

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

LUAN RAFAEL DOS SANTOS WANDERLEY

**NUTRIÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR
FERTIRRIGADAS POR GOTEJO SUBSUPERFICIAL**

RECIFE

2018

Luan Rafael dos Santos Wanderley
Engenheiro Agrônomo

**NUTRIÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADAS POR
GOTEJO SUBSUPERFICIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira

Recife

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

W245n Wanderley, Luan Rafael dos Santos

Nutrição de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial / Luan Rafael dos Santos Wanderley. – 2018.

77 f. : il.

Orientador: Emídio Cantídio Almeida de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, BR-PE, 2018.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Saccharum spp. 2. Acúmulo de biomassa 3. Fertirrigação 4. Extração de nutrientes 5. Produtividade agrícola I. Oliveira, Emídio Cantídio Almeida de, orient.
II. Título

CDD 631.4

LUAN RAFAEL DOS SANTOS WANDERLEY

**NUTRIÇÃO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADAS POR
GOTEJO SUBSUPERFICIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando José Freire
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Eng. Agro. Dr. Djalma Euzébio Simões Neto
Universidade Federal Rural de Pernambuco

DEDICO

A minha futura esposa, Williane, a todos familiares e amigos que sempre me fizeram acreditar que era possível, me dando forças no dia-a-dia para superar os desafios.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus Pai, Todo Poderoso, pela concessão da vida, por cada novo dia, por cada nova chance de recomeço.

Aos meus pais, Ana e Mário, pela educação que me proporcionaram, por sempre acreditarem em mim, por entenderem meus sacrifícios e me apoiarem nos momentos difíceis.

Aos meus irmãos, por sempre me fazerem sorrir. Ao meu sobrinho Nathan, pela luz que trouxe a nossa família.

A todos da minha família pelos exemplos de dignidade, humildade e dedicação, em especial minha avó Maria do Carmo, por tudo carinho e cuidado, e ao meu Tio Waldir Wanderley pelo incentivo desde a infância.

A minha noiva Williane Diniz, por todo apoio, cobranças e estímulos proporcionados nesses 5 anos e por me fazer um homem realizado.

Ao Professor Emídio pelo acreditar em mim desde o início da graduação e sempre incentivar e contribuir no meu crescimento profissional.

A todos do Grupo de Pesquisa Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo – GNAF, pela entrega e auxílio na realização de coletas e análises, tanto os pós-graduandos: Amanda, Abraão, Magda e Wildson; quanto a todos da graduação: Barbara, Bruno, Eduardo, Elton, Francielle, Gabriel, Igor, Joana, Leonardo, Marcelo, Matheus, Pedro e Raquel. Sem o trabalho em grupo não teríamos concluído essa etapa.

Aos amigos da pós-graduação pela contribuição nos trabalhos e pela amizade: Augusto Santana, David Lukas e ao Professor Renato Lemos pelo apoio e atenção.

A todos do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, em especial Maria do Socorro por toda a dedicação e compreensão.

A todos da Usina Olho d'Água pela parceria formada: Dr Marcos Mendonça, Sr. Moacir e toda equipe técnica que auxiliaram na condução do trabalho.

A equipe da EECAC, em especial Dr. Djalma Euzébio, Morgana Kelly, Rosana, Célia, Suzana, Paulo Rocha e Luiz Tavares por toda ajuda e amizade.

Enfim, a todos que direta e indiretamente contribuíram para a conclusão dessa etapa, contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional.

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

LUAN RAFAEL DOS SANTOS WANDERLEY, filho primogênito de Ana Claudia dos Santos e Mário José Lima Wanderley, nasceu em 03 de julho de 1991 no município de Sirinhaém, Zona da Mata sul do estado de Pernambuco, onde passou toda a infância e juventude ao lado dos irmãos Withor Yuri e Laura Mariana Lima, concluindo o ensino fundamental no ano de 2006 na Escola Agrícola Municipal Antonio José de Barros Wanderley.

No ano de 2007 iniciou o curso de Técnico em Agropecuária integrado ao ensino médio na Escola Agrotécnica Federal de Barreiros – EAFB (Atual IFPE-Campus Barreiros) onde iniciou a vivência com a agricultura da região. Em março de 2010 ingressou no curso superior em Agronomia na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST, iniciando na área científica em fertilidade do solo no segundo semestre daquele ano e participando da criação do Grupo de Estudos e Pesquisa em Agroenergia – GEPAE. No ano seguinte transferiu-se para a UFRPE – campus Recife, dando continuidade ao curso e concluindo em março de 2015. Durante a graduação foi aluno bolsista do Programa de Educação Tutorial no curso de Agronomia, PET-AGRONOMIA, realizando trabalhos de ensino, pesquisa e extensão nas áreas de química agrícola e fertilidade do solo.

Em março de 2016, ingressou no Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da UFRPE, realizando pesquisas na área de fertilidade do solo com ênfase no manejo nutricional da cana-de-açúcar fertirrigada por gotejo subsuperficial.

O Cântico da Terra (Cora Coralina)

“Eu sou a terra, eu sou a vida.
Do meu barro primeiro veio o homem.
De mim veio a mulher e veio o amor.
Veio a árvore, veio a fonte.
Vem o fruto e vem a flor.

Eu sou a fonte original de toda vida.
Sou o chão que se prende à tua casa.
Sou a telha da cobertura de teu lar.
A mina constante de teu poço.
Sou a espiga generosa de teu gado
e certeza tranquila ao teu esforço.
Sou a razão de tua vida.
De mim vieste pela mão do Criador,
e a mim tu voltarás no fim da lida.
Só em mim acharás descanso e Paz.

Eu sou a grande Mãe Universal.
Tua filha, tua noiva e desposada.
A mulher e o ventre que fecundas.
Sou a gleba, a gestação, eu sou o amor.

A ti, ó lavrador, tudo quanto é meu.
Teu arado, tua foice, teu machado.
O berço pequenino de teu filho.
O algodão de tua veste
e o pão de tua casa.

E um dia bem distante
a mim tu voltarás.
E no canteiro materno de meu seio
tranquilo dormirás.

Plantemos a roça.
Lavremos a gleba.
Cuidemos do ninho,
do gado e da tulha.
Fatura teremos
e donos de sítio
felizes seremos.”

Nutrição de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial

RESUMO

O manejo de nutrientes da cana-de-açúcar via fertirrigação por gotejo subsuperficial está baseado em acúmulo de nutrientes de variedades cultivadas sob sistema convencional. Dessa forma a produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada está longe do potencial produtivo. O objetivo dessa pesquisa foi determinar o acúmulo e exigência de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. Aos 86, 131, 162, 218, 266 e 330 dias após o plantio (DAP) foram realizadas coletas de biomassa vegetal da parte aérea e determinados a produção de matéria seca, teores e acúmulo de N, P e K de variedades de cana-de-açúcar (RB867515, RB036147, RB002754, RB92579 e VAT90-212) cultivadas sob fertirrigação por gotejo subsuperficial. Ao final do ciclo foram determinadas a produtividade e exigência nutricional e foram realizadas análises de componentes principais (ACP) e agrupamento (AA). Foram obtidos três grupos, com diferentes comportamentos sob o manejo adotado, nos quais o Grupo I foi formado pela variedade VAT90-212, a variedade RB036147 consistiu no Grupo II e a variedades RB867515, RB002754 e RB92579 constituíram no Grupo III. O acúmulo de biomassa e de nutrientes caracterizado pelo modelo sigmoidal com três fases distintas: Inicial de acúmulo lento com uma sincronia entre o acúmulo de biomassa, N e P; Fase de acúmulo linear-exponencial em que ocorreu o maior acúmulo relativo (> 80%) de biomassa e nutrientes; E fase de acúmulo estacionária ao final do ciclo. As produtividades obtidas foram de 165, 148 e 135 Mg ha⁻¹ no Grupo III, Grupo II e Grupo I respectivamente.

Palavras chaves: *Saccharum* spp. Acúmulo de biomassa. Fertirrigação. Extração de nutrientes. Produtividade agrícola.

Nutrition of sugarcane varieties fertigated by subsurface drip

ABSTRACT

The sugarcane nutrient management by subsurface drip fertigation is still based in the rainfall sugarcane nutrient accumulation. Thus, the yield of sugarcane under fertigation is so far of its yield potential. The aim of this study research was to determine the nutrient accumulation and requirement of sugarcane varieties fertigated by subsurface drip. At 86, 131, 162, 218, 266, and 330 days after planting (DAP), were sampled aboveground biomass and determined dry biomass production, N, P and K contents and accumulation of sugarcane varieties (RB867515, RB036147, RB002754, RB92579 and VAT90-212) under subsurface drip fertigation. At the end of the cycle the yield and nutritional requirements were determined and were performed principal component (PCA) and cluster (CA) analysis. Was obtained 3 groups, which Group I was the VAT90-212, the RB036147 formed the Group II. Then the RB867515, RB002754 and RB92579 varieties the Group III. The biomass and nutrient accumulation were characterized by a sigmoid pattern with 3 distinct phases, as follows: (1st) Slow plant growth with a synchrony between biomass, N and P accumulation; (2nd) Linear-exponential accumulation of biomass and nutrients that were accumulated over 80 %; (3rd) Stationary phase at the end of cycle. The Group I, II and III obtained 165, 148 e 135 Mg ha⁻¹ of yield respectively.

Keywords: *Saccharum* spp.. Biomass accumulation. Fertigation. Nutrient extraction. Yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área agrícola utilizada na pesquisa. (Fonte: ArqGIS; Cortesia: David Lucas Arruda Silva).....	40
Figura 2. Precipitação pluviométrica (P) e evapotranspiração de referência (ET _o), em mm, e temperatura média (T _{med}), máxima (T _{max}) e mínima (T _{min}) anual durante o desenvolvimento da pesquisa.....	41
Figura 3. Distribuição percentual (%) das doses de N e K ₂ O aplicados através do sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial durante o ciclo de cana-planta.....	43
Figura 4. Dendrograma a partir das variáveis de perfilhamento, acúmulo de biomassa total, teores, acúmulo de N, P e K, e produtividade de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial	50
Figura 5. Perfilhamento (colmos m ⁻¹) de grupos de variedades cultivadas sob irrigação por gotejo subsuperficial. DAP = Dias após o plantio; Barras representam intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.	51
Figura 6. Teores de N (A), P (B) e K (C) em grupos de variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob gotejo subsuperficial. DAP = Dias após o plantio; * e ** significativo, respectivamente, a 1% e 5% (teste t). Barras representam intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515;	57
Figura 7. Acúmulo de N e B) Taxa de acúmulo de N (TAN) em variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. * e ** significativo, respectivamente, a 1% e 5% (teste t). Barras = Intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.	59
Figura 8. Acúmulo de P e B) Taxa de acúmulo de P em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. * e ** significativo, respectivamente, a 1% e 5% (teste t). Barras = Intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.	61
Figura 9. Acúmulo de K e B) Taxa de acúmulo de K em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. * e ** significativo, respectivamente, a 1% e 5% (teste t). Barras = Intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas das áreas utilizadas no cultivo das variedades	42
Tabela 2. Cargas fatoriais da ACP para perfilhamento, acúmulo de biomassa total, teores, acúmulo de N, P e K, e produtividade de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial.....	48
Tabela 3. Valores de F da análise de medidas repetidas no tempo das variáveis perfilhamento, acúmulo de biomassa, teor e acúmulo de N, P e K de grupos de variedades fertirrigadas por gotejo subsuperficial.....	50
Tabela 4. Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de matéria seca da parte aérea de variedades de cana	54
Tabela 5. Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de N em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigada por gotejo subsuperficial	60
Tabela 6. Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de P em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigada por gotejo subsuperficial.	62
Tabela 7. Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de K em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigada por gotejo subsuperficial	64
Tabela 8. Produtividade (TCH), extração (kg ha^{-1}), e exigência de NPK (kg Mg^{-1}), de grupos de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. Valores entre parêntese representam o intervalo de confiança.	65
Tabela 9. Função e parâmetros correspondentes ao acúmulo de biomassa seca	77
Tabela 10. Funções e parâmetros correspondentes aos teores ponderados de nutrientes.....	77
Tabela 11. Funções e parâmetros correspondentes aos teores acúmulo de nutrientes	77

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1 Hipótese	24
1.2 Objetivo geral	24
1.3 Objetivos específicos	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 A cultura da cana-de-açúcar	25
2.2 Variedades e desenvolvimento da cana-de-açúcar	26
2.3 Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar	30
2.5 Fertirrigação.....	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 Descrição e caracterização da área agrícola	40
3.2 Características químico-física do solo	41
3.3 Descrição da pesquisa.....	42
3.4 Amostragem das variedades	44
3.5 Acúmulo de biomassa.....	44
3.6 Teor e acúmulo de nutrientes.....	45
3.7 Extração e exigência de nutrientes	46
3.8 Análises estatísticas	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 Análise de Componentes Principais (ACP).....	48
4.2 Análise de agrupamento (AA).....	49
4.3 Perfilhamento	50
4.4 Acúmulo de Biomassa seca	53
4.5 Teor de nutrientes	56
4.6 Acúmulo de nutrientes.....	58

4.7 Exigência de nutrientes.....	64
5. CONCLUSÕES.....	68
6. REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE A	77

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) possui importância socioeconômica nacional desde o início da colonização do Brasil, e vem impulsionado o país no cenário internacional na produção de alimentos e de energia renovável desde o fim do século XX. Nos últimos anos teve sua relevância com a introdução de novas tecnologias energéticas.

Além disso, o setor sucroenergético forma uma das cadeias produtivas mais importantes para a economia nacional, gerando milhares de empregos diretos e indiretos, bem como divisas para o país a partir da exportação para atender a demanda mundial de açúcar e biocombustíveis.

O futuro do setor é promissor em decorrência do desenvolvimento recente das tecnologias do etanol de 2ª e 3ª geração a partir do bagaço da cana-de-açúcar, demonstrando o potencial para o aumento na produção de energia sem a necessidade de expansão, evitando assim, o uso de áreas destinadas à produção de alimentos ou preservação ambiental. Além disso, o país ratificou a adoção do Acordo de Paris cuja meta é reduzir as emissões de gases do efeito estufa. O cumprimento dessa meta passa pela maior utilização de energias renováveis, como o etanol, e paralelamente está envolvido na criação da Plataforma do Biofuturo, que busca o fortalecimento da utilização de biocombustíveis na matriz energética mundial.

Para o alcance dos patamares atuais, o setor vem investindo, ainda que timidamente quando comparado a outras culturas, na incorporação de novas tecnologias e variedades adaptadas as condições edafoclimáticas das regiões canavieiras do Brasil. No entanto, apesar dos avanços e de toda a importância setorial, a produtividade ainda é bem abaixo do potencial produtivo da cana-de-açúcar, principalmente na região Nordeste, na qual os resultados atuais demonstram, no geral, quedas de produtividade. Ademais a produtividade média é bem abaixo da média nacional e dos resultados obtidos experimentalmente na região.

Dentre os principais fatores ligados a esses resultados negativos estão a baixa disponibilidade de nutrientes nos solos sob cultivo da cana-de-açúcar e, principalmente, pela deficiência hídrica, como ocorrido nas últimas safras, no período de desenvolvimento da cultura a precipitação acumulada foi abaixo das médias históricas, além da marcante desuniformidade na distribuição temporal e espacial, influenciando negativamente no desenvolvimento da cultura. Outro problema enfrentado pelo setor é a escassez de mão-de-obra, necessitando desenvolver novas tecnologias que substituam os recursos humanos ou conciliem as práticas para o manejo da cultura.

Nesse cenário, a fertirrigação por gotejo subsuperficial vem ganhando destaque nos últimos anos. Essa tecnologia possibilita a distribuição de nutrientes via sistema de irrigação no decorrer do ciclo, diretamente no sistema radicular da cultura. No entanto, ainda é necessário a determinação da exigência nutricionais das variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob fertirrigação. Dessa forma, a determinação do acúmulo de nutrientes dessas variedades possibilitará um melhor manejo da cultura sob essa tecnologia.

1.1 Hipótese

As variedades de cana-de-açúcar possuem exigências nutricionais diferente sob fertirrigação por gotejo subsuperficial e o conhecimento da curva de acúmulo de nutrientes irá subsidiar informações para o manejo de nutrientes via fertirrigação.

1.2 Objetivo geral

Avaliar o acúmulo e exigência de nutrientes de variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob fertirrigação por gotejo superficial.

1.3 Objetivos específicos

- Avaliar o desenvolvimento e acúmulo de biomassa de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial;
- Determinar o acúmulo de N, P e K em variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial;
- Determinar a extração e exigência de nutrientes N, P e K em variedade de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial;
- Avaliar a produtividade de variedades cultivadas sob o sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial;
- Identificar nas variedades de cana-de-açúcar as variáveis nutricionais que apresentam maior correlação com a produtividade das variedades;
- Identificar por análise de agrupamento as variedades que apresentam características nutricionais semelhantes que poderão ser submetidas ao mesmo manejo de nutrientes via fertirrigação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta de origem asiática, provavelmente da região de Nova Guiné, que pertence à família Poaceae. Foi domesticada pelo homem a cerca de 3000 anos atrás e atualmente, a plantas cultivadas são formadas pelo complexo de híbridos interespecíficos de espécies do gênero *Saccharum*, com destaque para *S. officinarum*, conhecida como *Cana nobre* devido ao elevado teor de sacarose (MOORE; PATERSON; TEW, 2014).

A cana-de-açúcar possui importância socioeconômica nacional desde o início da colonização, e vem impulsionado o Brasil no cenário internacional na produção de alimentos e de energia renovável desde o fim do século XX. As primeiras plantas de cana-de-açúcar foram introduzidas no Brasil no início do século XVI, trazida por portugueses, tornando-se a base da economia das capitanias hereditárias no chamado “ciclo do açúcar”, e nos últimos anos sua relevância foi renovada com o surgimento de novas tecnologia.

O setor sucroenergético forma uma das cadeias produtivas mais importantes para a economia nacional, onde cerca de 75% das movimentações financeira ocorrem fora do campo, gerando milhares de empregos diretos e indiretos, bem como divisas para o país a partir da exportação para atender a demanda mundial por açúcar e biocombustíveis, e o etanol da cana-de-açúcar é caracterizado como “avançado”, pela possibilidade da redução de emissões líquida de CO₂ na atmosfera quando avaliado todo o ciclo produtivo (CARVALHO, 2015).

O futuro do setor sucroenergético é promissor em decorrência do desenvolvimento recente da tecnologia do etanol de 2ª geração a partir do bagaço da cana-de-açúcar, demonstrando o potencial para o aumento na produção de energia sem a necessidade de expansão, evitando o uso de áreas destinadas a produção de alimentos ou preservação ambiental. Além disso, o país ratificou a adoção do acordo de Paris, no qual a meta é reduzir em 43% das emissões de gases do efeito estufa e a comprimento da meta passa pela maior utilização de energia renováveis como o etanol. Concomitantemente, o país está envolvido na criação da Plataforma do Biofuturo, que busca o fortalecimento da utilização de biocombustíveis na matriz energética mundial e lançou recentemente o RENOVABIO (BRASIL, 2018).

A estimativa de produção brasileira da cana-de-açúcar para a safra 2017/2018 é de 635,6 milhões de toneladas, representando uma redução de 3,3% em relação à safra anterior, em 8,74 milhões de hectares, uma área 3,4% menor se comparada com a safra 2016/2017 na qual a cana-

de-açúcar foi planta em 9,05 milhões de hectares, a maior área histórica. Já a produtividade está estimada em 72,734 Mg ha⁻¹, uma alta anual de 0,2%, resultado decorrente da expectativa de recuperação de lavouras nas regiões Norte-Nordeste (CONAB, 2017).

Apesar dos resultados atuais, o setor sucroenergético vem enfrentando problemas de oscilações na produtividade em decorrência, principalmente, das incertezas climáticas, uma vez que no período de desenvolvimento a cultura vem sendo exposta a momento de baixa a alta restrição hídrica causada pela falta de chuva, além da escassez de mão-de-obra devido ao êxodo rural das pessoas atraídas pelo crescimento do setor imobiliário (CONAB, 2017a; CARVALHO, 2015).

Nesse contexto, é crescente o interesse do setor pela incorporação de novas tecnologias como a fertirrigação por gotejo subsuperficial que se destaca pela possibilidade do atendimento das necessidades hídricas e nutricionais da cana-de-açúcar com o uso de menor quantidade de mão-de-obra através da aplicação de nutrientes via a água de irrigação (RHEIN et al., 2016).

2.2 Variedades e desenvolvimento da cana-de-açúcar

No melhoramento da cana-de-açúcar objetiva a obtenção de novas variedades por meio de cruzamentos entre plantas do gênero *Saccharum* ou, o caso mais comum, entre variedades já melhorada utilizando-se de cruzamentos biparentais, no qual é determinado as características do macho e da fêmea, e policruzamentos no qual ocorrem amplos cruzamentos entre fêmeas e machos (MACHADO JUNIOR et al., 2015).

A introdução de novas variedades busca a adaptação da cultura a diferentes ambientes e manejo, como pode ser constatado no desenvolvimento de variedades voltadas ao cultivo em novas fronteiras agrícolas e no sistema de colheita mecânica, e ocorre também devido aos problemas de degenerescência atribuída a vários fatores que ocorrem após anos de cultivo, além do risco existente de propagação de doenças (MACHADO JUNIOR et al., 2015; MATSUOKA; SANTOS, 2015).

Através do manejo varietal da cana-de-açúcar é possível alocar as variedades mais adequadas nos diferentes ambientes de produção sob variados sistemas produtivos, proporcionando ganhos pela interação genótipos versus ambiente e manejo (LANDELL et al., 2006).

Dentre as variedades atualmente cultivadas na região nordeste destacam-se as RB92579, RB867515 e VAT90-212 cultivadas a mais de uma década na região, além das variedades

lançadas mais recentemente como a RB036147 e RB002754 (OLIVEIRA; DAROS; HOFFMANN, 2015).

A variedade RB867515 é originada da RB72454 a partir de um policruzamento, é uma das variedades mais plantadas no Brasil. Apresenta baixa exigência de em fertilidade do solo, possibilitando o cultivo em ambientes C a E. Possui crescimento ereto e perfilhamento médio, como boa brotação em cana planta e cana soca, e rápida velocidade inicial de crescimento que possibilita o fechamento das entrelinhas. O colmo possui diâmetro médio, entrenós cilíndricos, de cor verde-arroxeadada sob a palha e roxo intenso quando exposto ao sol. As folhas possuem largura média, com aspecto arqueado, curvas e bordas com serrilhamento pouco agressivo. Como características agroindustriais, possui alta produtividade e teor de sacarose, período útil de industrialização (PUI) e teor de fibra médios e maturação tardia (SIMÕES NETO, 2009).

Essa variedade é a mais plantada no Brasil, e possivelmente no mundo, ocupando cerca de 25% da área total destinada a cana-de-açúcar no país. Plantada em 30 mil ha, cerca de 11,23 % da área cultivada com cana-de-açúcar no Nordeste, destaca-se pela rusticidade e por ser mais produtiva em solos distróficos (MACHADO JUNIOR et al, 2015; OLIVEIRA et al., 2015).

Sob condições de irrigação plena a RB867515 demonstrou ser a variedade menos eficiente na extração de N, na qual são necessários 1,27 kg do nutriente para a produção de uma tonelada de colmo. No entanto, obteve a maior eficiência na extração de K, com exigência de 0,83 kg t⁻¹ (OLIVEIRA, 2010). Resultados obtidos por Mendes (2006) demonstram a maior eficiência da RB867515 no uso de P e K.

A variedade RB92579 é originada do cruzamento biparental entre as variedades RB75126 e RB72199. Possui alto perfilhamento e ótima brotação em cana planta e cana soca com hábito de crescimento ereto, proporcionando ótimo fechamento das entrelinhas, no entanto apresenta velocidade lenta de crescimento. Apresenta volume de folhas regular com pontas curvas, limbo foliar largo e serrilhamento do bordo. O colmo é caracterizado por uma difícil despalha no período vegetativo e fácil na colheita, palmito curto de seção circular de cor verde-roxa, entrenós cilíndricos de comprimento e diâmetro médio, com coloração amarelo esverdeada sob palha e roxeada ao sol. Apresenta produtividade e teor de açúcares totais recuperáveis (ATR) alto, maturação média, de outubro a janeiro, sem restrição a ambiente de produção e baixa suscetibilidade ao florescimento (SIMÕES NETO, 2009).

De acordo com Oliveira, Daros e Hoffmann (2015), a variedade RB92579 é a mais plantada nos estados produtores de cana-de-açúcar do Nordeste (Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Maranhão e Piauí), em uma área de aproximadamente 85 mil ha, equivalente

a cerca de 40 % da área total. É caracterizada como uma variedade de desenvolvimento inicial lento e de maturação média a tardia.

Essa variedade apresenta sob condições de sequeiro uma exigência nutricional de: 2,14; 0,39 e 1,99 kg Mg⁻¹ de N, P e K respectivamente (OLIVEIRA et al., 2016). No entanto, para condições hídricas de irrigação plena apresentou 1,02; 0,10 e 1,42 kg t⁻¹ para os mesmos nutrientes (OLIVEIRA et al., 2010), e pode ter um incremento de produtividade mais de 180% (OLIVEIRA et al., 2011b).

A variedade VAT90-212 é cultivada em cerca de 4 mil ha no Nordeste e destaca-se pela produtividade e pode ser cultivada em ambientes de produção B a D. Possui uma susceptibilidade média ao florescimento e época de colheita de outubro a janeiro (SIMÕES NETO, 2009).

Os resultados mais recentes demonstram que as variedades atualmente incorporadas são mais exigentes do que as variedades utilizadas para a calibração da adubação da cana-de-açúcar, e a introdução de novos sistemas de produção que aumentam a produtividade estimulam diferentes dinâmicas da extração de nutrientes (RHEIN et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2011a)

Ao longo das últimas décadas pesquisas vem demonstrando essas mudanças no acúmulo e exigência de nutrientes entre as variedades cultivadas, propiciada pela adoção de diferentes manejos. Em trabalhos realizados no Nordeste, a variedade RB92579 apresentou uma extração cerca de 25% e 17% a mais de N e K respectivamente, e 28% a menos de P em irrigação plena comparada com regime de sequeiro, enquanto que a RB867515 extraiu aproximadamente 32 e 36% a mais N e K respectivamente quando irrigada, no entanto 56% a menos de P do que quando cultivadas em regime de sequeiro (OLIVEIRA et al., 2011a; OLIVEIRA et al., 2016).

Esses resultados e principalmente as produtividades obtidas nas unidades produtoras regionais conduziram a predominância de variedades. No entanto, é preciso a avaliação constante dos resultados dessas variedades conforme são introduzidas novas tecnologias como ocorre com a fertirrigação.

Leite et al. (2016) obteve três fases distintas no desenvolvimento de cana soca, identificadas como fase lag (I), caracterizada pelo lento desenvolvimento da cultura e que ocorreu do 0 ao 135 DAP, onde o acúmulo foi de 10% do total; fase linear exponencial (II) do 135 ao 270 DAP, no qual ocorreu um rápido desenvolvimento acumulando cerca de 65%; e a fase (III) estacionária, que durou dos 270 aos 370 DAP, no qual ocorreu um declínio no desenvolvimento em relação a fase anterior, acumulando 25%.

A cana-de-açúcar é comercialmente propagada de maneira vegetativa através de seções do colmo, denominadas de tolete ou rebolo. Então, sob condições adequadas de umidades e temperatura do solo tem-se o início do processo de brotação (INMAN-BAMBER, 2005).

Os açúcares armazenados no colmo fornecerão energia inicial para o desenvolvimento das raízes primárias e para a brotação da plântula a partir da gema, que formará o perfilho primário (SILVA et al., 2008). Após essa fase a planta possuirá folhas que possibilitarão a captação de CO₂ atmosférico e energia luminosa, e raízes para a absorção de água e nutrientes que possibilitarão a produção de compostos químicos para atender o metabolismo vegetal.

O processo de perfilhamento, no qual serão formadas novas plântulas oriundas dos perfilhos primários, dando origem aos perfilhos secundários, que posteriormente originarão os perfilhos terciários assim sucessivamente. Cada perfilho terá seu sistema radicular próprio atuando de maneira independente, competindo entre si por espaço e recursos como água, luz e nutrientes.

O perfilhamento é um dos principais processos fisiológicos da cana-de-açúcar que possibilitará a formação da touceira e a conseguinte produção. A densidade de plantas aumenta até o ponto máximo que ocorre aos 120 DAP (VASANTHA et al., 2012), e é antecipada para 60 DAP para cana planta irrigada (OLIVEIRA, 2008; SANTOS et al., 2009).

A competição pelos recursos causa a morte dos perfilhos, resultando na diminuição das plantas por metro de plantio até o ponto que a densidade será estabilizada, podendo ocorrer uma diminuição de 50 % do número de plantas no auge do perfilhamento em comparação à colheita (COSTA, SAAD; SILVA JUNIOR, 2016).

O perfilhamento da cana-de-açúcar propicia o bom desenvolvimento do sistema radicular da touceira, em razão do desenvolvimento de raízes pelos perfilhos. A arquitetura folia da cana-de-açúcar permite uma maior superfície de exposição à luz do sol (MACHADO JUNIOR et al., 2015).

Após o ponto de densidade máxima de plantas tem-se início a fase de acúmulo de biomassa através do crescimento acentuado dos colmos. Nesse momento ocorrem as maiores demandas de água e nutrientes. Nesta etapa a planta encontra-se no ápice de foliar, com os processos metabólicos em intensa atividade.

Essa fase fenológica pode ser prolongada até o 8º mês de cultivo, no caso de cana planta de plantio de ano. As folhas da base da planta por estarem sombreadas e em menor atividade

metabólica entram em processo de senescência, e alguns nutrientes moveis como o nitrogênio são translocados para outros compartimentos vegetais. Até o final dessa fase toda a energia produzida é destinada para a produção de biomassa vegetal da planta (VASANTHA et al., 2012).

No final do ciclo produtivo da cana-de-açúcar, em que as folhas se encontram senescentes até o terço médio da planta, é iniciado o processo de maturação vegetal com o armazenamento acentuado de energia nos colmos na forma de sacarose. Nesse momento as prioridades metabólicas são a produção, transporte e armazenamento de energia no colmo, que posteriormente possibilitarão o desenvolvimento de novas plantas em caso do uso daquele colmo para plantio. Nessa etapa, o balanço de hormônios e a participação de elementos como K e B são importantes, além da restrição ao desenvolvimento vegetativo que no caso do Nordeste é causado pelo déficit hídrico (KINGSTON, 2014).

2.3 Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar

As variedades de cana-de-açúcar apresentam diferenças na absorção de nutrientes. Sob condições de irrigação plena RB92759 apresenta a maior extração de N, com aproximadamente 260 kg ha⁻¹, além de extrair 25 e 212 kg ha⁻¹ de P e K para uma produtividade de 256 Mg ha⁻¹, enquanto que sob as mesmas condições RB867515, par produtividade de 186 Mg ha⁻¹, é capaz de extrair 237, 19 e 264 kg ha⁻¹ de N, P e K respectivamente (OLIVEIRA et al., 2010).

A determinação de nutrientes nos diferentes compartimentos é importante para o manejo de nutrientes haja vista as diferentes quantidades de nutrientes extraídos e exportados. Altos teores no colmo indicam a quantidade de nutrientes que são removidos a cada colheita e que precisam serem reintroduzidos no sistema (LEITE et al., 2016; OLIVEIRA, 2008).

O nitrogênio é um dos fatores limitantes a produtividade da cana-de-açúcar (YANAI et al., 2010), por fazer parte de moléculas que formam as estruturas vegetais como ácidos nucleicos, proteínas, clorofila e está ligado diretamente a processos metabólicos (KINGSTON, 2014).

Em trabalho realizado por Uribe et al. (2016) é demonstrado a interação da adubação nitrogenada da cana-soca via fertirrigação, em que o tratamento irrigado com 70 kg ha⁻¹ de N obteve uma maior produtividade em relação a aplicação de 140 kg ha⁻¹ no sistema de sequeiro.

O acúmulo de nitrogênio pela cana-de-açúcar é dependente das condições de manejo e variedade. Em condições de sequeiro foram obtidos valores médios de 135,0 kg ha⁻¹, variando

de 80,0 kg ha⁻¹ pela variedade SP79-1011 a 193,0 kg ha⁻¹ pela variedade RB92579. Já sob irrigação plena é extraído de 94,0 kg ha⁻¹ a 260,0 kg ha⁻¹ pelas variedades RB813804 e RB92579, respectivamente, representando em média 179,0 kg ha⁻¹ sob esse manejo (OLIVEIRA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2016).

Segundo Franco et al. (2011) utilização de fertilizantes sob condições convencionais de manejo contribui com cerca de 40% no acúmulo de nitrogênio nos períodos iniciais de desenvolvimento da cultura, e essa contribuição diminui para 10% no período de colheita, ressaltando a importância da distribuição dos nutrientes.

A adubação nitrogenada proporciona ganhos na produtividade de cana-de-açúcar e em cana-planta a dose máxima econômica foi de 60,0 kg ha⁻¹ tanto para RB92579 quanto para RB867515, e atingindo máximas produtividades com doses de 129,0 e 110,0 kg ha⁻¹ (SANTANA, 2017; FORTES et al., 2013).

Por outro lado, a adubação excessiva de N pode levar a uma produção vegetativa acentuada no período de maturação resultando em redução do açúcar total recuperável ao aplicar 120 kg ha⁻¹ do nutriente (FRANCO et al., 2010).

Aos 5 meses de idade o teor de nitrogênio na folhas diagnóstica +3 obtém valores médios de 19,3, 17,9, e 18,1 para as variedades RB92579, RB867515 e VAT90-212 respectivamente (MOURA FILHO et al., 2014).

Yanai et al. (2010) em cana-de-açúcar cultivada em solos arenosos encontraram valores médios de teor de nitrogênio de 2,8 e 8,8 g kg⁻¹ nos colmos e folhas respectivamente, aos 314 dias após o plantio. Ainda nesse trabalho, a aplicação de NPK via fertirrigação permitiu acúmulo de 292,0 kg de nitrogênio, significativamente diferente da aplicação de NK, NP, e PK isoladamente.

No entanto para o correto manejo de fertilizantes é preciso conhecer as dinâmicas dos nutrientes. O nitrogênio apresenta possibilidade de perdas no solo como consequência do escoamento superficial e lixiviação, resultando em reduzida eficiência de uso, ainda que no Brasil a perdas sejam reduzidas em decorrência das características mineralógicas dos solos tropicais, com predominância de cargas dependentes de pH, assim como pela predominância do uso de fonte amoniacais, com maior interação com as partículas do solo, e as menores doses de fertilizantes utilizados quando comparado com outros países produtores (BRACKIN et al., 2015; ESPERANCINI et al., 2015).

A baixa eficiência de absorção de N está ligada a incompatibilidade entre o fornecimento de N no solo e a capacidade de absorção radicular de N pelas culturas, problemática que possui importância não apenas agrônômica, mas também ambiental (BRACKIN et al., 2015).

Diferentemente, Mendes (2006) obteve resultados em que variedades atuais, quando comparada com variedades mais antigas, possuem a mesma concentração de nutrientes, porém com uma maior produtividade.

Do mesmo modo, em trabalhos conduzido em vasos aplicando-se o equivalente a 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio, a absorção desse nutriente é elevada de cerca de 814 mg para 1371 mg com a utilização de estirpes de *Gluconacetobacter diazotrophicus* (SUMAN et al., 2005).

Com o uso de água residuária, Leal et al. (2009) obtiveram maiores concentrações de N e P no colmo com a aplicação de uma lâmina equivalente a 200% da demanda hídrica da cultura, com valores de 2,57 e 0,21 kg t⁻¹, enquanto que para o K os maiores resultados de 2,23 kg t⁻¹, foram obtidos com a aplicação de uma lâmina de 125% da demanda.

O acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar varia em decorrência da variedade utilizada, parte da planta analisada e a idade das plantas. Práticas culturais e tecnologias utilizadas como a irrigação, técnicas de cultivo e manejo da adubação também podem influenciar a dinâmica de nutrientes.

A taxa de disponibilização de nutrientes, como o N, pode ser muito menor do que a taxa de aquisição nas fases de maior demanda, em especial na fase de crescimento dos colmos, demonstrando uma incompatibilidade entre a disponibilidade e necessidade da cultura (BRACKIN et al., 2015).

Variedades de cana-açúcar quando manejadas com biofertilizante formado de apatita adicionado de *Acidithiobacillus* podem absorveram 13,4 g kg⁻¹ de fósforo nos colmos aos 160 dias após o plantio, não diferindo estatisticamente do resultado de 17,0 g kg⁻¹ obtidos com o uso de superfosfato triplo (STAMFORD et al., 2006).

As concentrações de P em cana-de-açúcar fertirrigada em solo arenoso foram em média 0,8 e 1,3 g kg⁻¹ no colmo e folha respectivamente, cerca de 300 dias após o plantio, enquanto que a extração total desse nutriente foi de 65,0 kg ha⁻¹ quando utilizado NPK na fertirrigação, resultado estaticamente diferente do obtido quando utilizado apenas NK ou PK (YANAI et al., 2010).

A aplicação de fósforo via fertirrigação é menos eficiente que a aplicação dos outros macronutrientes primários, devido à baixa mobilidade do nutriente e a interação com outros íons, em especial Ca e Fe, causando problemas de precipitação e diminuindo a sua disponibilidade. Ainda assim, alguns trabalhos em cana-de-açúcar e outras culturas tem encontrados resultados positivos na adubação fosfatada via fertirrigação. No entanto, outras pesquisas resultaram em resultados negativos.

Apesar de resultados demonstrarem os efeitos positivos da aplicação de fósforo via fertirrigação, Yanai et al. (2010) avaliando diferentes combinações entre a aplicação de macronutrientes via fertirrigação, encontraram resultados nos quais a aplicação de NPK não foi diferente significativamente da aplicação de apenas N e K.

O potássio desempenha papel importante para irrigação haja visto que está ligado a eficiência do uso da água. Dessa forma seu uso na fertirrigação tem potencializado os resultados. Além disso, em especial na cana-de-açúcar, o K contribui para o rendimento agroindustrial, por estar envolvido no transporte e acúmulo de nutrientes (DALRI; CRUZ, 2008).

Em trabalhos que avaliaram o acúmulo de nutrientes e biomassa em sistemas convencionais foram encontrados resultados que demonstram que acúmulo máximo de nutrientes ocorre anteriormente ao acúmulo máximo de biomassa. Logo, em condições de sequeiro aos 212 DAP o acúmulo de N atingiu o pico da regressão, enquanto que o acúmulo de biomassa ocorreu aos 250 DAP (LEITE et al., 2016).

A razão entre nutrientes, também conhecida estequiometria, é variável no decorrer do ciclo produtivo, sendo necessário determinar as relações entre nutrientes que propiciem ganhos de produtividade e eficiência de uso dos nutrientes, nas atuais condições, em sistema de fertirrigação por gotejo com novas variedades. Da mesma forma, um desbalanço na relação ideal pode limitar a produtividade de variedade sob fertirrigação (LEITE et al., 2016).

2.5 Fertirrigação

A crescimento populacional elevado conduz a uma maior de demanda de alimentos e fontes de energia, necessitando cada vez mais de uma agricultura intensiva e de recursos finitos como a água e o solo. Porém, quando utilizada de maneira inadequada pode causar danos ambientais com o desperdício de água e a contaminação do solo e reservas hídricas. Por outro lado, a identificação dos princípios básicos para o correto manejo de água e fertilizantes

favorece a utilização eficaz e eficiente desses recursos resultando em uma agricultura sustentável com ganhos agronômicos e econômicos além da menor poluição ambiental (PAPADOPOULOS, 1999).

A fertirrigação consiste na tecnologia de aplicação de nutrientes via a água de irrigação, com os fertilizantes distribuídos durante o ciclo produtivo da cultura, podendo ser utilizada com qualquer sistema de irrigação, no entanto sistemas com distribuição mais uniforme permitem uma maior eficiência de aplicação de nutrientes, destacando-se, assim, o sistema fertirrigação por gotejamento subsuperficial pela alta eficiência de aplicação devido as reduzidas perdas de água, menor evaporação e escoamento superficial além de geralmente apresentar uma reduzida percolação profunda (HEMALATHA et al., 2013).

A busca por uma maior eficiência de uso de fertilizantes possui uma importância tanto econômica quanto ambiental, haja visto que atualmente o preço dos produtos vem aumentando, o que eleva o custo de produção agrícola, além do que o uso indiscriminado poderá poluir os recursos hídricos (BUTLER et al., 2002).

Os resultados da utilização da fertirrigação em diversas culturas têm demonstrado um maior rendimento quando utilizado essa tecnologia, como observado em hortaliças e frutas além de uma maior qualidade do produto (FARNESELLI et al., 2015).

A fertirrigação por gotejamento subsuperficial na cana-de-açúcar destaca-se por aumentar a eficiência de uso de nutrientes em decorrência da aplicação de fertilizantes no decorrer do ciclo, atendendo a demanda nutricional de cada fase. É crescente o número de trabalhos com cana-de-açúcar conduzidas sob fertirrigação apresentando resultados positivos no aumento de produtividade de colmo por hectare (TCH) e na qualidade tecnológica bem como na eficiência de uso de fertilizantes (DALRI; CRUZ, 2008; BARBOSA et al., 2012; CUNHA et al., 2016; RHEIN et al., 2016).

Essa tecnologia proporciona o maior desenvolvimento da cana-de-açúcar, ganhos de produtividade de até 49% em relação ao sistema de cultivo convencional, além de uma matéria prima de melhor qualidade para a indústria (ANDRADE JUNIOR et al., 2012; CHEN et al., 2012; BUTLER et al., 2002). De maneira oposta Uribe et al. (2013) não observou diferenças significativa para a altura de plantas, diâmetro de colmos e perfilhos por metro.

A fertirrigação por gotejo superficial em cana-de-açúcar cultivada na china propiciou condições para crescimento mais precoce e rápido com ganhos no perfilhamento em relação ao

cultivo sob condições convencionais de adubação e irrigação. Além disso estimulou a alongação dos colmos em altura e diâmetro obtendo maior peso de colmo e apresentando uma maior produtividade, cerca de 32 % a mais que o tratamento controle (CHEN et al., 2012).

O sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial apresenta dentre as principais vantagens a economia de água e nutrientes devido à restrição do volume de solo molhado na região onde ocorre a maior atividade do sistema radicular (OHASHI et al., 2015; RAVIKUMAR et al., 2011; BUTLER et al., 2002).

A fertirrigação por gotejo subsuperficial resulta em uma maior eficiência de utilização de fertilizantes e conseqüentemente um maior retorno financeiro a adubação (CHEN et al., 2012). Uma maior recuperação do fertilizante foi apresentada quando utilizado o sistema de fertirrigação por gotejo, além de uma menor perda de nutrientes. A fertirrigação em alta frequência possibilita uma redução na lixiviação de nutrientes em decorrência da baixa concentração na solução do solo (SILBER et al., 2003).

A aplicação de N através da fertirrigação por gotejo subsuperficial apresenta efeito sinérgico na produtividade da cana-de-açúcar. Avaliando-se a adubação de 140 kg ha⁻¹ de N em cana-soca por gotejo subsuperficial foi observado uma maior produção de matéria seca e produtividade cerca de 30% maior em relação a aplicação dessa mesma dose sem irrigação, demonstrando a importância da adequada distribuição do nutriente (URIBE et al., 2013).

Em socaria, Kolln et al. (2016) obteve incremento significativo na produtividade de açúcar com o aumento da dose de N em dois ciclos em cana-soca, com comportamento quadrático e linear respectivamente e Wiedenfeld e Enciso (2008) obteve resposta linear da produtividade de colmos e de açúcar por hectare tanto em cana-planta como em socaria.

Kwong et al. (1999), avaliando a eficiência da adubação nitrogenada via fertirrigação na cana-de-açúcar obtiveram resultados nos quais a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio via solução fertilizante obteve a mesma produtividade que a aplicação de 120 kg ha⁻¹ aplicado convencionalmente via solo, o que representou uma redução de cerca de 30%.

A absorção do N, determinada com a utilização de fertilizantes marcado (¹⁵N) apresentou uma elevação com a utilização da fertirrigação, em relação a aplicação convencional na qual o fertilizante é aplicado diretamente no solo e em seguida é aplicada a irrigação por gotejo, com uma eficiência de uso do fertilizante maior que 32% em doses equivalentes (MOHAMMAD, 2004).

A alta frequência da fertirrigação por gotejo subsuperficial aumenta a absorção de nutrientes, em particular o N como demonstrado na cultura do tomate, em decorrência do fornecimento contínuo na zona radicular, além do aumento de transporte de nutrientes através do fluxo de massa devido a disponibilidade de água no solo (SILBER et al., 2003; FARNESELLI et al., 2015).

A fertirrigação aumenta o aproveitamento do nitrogênio, pela diminuição de emissão de gás nítrico e de lixiviação na solução do solo, enquanto que nutrientes menos móveis como o P e o K tem a absorção favorecida pela maior difusão de íons, resultando em uma maior eficiência de uso de nutrientes (KENNEDY et al., 2013; KWONG et al., 1999).

Contudo, o sistema apresenta como desvantagem o alto investimento para a instalação e manutenção dos sistemas de bombeamento, filtragem, injeção de fertilizantes e linhas de gotejo, necessitando de resultados proporcionalmente maiores que o sistema convencional para obter ganhos econômicos (XU et al., 2010).

Outro fator limitante é que quando mal manejada e realizada de maneira empírica a fertirrigação por gotejo subsuperficial pode causar sérios problemas ambientais e perdas econômicas.

A distribuição de nutrientes via fertirrigação pode ser realizada baseada nas características de diferentes fases de desenvolvimento da cultura no que diz respeito aos teores de nutrientes acumulados, e nas concentrações dos íons aplicados e condutividade elétrica da solução do solo. Porém, esses últimos apresentam dificuldades para o monitoramento em condições de campo (NUNES JUNIOR et al., 2017).

Apesar de muitos estudos avaliarem os efeitos da fertirrigação por gotejo no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar, poucos trabalhos têm avaliado o acúmulo de nutrientes nas diferentes fases fenológicas da cana-de-açúcar sob tais condições.

O conhecimento do comportamento do acúmulo de nutrientes pela cultura possibilita o melhor posicionamento da época para a utilização da fertirrigação, evitando a prática durante os períodos chuvosos nos quais existem o risco de perdas de nutriente por lixiviação (BUTLER et al., 2002).

A determinação da distribuição de nutrientes via fertirrigação nas doses e momentos adequados além dos incrementos na produtividade das culturas auxilia na eficiência de uso de fertilizantes e na prevenção de desbalanços nutricionais, perdas de recursos e poluição das

fontes hídricas pela lixiviação de nutrientes, e salinização do solo causados pela aplicação em excesso (BUTLER et al., 2002).

A adoção da fertirrigação por gotejo subsuperficial em interação com as variedades produzidas na região, pode conduzir a mudanças na dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta. Além do mais é preciso conhecer as relações de extração no decorrer do ciclo produtivo para garantir uma maior eficiência do sistema.

Doses excessivas de fertilizantes via fertirrigação pode resultar em efeitos negativos na cana-de-açúcar. A adubação nitrogenada através da fertirrigação acima de 150 Mg ha⁻¹ resultou na absorção do nutriente em quantidades maiores que as requeridas, configurando um consumo de luxo, afetando significativamente atributos tecnológicos, em especial BRIX, POL, Pureza e ATR, além de resultar em efeito inverso na produtividade ao final do ciclo (RHEIN et al., 2016; MUCHOW et al., 1996). Wiedenfeld (1995) obteve redução no teor de açúcar conforme aumentou a dose de N.

A distribuição de fertilizantes na fertirrigação é utilizada de acordo com a curva de extração de nutrientes, ou pode ser realizada baseada na fase fenológica (KOLLN et al., 2016). No entanto os dados atualmente utilizados são baseados em cultivos em condições diferentes, como sequeiro e irrigação plena e com variedades de cana-de-açúcar com diferentes exigências nutricionais (RHEIN et al., 2016; URIBE et al., 2013; DALRI; CRUZ, 2008).

A frequência de aplicação da solução fertilizante é dependente do tipo de solo, da duração da fase de desenvolvimento da cultura (HEMALATHA et al., 2013), podendo ser realizada semanal, quinzenal ou mensalmente (KOLLN et al., 2016; BUTLER et al., 2002; PATIL et al., 2013); No entanto, os resultados demonstram que uma maior frequência de fertirrigação propicia uma maior eficiência de uso de nutrientes (BUTLER et al., 2002).

PATIL et al. (2013) obteve a maior produtividade com aplicações quinzenais de solução fertilizante, com um resultado cerca de 35 % maior que o obtido na aplicação convencional com os fertilizantes distribuídos via solo no início do ciclo.

Ravikumar et al. (2011) demonstrou que distribuindo o nitrogênio de acordo com a uma taxa de absorção a cada fertirrigação, a dose aplicada ao final foi maior que quantidade total requerida no ciclo, mas que mesmo assim em determinadas fases a quantidade absorvida foi menor que a necessária.

De acordo com Hemalatha et al. (2013) a frequência de fertirrigação baseada na curva de crescimento da cultura tem maximizado a eficiência de uso de fertilizantes. No entanto não existem pesquisas consolidadas com essa mesma metodologia para a cana-de-açúcar.

Fontes fertilizantes de N, P, K e micronutrientes podem ser aplicados através da fertirrigação. No entanto é preciso que os materiais sejam solúveis, assim fontes fosfatados são menos utilizadas devido a baixa solubilidade. Por outro lado, fontes potássicas e nitrogenadas são bastantes solúveis, principalmente ureia (1000 g L^{-1}) e cloreto de potássio (340 g L^{-1}), e possuem seu uso amplamente difundido (BORGES; SILVA, 2014).

Avaliando a produtividade da RB72454, Dalry e Cruz (2008), parcelando a distribuição de nutrientes baseada em variedades não mais utilizadas, obtiveram produtividades 43% e 67% maiores em socaria e ressoca respectivamente quando comparado com o tratamento sem irrigação. Paralelamente foram obtidos resultado de extração diferente quando comparado os resultados entre as doses fertirrigadas, mostrando uma maior eficiência na dose maior, o que está relacionado a maior exigência da variedade quando comparada a variedade anteriormente utilizada.

Em trabalho realizado por Shukla et al. (2009) foram obtidos ganhos significativos quando realizada irrigação um mês antes da colheita em comparação com não irrigar. No entanto quando comparado o tratamento irrigado com a fertirrigação de 66 kg ha^{-1} de potássio não foram encontradas diferenças significativas, o que pode estar relacionado com a distribuição incorreta do nutriente.

Em estudo realizado por Chen et al. (2012), a fertirrigação por gotejo proporcionou aumento no número de perfilhos, com posterior ganho em colmos industrializáveis, além de uma maior produtividade, mas sem diferença significativa em relação a aplicação convencional de fertilizantes em conjunto com a irrigação por gotejo, o que está relacionado a forma de distribuição de nutrientes.

Um adequado planejamento da fertirrigação aumenta a eficiência de uso de N na cana-de-açúcar. Avaliando-se a dinâmica de N, através do software HYDRUS-2D, quantificando as quantidades de N absorvido pela cultura, lixiviado e volatilizado, foi possível o reduzir em 30% a quantidade total de fertilizante aplicado ao final do ciclo, em relação ao recomendado, e atender a necessidade nutricional de cada fase de desenvolvimento da cultura (RAVIKUMAR et al., 2011).

No manejo da fertirrigação é imprescindível o conhecimento do comportamento na solução do solo dos íons aplicados pela solução fertilizante. Do mesmo modo, é preciso a avaliação da concentração da solução fertilizante que irá influenciar diretamente a concentração na solução do solo (COELHO et al., 2014).

Apesar dos benefícios da fertirrigação da cana-de-açúcar, os resultados obtidos apresentam produtividade abaixo do potencial produtivo da cultura, sendo necessário a avaliação da dinâmica de acúmulo de nutriente pela cana-de-açúcar e o efeito das doses e distribuição de nutrientes sob condições de fertirrigação (CUNHA et al., 2016; SILVA et al., 2014; ANDRADE JUNIOR et al., 2012).

Além disso o manejo da cana-de-açúcar fertirrigada é baseada na adubação convencional via solo e ainda não existem trabalhos que determinem a curva de acúmulo de nutrientes para as variedades atualmente utilizadas (ANDRADE JUNIOR et al., 2017). Kolln et al. (2016) destacam que não existem recomendação para o cultivo de cana-de-açúcar sob fertirrigação por gotejo subsuperficial necessitando de calibrações quanto a distribuição de nutrientes e a frequências de aplicação de solução fertilizante.

Os resultados de cana-de-açúcar fertirrigada mostram que a demanda de N sob esse sistema é maior que o recomendado baseado no sistema convencional, respondendo em produtividade a doses acima 200 kg ha⁻¹ de N em socaria. Dessa forma é preciso determinar qual o adequado manejo de nutrientes na cana-de-açúcar sob fertirrigação que propicie ganhos de acordo com o potencial produtivo da cultura em conjunto com uma maior eficiência de uso de fertilizantes (KOLLN et al., 2016; RHEIN et al., 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição e caracterização da área agrícola

O estudo foi realizado em condições de campo, na área agrícola da Usina Central Olho d'Água S/A, localizada no município de Camutanga, Zona canavieira da Mata Norte de Pernambuco no período de dezembro de 2016 a dezembro de 2017 (safra 2017/18). A área agrícola encontra-se localizada no Engenho Guararema, município de Itambé, latitude $07^{\circ}48'68''$ S e longitude $35^{\circ}15'49''$ W (Figura 1).

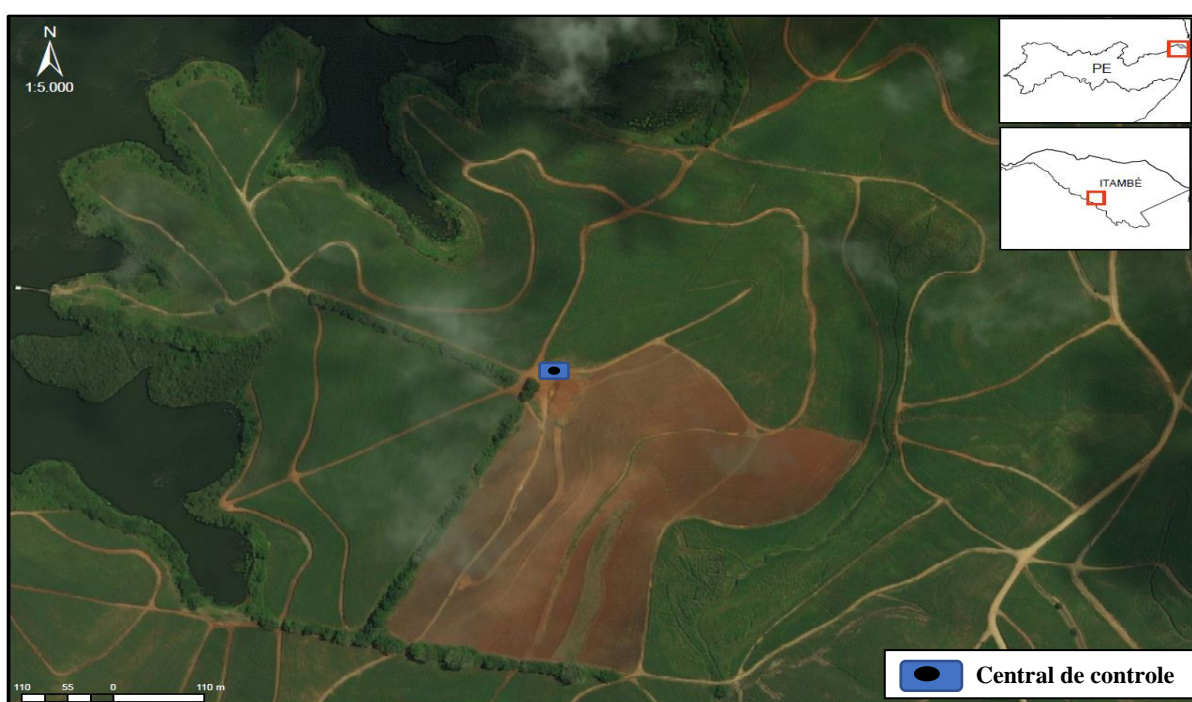


Figura 1. Localização da área agrícola utilizada na pesquisa. (Fonte: ArqGIS; Cortesia: David Lucas Arruda Silva)

O solo da área é classificado como ARGISSOLO VERMELHO eutrófico típico (PVe1) de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2013), com classe textural franco argilo-arenosa e argilosa na camada superficial e subsuperficial, respectivamente. O relevo predominante é suave ondulado a ondulado. O clima, de acordo com a classificação de Koppen, é do tipo Am', Tropical úmido, com transição para o tipo As', apresentando precipitação média anual de 1.159,0 mm.

Durante o período de realização do estudo foi registrado precipitação pluvial anual de 1.206 mm, temperatura média anual de 25° C, com variação entre $21,4^{\circ}$ C a $31,5^{\circ}$ C de

temperatura máxima e mínima, respectivamente, de acordo com os dados coletados na estação meteorológica instalada na área partir do mês de março/2017 (Figura 2).

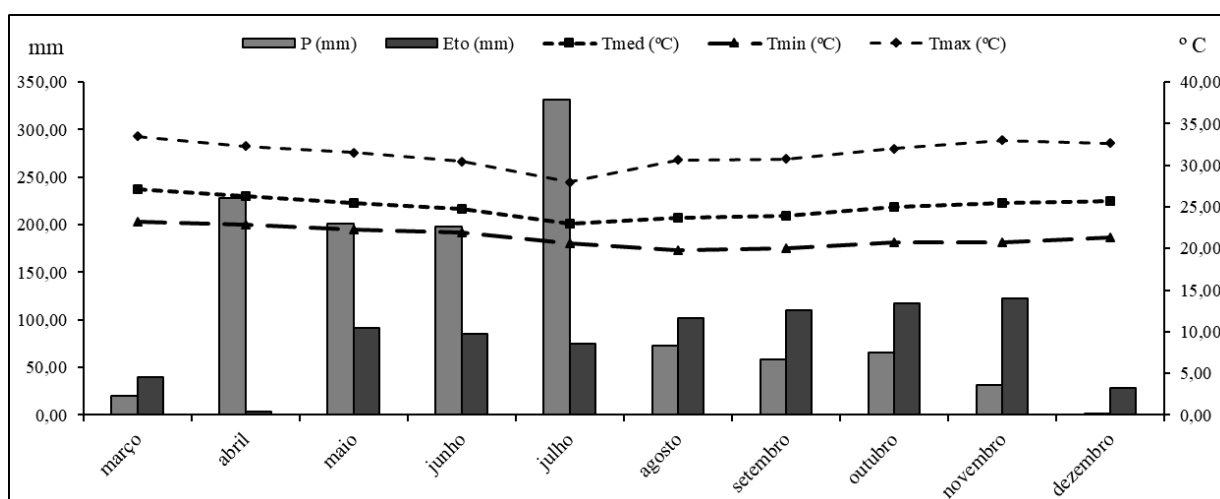


Figura 2. Precipitação pluviométrica (P) e evapotranspiração de referência (ETo), em mm, e temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin) anual durante o desenvolvimento da pesquisa

3.2 Características químico-física do solo

Para a caracterização dos parâmetros químicos do solo da área agrícola, foram realizadas coletas de solo na profundidade de 0 a 30 cm e de 30 a 50 cm, através de amostras simples coletadas em ziguezague, formando amostras compostas para cada profundidade de cada uma das subáreas, com a utilização de trado tipo sonda, dois meses antes do preparo do solo. Após a coleta, em cada amostra composta foram determinados os valores de pH em água (1:2,5), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) trocáveis, extraídos com KCl (1 mol L^{-1}) e determinados por absorção atômica; teor de potássio (K^+), sódio (Na^+) trocáveis e o P-disponível extraídos Mehlich-1 e dosados por fotometria de chama e por espectrofotometria, respectivamente; H+Al extraído por acetato de cálcio ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) e determinado por titulometria (BOARETO et al., 2009). A partir dos dados obtidos foram calculados os demais parâmetros químicos do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas das áreas utilizadas no cultivo das variedades

Área ¹	Prof cm	pH H ₂ O	M.O g dm ⁻³	P		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺		S.B.	CTC
				mg dm ⁻³					mmol _c dm ⁻³			
A	0 - 30	5	24	7	10	22	13	3	3	44	37,9	81,8
	30 - 60	5,4	14	2	26	32	16	0,9	2	25	49,5	74,6
B	0 - 30	4,7	21	13	11	25	8	1,2	3	36	35	71,3
	30 - 60	4,9	18	20	9	24	8	0,4	2	34	33,1	67,2
C	0 - 30	5,1	23	29	10	32	17	1,2	2	32	50,2	82,2
	30 - 60	4,4	16	11	17	19	11	0,5	4	36	30,5	66,5
D	0 - 30	5,5	26	19	16	28	17	3,3	3	42	48,6	90,7
	30 - 60	5,7	17	24	8	36	22	1,1	1	24	59,2	83,6
E	0 - 30	4,8	22	9	10	21	13	2,1	2	37	35,9	73,4
	30 - 60	5,5	16	7	11	19	16	1,2	2	20	35,9	56,1

Obs.: ¹ Nas áreas A, B, C, D e E foram cultivadas as variedades RB867515, RB039147, RB002754, RB92579 e VAT90-212 respectivamente; M.O = Matéria Orgânica do solo; P e S = Fósforo (Extrator Mehlich) e enxofre; Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Al³⁺ = Cálcio, magnésio, sódio; S.B.= Soma de bases; CTC = Capacidade de troca catiônica.

3.3 Descrição da pesquisa

Na área agrícola foram selecionadas cinco subáreas com cerca 1,0 ha de área total, denominadas unidades amostrais, com características semelhantes de solo e relevo, mas distintas quanto à variedade cultivada, que foram submetidas as mesmas doses e distribuição de nutrientes no decorrer do ciclo através do sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial.

Foram cultivadas cinco variedades de cana-de-açúcar: RB92579, RB867575, VAT90-212, RB036147 e RB002754 identificadas quanto ao estágio de maturação como média a tardia (DAROS et al., 2015) cultivadas sob fertirrigação por gotejo subsuperficial nas áreas identificadas com A, B, C, D e E respectivamente.

Antes do plantio foi realizado o cultivo mínimo com a aplicação de glifosato para dessecar a soqueira remanescente e facilitar a incorporação. Foram aplicados e incorporados com a grade aradora calcário e gesso agrícola para elevar a saturação de bases para 70% e neutralizar o Al³⁺ respectivamente, de acordo com a análise de solo da área. Foi realizada uma fosfatagem com 50,0 Mg de composto em área total (1,4% de P₂O₅).

Após o preparo e correção do solo, foram abertos sulcos de plantio, espaçados com 1,5 metro entre as linhas e foi instalada um tubo gotejadora paralelo a uma distância 20 de cada linha de plantio na profundidade de 20 cm. Em seguida, foram semeados os colmos sementes no fundo do sulco de plantio. Os colmos foram distribuídos com a base do colmo junto com parte superior de outro colmo (" pé-com-ponta") e posteriormente foram cortadas em rebolo no tamanho médio de 30 a 40 cm, permanecendo com 3 a 4 gemas.

Após o semeio foi realizada a adubação de plantio no fundo de sulco, aplicando-se 44,0 kg ha⁻¹ de N e 208,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de fosfatomonamônio (MAP). Também foram adicionados 868,0 g ha⁻¹ de S; 258,0 g ha⁻¹ de B; 181,0 g ha⁻¹ de Cu; 756,0 g ha⁻¹ de Mn, 86,0 g ha⁻¹ de Mo e 781,0 g ha⁻¹ de Zn adicionados na forma de fertilizantes líquidos quelatizados. O complemento de N, K e micronutrientes foi realizado via sistema de irrigação por gotejo subsuperficial (fertirrigação), no qual foram aplicados 240, kg ha⁻¹ de N e 240,0 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de ureia e cloreto de potássio. Também foram aplicados 1,2 kg ha⁻¹ de Mn; 1,2 kg ha⁻¹ de Zn; 181,0 g ha⁻¹ de Cu, 450 g ha⁻¹ de B e 150 g ha⁻¹ de Mo na forma de fertilizantes líquidos quelatizados.

Para o planejamento da complementação da adubação via fertirrigação, tomou-se como base as necessidades dos nutrientes para a produtividade de 200,0 Mg ha⁻¹, considerando a exigência da variedade RB92579 irrigada para os macronutrientes (OLIVEIRA et al., 2010) e da variedade SP81-3250 para os micronutrientes (OLIVEIRA, 2011). A distribuição dos nutrientes ao longo do ciclo seguiu a necessidade em três fases de desenvolvimento apresentados por Oliveira (2011).

A primeira fase de brotação e perfilhamento possui duração de 80 dias e foi aplicado 12 % da necessidade nutricional. A segunda fase de crescimento de colmos foi aplicada cerca de 78 % da quantidade total de nutrientes em 190 dias. A última fase com duração de 60 dias, foi aplicado 10 % da adubação. Os últimos 30 dias foram destinados ao déficit hídrico (Figura 3).

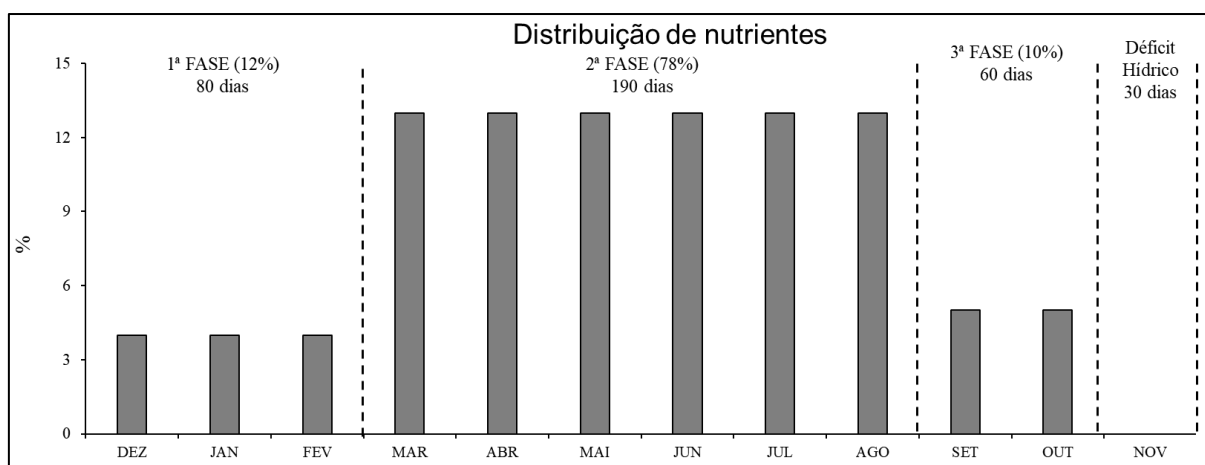


Figura 3. Distribuição percentual (%) das doses de N e K₂O aplicados através do sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial durante o ciclo de cana-planta

Para a realização da irrigação e da fertirrigação por gotejo subsuperficial foi utilizada o tubo gotejador DripNet PC AS 16150, com vazão nominal de 0,6 L h⁻¹, pressão de serviço de

0,5 a 2,5 BAR e com emissores a cada 0,4 m no tubo e espaçamento entre linha de 1,5 m caracterizando a intensidade de aplicação de $1,0 \text{ mm h}^{-1}$. O manejo da irrigação foi realizado a partir dos dados meteorológicos da área experimental. Dessa forma, foram realizadas reposições da evapotranspiração da cultura (ET_c) a partir dos dados do coeficiente da cultura (K_c) apresentado pela FAO e da evapotranspiração de referência (ET_o), coletados na estação meteorológica automática, subtraindo da lâmina bruta o volume referente a precipitação no dia anterior.

3.4 Amostragem das variedades

Em cada unidade amostral foram definidas quatro subunidades amostrais equidistantes 100,0 m entre si, formadas por 19 linhas de 20,0 m totalizando 540 m^2 cada. Em cada coleta foram escolhidas aleatoriamente 10 touceiras em uma linha, em que foram colhidos 10 colmos composto por folhas verdes, folhas secas e ponteiro, de acordo com o proposto por Gallo et al. (1968). Na coleta subsequente foi utilizada uma linha localizada duas linhas após a linha utilizada na coleta anterior. Dessa forma foram utilizadas sete linhas em cada subunidade amostral no decorrer do ciclo.

Foram realizadas amostragens aos 86, 131, 161, 218, 266, 293 e 330 DAP em cada subunidade amostral. Nos colmos colhidos em cada amostragem foram realizadas avaliações biométricas e da biomassa. Dessa forma em cada unidade amostral foram utilizadas 40 plantas por coleta, atendendo a recomendação de 20 a 30 plantas por talhão uniforme, como estabelecido por Malavolta et al. (1997), quantidade necessária para uma variação menor que 20 % (SANTOS et al., 2018).

3.5 Acúmulo de biomassa

Os colmos coletados foram segmentados nos compartimentos vegetais colmo, folhas secas, folhas verdes e ponteiro, formando amostras simples. As folhas secas consistiram das folhas em processo de senescência. O ponteiro foi formado pelo pseudocaule e cartucho, e foi delimitado pelo ponto de quebra do colmo. Todas as folhas abaixo da folha diagnóstica “+1” foram denominadas de folhas verdes com exceção das folhas secas (MARAFON, 2012; OLIVEIRA et al., 2011). Em cada subunidade amostral, todo material coletado foi reunido para a formação de amostras compostas, totalizando quatro amostras compostas de cada compartimento em cada uma das unidades amostrais.

Cada amostra composta foi pesada para determinação da biomassa úmida com a utilização de balança eletrônica com capacidade para 50,0 kg e precisão de 0,1g. Após a pesagem, as amostras compostas foram levadas para laboratório, trituradas em forrageira agrícola, e retiradas subamostras de cerca de 300,0 g, e acondicionadas em sacos de papel. As subamostras foram pesadas em balança analítica com capacidade de 3000,0 g e precisão de 0,01g, e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar, a 65° C, até atingir o peso constante para a determinação do porcentual de matéria seca.

A partir do número médio de plantas contidas nos 80 metros lineares de cada unidade amostral (4x20 m), da biomassa produzida nos compartimentos da planta e da umidade determinada em laboratório, foi calculada a produção de biomassa seca ($Mg\ ha^{-1}$) de colmo, folha seca, folha verde e ponteiro. A biomassa total da planta foi calculada pela soma de todos os compartimentos em cada coleta (OLIVEIRA et al., 2011a).

3.6 Teor e acúmulo de nutrientes

Após a secagem, as amostras foram processadas em moinho de facas Willey, com peneira de 2,0 mm. Em seguida foi determinado o teor dos nutrientes no tecido vegetal ($g\ kg^{-1}$) para cada compartimento em cada coleta. O N foi extraído por digestão com ácido sulfúrico (H_2SO_4), adicionando peróxido de hidrogênio (H_2O_2) como catalizador. Para extração dos demais nutrientes foi realizada a digestão nítrico-perclórica com a utilização de ácido nítrico e ácido perclórico segundo a metodologia descrita por Neto e Barreto (2011).

O teor de N foi determinado por destilação utilizando o método de Kjeldahl e com titulação utilizando ácido clorídrico (BOARETO et al., 2009). O P foi determinado pelo método colorimétrico do Molibdo-Vanadato e o teor de K pela utilização do espectrofotometro de chamas.

Após a determinação do teor de nutrientes em cada compartimento, foi calculado o teor ponderado dos nutrientes para cada variedade em cada coleta, a partir do somatório dos produtos do teor pela biomassa de cada compartimento, em relação a biomassa total de todos os compartimentos, seguindo a expressão:

$$Tp = \frac{(Tco \times BS\ co) + (Tfs \times BS\ fs) + (Tfv \times BS\ fv) + (Tpo \times BS\ po)}{BSt}$$

No qual, Tp = teor ponderado ($g\ kg^{-1}$); Tco , Tfs , Tfv , Tpo = teor de nutrientes no tecido vegetal ($g\ kg^{-1}$) dos colmos, folhas secas, folhas verdes e ponteiros, respectivamente; $BSco$, $BSfs$, $BSfv$

e BS_{po} = biomassa seca ($Mg\ ha^{-1}$) dos colmos, folhas secas, folhas verdes e ponteiros, respectivamente, e BS_{t} = Biomassa seca total ($Mg\ ha^{-1}$).

Multiplicando o teor dos nutrientes pela biomassa seca ($Mg\ ha^{-1}$) de cada compartimento, obteve-se o acúmulo de nutrientes, em quilogramas por hectare, na parte aérea da cana-de-açúcar durante as fases de desenvolvimento da cana planta.

3.7 Extração e exigência de nutrientes

O acúmulo dos nutrientes observados aos 330 DAP foi considerado como a extração final e utilizado para calcular a exigência de nutriente. A exigência nutricional foi estimada pelo quociente da extração final de nutrientes pela produtividade de colmos (TCH) de cada variedade. A produtividade de colmos foi quantificada utilizando os dados de peso dos colmos de cada subárea avaliada e posteriormente corrigida em relação a produtividade real obtida nas áreas experimentais de cada variedade.

3.8 Análises estatísticas

Os dados das variedades em todas as coletas foram analisados de maneira conjunta por estatística multivariada através da análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamento (AA). A ACP avaliou o nível de relacionamento dos atributos estudados, constituindo uma etapa intermediária do procedimento estatístico. O método estatístico de AA visa reunir os objetos verificados em grupos similares, de maneira que apresentem homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre os grupos, em termos das variáveis estudadas (MINGOTI, 2005). Os objetos em um grupo são relativamente semelhantes, em termos dessas variáveis, e diferentes de objetos de outros grupos.

A medida de dissimilaridade empregada foi a distância euclidiana e o algoritmo de WARD, como método de aglomeração. O resultado da AA foi apresentado em forma de dendrograma, auxiliando na identificação dos agrupamentos das variedades mais semelhantes. O número de grupos foi definido pela partição do dendrograma na maior distância entre grupos de ligação obtida.

Também foram realizadas análises de Correlação de *Pearson*, com o objetivo de visualizar as inter-relações entre as variáveis de produtividade agrícola e extração, e exigência de N, P e K dos grupos de variedades de cana-de-açúcar. As análises estatísticas multivariadas e de correlação foram realizadas através do software STATISC, versão 10.0.

As variáveis de cada grupo de variedades foram analisadas na forma de modelo misto através de medida repetida no tempo com a utilização do programa estatístico SAS Learning 2.0. Apenas quando verificado efeito significativo do tempo pelo critério de Akaike, o perfilhamento, o teor ponderado de nutrientes, a produção de biomassa seca e o acúmulo de nutrientes na parte aérea individualmente de cada variedade foi ajustada por regressões não-lineares e polinomiais em função do período de crescimento. Foram determinados os intervalos de confiança das médias obtidas em cada variável nos grupos de variedades.

Como critérios para escolha dos modelos de regressão, foram selecionados aqueles que apresentaram maior coeficiente de determinação (r^2) e significância dos parâmetros da regressão até 10 % de probabilidade pelo teste t, bem como os modelos que melhor representaram o fenômeno. Em seguida foram analisadas as médias das variáveis de cada grupo de variedade por meio da estatística descritiva determinando-se a intervalo de confiança.

Os dados de produção de biomassa e acúmulo de nutrientes de cada grupo de variedades foram ajustados ao modelo sigmoidal e foi determinado o período (dias) correspondente desde o plantio até a ocorrência da taxa máxima de produção de matéria seca (TMPMS) ou da taxa máxima de acúmulo de nutrientes (TMANu), assim como, os respectivos valores das taxas máximas. Adicionalmente, também foram estimadas as fases (dias) de produção de matéria seca (PMS) e acúmulo de nutrientes (ANu).

Para (equação 1), o ponto de inflexão (x_0) correspondeu à época (dias) em que ocorreu a TMPMS ou TMANu. Os valores de TMPMS e TMANu (massa $ha^{-1} dia^{-1}$) foram determinados pelo resultado obtido no ponto de inflexão (x_0) menos o constatado no dia anterior. Ainda para o modelo sigmoidal, o período em que ocorreu as fases de PMS e Anu. foi calculado utilizando os parâmetros da equação (b e x_0), no qual a primeira fase corresponde ao plantio até “ x_0-2b ”, a terceira “ x_0+2b ” até a colheita, e a segunda fase corresponde ao intervalo do fim da primeira fase e início da última fase (OLIVEIRA, 2011).

Equação 1

$$\hat{y} = \frac{a}{(1 + \exp(-(x - x_0)/b))}$$

No qual:

Y = Acúmulo de biomassa/ nutrientes;

x = Dias acumulados após o plantio (DAAP);

a, b e x_0 = Parâmetros do modelo sigmoidal

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de Componentes Principais (ACP)

Para avaliar as interações entre as variáveis de perfilhamento, acúmulo de biomassa total, teores, acúmulo de N, P e K, e produtividade de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial foi realizado a análise de componentes principais (ACP). Os resultados da ACP apresentam os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) fator 1 e 2, explicando 66 % da variância dos dados. O percentual da variância explicada pela CP1 se mostrou igual a 37 % enquanto a CP2 foi responsável por 29 % (Tabela 2).

Tabela 2. Cargas fatoriais da ACP para perfilhamento, acúmulo de biomassa total, teores, acúmulo de N, P e K, e produtividade de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial

Variáveis	F1	F2	F3	F4
Perfilhamento	-0,389	-0,067	0,445	0,804
Massa seca total	0,243	0,455	-0,117	-0,848
Teor N co	-0,245	0,345	-0,897	0,130
Teor N fv	0,779	0,614	-0,016	-0,126
Teor P fs	-0,485	0,096	-0,711	0,499
Teor P po	-0,808	-0,523	-0,183	-0,199
Teor K co	-0,067	-0,636	-0,767	-0,048
Teor K fv	-0,405	0,798	-0,439	0,087
Teor K po	-0,929	0,068	0,359	-0,060
Acumulo N	-0,973	0,166	0,150	0,051
Acumulo P	-0,494	0,727	0,389	-0,277
Acumulo K	-0,701	-0,513	0,384	-0,313
TCH	-0,995	0,094	0,039	-0,016
Exig N	-0,520	-0,327	-0,291	-0,734
Exig P	-0,073	0,975	0,208	0,025
Exig K	0,483	-0,843	0,237	0,007
Autovalor	5,98	4,63	2,97	2,42
% Variância total	37,38	28,94	18,57	15,11
Autovalor acumulado	5,98	10,61	13,58	16
% acumulada da variância	37,38	66,32	84,88	100

O CP1 é o componente mais importante por se tratar do componente com a maior capacidade de explicar a variação total dos dados, apresentando maior autovalor e variância. A partir das cargas fatoriais dos dados é possível observar que as maiores cargas fatoriais foram apresentadas pelo CP1, sendo representado principalmente pelos teores de N da folha verde, P e K do ponteiro, acúmulos de N, K e o TCH, com valores de 0,779; -0,808; -0,929; -0,973; -0,701 e -0,995 respectivamente.

O componente principal 2 (CP2) foi representado pelas variações obtidas pelas variáveis teor de K na folha, acúmulo de P e exigência de P que apresentaram autovalor de 0,798; 0,727 e 0,975 respectivamente.

O comportamento de aumento contínuo de colmos por metro, seguido de uma queda e estabilização, está ligado as características fenológicas da cana-de-açúcar, presente nas variedades utilizadas (VASANTHA et al., 2012). Dessa forma, a variável perfilhamento não apresentou altos valores de CPI, por se tratar de comportamento comum as variedades.

O acúmulo de biomassa seca apresentou um menor efeito na análise de componentes principais, o que pode estar ligado às diferentes capacidades de conversão de produção de matéria seca para produtividade das variedades utilizadas (OLIVEIRA et al., 2010).

4.2 Análise de agrupamento (AA)

A partir dos resultados obtidos na ACP, foi realizado a análise de agrupamento (AA) utilizando as variáveis que mais contribuíram para o agrupamento das variedades com maiores valores de correlação, usando como critério a exclusão de variáveis que apresentaram correlações inferiores a 0,7 em módulo (critério de Kaiser). Essas variáveis excluídas sob o manejo adotado, apresentaram uma menor capacidade para diferenciar as variedades. Os diferentes grupos obtidos estão de acordo com os resultados observados nas demais variáveis.

Avaliando o dendrograma de dissimilaridade foi observado no primeiro nível que a variedade VAT90-212 se diferenciou das demais, formando o Grupo I. No segundo nível, a variedade RB036147 apresentou características heterogêneas das variedades utilizadas, constituindo o Grupo II. As demais variedades formaram o Grupo III, com a variedade RB002754 mais semelhante a variedade RB867515 em relação a RB92579 (Figura 4).

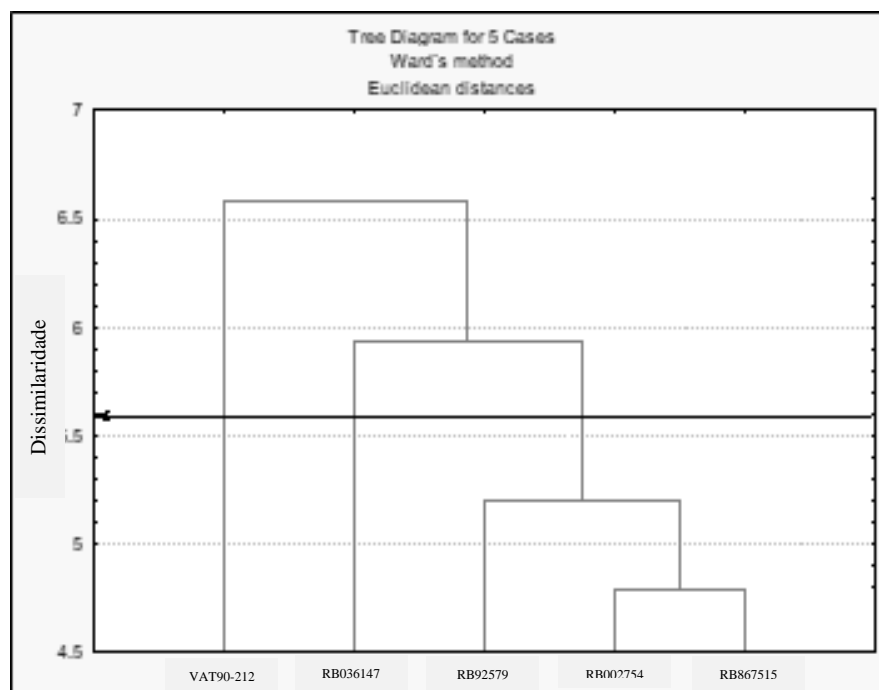


Figura 4. Dendrograma a partir das variáveis de perfilhamento, acúmulo de biomassa total, teores, acúmulo de N, P e K, e produtividade de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial

A partir do agrupamento, os dados foram avaliados de maneira conjunta para cada grupo. Foram obtidas interações com tempo para as variáveis perfilhamento, acúmulo de biomassa seca, teor de N, P e K e acúmulo de N, P e K, a partir da transformação dos dados para atender o critério de Akaike, utilizando como forma de transformação de dados log de 10 (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de F da análise de medidas repetidas no tempo das variáveis perfilhamento, acúmulo de biomassa, teor e acúmulo de N, P e K de grupos de variedades fertirrigadas por gotejo subsuperficial

Variáveis	Perfilhamento	Ac. de biomassa	Teor de N	Teor de P	Teor de K	Ac. de N	Ac. de P	Ac. de K
Grupo	19,36***	1,12 ^{ns}	10,07***	4,26***	6,34***	3,36**	30,50**	31,71***
Tempo	61,51***	100,04***	1,85*	5,66***	15,88***	355,39***	414,71***	1178,97***
IAC	-153	-127,7	-56,5	-21,5	-46,6	-175,1	-154,8	-209,6
Modelo	HF	AR	HF	AR	HF	HF	HF	HF

^{ns} = Não significativo; *, ** e *** significativo a 10, 5 e 1%, respectivamente. AIC: Critério de Informação Akaike; HF = Huynh-Feldt; AR = Auto regressiva.

4.3 Perfilhamento

Em todos os grupos foram observados valores máximos densidade de plantas na primeira coleta, aproximadamente aos 90 DAP com uma posterior redução no número de plantas. Após 120 DAP ocorreu estabilização dos valores até o final do ciclo (Figura 5).

O Grupo I apresentou uma média de 27 colmos m^{-1} na fase de perfilhamento, com uma posterior redução para 18,5 colmos m^{-1} na fase seguinte, mantendo-se constante com aproximadamente 17 colmos m^{-1} até a última coleta, quando foram obtidos 14,9 colmos m^{-1} .

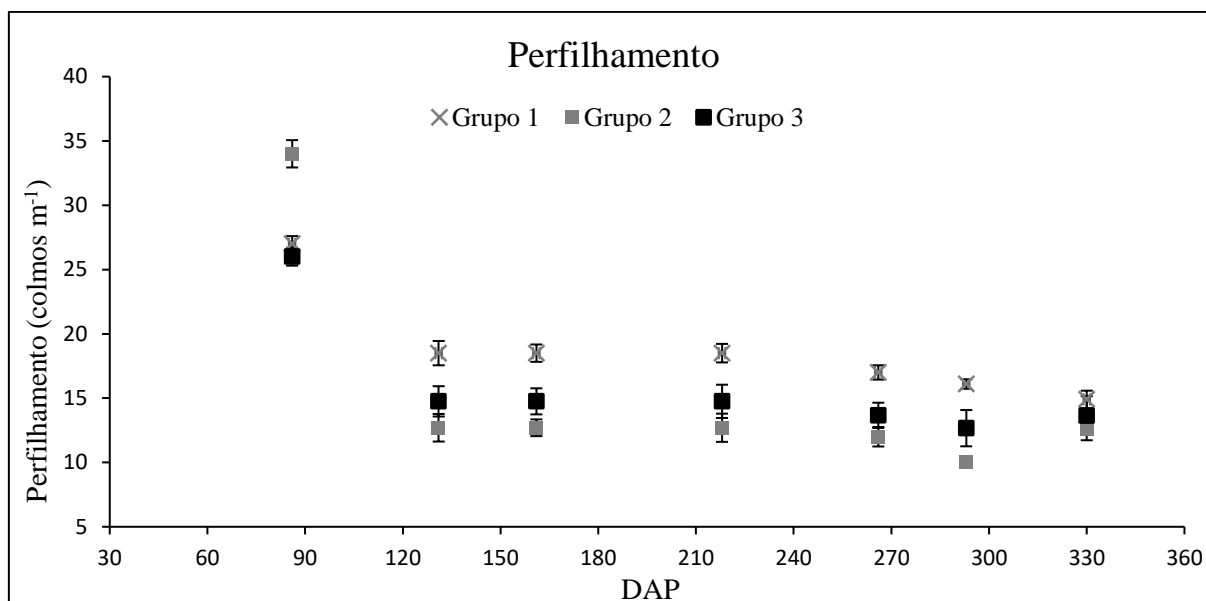


Figura 5. Perfilamento (colmos m⁻¹) de grupos de variedades cultivadas sob irrigação por gotejo subsuperficial. DAP = Dias após o plantio; Barras representam intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.

O Grupo II obteve na primeira coleta cerca de 34 colmos m⁻¹ com uma acentuada redução para 12 colmos m⁻¹ após a fase de perfilamento e mantendo essa média constante até o final do ciclo. Como exceção, na 6ª coleta foi obtida uma média de 10 colmos m⁻¹, resultado fora do intervalo de confiança das demais coletas nessa fase.

Na 1ª coleta do Grupo III foi obtida uma densidade média de aproximadamente 26 colmos m⁻¹. O perfilamento na segunda coleta apresentou média de 14,8 colmos m⁻¹, mantendo-se constante no decorrer da fase de acúmulo de biomassa, e obtendo 13,6 colmos m⁻¹ na última coleta.

As condições da fertirrigação por gotejo subsuperficial aplicadas às variedades, em que há o fornecimento de água e nutrientes em alta frequência desde o início do ciclo, em adição as condições locais de temperatura adequada, favoreceram a antecipação do perfilamento dos grupos de variedades, levando a uma elevada densidade de plantas antes de 100 DAP.

De acordo com INMAN-BAMBER e SMITH (2005) a umidade do solo, em adição com temperaturas ideais, favorece a brotação e o crescimento radicular, acelerando o perfilamento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, em especial durante as fases de perfilamento e crescimento dos colmos. Porém, sob déficit hídrico, o desenvolvimento vegetal poderá ser retardado.

Resultados diferentes foram obtidos por variedades cultivadas sob sistemas convencionais. Sob irrigação plena por aspersão, as variedades RB925789 e RB867515

atingiram perfilhamento máximo aos 60 DAP, com 30 e 25 plantas m^{-1} respectivamente (OLIVEIRA et al., 2010).

Em condições de sequeiro a cana-de-açúcar apresenta menor densidade de plantas bem como demora a atingir o pico de perfilhamento. Santos et al. (2009), observaram que o perfilhamento da variedade RB75126 foi crescente até 120 DAP. Sob condições menos favoráveis à brotação, com baixa precipitação, o aumento na densidade de plantas da RB867515 foi contínuo até 240 DAP (ABREU et al., 2013), bem como ocorrido com as variedades IAC86-2480 e RB72454 plantadas em maio, período seco, o maior número de perfilhos foi atingido apenas aos 180 DAP (SILVA et al., 2008).

Apesar da aceleração do desenvolvimento, os grupos de variedades apresentaram comportamentos diferentes entre si no decorrer do ciclo, demonstrando a interação entre o genótipo e o manejo. As diferenças nas densidades entre os grupos de variedades são ocasionadas por fatores intrínsecos à genética da variedade utilizada em interação com o sistema adotado, como a presença de moléculas antioxidantes (MATSUOKA; SANTOS, 2016).

Em adição, Costa et al. (2016) utilizando diferentes lâminas de irrigação, observando perfilhamento máximo de 30 plantas m^{-1} na variedade RB965902 aos 120 DAP, quando aplicado 100 % da ETc, e cerca de 28 plantas m^{-1} na RB855443 aos 150 dias com 125 e 150 % da ETc.

O estímulo ao perfilhamento antecipa o período de máxima densidade e crescimento das plantas, proporcionando a disputa por energia luminosa e diminuindo o número de plantas até a sua estabilização. Sob condições ideais de umidade do solo no início do ciclo produtivo e a interação com o genótipo, ocorre o estímulo ao desenvolvimento da cana-de-açúcar. Na ausência de água as plantas crescem lentamente. A elevada densidade de colmos pode levar a uma acentuada competitividade entre as plantas o que irá resultar e um maior queda de plantas na fase de estabilização (VASANTHA et al., 2012).

A variedade do Grupo II apresentou um valor elevado no início do ciclo com uma posterior morte de mais de 50% das plantas, resultado que pode ter ocorrido devido a competitividade por energia luminosa no cultivo, haja vista que o fornecimento estimula o crescimento vegetativo (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Conforme ocorre a brotação, a planta vai ficando menos dependente das reservas do colmo semente, existindo a necessidade do fornecimento de água e nutrientes que serão

absorvidos pelo sistema radicular (VASANTHA et al., 2012). Assim o sistema proporcionou desenvolvimento dos grupos de variedades, representado primeiramente na aceleração do perfilhamento.

4.4 Acúmulo de Biomassa seca

A produção de biomassa seca da parte aérea apresentou ajuste ao modelo de crescimento sigmoidal que possibilitou identificar três fases de desenvolvimento (Figura 6). O fim da 1ª fase, na qual são identificados os processos de brotação e perfilhamento intenso, ocorreu entre os 41 e 65 DAP com acúmulo médio de 12,6 % do total produzido (Tabela 4).

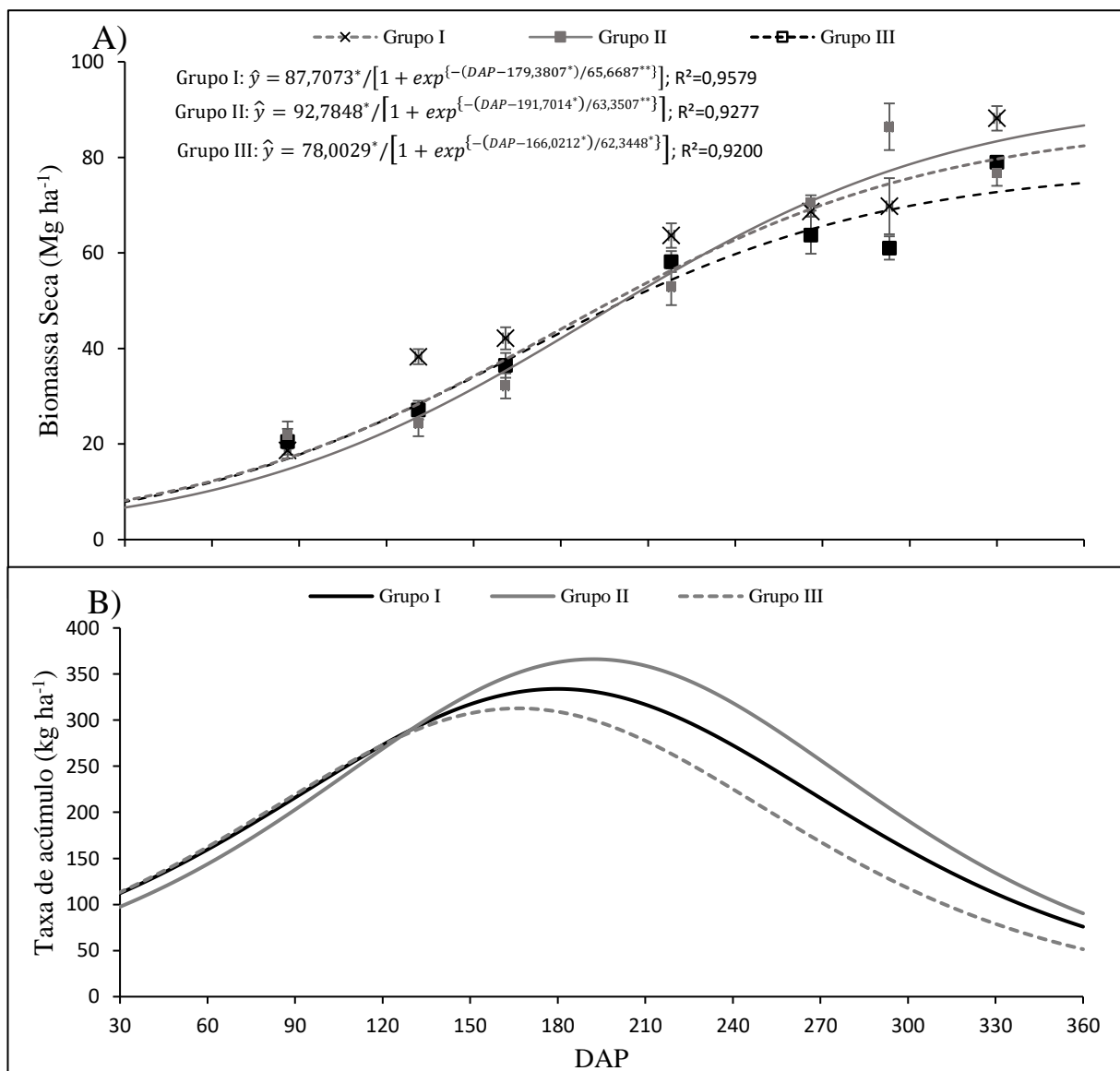


Figura 6. A) Acúmulo, em Mg ha⁻¹; e B) Taxa de acúmulo de biomassa seca, em kg ha⁻¹ dia⁻¹, na parte aérea de grupos de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. * e ** significativo, respectivamente, a 1% e 5% (teste t). DAP = Dias após o plantio; Barras representam intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.

Na segunda fase de crescimento ocorreram os maiores ganhos de biomassa seca com acúmulo relativo de 80 % do total e prolongou até o 10º mês (310 DAP) de desenvolvimento no Grupo I. A terceira fase é caracterizada pela redução da produção de biomassa seca e representou em média 7 % de produção de biomassa da planta (Tabela 2). As duas últimas fases de crescimento são identificadas pelo crescimento de colmos e pela maturação fisiológica da cana-de-açúcar.

Na variedade do Grupo II, a primeira fase se prolongou até os 65 DAP, obtendo 11 Mg ha⁻¹ de biomassa seca. Na fase de crescimento de colmos, que durou 251 dias, o acúmulo médio foi de 70 Mg ha⁻¹ de biomassa seca. A taxa máxima de acúmulo de biomassa seca ocorreu aos 192 DAP com cerca de 366 kg ha⁻¹ dia⁻¹. Na última fase, de maturação, foi acumulado cerca de 5 Mg ha⁻¹, totalizando ao fim do ciclo 86,7 Mg ha⁻¹ de biomassa seca.

A 2ª fase de desenvolvimento do Grupo III apresentou início em média aos 41 DAP, perdurando até os 291 DAP, com uma duração média de 250 dias, com um acúmulo relativo de 59,5 Mg ha⁻¹ de biomassa seca nessa fase, com o pico máximo de acúmulo ocorrendo aos 167 DAP quando foi registrado um taxa de acúmulo de 312,8 kg ha⁻¹ dia⁻¹. Ao final do ciclo, o acúmulo total de biomassa seca foi em média 75 Mg ha⁻¹.

No Grupo III o acúmulo médio de biomassa seca na 1ª fase foi de 10,45 Mg ha⁻¹. A 2ª fase iniciou-se aos 49 DAP e acumulou 66,7 Mg ha⁻¹ ao longo de 261 dias. Na última fase foram acumulados 6,4 Mg ha⁻¹, totalizando 82,4 Mg de acúmulo total de biomassa seca.

Tabela 4. Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de matéria seca da parte aérea de variedades de cana

Grupo*	1ª fase			2ª fase			3ª fase			TMAC		AT
	período	Mg ha ⁻¹	%	período	Mg ha ⁻¹	%	período	Mg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹ dia ⁻¹	Mg ha ⁻¹
I	0 - 48	10,45	12,67	49 - 310	66,70	80,91	311 - 360	5,29	6,42	180	333,90	82,4
II	0 - 65	11,06	12,76	66 - 317	70,45	81,26	318 - 350	5,19	5,99	192	366,15	86,7
III	0 - 41	9,25	12,41	42 - 291	59,49	79,77	292 - 358	5,83	7,82	167	312,78	74,6
Média	-	10,25	12,61	-	65,55	80,65	-	5,44	6,74	-	337,61	81,2

Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515; AR = Acúmulo relativo; AT = Acúmulo total.

Durante a primeira fase de desenvolvimento, as variedades utilizaram a energia para a produção de perfilhos, resultando em um menor acúmulo de biomassa seca. Em seguida os fotoassimilados produzidos, a água e nutrientes absorvidos são destinados predominantemente ao acúmulo de biomassa. Nesse momento ocorreu a redução de plantas por metro até o ponto no qual essa densidade tornou-se constante e intensificou o acúmulo de biomassa, resultando no ganho exponencial de biomassa da segunda fase.

As condições aplicadas na fertirrigação, possibilitaram o rápido desenvolvimento inicial da cultura na forma de perfilhamento e reduzindo a duração dessa fase, conforme obtido em irrigação plena por aspersão (OLIVEIRA et al., 2010).

Esse período inicial foi menor do que o encontrado por Oliveira (2011) em cana planta de plantio de ano e meio, em condições de sequeiro, no qual a fase inicial perdurou em média até 191 dias em três diferentes solos, demonstrando o efeito da água no comportamento das variedades cultivadas sob o sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial, semelhantemente ao obtido sob irrigação plena.

Ademais, em sistema de cultivo sob regime hídrico de sequeiro na mesma região canavieira, foram encontrados resultados diferentes para as variedades RB867515 e RB92579, com 89 e 73 dias de duração da primeira fase respectivamente (SANTANA, 2017). Dessa forma, a antecipação do final da primeira fase prolonga a duração da segunda fase de crescimento.

A aceleração do perfilhamento é importante para o acúmulo de biomassa porque, após o pico de densidade das plantas, a cultura iniciará um ganho acentuado de biomassa. Dessa forma quanto mais cedo ocorrer o perfilhamento, mais rapidamente entrará na segunda fase. Além disso, a aplicação de nutrientes localizada e distribuída no decorrer do ciclo propicia o acúmulo contínuo de biomassa nas variedades, proporcionando a aceleração do processo de crescimento de colmos e acúmulo acentuado de biomassa.

A segunda fase de desenvolvimento apresentou os maiores acúmulos de biomassa seca na parte aérea. Resultados semelhantes foram observados tanto em regime de sequeiro quanto sob irrigação plena (SANTANA, 2017; LEITE et al., 2016; OLIVEIRA, 2011).

Os resultados de acúmulo de biomassa seca nessa segunda fase em todos os grupos de variedades foram superiores aos obtidos pelas variedades RB867515 e RB92579 avaliadas por Santana (2017) na condição de sequeiro, em que foi observado em média 43 Mg ha^{-1} nessa fase, equivalente a 88 % do acúmulo total no ciclo.

A duração da 2ª fase foi superior em todos os grupos de variedades dos obtidos por Oliveira (2011), no qual a duração média de cana planta de ano e meio cultivadas em diferentes solos foi de 245 dias nessa fase de crescimento de colmos, bem como foi observado por Santana (2017) na condição de sequeiro de um cultivo de cana de ano com duração média de 205 dias.

Dessa forma, uma maior duração da fase de acúmulo de biomassa proporcionada pelo sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial nas condições ambientais para os grupos de variedades estudadas possibilitou um maior acúmulo no decorrer do ciclo.

Na última fase de acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar é caracterizada pela reserva de energia nos colmos. Dessa forma, a maior parte dos nutrientes, energia e água absorvidos são destinados ao acúmulo de sacarose, e não mais para a produção de biomassa.

4.5 Teor de nutrientes

Os teores de N, P e K apresentaram decréscimo conforme ocorreu o aumento de biomassa seca. Para o teor de N e P foram obtidos ajustes no modelo linear decrescente, e o teor de K foi ajustado ao modelo exponencial negativo (Figura 6).

No Grupo I, o teor de N obtido aos 86 DAP foi em média $5,6 \text{ g kg}^{-1}$. Na 2ª coleta ocorreu uma queda no teor, apresentando uma média de $3,5 \text{ g kg}^{-1}$, com um posterior aumento aos 161 DAP para 5 g kg^{-1} . No decorrer do ciclo ocorreu uma redução no teor de N, com exceção da 6ª coleta em que foi obtida uma média de $5,5 \text{ g kg}^{-1}$.

A variedade do Grupo II apresentou um teor de N de $5,5 \text{ g kg}^{-1}$ na 1ª coleta. Essa média permaneceu constante no decorrer do ciclo, com exceção da 2ª coleta realizada aos 131 DAP ao final do ciclo em que em que o teor foi em média $3,4 \text{ g kg}^{-1}$.

No início do ciclo o Grupo III obteve uma média de $6,5 \text{ g kg}^{-1}$ de teor de N. Durante a 2ª coleta o valor apresentado foi de $7,3 \text{ g kg}^{-1}$. Após esse período ocorreu um declínio no teor de N até o período da colheita.

O teor de P nos grupos de variedades apresentou valores entre $0,6$ a $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ na primeira coleta, e redução para $0,2 \text{ g kg}^{-1}$ nos grupos I e II, e para $0,4 \text{ g kg}^{-1}$ no grupo III. Esse resultado pode estar ligado ao manejo nutricional, haja vista que o fertilizante fosfatado foi aplicado por completo no início do ciclo.

Todos os grupos de variedades apresentaram diluição do teor de K, com um comportamento linear negativo até os 218 DAP. Após esse período, os valores apresentaram uma estabilização no teor de K (Figura 5 C), o que pode ser atribuído à dinâmica entre o manejo nutricional e à demanda da planta, considerando o papel do K no acúmulo de sacarose no período de maturação.

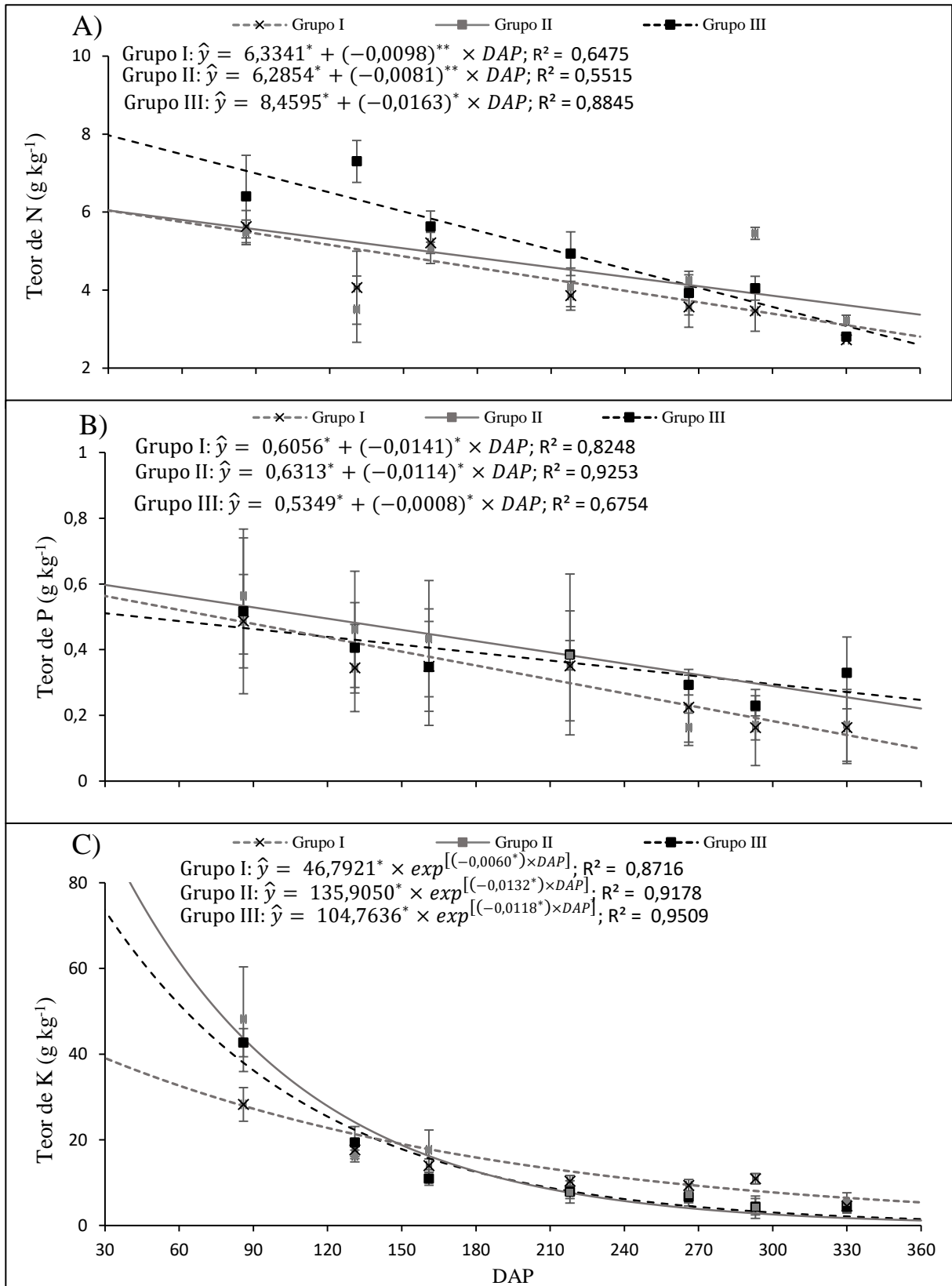


Figura 6. Teores de N (A), P (B) e K (C) em grupos de variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob gotejo subsuperficial. DAP = Dias após o plantio; * e ** significativo, respectivamente, a 1% e 5% (teste t). Barras representam intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515;

Com a utilização combinada de torta de filtro (1,7 % de P_2O_5) com doses crescentes de fertilizante fosfatados o teor de N, P e K no tecido vegetal aos 90 DAP variaram 7,7 a 18,3 g kg^{-1} ; 1,1 a 5,8 g kg^{-1} e 17,9 a 26,5 (ALMEIDA JUNIOR et al., 2011), resultados maiores que os observados no presente estudo, com exceção do teor de K.

Os nutrientes N e P são importantes no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. Nos períodos crescimento elevado como na transição entre o pico de perfilhamento e acúmulo acentuado de biomassa são altamente demandados pelo metabolismo vegetal, apresentando uma maior diluição no teor, resultando em valores menores do que os encontrados em outros sistemas de manejo.

Avaliando o estado nutricional de variedades de cana-de-açúcar em Alagoas, Moura Filho et al. (2014) obtiveram aos cinco meses de idade teores médios de 19,3; 1,7 e 10,7 de N, P e K na RB92579; 17,9; 1,6 e 8,8 na RB867515; e 18,1; 1,9 e 11,2 na variedade VAT90-212. Prezoti e Martins (2012) obtiveram 1,4 e 11,4 g kg^{-1} de P e K aos 60 DAP com RB75-8540 aplicando 2,5 Mg ha^{-1} de calcário.

A diluição dos teores de nutrientes está ligada a velocidade de produção de biomassa seca nas variedades. Com a coleta realizada no momento em que a produção de biomassa estava acentuada, ocorreu uma diminuição dos teores (MALAVOLTA et al., 1997). A diluição nos teores de K nas folhas e colmos foram observadas por Medina et al. (2013).

O desenvolvimento inicial acelerado ocasionado pela fertirrigação (FARNESELLI et al., 2015) pode ter resultado na diluição do teor de nutrientes. Dessa forma, na primeira coleta com cerca de 90 DAP, as variedades se encontravam na fase acúmulo acentuado de biomassa, utilizando os nutrientes para o desenvolvimento vegetal.

As condições de alta disponibilidade de K no solo (Tabela 1) e a distribuição de fertilizantes potássicos no decorrer do ciclo propiciam um elevado teor do nutriente no tecido foliar. Resultados semelhantes foram obtidos por (ALMEIDA et al., 2015).

A distribuição potássica de forma parcelada aumenta a absorção do nutriente refletindo em um maior teor na folha (OTTO et al., 2010).

4.6 Acúmulo de nutrientes

As médias de acúmulo de N, P e K apresentaram ajuste ao modelo sigmoidal, obtendo três fases distintas de acúmulo de nutrientes, conforme observado para o acúmulo de biomassa seca (Figuras 7, 8 e 9).

No Grupo I ocorreu uma fase inicial de acúmulo lento, e em seguida uma fase com acúmulo acentuado de N com taxa máxima de $997,0 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ aos 149 DAP, totalizando cerca de $157,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N em 205 dias de cultivo. Ao final do ciclo foram acumulados mais de 200 kg ha^{-1} de N (Tabela 5).

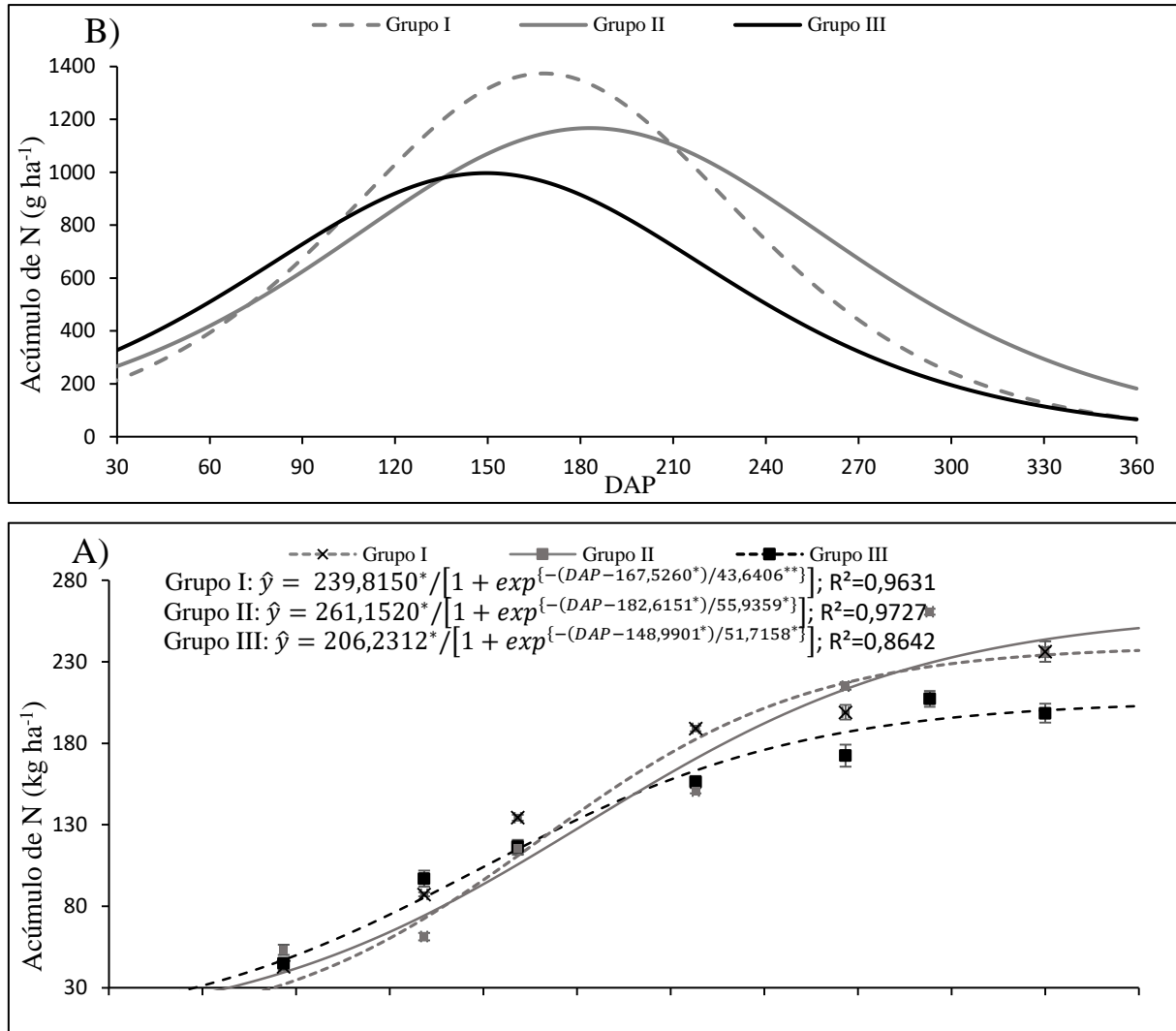


Figura 7. Acúmulo de N e B) Taxa de acúmulo de N (TAN) em variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. * e ** significativo, respectivamente, a 1% e 5% (teste t). Barras = Intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.

O Grupo II apresentou um acúmulo superior a $30,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N nos primeiros 71 dias de cultivo. Na fase posterior, com duração de 223 dias, o acúmulo de N foi superior a $190,0 \text{ kg ha}^{-1}$, e na última fase foram acumulados cerca de $19,0 \text{ kg ha}^{-1}$, resultando em um acúmulo total de $248,7 \text{ kg ha}^{-1}$. A taxa máxima de acúmulo de N foi apresentada aos 183 DAP, com uma média de $1167 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$

O acúmulo de N nas duas fases iniciais no grupo III foi em média de $28,4$ e 183 kg ha^{-1} respectivamente. Ao final do ciclo o acúmulo total de N foi em média $237,0 \text{ kg ha}^{-1}$. Quanto a

duração das fases, a primeira fase durou em média 80 dias, enquanto que a fase de acúmulo exponencial de N foi finalizada aos 255 DAP, com taxa máxima atingida aos 168 DAP com 1374,0 g ha⁻¹ dia⁻¹, resultando em 105 dias de duração da fase de estabilização na qual ocorreu a maturação.

Tabela 5. Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de N em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigada por gotejo subsuperficial

Grupo*	1ª fase			2ª fase			3ª fase			TMAC		AT
	período	AR	%	período	AR	%	período	AR	%	dias	g ha ⁻¹ dia ⁻¹	Mg ha ⁻¹
I	0 - 80	28,45	12,00	81 - 255	182,89	77,17	255 - 360	25,66	10,83	168	1373,8	237,0
II	0 - 71	31,26	12,57	71 - 294	198,53	79,83	294 - 350	18,89	7,60	183	1167,2	248,7
III	0 - 46	24,77	12,22	47 - 252	156,70	77,32	253 - 358	21,20	10,46	149	996,9	202,7
Média	-	28,16	12,26	-	179,37	78,11	-	21,92	9,63	-	1179,3	229,4

*Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515;

Entre os grupos de variedade foi observado que o início da fase exponencial de acúmulo de N ocorreu após a fase correspondente de acúmulo de biomassa. Resultados diferentes foram obtidos por Oliveira (2011) em condições de sequeiro, no qual o acúmulo exponencial de N ocorreu cerca de dois meses antes do acúmulo acentuado de biomassa. Esses resultados podem estar relacionados às diferenças entre o sistema de plantio de cana de ano e meio e o adotado nessa pesquisa.

Leite et al. (2016) também observaram um comportamento assíncrono entre o acúmulo de N e acúmulo de biomassa em cana de ano sob regime de sequeiro, apresentando 50% do acúmulo total aos 212 DAP, enquanto que sob o sistema de fertirrigação os grupos de variedades acumularam metade de todo o N em até 180 DAP.

As variedades sob sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial apresentaram uma primeira fase de desenvolvimento, caracterizada pelo perfilhamento. Nessa fase ocorreu o início do acúmulo exponencial de biomassa, em decorrência do desenvolvimento das plantas e do aumento da densidade. A proximidade entre o momento que ocorreram os inícios do acúmulo acentuado de N e de biomassa demonstra o estímulo ao desenvolvimento rápido e a alta eficiência de conversão de N em biomassa sob o sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial (FARNESELLI et al., 2015; CHEN et al., 2012).

Já na fase de crescimento de colmos ocorreu a morte perfilhos estabilizando a densidade de plantas, proporcionando uma utilização de N para o ganho de biomassa e resultando na continuidade de acúmulo exponencial de biomassa. Nesse segundo momento a taxa máxima de acúmulo de N é anterior a taxa máxima de acúmulo de biomassa.

Através do acúmulo de nutrientes é possível a determinação da distribuição de fertilizantes via fertirrigação (DALRY; CRUZ, 2008). Os grupos de variedades com um período menor de acúmulo acentuado, necessitam a aplicação de fertilizantes em um período reduzido, posicionando o plantio para evitar a aplicação de solução fertilizante nos períodos chuvosos. Já variedades com um período de máximo acúmulo maior possibilitam a aplicação de fertilizantes de maneira mais ampla no decorrer do ciclo produtivo.

O acúmulo de P na primeira fase da Grupo I apresentou um resultado médio de 4,0 kg ha⁻¹. A segunda fase de acúmulo foi iniciada aos 62 DAP e durou até os 287 DAP, com um acúmulo médio de 39,0 kg ha⁻¹. Aos 152 DAP foi observado a taxa máxima de acúmulo de P com média de 183 g ha⁻¹ dia⁻¹. Ao final do ciclo foram acumulados em média 33,0 kg ha⁻¹ de P (Figura 8 e Tabela 6).

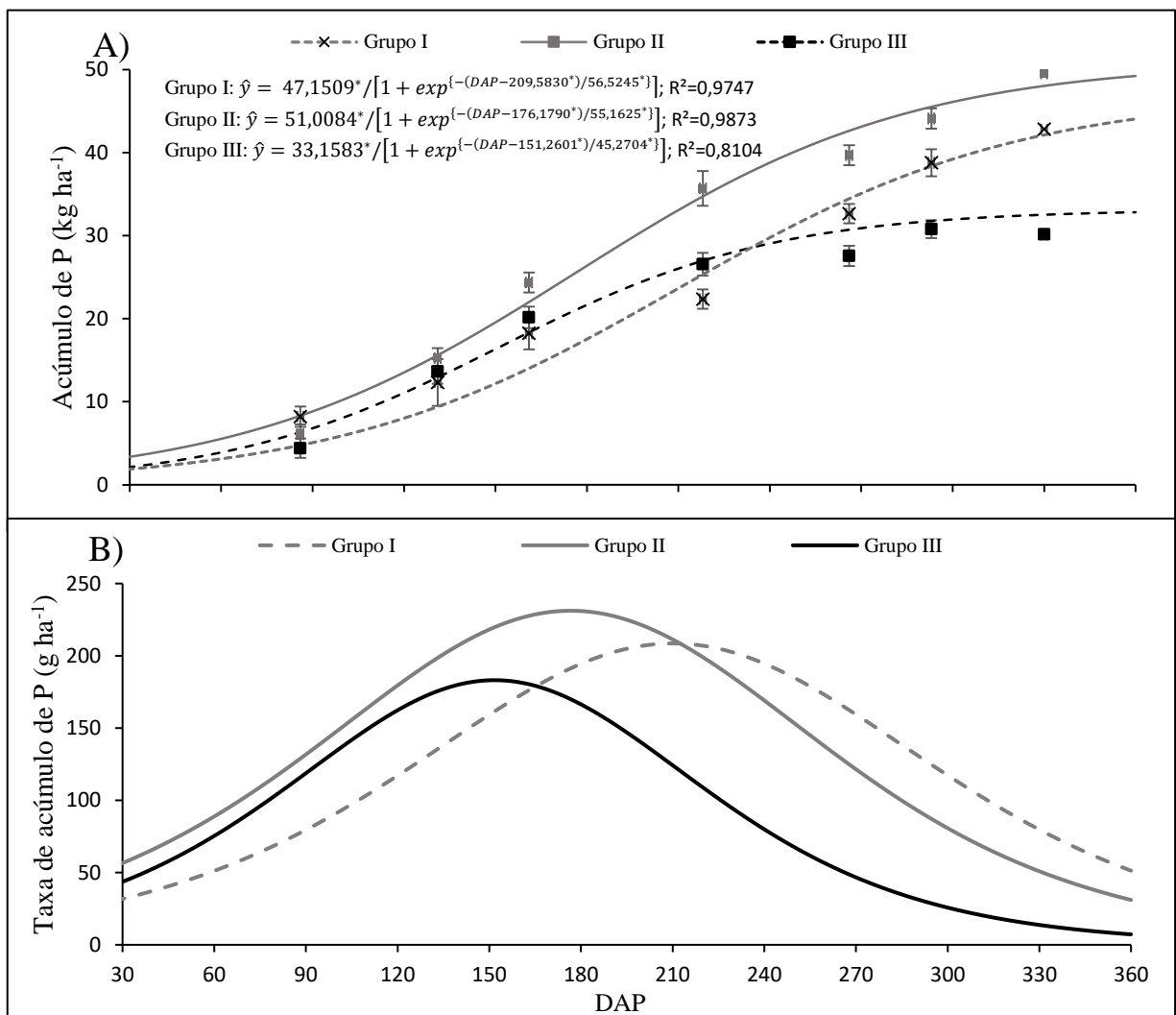


Figura 8. Acúmulo de P e B) Taxa de acúmulo de P em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. * e ** significativo, respectivamente, a 1% e 5% (teste t). Barras = Intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.

No Grupo II a primeira fase correspondeu a um acúmulo médio de 6,0 kg ha⁻¹ em 66 dias de cultivo. A segunda fase apresentou uma duração de 220 dias, com acúmulo de 39 kg ha⁻¹ e taxa máxima de acúmulo aos 176 DAP com média de 231,2 g ha⁻¹ dia⁻¹. A última fase foi iniciada aos 287 dias e o acúmulo total de P ao longo do ciclo de 49 kg ha⁻¹.

O terceiro grupo apresentou uma fase de acúmulo inicial com duração de 97 dias e acúmulo de 5,6 kg ha⁻¹. Na segunda fase, que foi correspondeu a 225 dias, foram acumulados cerca de 81 % (36,0 kg ha⁻¹) dos 44,0 kg ha⁻¹ de P acumulados em todo ciclo. A taxa máxima de acúmulo foi obtida aos 210 DAP com uma média de 208 g ha⁻¹ dia⁻¹.

Tabela 6. Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de P em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigada por gotejo subsuperficial.

Grupo*	1ª fase			2ª fase			3ª fase			TMAC		AT
	período	AR	%	período	AR	%	período	AR	%	dias	g ha ⁻¹ dia ⁻¹	Mg ha ⁻¹
I	0 - 97	5,66	12,85	98 - 323	35,90	81,46	324 - 360	2,51	5,69	210	208,5	44,07
II	0 - 66	6,19	12,66	67 - 287	38,78	79,29	288 - 350	3,94	8,05	176	231,2	48,91
III	0 - 61	3,97	12,11	62 - 242	25,25	76,93	243 - 358	3,60	10,96	152,00	183,11	32,82
Média	-	5,28	12,54	-	33,31	79,23	-	3,35	8,23	-	207,6	41,93

*Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.

O acúmulo de P apresentou resultados superiores aos obtidos por Oliveira et al. (2011) em sistema de irrigação por sequeiro, no qual na primeira fase foram acumulados 3 kg ha⁻¹, enquanto que na segunda e última fase foram acumulados 20 e 1,9 kg ha⁻¹. Quanto a duração das fases de acúmulo, sob sistema de fertirrigação, o início da segunda fase ocorreu de maneira precoce. O maior acúmulo está ligado a alta disponibilidade de P proporcionada com o uso de composto orgânico na instalação da cultura.

O acúmulo de K no grupo I apresentou um resultado médio de 29 kg ha⁻¹ na primeira fase que durou até os 61 DAP. Na segunda, que durou 180 dias, foram acumulados cerca de 220 kg ha⁻¹, com o pico da taxa de acúmulo alcançada aos 212 DAP, período próximo a última fase de acúmulo, com mais de 1600 g ha⁻¹ dia⁻¹. Na última fase foram acumulados mais de 117 kg ha⁻¹ de K em 115 o equivalente a cerca de 30 %, totalizando ao final do ciclo 366 kg ha⁻¹ de acúmulo total (Figura 9 e Tabela 7).

No Grupo II a primeira fase, na qual foram acumulados 24 kg ha⁻¹, apresentou uma duração de 66 dias. Na fase de acúmulo exponencial perdurou até os 288 DAP e foram acumulados em média 340 kg ha⁻¹ com a taxa máxima atingida aos 190 DAP com média de 2269 g ha⁻¹ dia⁻¹. Na última fase foi acumulado cerca de 7% do total, resultando em um acúmulo total de 395 kg ha⁻¹ de K.

O terceiro grupo apresentou um acúmulo médio de 41 kg ha⁻¹ de K na primeira fase. Durante a segunda fase, que ocorreu dos 98 aos 323 DAP, foram acumulados 380 kg ha⁻¹ com

uma taxa máxima de acúmulo atingida aos 228 DAP com uma média maior que 2200 g ha⁻¹ dia⁻¹. Já na última fase o acúmulo médio foi de 33 kg ha⁻¹ totalizando 455 kg ha⁻¹ de K ao longo do ciclo.

A cana-de-açúcar é uma planta exigente em K apresentando variedades como a SP813250 capaz de acumular mais de 400 kg ha⁻¹ quando conduzida sob sistema de irrigação (OLIVEIRA et al., 2011). Em condições de sequeiro, as variedades RB867515 e RB92579 destacam-se com uma extração de 175 kg ha⁻¹ de K (OLIVEIRA et al., 2016).

A alta disponibilidade de nutrientes propicia um elevado acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar em especial o K, que pode ter um comportamento de consumo de luxo. Schultz et al. (2010) avaliando o efeito residual da aplicação de vinhaça em consorcio com a adubação de cobertura obteve extrações com a variedade RB867515 equivalentes a 235 e 594 kg ha⁻¹ de N e K.

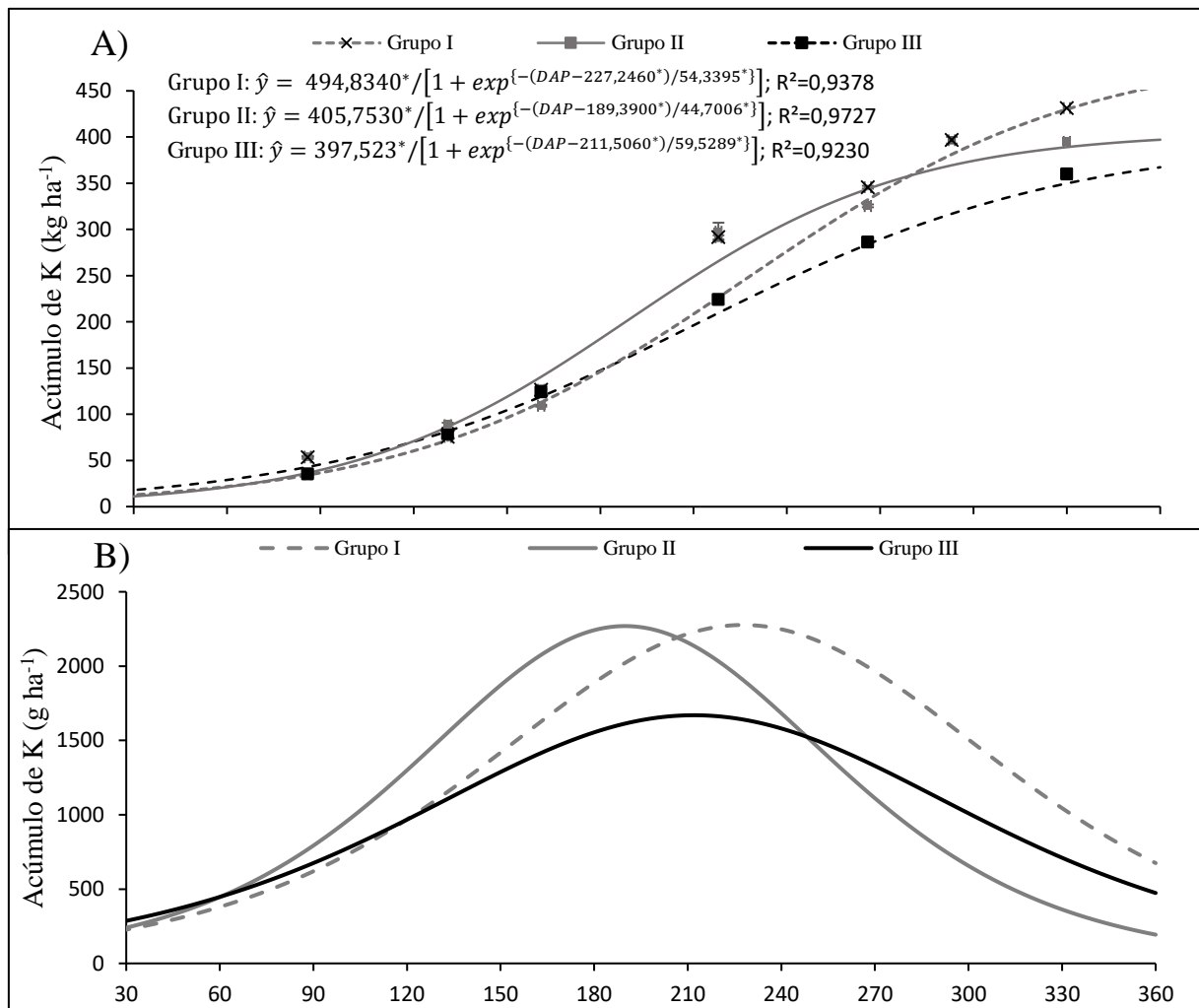


Figura 9. Acúmulo de K e B) Taxa de acúmulo de K em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. * e ** significativo, respectivamente, a 1% e 5% (teste t). Barras = Intervalo de confiança; Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.

Tabela 7. Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de K em grupo de variedades de cana-de-açúcar fertirrigada por gotejo subsuperficial

Grupo*	1ª fase			2ª fase			3ª fase			TMAC		AT
	período	AR	%	período	AR	%	período	AR	%	dias	g ha ⁻¹ dia ⁻¹	Mg ha ⁻¹
I	0 - 97	41,27	9,07	98 - 323	381,06	83,70	324 - 360	32,94	7,24	228	2276,6	455,3
II	0 - 66	24,14	6,11	67 - 287	340,53	86,24	288 - 350	30,21	7,65	190	2269,3	394,9
III	0 - 61	29,38	8,02	62 - 242	219,21	59,85	243 - 358	117,67	32,13	212	1669,4	366,3
Média	-	31,60	7,73	-	313,60	76,59	-	60,28	15,67	-	2071,8	405,5

* Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515.

Todas os grupos de variedades apresentaram como um comportamento em comum um acúmulo de N e P entorno de 12% na primeira fase, enquanto que o acúmulo de K nessa fase foi em média 7,7 %.

A cana-de-açúcar na fase inicial de desenvolvimento encontra-se com uma alta capacidade de perfilhamento. Sob o sistema de fertirrigação além de brotação de novos colmos os primeiros 90 DAP foram marcados pelo ganho de biomassa verde, necessitando de grandes quantidades de N e P que são elementos ligados a formação de novas estruturas.

Por outro lado, o K possui importância inicialmente pelas atividades enzimáticas responsáveis. Sua relevância é crescente a partir da fase de formação de entrenós, que poderão armazenar energia de reserva, e crescimento acentuado, em que é necessária uma maior regulação osmótica, até a fase de maturação na qual o transporte e acúmulo de sacarose é intensificado (KINGSTON, 2014).

4.7 Exigência de nutrientes

Sob o sistema de fertirrigação subsuperficial, o Grupo I, representada pela variedade VAT90-212, exigiu 1,43; 0,27 e 2,75 kg ha⁻¹ de N, P e K para uma produtividade de 165 Mg ha⁻¹ (Tabela 8). O Grupo II representado pela variedade RB036147 obteve produtividade média de 148 Mg ha⁻¹ com exigência nutricional de 1,68; 0,33 e 2,67 kg ha⁻¹ de N, P e K. Quanto ao Grupo III, formado pelas variedades Rb867515, RB002754 e RB867515, foi observado uma produtividade média de 135 Mg ha⁻¹, resultando em exigências de 1,49; 0,24 e 2,7 kg ha⁻¹ de N, P e K respectivamente (Tabela 8).

A produtividade foi um dos fatores que mais influenciaram na obtenção da ACP e AA. Os dados obtidos indicam que sob o manejo de fertirrigação por gotejo adotado, as variedades podem apresentar diferentes capacidades produtivas entre si.

Tabela 8. Produtividade (TCH), extração (kg ha⁻¹), e exigência de NPK (kg Mg⁻¹), de grupos de variedades de cana-de-açúcar fertirrigadas por gotejo subsuperficial. Valores entre parêntese representam o intervalo de confiança.

Grupo*	Produtividade Mg ha ⁻¹	Extração (kg ha ⁻¹)			Exigência (kg ha ⁻¹)		
		N	P	K	N	P	K
I	165,40 (± 1,27)	237,00 (± 6,56)	44,07 (± 0,75)	455,27 (± 1,48)	1,43 (± 0,51)	0,27 (± 0,07)	2,75 (± 0,64)
II	148,00 (± 1,73)	248,68 (± 1,94)	48,91 (± 0,48)	394,89 (± 2,93)	1,68 (± 0,08)	0,33 (± 0,08)	2,67 (± 0,13)
III	135,80 (± 2,72)	202,67 (± 14,8)	32,82 (± 6,13)	366,26 (± 18,4)	1,49 (± 1,26)	0,24 (± 0,67)	2,70 (± 1,35)

* Grupo I = VAT90-212; Grupo II = RB036147; Grupo III = RB92579, RB002754 e RB867515; Valores entre parênteses representam intervalo de confiança.

A alta produtividade obtida pela variedade do grupo I está relacionada ao acúmulo elevado de K no decorrer do ciclo. De maneira semelhante em sistema convencional a adubação potássica e os altos teores do nutriente apresentaram relação direta com o ganho em produtividade (ALMEIDA et al., 2015; FLORES et al., 2014; UCHOA et al., 2009).

A produtividade obtida pelos grupos de variedades fertirrigadas por gotejo no ciclo de cana planta desta pesquisa foi inferior ao encontrado no mesmo ciclo quando irrigadas por aspersão, de forma plena, porém foram superiores as mesmas variedades quando conduzidas sob regime hídrico de sequeiro (OLIVEIRA et al., 2016, OLIVEIRA et al., 2011).

A produtividade da cana planta ficou condicionada a elevada taxa de produção de biomassa na primeira e segunda fase de desenvolvimento, ou seja, até cerca de 300 DAP (Tabela 4). O Grupo III que apresentou baixo acúmulo de biomassa nessas fases apresentou a menor produtividade de colmo (Tabela 8). Assim o manejo hídrico e nutricional deve ter como objetivos atender as demandas nesse período de crescimento, possibilitando um maior aproveitamento dos recursos aplicados.

Por outro lado, o grupo I e II apresentaram o melhor resultado com a capacidade de converter biomassa seca total em colmos industrializáveis sob as condições de irrigação por gotejamento em subsuperfície.

Assim, a variedade VAT90-212, indicada como Grupo I, pode ser uma variedade com elevada produtividade sob o sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial, com uma produtividade cerca de 3 vezes maior que a média regional (BRASIL, 2018).

Quanto ao grupo I, as variedades RB867515 e RB92579 apresentaram comportamentos semelhantes sob a condição de fertirrigação por gotejo subsuperficial. Resultado diferentes haviam sido obtidos na mesma região sob os sistemas de sequeiro e irrigação plena por aspersão (OLIVEIRA et al., 2016, OLIVEIRA et al., 2011).

Já para a exigência de K as variedades na presente pesquisa apresentaram valores maiores que os obtidos por Oliveira et al. (2016) utilizando variedades de cana-de-açúcar sob condições de sequeiro, o que poderá indicar um consumo de luxo do nutriente. As maiores extrações foram apresentadas pelas variedades VAT90-212 e RB002754 com valores médios de 455,3 e 394,9 kg ha⁻¹ respectivamente.

Devido a elevada quantidade de K extraído, a VAT90-212 (Grupo I) apresentou a maior exigência com média de 2,75 kg Mg⁻¹. Por outro lado, em decorrência da capacidade de conversão do nutriente extraído e a produtividade obtida, a RB036147 (Grupo II) obteve a maior eficiência de uso desse nutriente.

As variedades do Grupo III, ainda que menos responsivas sob o sistema avaliado, apresentou resultados diferente dos obtidos nos sistemas convencionais. A variedade RB867515 apresentou em cana planta sob diferentes fontes de manganês extrações de 64; 5,9 e 58,7 de N, P e K, respectivamente, para uma produtividade de cerca de 90 Mg ha⁻¹ (BENETT et al., 2012).

Deste modo a produtividade da cana-de-açúcar cultivadas sob fertirrigação por gotejo subsuperficial é maior que a média nacional e as variedades apresentam exigências nutricionais diferentes das observadas nos cultivos convencionais, necessitando um manejo de fertilizantes baseado na curva de acúmulo de nutrientes sob esse sistema de manejo.

5. CONCLUSÕES

- I. Foram formados três grupos de variedades sob o sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial;
- II. O sistema de fertirrigação por gotejo proporcionou uma antecipação do início da fase de acúmulo acentuado de biomassa vegetal;
- III. Os teores de nutrientes apresentaram diluição no decorrer do ciclo com comportamento linear negativo para N e P, e exponencial para K.
- IV. A prática da irrigação plena estimulou uma maior extração de K superior aos demais nutrientes.
- V. O manejo e a disponibilidade no solo propiciaram elevadas extrações de P.
- VI. A variedade VAT90-212 obteve destaques na produtividade e eficiência de uso de nutrientes, podendo ser cultivada sob sistema de fertirrigação por gotejo subsuperficial.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L.; SILVA, M. A.; TEODORO, I.; HOLANDA, L. A.; SAMPAIO NETO, G. D. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 3, p. 262 – 270, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/brag.2013.028>>.
- ALMEIDA, H. J.; CRUZ, F. J. R.; PANCELLI, M. A.; FLORES, R. A.; VASCONCELOS, R. L.; PRADO, R. M. Decreased potassium fertilization in sugarcane ratoons grown under straw in different soils. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 9, n. 7, p. 596 – 604, 2015.
- ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidades hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441 – 1448, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000500013>>.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; REZENDE, R. S.; MOURA, M. S. B.; BUFON, V. B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (Ed.). **Sistema de Produção Mecanizada da Cana-de-açúcar Integrada à Produção de Energia e Alimentos**. 2ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2017. p. 98 – 147.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 76–84, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000100011>>.
- BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 952–958, 2012. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000900005>>.
- BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; ANDREOTT, M. Fontes e doses de manganês no acúmulo de nutrientes na palhada em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 8-16, 2012.
- BOARETO, A. E.; RAIJ, B. V.; SILVA, F. C.; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. **Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. In: SILVA, F. C. (Org). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa, 2009. p. 105 – 184. (Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia).
- BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação de fruteiras e hortaliças**, Brasília, EMBRAPA, p. 239 – 248, 2014.
- BRACKIN, R.; NÄSHOLM, T.; ROBINSON, N.; GUILLOU, S.; VINALL, K.; LAKSHMANAN, P.; SCHMIDT, S.; INSELSBACHER, E. Nitrogen fluxes at the root-soil interface show a mismatch of nitrogen fertilizer supply and sugarcane root uptake capacity. **Scientific Reports**, London, v. 5, n. April, p. 15727, 2015. Disponível em: <<http://10.1038/srep15727>>.

- BRASIL, **Ministério de Minas e Energia**. 2018. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/dados>>. Acesso em 20 jan. 2018.
- BUTLER, D. W. F.; MEYER, J. H.; SCHUMANN, A. W. Assessing nitrogen fertigation strategies for drip irrigated sugarcane in southern Africa. **Proceedings South Africa Sugar Technology Association**, Mount Edgecombe, v. 76, p. 162 – 172, 2002.
- CARVALHO, L. C. C. Cenários e Estratégias do Setor Sucruenergético: Sustentabilidade Socioeconômica. In: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (Ed.). **Sistema de Produção Mecanizada da Cana-de-açúcar Integrada à Produção de Energia e Alimentos**. 1ª ed. Brasília: EMBRAPA, p. 20–45, 2015.
- CHEN, G.; TANG, Q.; LI, Y.; HUANG, Y.; LIU, B.; XU, L.; HUANG, H. Effects of sub-soil drip fertigation on sugarcane in field conditions. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 14, n.1, p. 418 – 421, 2012. Disponível em: <<http://10.1007/s12355-012-0173-x>>.
- COELHO, E. F., COSTA, F. S.; SILVA, A. C. P.; CARVALHO, G. C. Concentração de nitrato no perfil do solo fertirrigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v.18, n. 3, p. 263 – 269, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000300004>>.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, v.4, n. 3 safra 2017/18, dezembro de 2017.
- COSTA, C. T. S.; SAAD, J. C. C.; SILVA JÚNIOR, H. M. Growth and productivity of sugarcane varieties under various irrigation levels. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 945 – 955, out. – dez., 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n420rc>>.
- CUNHA, F. N.; DA SILVA, N. F.; SOUSA, A. E. C.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; VIDAL, V. M. Yield of sugarcane submitted to nitrogen fertilization and water depths by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 99, p. 841–846, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p841-846>>.
- DALRI, A.; CRUZ, R. L. Produtividade da Cana-de-açúcar Fertirrigada com N e K via Gotejamento Subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516–524, 2008.
- DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; BARBOSA, G. V. S.; **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de Ridesa**, 1. ed. – Curitiba: Graciosa, 2015.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2013.
- ESPERANCINI, M. S.; AFONSO, P. F.; GAVA, G. J.; VILLAS BOAS, R. L. Economically optimal dose of nitrogen in sugar cane applied by dripping fertigation. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 28–39, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v1n1>>.

FARNESELLI, M.; BENINCASA, P.; TOSTI, G.; SIMONNE, E.; GUIDUCCI, M.; TEI, F. High fertigation frequency improves nitrogen uptake and crop performance in processing tomato grown with high nitrogen and water supply. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 154, p. 52 – 58, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.002>>.

FLORES, R. A.; PRADO, R. M.; ALMEIDA, H. J.; PANCELLI, M. A.; MODA, L. R.; SANTOS, C. L. R. Potassium nutrition in sugarcane ratoons grown in oxisols by a conservationist system. **American-Eurasian Journal of Agriculture & Environment Science**, v. 14, n. 7, p. 652-659, 2014. Disponível em: <<https://10.5829/idosi.aejaes.2014.14.07.12368>>.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.1, p.88-96, jan. 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000100012.

FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian fields conditions. **Fields Crops Research**, London, v. 121, n. 1, p. 29 – 41, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.11.011>>.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, p. 579 – 590, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000500012>>.

HEMALATHA, S.; MARAGATHAM, S.; RADHIKA, K.; KATHRINE, S. P. Fertigation for crops and nitrogen fertigation for sugarcane: a review. **Research and Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences**, Coimbatore, v. 2, n. 2, p. 5 – 11, 2013.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2–3, p. 185–202, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.023>>.

KENNEDY, T. L.; SUDDICK, E. C.; SIX, J. Reduced nitrous oxide emissions and increased yields in California tomato cropping systems under drip irrigation and fertigation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 170, p. 16 – 27, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.002>>.

KINGSTON, G. Mineral Nutrition of Sugarcane. In: Moore, P.; Botha, F. C. **Sugarcane: Physiology, biochemistry, and functional biology**. John Wiley & Son, New Delhi, India: Wiley Online Library, 2014. Chap 1, p. 85 - 120

KOLLN, O. T.; GAVA, G. J. C.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J.; URIBE, R. A. M.; PANNUTI, L. E. R.; TRIVELIN, P. C. O. Fertigated sugarcane yield and carbon isotope discrimination (¹³C) related with nitrogen nutrition. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 18, n. 4, p. 391 – 400, 2016. Disponível em: <10.1007/s12355-015-0384-z>.

KWONG, K. F; PAUL, J. P.; DEVILLE, J. Drip fertigation: A means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. **Experimental Agriculture**, New York, v. 35, p. 31 – 37, 1999.

LANDELL, M. G. A.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; PINTO, L. R.; CRESTE, S. Manejo Varietal em Cana-de-açúcar. In: SEGATI, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J. C. M. (org). **Atualização em Produção de Cana-de-açúcar**, Piracicaba, SP, 2006. p. 57 – 69.

LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. PIEDADE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola**, Piracaba, v.66, n.2, p. 242 – 249, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000200014>>.

LEITE, J. M.; CIAMPITTI, I. A.; MARIANO, E.; MEGDA, M. X.V.; TRIVELIN, P. C. O. Nutrient partitioning and stoichiometry in unburnt sugarcane ratoon at varying yield levels. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, p. 1 – 14, 2016. Disponível em: <<http://10.3389/fpls.2016.00466>>.

MACHADO JUNIOR, G. R.; MATSUOKA, S.; RAIZER, A. J.; LANDELL, M. G. A.; SANTOS, E. G. D.; SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, R. A. Melhoria da cana-de-açúcar. In: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (Ed.). **Sistema de Produção Mecanizada da Cana-de-açúcar Integrada à Produção de Energia e Alimentos**. 1ª ed. Brasília, EMBRAPA, 2015. P. 115 – 175.

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

MARAFON, A. C. Análise quantitativa de crescimento em Cana-de-açúcar: Uma introdução ao procedimento prático. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, Aracaju, v. 168, n. 1, p. 31, 2012.

MATSUOKA, S.; SANTOS, E. G. D.; Ecofisiologia da brotação e desenvolvimento da cana-de-açúcar. In: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (Ed.). **Sistema de Produção Mecanizada da Cana-de-açúcar Integrada à Produção de Energia e Alimentos**. 1ª ed. Brasília, EMBRAPA, 2015. P. 115 – 175.

MEDINA, N. H.; BRANCO, M. L. T.; SILVEIRA, M. A. G.; SANTOS, R. B. B. Dynamic distribution of potassium in sugarcane. **Journal of Environmental Radioactivity**, Oxford, v. 126, p. 172 – 175, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.08.004>>.

MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 46f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

MOHAMMAD, M. J.; Utilization of applied fertilizer nitrogen and irrigation water by drip-fertigated squash as determined by nuclear and traditional techniques. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 68, p. 1 – 11, 2004.

MOORE, P. H.; PATERSON, A. H.; TEW, T. Sugarcane: The crop, the plant and domestication. In: Moore, P.; Botha, F. C. **Sugarcane: Physiology, biochemistry, and functional biology**. John Wiley & Son, New Delhi, India: Wiley Online Library, 2014. Chap 1, p. 1-18

MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA, A. B.; SANTOS, A. D. I.; OLIVEIRA FILHO, M. S.; SILVA, L. C. Diagnose nutricional de variedades de cana-de-açúcar em argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.11, p.1102–1109, 2014. Disponível: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1102-1109>>.

MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; KEATING, B. A. Effect of nitrogen on the time-course of sucrose accumulation in sugarcane. **Fields Crop Research**, London, v. 47, p. 143 – 153, 1996. Disponível em:<[https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00022-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00022-6)>.

NETO, E. B.; BARRETO, L. P.; **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Editora universitária da UFRPE, Recife, 261p.:il. 2011.

NUNES JÚNIOR, E. S.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. I.; LIMA, L. A.; BEZERRA, F. M. S.; ALVES, R. C. Nitrogen and potassium fertigation in bell pepper cultivated in greenhouse using fertigation managements. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 3, p. 186 – 190, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p186-190>>.

OHASHI, A. Y. P.; PIRES, R. C. M.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, A. L. B. O.; Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertigated by a subsurface drip system. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, 131 – 138, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0295>>.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada**. 2011. 203 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). ESALQ/USP, Piracicaba, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; MARIA BETÂNIA GALVÃO DOS SANTOS FREIRE. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 579 – 588, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.9, p.951–960, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000900007>>.

OLIVEIRA, A.; DAROS, E.; HOFFMANN, H. H.; **Liberção Nacional de variedades RB de cana-de-açúcar**. 1 ed. Curitiba: Graciosa, 2015. 75 p. : il., color.

OLIVEIRA, R. I.; MEDEIROS, R. M. F. A.; FREIRE, C. S. FREIRE, F. J.; SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, E. C. A. Nutrient partitioning and nutritional requirement in sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 10, n. 1, p. 69–75, 2016.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1137 – 1145, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400013>>.

- PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: Situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLLEGATI, M. V. (coord); **Fertirrigação: Citrus, flores, hortaliças**. Ed. Agropecuária, p. 460, 1999.
- PATIL, V. C.; NADAGOUDA, B. T.; AL-GAADI, K. A. Spatial Variability and Precision Nutrient Management in Sugarcane. **Journal of the Indian Society Remote Sensing**, v. 41, n. 1, 183 – 189, 2013. Disponível em: <10.1007/s12524-011-0181-4>.
- PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. Efeito da escória da siderurgia na química do solo e na absorção de nutrientes e metais pesado pela cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 4, p. 530 – 536, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000400014>.
- RAVIKUMAR, V.; VIJAYAKUMAR, G.; SIMUNEK, J.; CHELLAMUTHUA, S.; SANTHI, R.; APPAVU, K. Evaluation of fertigation scheduling for sugarcane using a vadose zone flow and transport model. **Agricultural Water Management**, Amsternam, v. 98, p. 1431 – 1440, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.012>.
- RHEIN, A. F. L.; PINCELLI, R. P.; ARANTES, M. T.; DELLABIGLIA, W. J.; KÖLLN, O. T.; SILVA, M. D. A. Technological quality and yield of sugarcane grown under nitrogen doses via subsurface drip fertigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 3, p. 209 – 214, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p209-214>.
- SANTANA, A. C. A. Estimativa dos teores de nitrogênio na folha diagnóstico e biomassa da cana-de-açúcar por espectrorradiometria. 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.
- SANTOS, R. L.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; BARBOSA, J. A.; MOURA, M. J. A. LOPES, N. R. C.; COSTA, L. G. A. F.; GUEDES, V. H. F.; OLIVEIRA, D. M. A.; SANTOS, M. B. C. Sampling of sugarcane leaves in field experiments to determine the activity of nitrate reductase. **Communications in soil science and plant analysis**, Philadelphia, v. 49, n. 1, p. 76 – 87, 2018. Disponível em: <http://10.1080/00103624.2017.1421648>.
- SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. I. C. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.389 – 396, 2009.
- SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 811 – 820, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300023>.
- SHUKLA, S. K.; YADAV, R. L.; SINGH, P. N.; SINGH, I. Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter initiated sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid complex) ratoon yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 30, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.06.005>.
- SILBER, A.; XU, G. LEVKOVITCH, I.; SORIANO, S.; BILU, A.; WALLACH, A. High fertilization frequency: the effects on uptake of nutrients, water and plant growth. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 253. p. 467 – 477, 2003.

SILVA, M. A.; JERONIMO, E. M.; LÚCIO, A. D. Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.8, p. 979 – 986, 2008.

SILVA, M. D. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedade e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 241–249, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000300001>>.

SIMÕES NETO, D. E.; Variedades de cana-de-açúcar no estado de Pernambuco contribuição do melhoramento clássico da RIDESA-UFRPE. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 5 e 6, p. 125 – 146, 2009.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; SANTOS, C. R. S.; DIAS, S. H. L. Rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and nutrient uptake in brazilian soil. **Geomicrobiology Journal**, Philadelphia, v. 26, 261 – 265, 2006. Disponível em: <<https://10.1080/01490450600760658>>.

SUMAN, A.; GAUR, A.; SHRIVASTAVA, A. K.; YADAV, R. L. Improving sugarcane growth and nutrient uptake by inoculating *Gluconacetobacter diazotrophicus*. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 47, n. 2 – 3, p. 155 – 162, 2005. Disponível em: <<https://10.1007/s10725-005-2847-9>>.

UCHÔA, S. C. P.; ALVES JÚNIOR, H. O.; ALVES, J. M. A.; MELO, V. F.; FERREIRA, G. B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505 – 513, 2009.

URIBE, R. A. M.; GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; SAAD, J. C. C. Estimativa do acúmulo de fitomassa da soqueira de cana-de-açúcar fertirrigada com doses de N-fertilizante utilizando modelo de simulação. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v.1, n. 1, p.126 – 139, 2016. Disponível em: <<https://10.15809/irriga.2016v1n1p126-139>>.

VASANTHA, S.; SHEKINAH, D. E.; GUPTA, C.; RAKKIYAPPAN, P. Tiller production, regulation and senescence in sugarcane (*Saccharum* species hybrid) genotypes. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 14, n. 2, p.156 – 160, 2012. Disponível em: <<https://10.1007/s12355-011-0129-6>>.

WIEDENFELD, R. P.; ENCISO, J. Sugarcane Responses to irrigation and nitrogen in semiarid South Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3, p. 665 – 671, 2008. Disponível em: <[10.2134/agronj2007.0286](https://doi.org/10.2134/agronj2007.0286)>.

WIEDENFELD, R. P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 43, p. 101 – 108, 1995. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00043-P](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00043-P)>.

XU, L.; HUANG, H.; YANG, L.; LI, Y. Combined application of NPK on yield quality of sugarcane applied through SSDI. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 12, n. 2, p. 104 – 107, 2010.

YANAI, J.; NAKATA, S.; FUNAKAWA, S.; NAWATA, E.; KATAWATIN, R.; KOSAKI, T. Effect of NPK application on growth, yield and nutrient uptake by sugarcane on a Sandy soil in northeast Thailand. **Tropical Agriculture Development**, v. 54, n. 4, p. 113 – 118, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.11248/jsta.54.113>>.

APÊNDICE A

Tabela 9. Função e parâmetros correspondentes ao acúmulo de biomassa seca

Grupo	função	a	b	x0	r ²
I		78,0029*	62,3448*	166,0212*	0,9200
II	Sigmoidal : $F(x)=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	92,7848*	63,3507**	191,7014*	0,9277
III		87,7073*	65,6687**	179,3807*	0,9579

x = dias após o plantio (DAP); *, ** Significativo no teste t ao nível de 1,0 % e 5,0 % de probabilidade; respectivamente; r² = coeficiente de determinação; Grupo I = RB867515, RB002754 e RB92579; Grupo II = RB036147; Grupo III = VAT90-212

Tabela 10. Funções e parâmetros correspondentes aos teores ponderados de nutrientes

Teor ponderado de N					
Grupo	função	y0	a	r ²	
I		8,4595 *	-0,0163 *	0,8845	
II	Linear : $F(x)=y_0+(ax)$	6,2854 **	-0,0081 **	0,5515	
III		6,3341 **	-0,0098 **	0,6475	
Teor ponderado de P					
Grupo	função	y0	a	r ²	
I		0,5349 *	-0,0008 *	0,6754	
II	Linear : $F=y_0+(ax)$	0,6313 *	-0,0114 *	0,9253	
III		0,6056 *	-0,0141 *	0,8248	
Teor ponderado de K					
Grupo	função	a	b	r ²	
I		104,7636 *	-0,0118 *	0,9509	
II	Linear : $F=a\exp(-bx)$	135,905 *	-0,0132 *	0,9178	
III		46,7921 *	-0,0060 *	0,8716	

x = dias após o plantio (DAP); *, ** Significativo no teste t ao nível de 1,0 % e 5,0 % de probabilidade; respectivamente; r² = coeficiente de determinação; Grupo I = RB867515, RB002754 e RB92579; Grupo II = RB036147; Grupo III = VAT90-212

Tabela 11. Funções e parâmetros correspondentes aos teores acúmulo de nutrientes

Acúmulo de N					
Grupo	função	a	b	x0	r ²
I		206,2312*	51,7158*	148,9901*	0,8642
II	Sigmoidal : $F(x)=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	261,1520*	55,9359*	182,6151*	0,9727
III		239,8150*	43,6406**	167,5260*	0,9631
Acúmulo de P					
Grupo	função	a	b	x0	r ²
I		33,1583*	45,2704*	151,2601*	0,8104
II	Sigmoidal : $F(x)=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	51,0084*	55,1625*	176,1790*	0,9873
III		47,1509*	56,5245*	209,5830*	0,9747
Acúmulo de K					
Grupo	função	a	b	x0	r ²
I		397,5230*	59,5289*	211,5060*	0,9230
II	Sigmoidal : $F(x)=a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$	405,7530*	44,7006*	189,3900*	0,9727
III		494,8340*	54,3395*	227,2460*	0,9378

x = dias após o plantio (DAP); *, ** Significativo no teste t ao nível de 1,0 % e 5,0 % de probabilidade; respectivamente; r² = coeficiente de determinação; Grupo I = RB867515, RB002754 e RB92579; Grupo II = RB036147; Grupo III = VAT90-212