiro, com a irrigação complementar, adubações de cobertura (nitrogênio e potássio), controle de plantas daninhas, operação de "*roguing*" e cuidados no corte das mudas.

Uma vantagem importante do plantio de mudas pré-brotadas é a diminuição dos riscos de disseminação de pragas, fator que deve ser cuidadosamente considerado na cultura da cana-de-açúcar, visto que ela permanece em campo por cinco ou mais anos depois do plantio. No sistema MPB, o efeito das pragas é minimizado com a seleção das gemas que originarão as mudas no viveiro (Landell et al., 2013).

Atualmente, o plantio com MPB, além das vantagens expostas, está sendo utilizado em replantios de áreas de cana soca, objetivando aumentar o número de cortes do canavial, em replantio em falhas de plantios convencionais e em formação de viveiros primários e secundários. Contudo, por ter sido proposto há pouco tempo, ainda há muito que estudar a respeito dessa tecnologia. Entre as necessidades de pesquisa está a definição de estratégias que levem ao rápido enraizamento das mudas após o transplantio no campo.

2.3. O sistema radicular da cana-de-açúcar

Quanto maior o sistema radicular de uma planta maior será a sua capacidade para explorar o solo e, conseqüentemente, a de aproveitar os nutrientes e a água disponível. O volume e a distribuição do sistema radicular são tão mais importantes quanto menor for a fertilidade do solo e maior a deficiência hídrica. O sistema radicular mais abundante aumenta os exsudatos de raízes, determinando maior atividade microbiana, o que tem influência no crescimento das plantas (Korndörfer et al., 1989).

Em linhas gerais, segundo Bohm (1979), estudos sobre desenvolvimento radicular devem ser feitos a partir da avaliação das características das raízes, como massa, comprimento e área, no tempo e no espaço, em conjunto com os fatores que influenciam a distribuição do sistema radicular, como densidade e porosidade do solo, água, nutrientes e pH, dentre outros.

Raízes são órgãos importantes que absorvem água e nutrientes, sintetizam hormônios e dão suporte mecânico para as plantas. Embora as raízes normalmente contribuam apenas com 10 a 20% do peso total da planta, ter o sistema radicular bem desenvolvido é essencial para o crescimento e o desenvolvimento de plantas saudáveis (Fageria e Moreira, 2011).

Até meados do século passado, as raízes foram consideradas a “metade oculta” dos vegetais (Zonta et al., 2006), com escassez de resultados de pesquisa em todo o mundo. As razões para essa carência de dados são explicáveis pelas dificuldades metodológicas, pela inacessibilidade ao sistema radicular como objeto de experimentação, pela sua complexidade tridimensional e por sua alta variabilidade espacial e temporal (Zonta et al., 2006).

A avaliação do sistema radicular de uma cultura pode ser considerada fundamental no diagnóstico de sistemas de manejo que visam a otimização da produtividade agrícola, sendo que a distribuição das raízes no solo é resultante de uma série de processos complexos e dinâmicos, que incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento (Fante Junior, 1999).

Vasconcelos e Casagrande (2010) mencionam que logo após o plantio do tolete ou do mini-rebolos de cana-de-açúcar, inicia-se o desenvolvimento do sistema radicular, com as raízes originadas a partir dos primórdios radiculares situados na zona radicular dos colmos plantados. Estas raízes têm a função de suprir os perfilhos recém-brotados com água e nutrientes do solo, juntamente com as reservas do tolete. Após um período variável com as condições locais, cerca de 30 a 45 dias, os primeiros perfilhos começam a emitir suas próprias raízes, a partir das zonas radiculares presentes nos internódios (Beauclair e Scarpari, 2007). À medida que estas raízes vão se desenvolvendo, as raízes primárias vão perdendo sua função, a cana planta passa a depender exclusivamente das raízes dos perfilho (Casagrande, 1991).

O sistema radicular da cana-de-açúcar é altamente ramificado e do tipo fasciculado. Cerca de 85% das raízes das plantas encontram-se nos 50 primeiros centímetros, e 60% nos primeiros 20 a 30 centímetros, de forma orientada para baixo, em sentido vertical (Segato et al., 2006).

Em linhas gerais, Beauclair e Scarpari (2007) citam que o sistema radicular da

cana-de-açúcar é bem distribuído ao longo do perfil do solo, mas com raízes de diferentes tipos: superficiais, de fixação e raízes cordão (Figura 1).

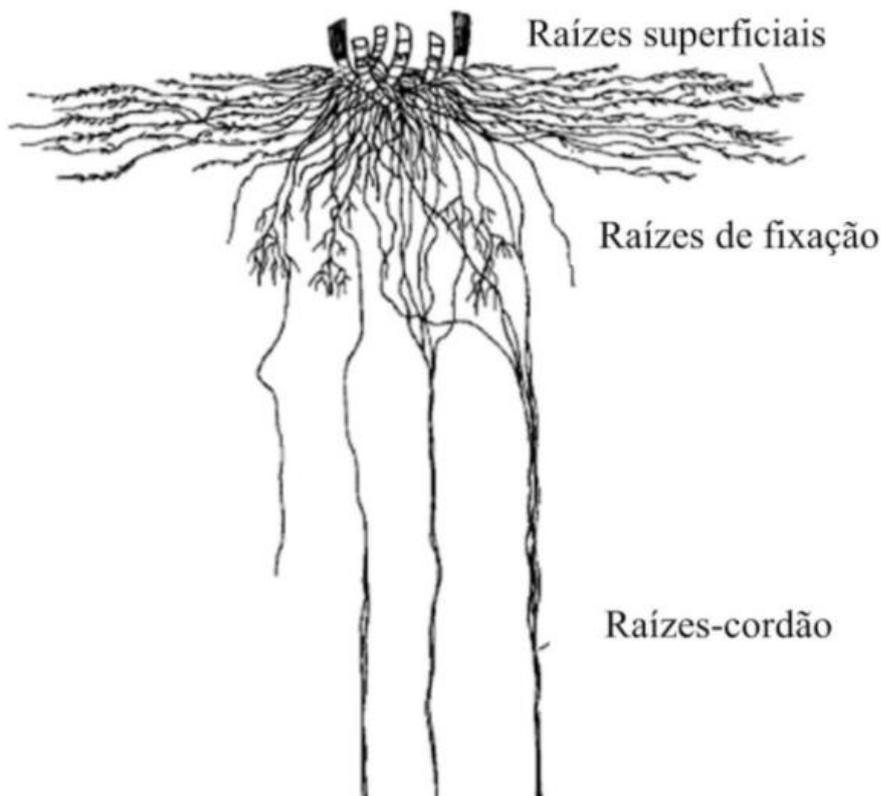


Figura 1 - Sistema radicular de uma planta de cana-de-açúcar estabelecida, mostrando três tipos de raízes funcionais: superficiais, de fixação e raízes-cordão (Beauclair e Scarpari, 2007).

As raízes superficiais da cana-de-açúcar estão localizadas nos primeiros 30 a 40 cm do perfil do solo, são bem ramificadas e extremamente absorventes. As raízes de fixação, atingem profundidades maiores, ultrapassando facilmente 50 cm. Entretanto, ao contrário do que o nome sugere, a função dessas raízes não se restringe exclusivamente à fixação, pois podem absorver água e nutrientes, apesar de fazê-lo com menor eficiência do que as raízes superficiais. As raízes-cordão são formadas a partir de aglomerações de raízes verticais, e atingem profundidades maiores do que 5 m no perfil do solo, o que permite acesso a reservas profundas de água, principalmente em períodos de grande estiagem (Mauri, 2012).

Muitos fatores influenciam o desenvolvimento do sistema radicular da cana, destacando-se: riqueza do solo em nutrientes, umidade e aeração (Inforzato e

Alvarez, 1957), acidez do solo e presença de alumínio e manganês tóxicos em subsuperfície (Raij, 1991), além do sistema de manejo da cultura. Para haver máxima absorção de nutrientes pelas raízes são necessárias boas condições físicas, químicas e biológicas (estas últimas definidas, principalmente, pela ausência de pragas de solo) (Vasconcelos et al., 2003).

2.4. Efeito do nitrogênio no crescimento de raízes

Trabalhos encontrados na literatura mostram a importância do N na cultura da cana-de-açúcar. Em relação à distribuição do N na planta, independentemente da dose de N aplicada ao solo, 28% do N acumulado é encontrado na parte subterrânea: raízes e rizomas (Trivelin et al., 2002).

A arquitetura do sistema radicular pode ser modulada por regiões de altas concentrações de nitrato, aumentando a ramificação de raízes e o alongamento de raízes laterais em muitas plantas (Assis et al., 2004). Contudo, reduções ou deficiência no suprimento de N para a planta diminuem a síntese de clorofila e aminoácidos essenciais, que por sua vez reduzem a quantidade de energia disponível devido a menor formação de esqueletos carbônicos e carboidratos, o que afeta diretamente o desenvolvimento da planta (Malavolta, 2006).

Thorburn et al. (2003) sugeriram que o suprimento de nutrientes pode afetar os padrões de enraizamento da cana-de-açúcar. Quando nenhuma fonte de N foi aplicada, o N mineral foi absorvido tanto da linha quanto da entrelinha das parcelas experimentais. Por outro lado, o N não foi absorvido das entrelinhas quando foram aplicados 120 a 180 kg ha⁻¹ de N na linha de plantio. Houve também tendência para menor remoção de N da profundidade de 1,5 m no tratamento com aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N. A disponibilidade de N afetou, portanto, a distribuição da atividade das raízes, possivelmente por causa dos impactos na sua distribuição.

Em trabalhos conduzidos em vasos (220 dm³) contendo solo arenoso, na condição de cana-planta de ano (Trivelin et al., 2002) e de ano e meio (Bologna-Campbell, 2006), com as cultivares SP80 3280 e SP81 3250, respectivamente, foi constatado aumento linear na massa das partes aérea e subterrânea (raízes e rizomas) e no acúmulo de N nesses compartimentos, em função da aplicação de

doses de N. Portanto, há indícios de que a resposta à adubação nitrogenada em cana-planta esteja associada ao desenvolvimento de um sistema radicular mais vigoroso e com maior reserva nutricional, podendo resultar em ganhos de produtividade tanto no ciclo da cana-planta quanto nas soqueiras subsequentes.

Drew (1975) evidenciou aumento significativo da ramificação de raízes de cevada causada pelo fornecimento de N em solução nutritiva em partes específicas do sistema radicular, tanto para a fonte amônio quanto para nitrato, diminuindo a ramificação nas zonas que não receberam o nutriente (Figura 2).

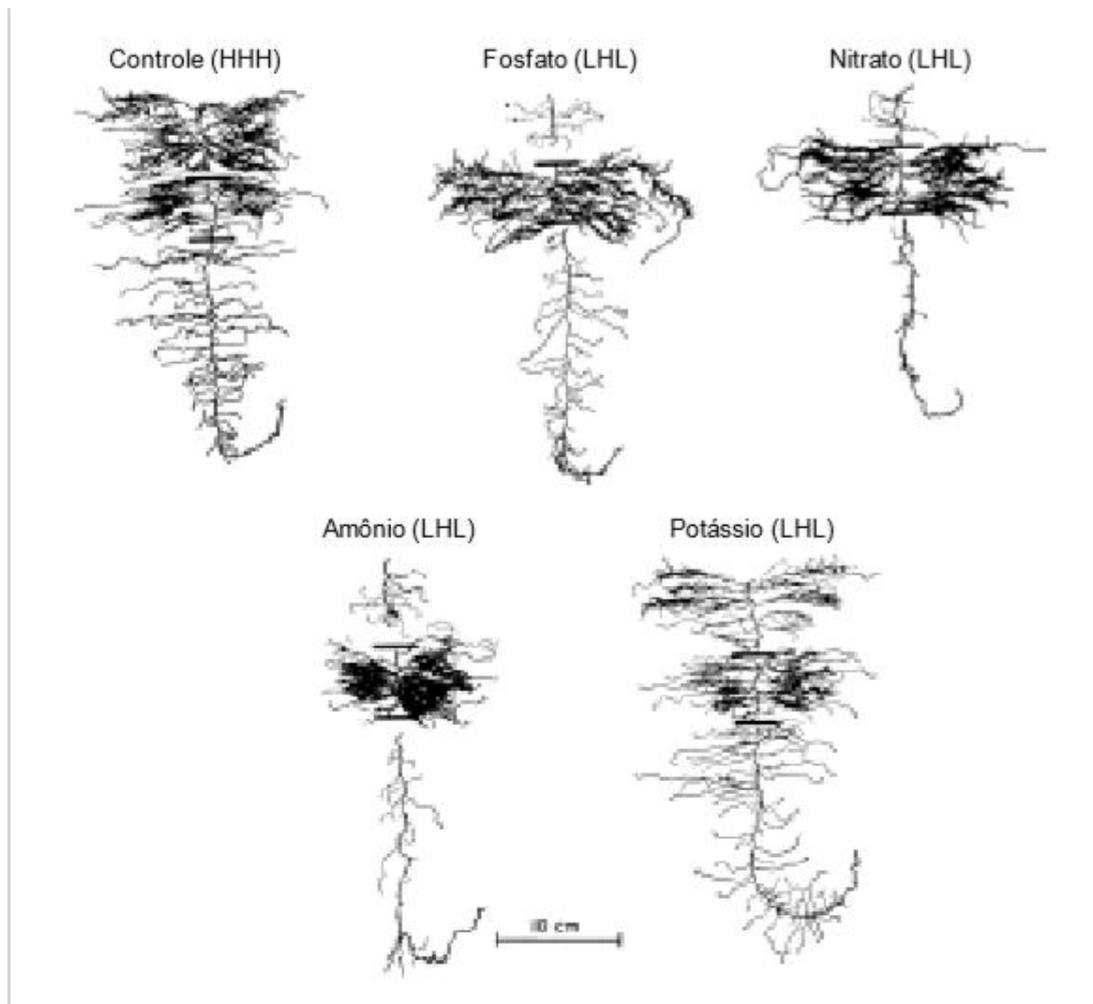


Figura 2 - Efeitos do suprimento localizado de fosfato, nitrato, amônio e potássio, na forma das raízes de cevada. Plantas controle (HHH) receberam solução nutritiva completa em todas as partes do sistema radicular. As outras raízes (LHL) receberam a solução nutritiva completa somente na região central, acima e abaixo sendo suprida com solução deficiente no nutriente específico (Drew, 1975).

2.5. Efeito do fósforo no crescimento de raízes

Funções importantes são desempenhadas pelo P na formação e desenvolvimento da raiz, relacionadas à absorção e utilização dos demais nutrientes (Rossetto et al., 2010). Dentre elas estão a constituição de ácidos nucleicos, o que define a essencialidade para a divisão celular e transferência de hereditariedade, destacando-se no crescimento do sistema radicular, perfilhamento e crescimento da 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 P também apresenta a função de aumentar a eficiência da utilização de água pela planta, bem como a absorção e a utilização de outros nutrientes, provenientes do solo ou do adubo, contribuindo para aumentar a resistência da planta a algumas doenças, a baixas temperaturas e a falta de água; desempenha, ainda, funções chave no metabolismo, particularmente na formação de proteínas, no processo de divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, desdobramento de açúcares, respiração e fornecimento de energia a partir do ATP (Korndörfer, 2004).

As plantas são capazes de responder à deficiência de P mudando a arquitetura da raiz, incluindo a morfologia, a topologia e os padrões de distribuição. A deficiência de P causa diminuição do crescimento das raízes primárias e aumenta o comprimento e a densidade dos pelos radiculares e raízes laterais (López-Bucio et al., 2003; Desnos, 2008).

O P constitui cerca de 0,2% do peso seco das plantas e, depois do N, é o macronutriente que mais limita o crescimento dos vegetais, por promover a formação inicial e o desenvolvimento da raiz, exercendo função-chave no metabolismo da cana-de-açúcar (Oliveira Junior, 2001).

Em condições limitantes de P no solo, as plantas normalmente apresentam pequeno desenvolvimento de raízes e de brotações e, como resultado, ocorre exploração insuficiente do solo, resultando em acesso restrito à água e nutrientes (Taiz e Zeiger, 2009). Segundo Desnos (2008), o crescimento de raízes primárias e de raízes laterais é restringido quando elas encontram baixo teor de P no meio de

crescimento.

No caso do fosfato, a baixa disponibilidade parece ser detectada no ápice da raiz, onde o alongamento das células e a atividade do meristema são muito reduzidos, evitando desenvolvimento de raízes em zonas com baixo teor de P no solo (Desnos, 2008).

Mecanismos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos podem ser utilizados pelas plantas para aumentar a capacidade de aquisição de P, permitindo a proliferação de raízes para regiões do solo mais ricas neste nutriente (Forde e Lorenzo, 2001).

Em cana-de-açúcar, o P apresenta grande importância no vigor do enraizamento e no perfilhamento (Clements, 1980) e, portanto, na produtividade final. Além disso, proporciona a ramificação e o aumento em volume do sistema radicular, que é necessário para a absorção de água e íons e, conseqüentemente, para o desenvolvimento da planta (Malavolta, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus UNESP de Jaboticabal, no período de março a maio de 2017.

O solo utilizado, Argissolo Vermelho Amarelo, foi coletado no município de Monte Alto - SP, na camada de 0 a 20 cm, em área de cultivo de eucalipto. O solo coletado foi seco, passado em peneira de 4 mm, homogeneizado e amostrado para caracterização química, segundo métodos descritos em Raij et al. (2001), e granulométrica, de acordo com Camargo et al. (2009). Os resultados obtidos foram: pH (CaCl₂), 5,3; M.O., 18 g dm⁻³; P (resina), 8 mg dm⁻³; K, 2,4 mmol_c dm⁻³; Ca, 16 mmol_c dm⁻³; Mg, 8 mmol_c dm⁻³; H+Al, 18 mmol_c dm⁻³; CTC, 44 mmol_c dm⁻³; V%, 59; areia, 780 g kg⁻¹; silte, 70 g kg⁻¹; e argila, 150 g kg⁻¹.

O experimento foi conduzido em esquema fatorial e delineamento inteiramente ao acaso com cinco repetições. Os fatores em estudo foram doses de N (2), doses de P (2) e tempos de crescimento (4). As doses foram as mesmas e equivalentes a 0 e 100 mg dm⁻³ de N ou de P, nas fontes nitrato de amônio (50% N-nítrico, 50% N-amoniaco) e superfosfato triplo em pó (41% de P₂O₅ e 7 a 12% de Ca), respectivamente. Os tempos de crescimento foram 7, 14, 21 e 28 dias.

Na instalação do experimento foi determinado o peso médio de 1,0 dm³ do solo através de cinco medidas, em proveta, seguidas de pesagem de solo. Quantidades equivalentes a 3,2 dm³ de solo foram pesadas e transferidas para sacos de plástico com capacidade para 8 litros.

De acordo com a análise química, a calagem foi dispensada, e o adubo fosfatado foi aplicado, conforme os tratamentos, misturando o adubo ao volume de solo. Em seguida, o solo tratado foi transferido para vasos de alumínio com capacidade para 3,3 dm³ e umedecido com quantidade de água calculada para atingir 60% da capacidade máxima de retenção.

Todos os vasos foram pesados para obtenção do peso médio e o solo permaneceu em incubação por 30 dias, coberto com papel. Dez dias após o início

da incubação foram aplicados 100 mL de solução de nutrientes de modo a fornecer: 80 mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio), 20 mg dm⁻³ de S (sulfato de potássio), 0,5 mg dm⁻³ de B (ácido bórico), 1,0 mg dm⁻³ de Cu (sulfato de cobre), 2,0 mg dm⁻³ de Mn (sulfato de manganês), 0,05 mg dm⁻³ de Mo (molibdato de amônio) e 1,5 mg dm⁻³ de Zn (sulfato de zinco). No 20º dia de incubação, foram aplicados 100 mL de solução contendo 100 mg dm⁻³ de N nos vasos que receberam adubação com N. O solo dos vasos permaneceu em incubação por mais 10 dias, coberto com papel. Durante este tempo a umidade no solo de cada vaso foi mantida, pesando os vasos a cada dois dias e repondo a água perdida sempre que a perda foi maior do que 50 mL.

Após o tempo de incubação, o solo foi retirado dos vasos, seco e passado em peneira de 4 mm de abertura de malha. Foi coletada amostra para determinação dos teores de P disponível, de N-NH₄⁺ e de N-NO₃⁻ (Raij et al., 2001) e volume de solo equivalente a 2,8 dm³ de solo foi recolocado nos vasos. A umidade do solo dos vasos foi ajustada e foi transplantada uma muda de cana-de-açúcar por vaso. Foi usado o cultivar RB97 5201 e as mudas foram obtidas em viveiro comercial, em que se usou substrato agrícola a base de pó de coco, casca de pinus e casca de arroz, e se fez adição de nitrato de potássio, nitrato de cálcio, nitrato de amônio, sulfato de magnésio e ácido fosfórico durante a fase de crescimento.

Todos os vasos foram pesados para obtenção da massa que foi usada como referência nas irrigações. A partir do transplântio, os vasos foram pesados diariamente para reposição de água e, para minimizar os efeitos do ambiente no crescimento das plantas, eles foram submetidos à troca de posição dentro das bancadas.

3.2 Características avaliadas

A colheita das plantas foi feita nos tempos predefinidos, separando raízes e parte aérea. Ambas as partes das plantas foram lavadas segundo procedimento descrito em Carmo et al. (2000), que consiste em utilizar um recipiente contendo água e detergente neutro (1 mL por litro) na primeira lavagem e três recipientes contendo água deionizada para as lavagens seguintes. Nas raízes foram medidos volume, comprimento, área, diâmetro médio e densidade. O volume foi medido pelo

deslocamento da coluna de água em uma proveta, e as medidas de comprimento, área, diâmetro médio e densidade foram realizadas utilizando um Scanner desenvolvido para esse fim, acoplado a um computador contendo o Software Sistema de Análise de Imagem Delta-T Devices. Em seguida, as plantas (parte aérea e raízes) foram secas em estufa a 65-70°C até peso constante para obtenção da matéria seca. Na matéria seca da parte aérea, após moagem, foram determinadas as concentrações de N e P (Carmo et al., 2000) e foi calculado o acúmulo dos dois nutrientes.

3.3 Análise dos dados

A análise dos dados foi feita em esquema fatorial e delineamento inteiramente ao acaso. Foi aplicada análise de variância (teste F) e, nos casos de significância, o estudo dos efeitos das doses de P e de N em cada data de avaliação foi feito por teste de comparação de médias (Tukey, 5% de probabilidade). Para análise estatística foi utilizado o programa AgroEstat (Barbosa e Maldonado Jr., 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância com os efeitos do N, do P e do tempo nas medidas de crescimento das raízes das mudas de cana-de-açúcar está apresentado na Tabela 1. A adubação nitrogenada, analisada isoladamente, não apresentou efeito significativo nas variáveis das raízes que foram avaliadas, porém houve interação entre N e tempo no diâmetro das raízes (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de F da análise de variância para volume, área, diâmetro, comprimento, densidade e matéria seca de raízes de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e fosfatada e do tempo de transplantio.

	Volume (cm³)	Área (mm²)	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Densidade (mm mL⁻¹)	Mat. Seca (g)
N	1,20 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,75 ^{NS}	1,25 ^{NS}
P	0,77 ^{NS}	8,74 ^{**}	11,30 ^{**}	4,99 [*]	4,99 [*]	0,74 ^{NS}
T	11,26 ^{**}	14,97 ^{**}	8,10 ^{**}	18,66 ^{**}	18,66 ^{**}	20,51 ^{**}
N x P	0,77 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,61 ^{NS}
N x T	0,53 ^{NS}	0,66 ^{NS}	3,59 [*]	0,35 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,54 ^{NS}
P x T	0,61 ^{NS}	1,48 ^{NS}	0,84 ^{NS}	1,14 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,20 ^{NS}
N x P x T	3,12 [*]	6,74 ^{**}	5,27 [*]	8,64 ^{**}	8,64 ^{**}	3,57 [*]

N: nitrogênio; P: fósforo; T: tempo. NS, * e **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

A adubação fosfatada, analisada isoladamente, apresentou efeito significativo nas variáveis área, diâmetro, comprimento e densidade das raízes, porém não houve interações (Tabela 1).

Foram realizadas análises de regressão para as variáveis estudadas, desdobrando as interações duplas em função do tempo de crescimento, e os resultados estão apresentados nas Figuras 3 a 8.

O volume de raízes (cm³) aumentou linearmente em função do tempo na presença de adubação nitrogenada e fosfatada. Na ausência de aplicação de N e P o comportamento do crescimento das raízes foi quadrático em função do tempo, com ponto de mínimo aos 14 dias (Figura 3). Este resultado sugere que houve morte de raízes, provavelmente mais grossas, no transplantio, e que nestes tratamentos houve menor emissão de novas raízes do que nos casos em que as mudas foram

adubadas.

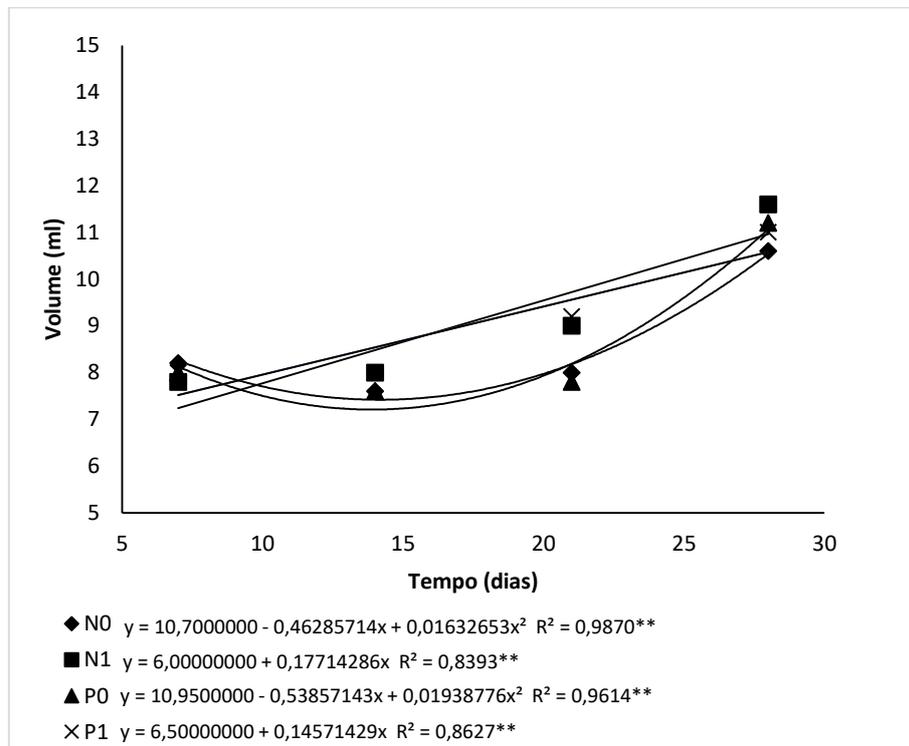


Figura 3. Volume de raízes (cm^3) de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplante, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

A área das raízes (mm^2) aumentou de forma linear em função do tempo em todos os tratamentos, com menor resposta nos tratamentos adubados com P e N do que nos não adubados (Figura 4). As plantas que receberam aplicação de P apresentaram menor área de raízes quando comparadas às plantas que não receberam adubação fosfatada, independentemente da data de avaliação e da presença ou não de nitrogênio (Figura 4).

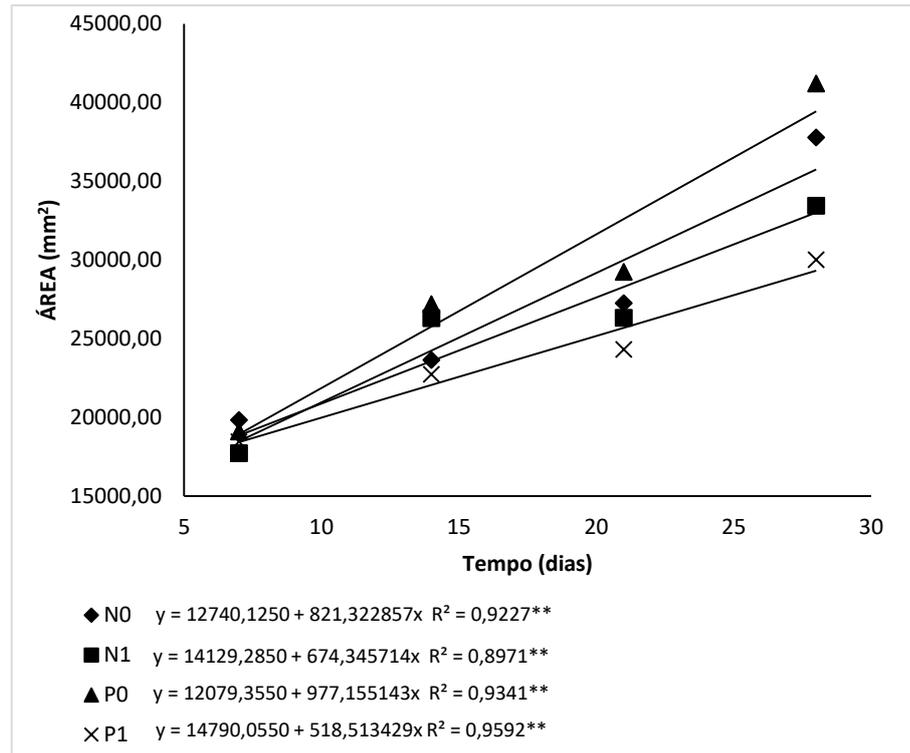


Figura 4. Área de raízes (mm^2) de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplântio, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

O diâmetro aumentou segundo modelo linear nos tratamentos com e sem adubação fosfatada, e segundo modelo quadrático nos tratamentos com e sem adubação nitrogenada (Figura 5). As plantas que não receberam adubação fosfatada apresentaram diâmetro da raiz maior quando comparadas às plantas que receberam adubação fosfatada. Quanto à adubação nitrogenada, foi possível observar que nos tempos 7, 14 e 21 dias após o transplântio as plantas que receberam adubação nitrogenada apresentaram maior diâmetro da raízes quando comparadas com as plantas que não receberam adubação nitrogenada. Porém, aos 28 dias após o transplântio, o resultado foi oposto (Figura 5). De acordo com alguns autores, a deficiência de P, assim como a de N, geralmente induzem o alongamento do sistema radicular (Marschner, 2002; López-Bucio et al., 2003). Este resultado foi obtido no presente trabalho nos tratamentos não adubados com P, mas não nos não adubados com N, o que pode estar associado à pobreza natural do solo em P, mas não em N.

As plantas que receberam adubação nitrogenada apresentaram diminuição do diâmetro de raízes em função do tempo. A diminuição do diâmetro das raízes com a

adubação nitrogenada (Figura 5) é um aspecto positivo porque as raízes finas permitem ao sistema radicular explorar o volume de solo disponível mais efetivamente, ao mesmo tempo em que diminuem o investimento da planta para formar e manter o sistema radicular (Forde e Lorenzo, 2001). Raízes mais grossas demandam mais energia para serem produzidas, mas têm maior capacidade de transporte, são menos vulneráveis a dessecação, a danos físicos e a patógenos (Fitter, 1987).

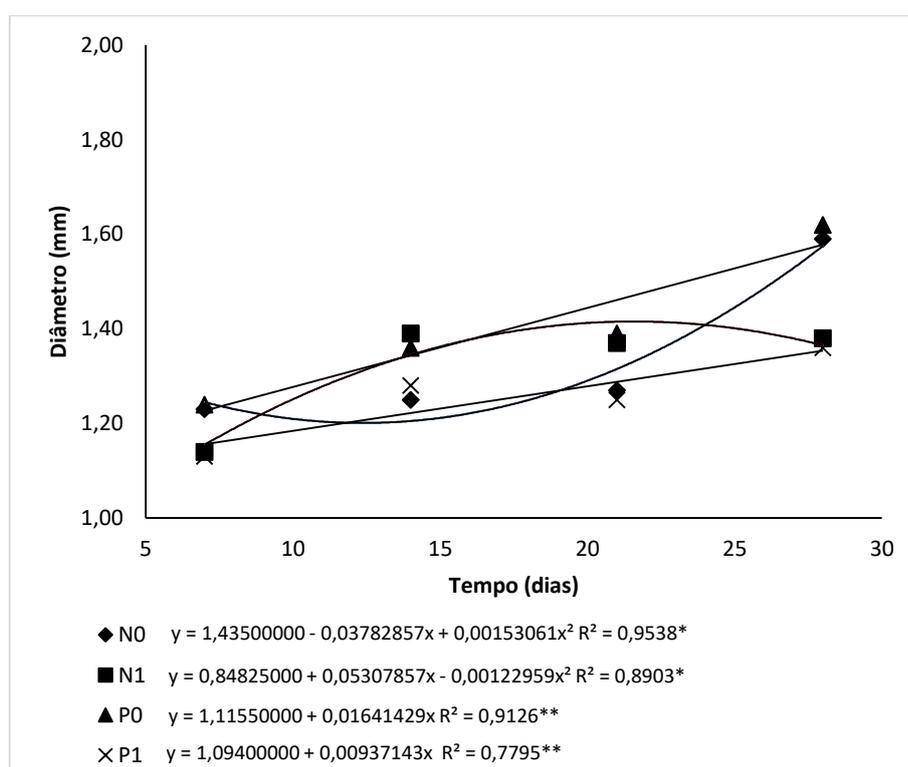


Figura 5. Diâmetro de raízes (mm) de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplante, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

As variáveis comprimento, densidade e matéria seca das raízes aumentaram de forma linear em função do tempo em relação aos fatores estudados (Figuras 6, 7 e 8), mas não houve efeito isolado do N. A não resposta das mudas de cana-de-açúcar à adubação nitrogenada é um resultado oposto ao esperado, uma vez que a disponibilidade de nutrientes é colocada como um dos fatores mais críticos na definição do crescimento e da arquitetura das raízes (López-Bucio et al., 2003; Hodge, 2006). Deve-se considerar que a resposta ao N é dependente da forma

mineral presente ou predominante no meio de crescimento das raízes. Em estudos em solução de nutrientes, quando é possível isolar as formas de nitrato e amônio, o efeito do nitrato é maior do que o do amônio (Drew, 1975). Nos solos aerados não há como isolar o efeito das formas minerais de N, e nas amostras de solo coletadas antes do transplante das mudas de cana-de-açúcar os teores de N-NO_3^- nos tratamentos sem e com adubação nitrogenada foram 17,70 e 56,95 mg dm^{-3} , respectivamente. Nas mesmas amostras, os teores de N-NH_4^+ nos tratamentos sem e com adubação nitrogenada foram 10,73 e 42,90 mg dm^{-3} . Deste modo, a ausência de resposta da planta, particularmente na fase inicial de crescimento, pode ter relação com a presença de teores de N-mineral suficientes no tratamento sem adubação.

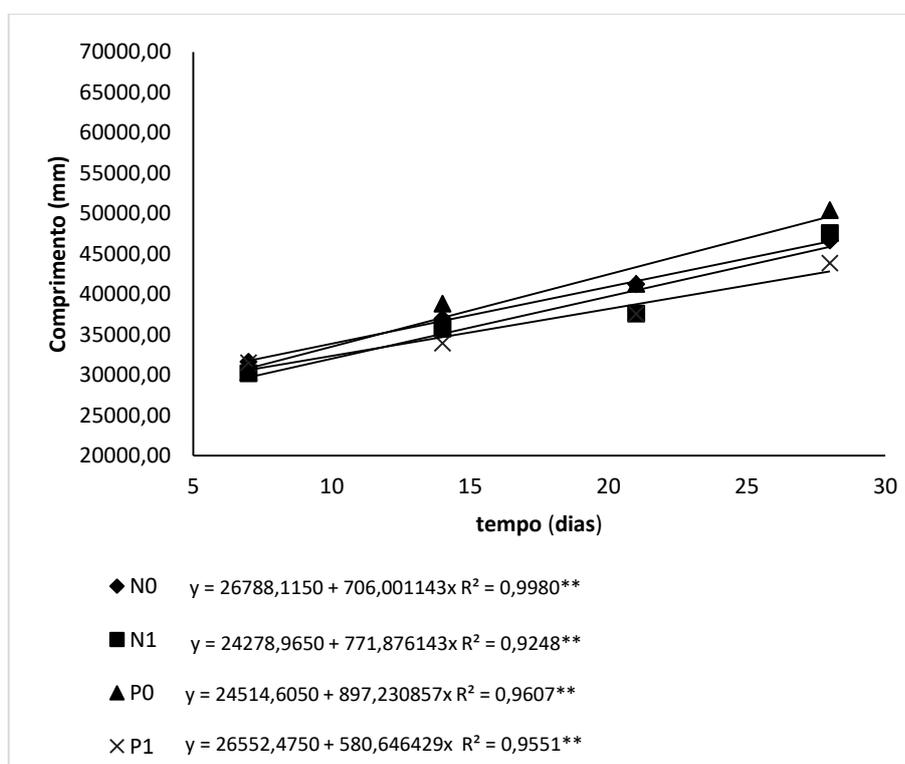


Figura 6. Comprimento de raízes (mm) de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplante, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

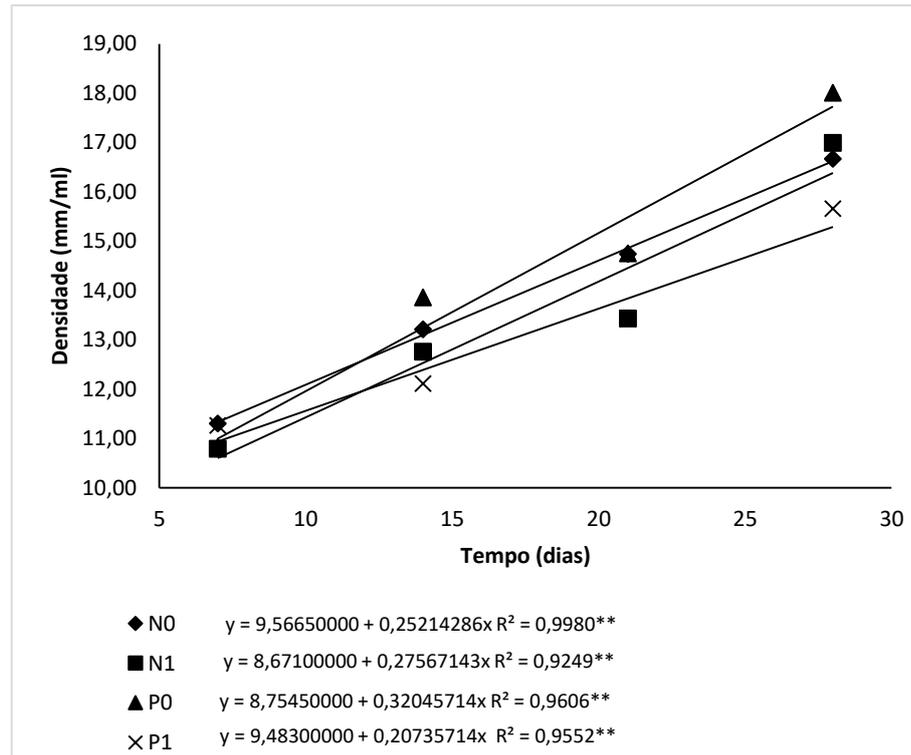


Figura 7. Densidade de raízes (mm mL^{-1}) de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplante, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

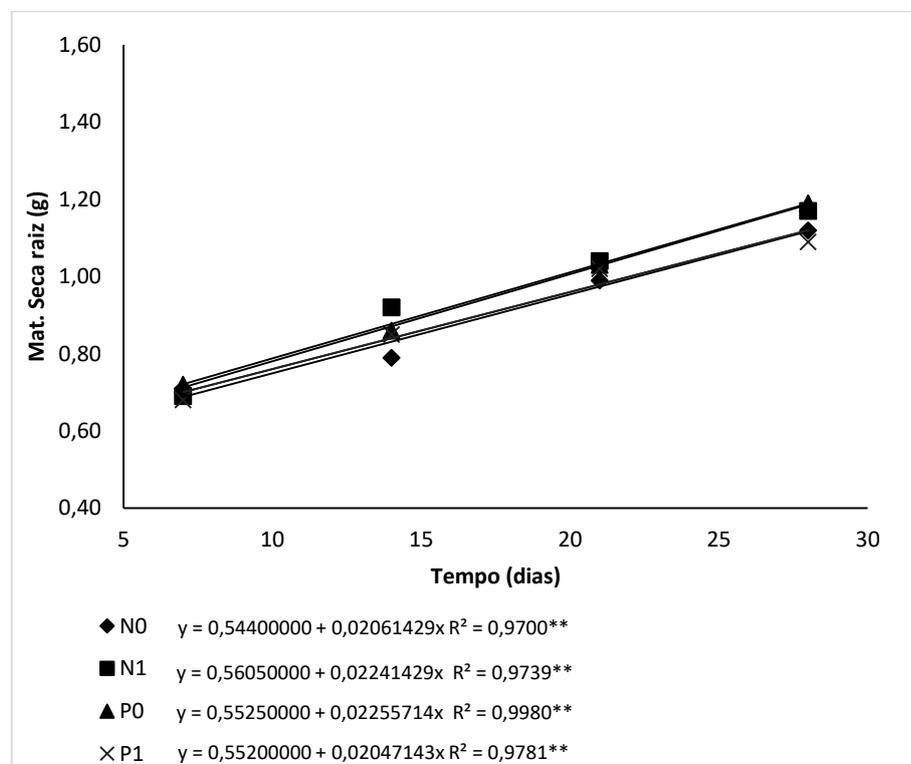


Figura 8. Matéria seca de raízes (g por planta) de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplante, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

Comprimento e densidade sofreram efeito da adubação fosfatada, com valores maiores nos tratamentos sem P. Os teores médios de P no solo nas condições sem e com aplicação de P foram respectivamente iguais a 8 e 50 mg dm⁻³ de P, que são classificados como baixo e alto, respectivamente (Raij et al., 1996). Embora se admita que a proliferação de raízes seja estimulada quando elas encontram regiões ricas em nutrientes (Drew, 1975), há também a possibilidade de ocorrência de efeito inverso, uma vez que as raízes tornam-se os drenos preferenciais de fotoassimilados quando alguns nutrientes limitam o crescimento das plantas (Clarkson, 1985), o que explicaria a resposta obtida com as mudas de cana-de-açúcar. O estímulo pela concentração alta ou baixa mencionados são particularmente observados com o N e o P (Drew, 1975; Clarkson, 1985). Liu et al. (1998) também afirmam que, quando a planta é cultivada em condição de baixa disponibilidade de P, a distribuição, a direção e a energia de assimilação dos produtos da fotossíntese são voltadas para a formação e o desenvolvimento do sistema radicular, visando aumentar a área de absorção do nutriente.

É provável que as plantas possam detectar tanto o status da quantidade de P total, aumentando a eficiência do uso de P internamente, quanto variações locais de P, permitindo a proliferação de raízes para regiões do solo ricas em P (Forde e Lorenzo, 2001; Williamson et al., 2001; Amtmann et al., 2005). A baixa disponibilidade de P no solo também altera a distribuição do crescimento entre os vários tipos de raízes (Drew, 1975; Hodge, 2009). Isto pode ser interpretado como um comportamento exploratório, permitindo que essas raízes cresçam ao máximo até que elas encontrem manchas localizadas de maior disponibilidade de P. Outra adaptação comum para baixo teor de P no solo é o estímulo para o crescimento de pelos radiculares (Lynch, 2007). Ao aumentar o comprimento dos pelos radiculares e sua densidade, a exploração do solo com deficiência de P aumenta significativamente.

No caso de fosfato, a baixa disponibilidade no solo parece ser detectada pelo ápice da raiz, em que o alongamento das células e a atividade do meristema diminuem, impedindo o desenvolvimento de raízes em zonas com baixo teor de P no solo (Desnos, 2008). No caso do nitrato, o papel do meristema apical na detecção do N não está claro. No entanto, raízes laterais também se alongam em zonas do

solo contendo nitrato, se o sistema radicular restante estiver deficiente em nitrogênio (Drew, 1975).

Na Tabela 2 estão os valores de F para as variáveis matéria seca (MS) de parte aérea e N e P acumulados na MS das mudas de cana-de-açúcar. A adubação nitrogenada, isoladamente, apresentou efeito significativo para acúmulo de N na planta, e em relação às interações, apresentou interação com a adubação fosfatada para acúmulo de nitrogênio (Tabela 2). O não aumento da MS da parte aérea com a adubação nitrogenada indica, como comentado anteriormente, que os teores de N-mineral existentes no solo não adubado, mais o que foi mineralizado da matéria orgânica do solo, foram suficientes para atender à demanda das plantas.

Tabela 2. Valores de F da análise de variância para matéria seca e acúmulo de nitrogênio e de fósforo na parte aérea da planta, em função da adubação nitrogenada, fosfatada e do tempo de transplântio.

	Matéria Seca (g)	N (mg/planta)	P (mg/planta)
N	1,23 ^{NS}	11,84 ^{**}	0,05 ^{NS}
P	20,57 ^{**}	29,42 ^{**}	86,86 ^{**}
T	144,69 ^{**}	113,31 ^{**}	45,63 ^{**}
N x P	0,48 ^{NS}	5,43 [*]	1,47 ^{NS}
N x T	0,49 ^{NS}	2,30 ^{NS}	0,64 ^{NS}
P x T	4,41 [*]	3,79 [*]	21,66 ^{**}
N x P x T	1,92 ^{NS}	1,68 ^{NS}	0,84 ^{NS}

N: nitrogênio; P: fósforo; T: tempo. NS, * e **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Houve efeito isolado da adubação fosfatada na MS, no acúmulo de N e no acúmulo de P na planta. A adubação fosfatada apresentou também interação significativa com tempo e com adubação nitrogenada (Tabela 2).

A matéria seca da parte aérea (g por planta) aumentou de forma linear em todos os tratamentos (Figura 9), e foi possível observar que as plantas que receberam tanto adubação nitrogenada quanto adubação fosfatada apresentaram maior produção de matéria seca, quando comparadas às plantas que não receberam adubação.

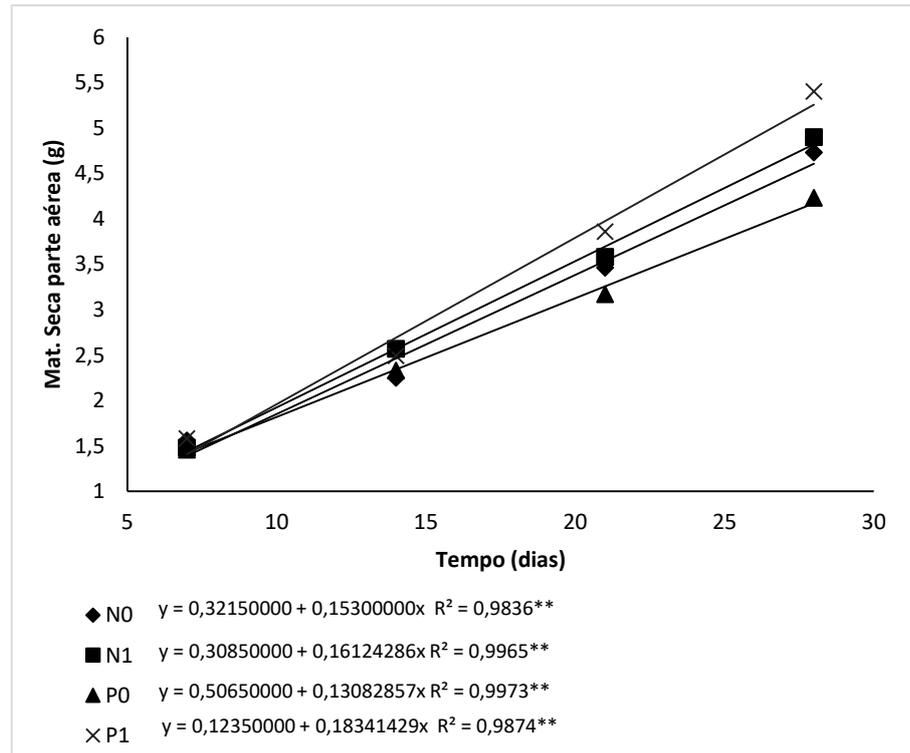


Figura 9. Matéria seca de parte aérea (g por planta) de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplante, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

O acúmulo de P (mg/planta) aumentou de modo linear em função do tempo nas plantas de todos os tratamentos (Figura 10). As plantas que receberam adubação fosfatada apresentaram maior acúmulo de P quando comparadas às plantas que não receberam adubação fosfatada. Em relação à adubação nitrogenada, tanto as plantas que receberam, quanto as que não receberam adubação, apresentam acúmulo de P maior, quando comparadas às plantas que não receberam adubação fosfatada (Figura 10).

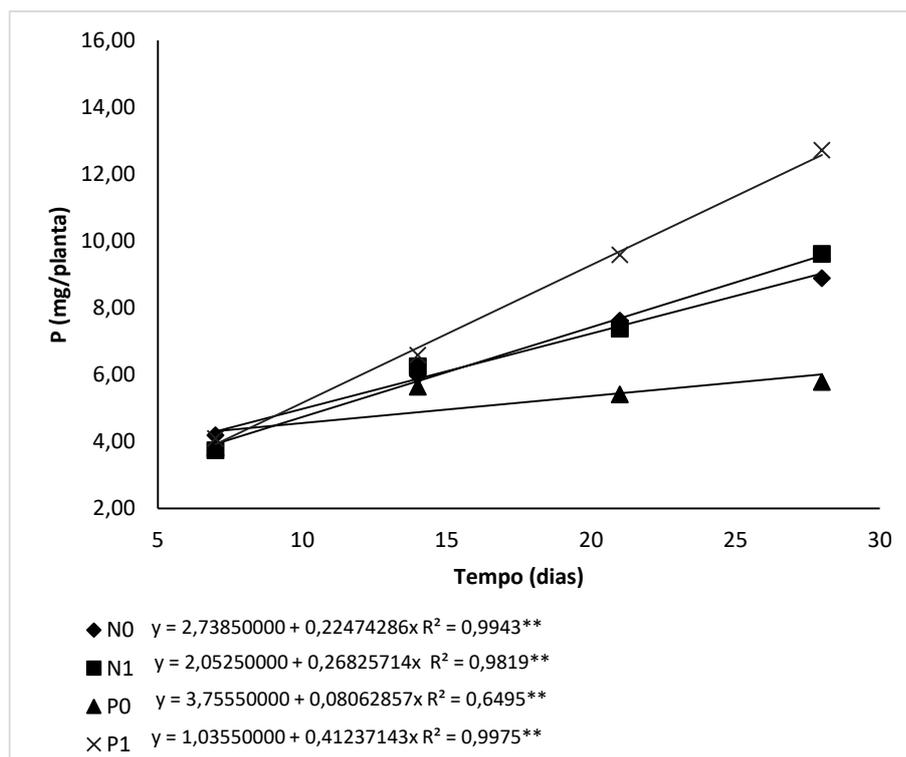


Figura 10. Acúmulo de P (mg/planta) na parte aérea de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplante, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

Com a adubação nitrogenada, o N acumulado na parte aérea aumentou em aproximadamente 20 mg/planta no tempo 28 dias (Figura 11). Como não houve efeito do N na matéria seca, o aumento no N acumulado foi devido ao aumento na concentração de N nos tecidos. A concentração de N na planta reflete como foi o fornecimento de N pelo solo, sendo, portanto, um indicador da capacidade que o solo teve em suprir N até determinado momento. Suprimento inadequado de N pelo solo reflete em baixas concentrações de N na planta (Larsson, 1994).

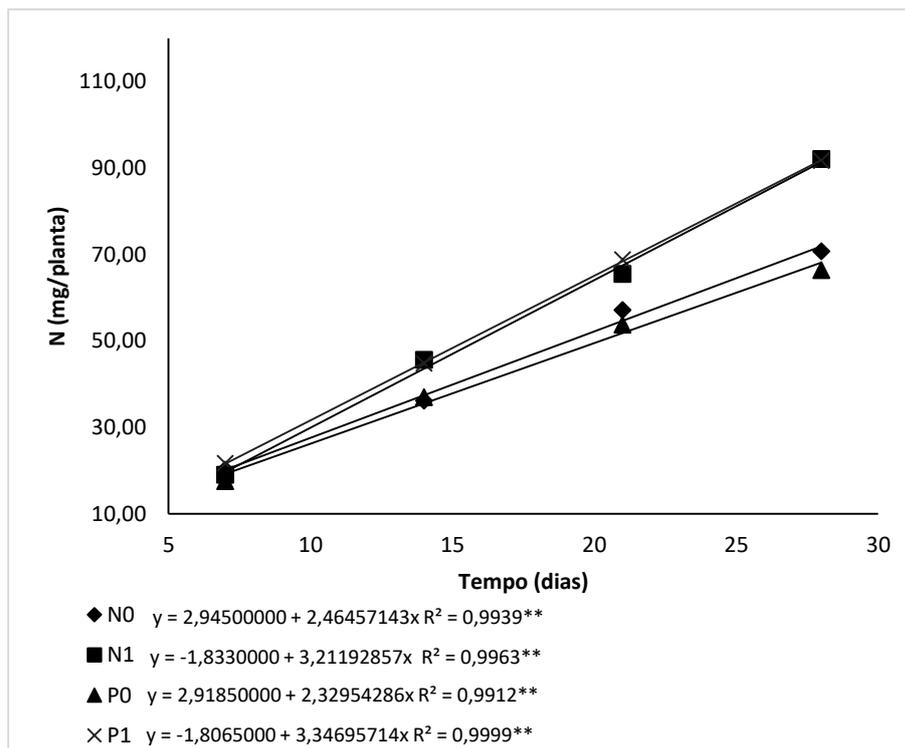


Figura 11. Acúmulo de N (mg/planta) na parte aérea de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplante, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

Dentre os nutrientes, o N e o P são os que mais comumente limitam o crescimento de mudas na fase inicial de produção (Graciano et al., 2006). O requerimento de P é relativamente pequeno quando comparado ao de outros macronutrientes, como o N. Contudo, o P é um dos nutrientes que mais limita a produção de biomassa (Novais e Smyth, 1999).

Na Tabela 3 estão os valores de F para relação matéria seca da parte aérea/matéria seca de raízes (MSPA/MSR) em função das adubações nitrogenada e fosfatada e do tempo após transplante. Houve efeito da adubação fosfatada e interação entre tempo e adubação fosfatada (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de F da análise de variância para relação matéria seca da parte aérea e raízes (MSPA/MSR), em função da adubação nitrogenada, fosfatada e tempo de transplântio.

	MSPA/MSR
N	0,11 ^{NS}
P	25,62 ^{**}
T	49,08 ^{**}
N x P	1,82 ^{NS}
N x T	0,07 ^{NS}
P x T	4,90 [*]
N x P x T	0,52 ^{NS}

N: nitrogênio; P: fósforo; T: tempo. NS, * e **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

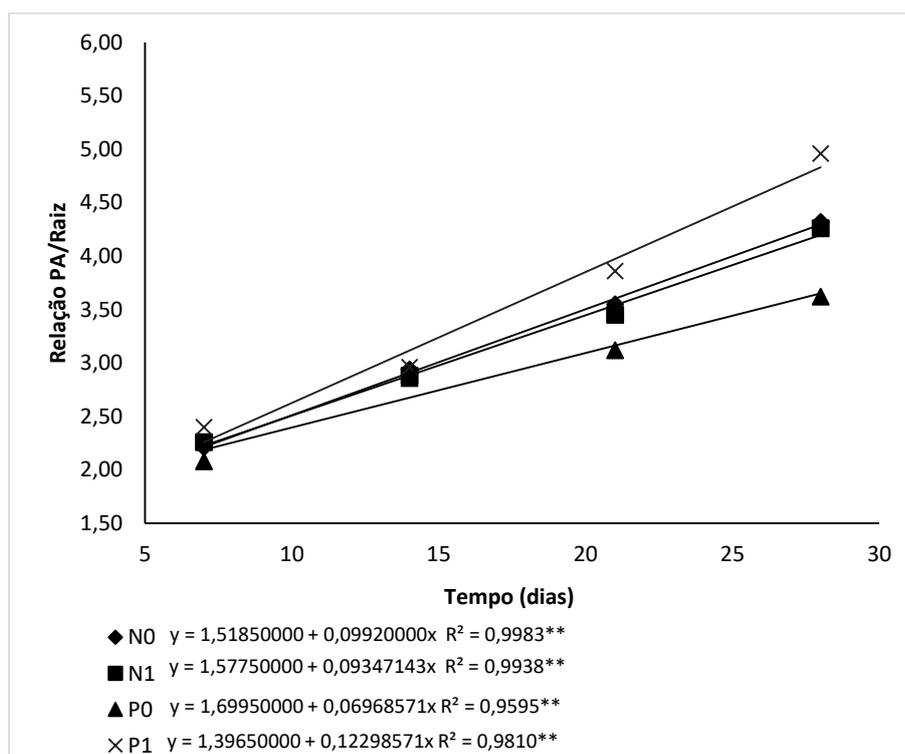


Figura 12. Relação entre matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes de mudas de cana-de-açúcar em função do tempo após o transplântio, na presença (N1 e P1) e ausência (N0 e P0) de adubação com N e P.

A partir dos 21 dias após o transplântio, a relação MSPA/MSR foi maior nas plantas que receberam adubação fosfatada (Figura 12). Este resultado está associado ao efeito positivo da adubação fosfatada na matéria seca da parte aérea, sem o efeito correspondente nas raízes. Em condições em que há deficiência de P,

a planta apresenta, tipicamente, diminuição da relação entre parte aérea e raiz, porque ocorre translocação de carboidratos da parte aérea para as raízes, que pode ser comprovada pelo aumento na quantidade de sacarose nas raízes (Marschner, 2002). Aumento da relação MSPA/MSR pode significar aumento da superfície transpiratória sem aumento nas superfícies absorventes, o que torna a planta mais suscetível a déficits hídricos.

5. CONCLUSÕES

O aumento da concentração de N no solo promoveu diminuição no diâmetro das raízes de mudas de cana-de-açúcar, cv RB97 5201, aos 28 dias após o transplântio.

O aumento da concentração de P no solo diminuiu a área, o diâmetro, o comprimento e a densidade de raízes de mudas de cana-de-açúcar após o transplântio, aumentou a produção de matéria seca de parte aérea e a relação matéria seca de parte aérea/raízes, o que pode tornar as plantas mais suscetíveis a estresses hídricos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amtmann A, Hammond JP, Armendaud P, White PJ (2005) Nutrient sensing and signaling in plants: potassium and phosphorus. **Advances in Botanical Research** 209-256.

Assis TF, Fett-Neto AG, Alfenas AC (2004) Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwood with emphasis on Eucalyptus. In: Walter C, e Carson M. **Plantation forest biotechnology for the 21th century** 303-333.

Barbosa JC, Maldonado Jr W (2014) AgroEstat – **Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agronômicos**. Versão 1.1.0.712.

Batista LMT (2013) **Avaliação morfofisiológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos**. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília- Brasília.

Beauclair EGF, Scarpari MS (2007) Noções fitotécnicas. In: Ripoli TCC, Ripoli MLC, Casagrande DV, Ide BY. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte** 65-73.

Bohm W (1979) Methods of studying root systems. **New York: Springer-Verlag** 189.

Bologna-Campbell IR (2006) **Balço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 110 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Camargo AO, Moniz AC, Jorge JA, Valadares JMAS (2009) **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 77.

Carmo CAFS, Araújo WS, Bernardi ACC, Saldanha MFC (2000) Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 41 (Circular técnica, 6).

Casagrande AA (1991) **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 57.

Clarkson DT (1985) Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annual Review Plant Physiology** 36:77-115.

Clements HF (1980) Sugarcane crop logging and control: principles and practices. **Pitman Publishing** 520.

CONAB (2017) – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA CANA-DEAÇÚCAR. V. 4 – SAFRA 2017/18 N. 3 –Terceiro Levantamento Dezembro/2017.**

Desnos T (2008) Root branching responses to phosphate and nitrate. **Plant Biology** 11:82-87.

Drew MC (1975) Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. **New Phytol** 75: 479–490.

Fageria NK, Moreira A (2011) The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. In Donald L. Sparks, editor: **Advances in Agronomy** 110:251-331.

Fante Junior L, Reichardt K, Jorge LAC, Bacchi OOS (1999) Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira. **Scientia Agricola** 56:1091-1100.

Fitter AH (1987) An architectural approach to the comparative ecology of plant root systems. **The New Phytologist** 106:61-77.

Forde B, Lorenzo H (2001) The nutritional control of root development. **Plant and Soil** 232:51-68.

Fraga Junior EF (2015) **Considerações sobre o manejo de irrigação na produtividade e qualidade de gemas de cana-de-açúcar para viveiros de mudas-pré-brotadas (MPB).** Tese (Doutorado em Engenharia de sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Graciano C, Goya JF, Frangi JL, Guiamet JJ (2006) Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. **Forest Ecology and Management** 236:202-210.

Hodge A (2009) Root decisions. **Plant Cell and Environment** 32:628-640.

Hodge A (2006) Plastic plants and patchy soils. **J. Exp. Bot.** 57:401–411.

IBGE (2017) **LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**. Rio de Janeiro 30:82.

Inforzato R, Alvarez R (1957) Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar, em solo tipo terra-roxa legítima. **Bragantia** 16:1-13.

Kingston G (2014) Mineral Nutrition of Sugarcane. In: Moore PH, Botha FC. (Ed.). **Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology** 5:85-120.

Korndörfer GH, Primavesi O, Deuber R (1989) Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo LVA. **Piracicaba: Coopersucar** 47:32-36. (Boletim Técnico 47).

Korndörfer GH (2004) Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: Yamada T, Abdalla SRS. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potássio e do Fósforo, 290-360.

Landell MGA, Campana MP, Figueiredo P, Xavier MA, Anjos IA dos, Dinardo-Mirando LL, Scarpari MS, Garcia JC, Bidóia MAP, Silva DN da, Mendonça JR de, Kanthack RAD, Campos MF de, Brancalião SR, Petri RH, Miguel PEM (2013) **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: IAC. (Documentos, 109). Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/Doc%20109_online.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2018.

Larsson CM (1994) Responses of the nitrate uptake system to external nitrate availability: a whole plant perspective. In: Roy J, Garnier E. (Eds.). A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions. **The Hague: SPD Academic** 47-59.

Liu C, Muchhal US, Uthappa M, Kononowicz AK, Raghothama KG (1998) Tomato phosphate transporter genes are differentially regulated in plant tissue by phosphorus. **Plant Physiology** 116:91-99.

López-Bucio J, Cruz-Ramírez A, Herrera-Estrella L (2003) The role of nutrient availability in regulating root architecture. **Curr Opin Plant Biol.** 6: 280–287.

Lynch JP (2007) Roots of the second green revolution. **Australian Journal of Botany** 55:493-512.

Malavolta E (2006) **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Livro Ceres, 638.

Marschner H (2002) Mineral nutrition of higher plants. San Diego: **Academic Press** 889.

Mauri R (2012) **Relações hídricas na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar submetida a déficit hídrico variável.** 105p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Novais RF, Smyth TJ (1999) **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 399.

Oliveira Junior JA (2001) **Adubos fosfatados como fonte de metais pesados: efeito na composição do solo e do arroz.** 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia Nuclear Na Agricultura, Departamento de Centro de Energia Nuclear Na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Raij B. van, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: **Instituto Agrônomo** 285.

Raij B. van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1996) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 285p. (IAC. Boletim técnico, 100).

Raij B. van (1991) **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 343p.

Rossetto R. et al. (2010) Fósforo. In: Dinardomiranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA. (Ed.). **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agrônomo, 271-288.

Segato SV, Pinto A de S, Jendiroba E, Nóbrega JCM (2006) **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba. 2:415.

Taiz L, Zeiger E (2009) **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: 848p.

Thorburn PJ, Dart IK, Biggs IJ, Baillie CP, Smith MA, Keating BA (2003) The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. **Irrigation Science** 22:201–209.

Trivelin PCO, Vitti AC, Oliveira MW, Gava GJC (2002) Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 26:636-646.

Vasconcelos ACM, Casagrande AA (2010) Fisiologia do sistema radicular. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Ed.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: IAC, 79-98.

Vasconcelos ACM, Casagrande AA, Perecin D, Jorge LAC, Landell MGA (2003) Avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:849-858.

Viana AR, Ferreira JM, Ribas SBF (2012) **Produção De Cana-De-Açúcar Visando A Sua Utilização Na Alimentação De Bovinos De Leite**. Programa Rio Rural. Niterói.

Williamson LC, Ribrioux SPCP, Fitter AH, Leyser HMO (2001) Phosphate availability regulates root system architecture in Arabidopsis. **Plant Physiology**, 126:875-882.

Xavier MA, Landell MG de A, Teixeira LG, Rodrigues P de A, Nassif GL, Oliveira Junior AC, Mine K (2014) Sistema de multiplicação MPB e integração com o setor sucroenergético. **O Agrônomo**. Campinas: IAC, 2014. V.64-66. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/agronomico/pdf/OAgronomico-Edicao-64-66-Informacoes-tecnicas-Artigo-1.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

Zonta E, Brasil FC, Goi SR, Rosa MMT (2006) O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed) **Nutrição mineral das plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,7-52.