

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

ANGELA JESSYKA PEREIRA BRITO FONTENELE

**VINHAÇA E TORTA DE FILTRO NA PRODUÇÃO E TEOR DE  
MACRONUTRIENTES DO SORGO SACARINO**

**RECIFE - PE**

**2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

ANGELA JESSYKA PEREIRA BRITO FONTENELE

**VINHAÇA E TORTA DE FILTRO NA PRODUÇÃO E TEOR DE  
MACRONUTRIENTES DO SORGO SACARINO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim

**RECIFE - PE**

**2019**

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

F683v Fontenele, Angela Jessyka Pereira Brito  
Vinhaça e torta de filtro na produção e teor de macronutrientes do  
sorgo sacarino / Angela Jessyka Pereira Brito Fontenele. – 2019.  
74 f. : il.

Orientador: Mário Monteiro Rolim.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE,  
2019.

Inclui referências.

1. Sorgo sacarino 2. Etanol 3. Biomassa 4. Adubos e fertilizantes  
orgânicos I. Rolim, Mário Monteiro, orient. II. Título

CDD 630

**VINHAÇA E TORTA DE FILTRO NA PRODUÇÃO E TEOR DE  
MACRONUTRIENTES DO SORGO SACARINO**

ANGELA JESSYKA PEREIRA BRITO FONTENELE

Tese defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2019.

---

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim (UFRPE)  
Orientador

---

Dr. José Nildo Tabosa (IPA)  
Examinador

---

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto (EECAC - URFPE)  
Examinador

---

Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior (URFPE)  
Examinador

---

Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva (UFRPE)  
Examinador

## **DEDICO**

A minha amada mãe Maria Odete e  
aos meus irmãos Talys Levy e Ulysses  
Fontenele pelo amor, apoio e por  
sempre acreditarem em mim.

### *Oração da Serenidade*

Deus,  
Conceda-me a serenidade  
Para aceitar aquilo que não posso mudar,  
A coragem para mudar o que me for possível  
E a sabedoria para saber discernir entre as duas.  
Vivendo um dia de cada vez,  
Apreciando um momento de cada vez,  
Recebendo as dificuldades como um caminho para a paz,  
Confiando que o Senhor fará tudo dar certo.

Amém.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço incondicionalmente em primeiro lugar a Deus, por estar sempre presente em minha vida, me iluminando e fortalecendo para batalhar por meus objetivos.

Agradeço a Universidade Federal Rural de Pernambuco e a todos os professores da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelos ensinamentos e por contribuírem de maneira acentuada à minha formação como profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade e aos amigos de profissão por todo apoio e receptividade.

Ao professor e orientador Dr. Mário M. Rolim, pela ajuda e conhecimentos repassados ao longo de todo trabalho, e pela experiência com ele adquirida na linha de pesquisa com aproveitamento de resíduos.

A Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante o período de realização do doutorado.

Eternamente grata a EECAC (Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina) e toda equipe sempre disposta a contribuir. Em especial ao diretor Dr. Djalma Euzébio Simões Neto.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. Principalmente ao Dr. José Nildo Tabosa, pela sua atenção, apoio e orientação primordiais para conclusão do experimento.

Agradeço infinitamente toda minha família, que mesmo de longe sempre apoiaram com muito amor meus projetos de vida.

Ao meu noivo e companheiro Aluizio Tavares Cordeiro Neto, pelo seu amor, amizade e compreensão, bem como pela sua contribuição na elaboração desse trabalho. Além de toda sua família, agradeço imensamente por todo acolhimento, carinho e respeito, foram fundamentais ao longo desses anos.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste sonho/trabalho, impossível citar todos os nomes. O auxílio e apoio, emocional e profissional de cada um foi especial e único. Lembrarei sempre com carinho e gratidão.

## SUMÁRIO

RESUMO: .....	viii
ABSTRACT: .....	ix
CAPÍTULO I.....	10
INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA .....	10
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
<b>1. BIOETANOL</b> .....	14
<b>2. SORGO E SUAS CARACTERÍSTICAS</b> .....	15
<b>3. APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS PELO SETOR SUCROENERGÉTICO</b> .....	20
<b>4. LITERATURA CITADA</b> .....	25
CAPÍTULO II.....	32
PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ETANOL DO SORGO SACARINO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO .....	33
<b>RESUMO:</b> .....	33
<b>ABSTRACT:</b> .....	33
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	34
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	36
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	40
<b>CONCLUSÕES</b> .....	48
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	48
CAPÍTULO III .....	53
TEORES DE MACRONUTRIENTES NO SORGO SACARINO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO.....	54
<b>RESUMO:</b> .....	54
<b>ABSTRACT:</b> .....	54
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	55
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	56
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	60
<b>CONCLUSÕES</b> .....	70
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	70

## VINHAÇA E TORTA DE FILTRO NA PRODUÇÃO E TEOR DE MACRONUTRIENTES DO SORGO SACARINO

### RESUMO:

O sorgo sacarino é uma cultura que vem se mostrando com potencial para complementar a cana-de-açúcar na produção do etanol. Aliado a isto, com a crescente demanda por biocombustível, gera grandes volumes de resíduos, que como a vinhaça e a torta de filtro, podem ser aplicados ao solo contribuindo com nutrientes para a cultura e consequentemente, reduzir os custos com fertilizantes minerais. Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a aplicação da vinhaça e da torta de filtro como adubo orgânico na cultura do sorgo sacarino, cultivar SF-15. O experimento foi realizado no período de fevereiro a julho de 2018, na Estação Experimental de Cana-de-açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada em Carpina, Zona da Mata de Pernambuco, com delineamento em blocos ao acaso, com doze tratamentos e quatro repetições. Adotou-se um esquema fatorial  $5 \times 2 + 2$ , que correspondem a cinco doses de vinhaça (0; 9; 18; 36 e  $72 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) com e sem aplicação de torta de filtro, e mais dois tratamentos adicionais com adubo mineral combinadas com e sem torta de filtro, totalizando quarenta e oito unidades experimentais. Foram analisadas a biomassa verde e seca da parte aérea da planta, altura de parte aérea, variáveis tecnológicas e produção de etanol, além do teor de macronutrientes em cada órgão superior do sorgo SF-15. Os resultados obtidos foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão. As médias dos tratamentos com uso de torta de filtro foram comparadas entre si pelo teste de Tukey. As médias dos tratamentos adicionais foram contrastadas com os resultados obtidos das médias dos tratamentos do fatorial. Com base nos resultados do estudo, verificou-se diferença significativa entre as doses de vinhaça e aplicação da torta de filtro. A aplicação da torta incrementou a produtividade do sorgo SF-15 e a produção de etanol. Constatou-se a ordem decrescente do teor dos nutrientes na parte aérea do sorgo sacarino SF-15:  $K > N > Mg \geq Ca > S > P$ . Os melhores resultados foram obtidos com vinhaça associada a  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$  de torta de filtro.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, etanol, biomassa, adubação orgânica.

## VINASSE AND FILTER CAKE IN THE PRODUCTION AND CONTENT OF MACRONUTRIENTS OF SWEET SORGHUM

### ABSTRACT:

Sweet sorghum is a crop that has been shown to have potential to complement sugarcane in the production of ethanol. Associated with this, with the increasing demand for biofuel, it generates large amounts of residues, such as vinasse and filter cake, which can be applied to the soil to contributing with nutrients to the crop and, consequently, reducing costs with mineral fertilizers. In this context, the objective of this work was to evaluate the application of vinasse and filter cake as organic fertilizer in the sweet sorghum crop, SF-15 cultivar. The experiment was carried out from February to July of 2018, at the Experimental Station of Sugarcane the University Federal Rural of Pernambuco, in Carpina, Zona da Mata, state of the northeast region Pernambuco. with a randomized block design, with twelve treatments and four replications. A  $5 \times 2 + 2$  factorial scheme was used, corresponding to five doses of vinasse (0; 0; 9,0; 18,0; 36,0 and 72,0  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) with and without filter cake application and two additional treatments with mineral fertilizer combined with and without filter cake, totalizing forty-eight experimental units. The green and dry biomass of the aerial part of the plant, shoot height, technological variables and ethanol production were analyzed, as well as the macronutrient content of each organ of sorghum SF-15. The results were interpreted through analysis of variance and regression. The means of the treatments using filter cake were compared by the Tukey test. The means of the additional treatments were contrasted with the results obtained from the means of the factorial treatments. Based on the results of the study, it was verified a significant difference between the vinasse doses and the filter cake application. The application of filter cake increased the SF-15 sorghum yield and the ethanol production. The decreasing order of nutrient content in the aerial part of SF-15 sorghum was observed:  $\text{K} > \text{N} > \text{Mg} \geq \text{Ca} > \text{S} > \text{P}$ . The best results were obtained with vinasse associated with 20  $\text{Mg ha}^{-1}$  of filter cake.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, ethanol, biomass, organic fertilization.

## **CAPÍTULO I**

---

### **INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA**

## INTRODUÇÃO GERAL

A produção de bioenergia está em plena expansão e vem se destacando na agricultura moderna, mas foi em 1975 com a implantação do Programa Nacional do Alcool - Proálcool, que o país passou a liderar o mais importante programa de substituição de combustível fóssil por renovável. Neste contexto, o cultivo de culturas agro-energéticas, ou seja, culturas utilizadas para produção de energia é uma opção ao uso dos combustíveis derivados do petróleo (VEIGA FILHO & RAMOS, 2006).

Os biocombustíveis, principalmente, o biodiesel e etanol, apresentam-se como uma das possibilidades renováveis para substituição dos carburantes provenientes de petróleo e para redução da liberação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, contribuindo para sustentabilidade do planeta e para a redução do aquecimento global, já que esses combustíveis produzem menores impactos ambientais em comparação aos combustíveis fósseis. Vale salientar que o etanol é de grande importância mundial, uma vez que é reconhecido como produção limpa e renovável, se enquadrando no conceito de produto ambientalmente correto, conseqüentemente se tornando uma alternativa para a mitigação do efeito estufa (MILANEZ & MANCUSO, 2018).

Atualmente a cana-de-açúcar é considerada como matriz principal da matéria-prima destinada à fabricação de etanol, porém sua produção é fortemente limitada pelas exigências edafoclimáticas e está diretamente relacionada à disponibilidade de água (RATNAVATHI et al., 2010). Sob essa óptica surge a demanda da diversificação das fontes de biomassa para a produção de etanol, e o sorgo sacarino é uma alternativa que está sendo implementada com futuro promissor, por possuir açúcares diretamente fermentáveis (glicose, frutose e sacarose), fato que contribui para a simplificação do processo, apresentando menor custo de produção e maior eficiência energética, quando comparadas a fontes amiláceas como milho (EKEFRE et al., 2017).

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma cultura agrícola rústica com aptidão para áreas tropicais, subtropicais e temperadas, tolerante a estresses abióticos e podendo ser cultivado em diferentes tipos de solos e sob condições salinas (ALMODARES & HADI, 2009; VASILAKOGLU et al., 2011). Com isso, vem ganhando espaço nas indústrias sucroalcooleiras o cultivo do sorgo complementando a produção de açúcar e etanol nos períodos de entressafra da cana-de-açúcar, proporcionando matéria prima durante todo o ano.

O processo para produção de etanol gera vários resíduos, destacando-se a vinhaça e a torta de filtro. Esses resíduos foram por muito tempo descartados erroneamente na natureza, lançados em cursos d'água como forma de descarte, causando enormes impactos ambientais. Uma das formas de utilização da vinhaça e da torta de filtro adotada pelos produtores é a sua aplicação em solos como fertilizantes orgânicos, sendo atualmente chamados de subprodutos. A utilização de resíduos da indústria sucroalcooleira é uma necessidade não só do ponto de vista ambiental, mas também uma forma de evitar desperdício de materiais que podem vir a gerar lucros (BETTANI et al., 2019).

Assim, no meio agrícola a vinhaça é utilizada principalmente como fonte de potássio, e a torta de filtro destaca-se pelo fornecimento de fósforo. Estudos apontam que esses dois resíduos contêm porcentagens apreciáveis de matéria orgânica e de outros elementos essenciais às plantas, por isso seus benefícios quando utilizados nas agroindústrias como fonte de nutrientes (OLIVEIRA et al., 1999).

Nos fertilizantes minerais os nutrientes são imediatamente disponibilizados e podem ser perdidos por volatilização (em especial o N), fixação (P) ou lixiviação (principalmente o K). Isto não ocorre com a utilização do adubo orgânico, já que a liberação dos nutrientes ocorre de modo gradual à medida que são demandados para o crescimento da planta, se constituindo em mais uma vantagem em relação à aplicação de fertilizantes minerais (SEVERINO et al., 2004).

Um estudo feito por Barbosa et al. (2012), objetivando avaliar o efeito da aplicação da vinhaça e da fertirrigação mineral via irrigação por gotejamento subsuperficial, concluiu que a fertirrigação com vinhaça supriu o N e o K, proporcionando maior °Brix e produção de colmos, quando comparada ao cultivo não irrigado.

Com a premissa de que o fósforo é encontrado em baixa quantidade nos solos brasileiros e a falta desse elemento provoca distúrbios no metabolismo e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN & BLOOM, 2006), uma alternativa para aumentar a disponibilidade de fósforo em áreas cultivadas é a aplicação de fertilizantes fosfatados, ou ainda, resíduos orgânicos ricos em fósforo, como a torta de filtro.

Contudo, é de vital importância estudar como a quantidade e a qualidade do sorgo sacarino produzido e a influência tanto da vinhaça como da torta de filtro na capacidade das plantas em absorver nutrientes, por exemplo, pode ser decorrente de suas características morfológicas. Acredita-se que a ação conjunta de fatores como variedades, idade da planta, clima, disponibilidade hídrica e de nutrientes, como o potássio e o fósforo, afetam o seu desenvolvimento e a qualidade produtiva.

Porém, são poucos os trabalhos que relatam o efeito conjunto desses resíduos no sorgo sacarino. Dessa maneira, justifica-se o conhecimento das respostas da cultura a diferentes doses de vinhaça e à aplicação da torta de filtro, definindo o manejo a ser praticado, visando um maior rendimento e um produto de melhor qualidade, e consequentemente, um elevado retorno econômico para os produtores.

Assim, objetivou-se por meio desse trabalho avaliar o crescimento, a produtividade e o teor de macronutrientes do sorgo sacarino submetido à aplicação de vinhaça e torta de filtro.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 1. BIOETANOL

A bioenergia é a alternativa de combustível limpo em substituição às energias convencionais que vem ganhando espaço na matriz energética mundial. Para suprir a crescente demanda por energia derivada de fontes menos poluentes como o petróleo, faz-se necessário ampliar a oferta de energia proveniente de fontes alternativas e/ou renováveis, tais como eólica, solar e da biomassa, pois contribuem também para a redução da emissão de dióxido de carbono no ar atmosférico. O Brasil é pioneiro no uso de fontes renováveis e dispõe de uma posição única no mundo, com todas aquelas fontes para ampliar a produção e o uso de energias limpas (GIACOMINI et. al., 2013; FARINA & RODRIGUES, 2018).

Os biocombustíveis são combustíveis produzidos pelos recursos naturais renováveis (biomassa) que dispõem de bioenergia e que podem ser processados para fornecer formas bioenergéticas mais elaboradas e adequadas para o uso final. O bioetanol pode ser considerado uma matéria-prima para a obtenção de uma ampla gama de produtos tradicionalmente petroquímicos, a partir de sua conversão mediante processos de primeira ou segunda geração. À medida que a demanda por combustíveis aumenta, intensifica-se a pesquisa por fontes renováveis de energia, com isso diferentes culturas bioenergéticas são empregadas para a produção de etanol (MILANEZ & MANCUSO, 2018).

A depender da matéria-prima e de suas tecnologias o etanol pode ser classificado de duas formas: etanol de primeira geração e de segunda geração. No primeiro caso é obtido a partir da sacarose, podendo ser de fontes como a cana-de-açúcar, sorgo sacarino e beterraba sacarina, sofrendo a fermentação direta desses açúcares. Por outro lado, o etanol de segunda geração pode ser derivado de materiais amiláceos, que contenham quantidades significativas de amido ou açúcares, tais como grãos de milho e trigo, ou produzido a partir de materiais lignocelulósicos, conversão da celulose e hemicelulose em etanol, inserindo resíduos de culturas, tais como palha de arroz, bagaço de cana-de-açúcar e palha de milho e materiais lenhosos (resíduos agrícolas e materiais orgânicos) (CGEE, 2009).

Neste contexto, a energia renovável oferece uma gama de opções para atender a crescente demanda de energia, particularmente na busca pelo desenvolvimento econômico levando em consideração as questões sociais e ambientais.

Dentre as culturas bioenergéticas voltadas para a produção de combustível líquido, como o etanol, pode-se destacar que a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima

renovável, porém a cultura do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) ganha relevância no cenário nacional brasileiro, podendo ser cultivada na entressafra da cana-de-açúcar, complementando a produção de etanol (LUCENA et al., 2018).

No Brasil, os estudos com sorgo sacarino visando à obtenção de etanol tiveram início na década de 70 com a crise do petróleo e com a criação do Programa Nacional do Alcool (Proálcool) mediante o Decreto 76.593 de 14/11/1975. Tais estudos buscavam novas e modernas fontes renováveis de matérias primas para a produção de biocombustível (etanol) (XIMENES et al., 1988).

O sorgo destaca-se com a elevada produtividade conseguida em períodos compatíveis com o funcionamento das usinas e destilarias além de apresentar colmos com caldo semelhante aos da cana, rico em açúcares fermentáveis. Também pode servir para a produção de etanol na mesma instalação utilizada pela cana-de-açúcar, mostrando-se ser economicamente viável, tanto agronomicamente quanto industrialmente (ANANDAN et al., 2012).

A sua utilização para a produção de etanol tem sido profundamente pesquisada, e é passível de melhorias, pois os múltiplos usos e o aproveitamento de toda a matéria-prima (caldo, bagaço e folhas) são fundamentais para viabilizar a produção de etanol, ressaltando que a composição de cada uma destas frações definirá as etapas do processo a ser utilizado para a conversão da biomassa em etanol (GOMES et al., 2011).

Os mercados para os usos de bioetanol são significativos, uma vez que o fator decisivo para esse desenvolvimento é o preço relativo do bioetanol frente aos demais combustíveis. Estima-se que até 2024 a demanda por etanol possa alcançar quase 39 bilhões de litros (OCDE-FAO, 2015).

## **2. SORGO E SUAS CARACTERÍSTICAS**

A origem do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) está provavelmente na África Oriental (Sudão e/ou Etiópia), embora haja algumas indicações que possam ter existido dois territórios de dispersão independentes: África e Índia. Segundo registros arqueológicos sua domesticação deve ter acontecido por volta de 3000 a.C., na época em que a prática da domesticação e cultivo de outros cereais era introduzida no Egito Antigo a partir da Etiópia e supostamente foi introduzido no Brasil no século XX pela região nordeste (FORNASIERI FILHO & FORNASIERI, 2009).

O sorgo é uma planta que pertence à família Poaceae e gênero *Sorghum*, que é constituído por gramíneas de ciclo curto e que apresentam mecanismo fotossintético C4 (CARRILLO et al., 2014), isto é, são plantas que suportam elevados níveis de radiação solar, respondendo com altas taxas fotossintéticas, minimizando a abertura dos estômatos e consequente perda d'água. Assim, o aumento da intensidade luminosa reflete em maior produtividade, desde que as demais condições sejam favoráveis (SOLANO et al., 2017).

Com a evolução e domesticação, o sorgo foi se encaixando agronomicamente em diferentes tipos que compreendem: sorgo granífero, sorgo sacarino, sorgo forrageiro, sorgo vassoura, sorgo biomassa (energia) e ainda o de duplo propósito, todos com múltiplas características e importância econômicas diferentes (Figura 1) (RIBAS et al., 2007; TABOSA, 2010; MAY et al., 2013). Por essa variabilidade entre ser capaz de atender diversos mercados, interesses e necessidades em todo o planeta, ele se torna uma cultura especial.

Figura 1: Tipos de sorgo e características agrônômicas

Tipos de Sorgo	Características	Produto	Utilização
Granífero	Porte baixo (híbridos e variedades), adaptado à colheita mecânica.	Grão	Substituto do milho na ração animal (bovinos, suínos e aves). Alimentação humana (farinha). Industrialização de produtos: amido, cera, cerveja, óleo, etc.
Sacarino	Porte alto (híbridos e variedades) acumulam sacarose no colmo.	Colmo e grão	Utilizado na produção de xaropes que substitui o açúcar como adoçante na indústria; produção de etanol e alimentação animal.
Forrageiro	Variedades de capim sudão ou híbridos ( <i>Sorghum bicolor</i> x <i>Sorghumsudanense</i> ).	Alto teor de fibra	Apropriado para confecção de silagem, pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta.
Vassoura	Possui panículas com fibras longas.	Panícula	Uso restrito: vassouras, escovas e ornamentação.
Energia	Porte alto (até seis metros), rápido crescimento e alto potencial produtivo.	Biomassa	Cogeração de energia.
Duplo propósito	Porte alto e fibroso, contém sacarose no colmo.	Fibra e sacarino	Forragem e produção etanol.

Fonte: Ribas et al. (2007); Tabosa et al. (2010); May et al. (2013).

É considerada uma cultura versátil e eficiente, pois o uso do sorgo se estende desde os seus grãos como alimento humano, responsável por grande parte da alimentação básica mundial e largamente utilizada na alimentação animal (RIBAS, 2003), além de produzir açúcares no colmo de forma semelhante à cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), com alta conversão de energia solar em energia química. O potencial energético da biomassa (caldo, bagaço, palhada e grãos) é alto, e toda a energia do sorgo sacarino pode ser transformada com a tecnologia atual, tornando-se uma espécie muito atraente para exploração de energia (MAGALHÃES et al., 2003; EMBRAPA, 2012).

O ciclo da cultura varia de acordo com o tipo, e para cada um há uma variação de maturação, como nos tipos forrageiro e sacarino, que são mais tardios, em torno de 120 dias, enquanto o granífero é mais precoce, por volta dos 90 dias após a semeadura (TABOSA et al., 2008).

Como observado na figura 1, para a produção de etanol é empregado o sorgo sacarino, que se caracteriza por produzir biomassa e alto teor de açúcar fermentável em seus colmos que, uma vez industrializados, transformam-se em etanol. O sorgo sacarino é definido por ser uma cultura de ciclo rápido, em média 120 dias, porém, são muitas as variações encontradas na literatura. Provavelmente devido aos diferentes locais, épocas de semeadura e, principalmente, ao tipo de material utilizado (ALMODARES & HADI, 2009).

Torna-se necessário que se estabeleça um critério para se determinar o ponto ótimo de colheita do sorgo sacarino, isto é, estágio em que as plantas (colmos) apresentam conteúdos máximos de açúcares e de caldo, já que existem características da matéria-prima que devem ser observadas no sorgo sacarino para produção de etanol, tais como: produtividade mínima de biomassa de 60 Mg ha<sup>-1</sup>; conteúdo mínimo de açúcar total no caldo de 14%; produção de etanol de 60 L t<sup>-1</sup>, além de apresentar resistência às principais doenças (antracnose, helmintosporiose, ferrugem, cercosporiose e míldio) e insetos-praga (lagarta-do-cartucho e broca-da-cana) (PARRELA, 2011).

Estudos mostram que a melhor época da colheita do sorgo depende do tipo de sorgo para a específica finalidade que o produtor deseja. Nesse sentido, a melhor etapa de colheita na grande maioria das cultivares de sorgo sacarino, que resulta em valores mais satisfatórios para os constituintes químico-tecnológicos, eficiência fermentativa e produtividade, é identificada pela fenologia da planta, sendo após o florescimento da cultura, a partir da fase de grão leitoso/pastoso (LIMA et al., 2010; SILVA et al., 2014; VIANA et al., 2017).

No mundo foram produzidos quase 60 milhões de toneladas de sorgo granífero em 2016, enquadrando-se como quinto cereal mais produzido para a alimentação humana e animal, e tendo como principais produtores os EUA que lideram a produção mundial de sorgo, seguida por Nigéria, México, Índia, Argentina, China, Etiópia, Sudão, Austrália e Brasil (USDA, 2017).

O sorgo é tratado como uma cultura rústica devido à sua capacidade de adaptação a estresses ambientais, principalmente a déficits hídricos, possuindo também alta tolerância a solos com baixa fertilidade, entretanto, para ganhos de produtividade e rendimento é imprescindível à aplicação de fertilizantes, técnicas de plantio e de manejo da cultura, como por exemplo, profundidade de plantio (DURÃES, 2011).

A temperatura ótima para crescimento dessa cultura está por volta de 33 - 34°C. Baixas temperaturas limitam o desenvolvimento da maioria das cultivares, causam redução na área foliar, perfilhamento, altura, acumulação de matéria seca e um atraso na floração. É cultivado principalmente onde a precipitação anual se situa entre 375 e 625 mm ou onde esteja disponível irrigação suplementar (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2009). Segundo Tabosa et al. (2008), o cultivo do sorgo é indicado e se comporta bem em regiões semiáridas, por ser resistente ao estresse hídrico, e se adapta a uma ampla faixa de condições de solo.

É uma planta propagada por sementes, totalmente mecanizável e possível de ser processada com a mesma tecnologia industrial desenvolvida para a cana, tornando-a assim a cultura que mais se adapta ao setor sucroalcooleiro, principalmente quando cultivada no verão. O seu alto teor de açúcares diretamente fermentáveis contidos no colmo e a elevada produção de biomassa colocam o sorgo sacarino como uma cultura complementar visando fornecer matéria prima de qualidade durante a entressafra da cana-de-açúcar para produção de etanol, de forma a reduzir a instabilidade do mercado no Brasil. Esses aspectos têm despertado o interesse de muitos produtores no cultivo do sorgo sacarino, que recentemente voltou a ser alvo dos programas de melhoramento genético em diversos países (MAY et al., 2013).

Variedades de sorgo sacarino, que se distingue pelo aumento da produção de caule e alto teor de carboidratos solúveis, foram desenvolvidos para serem utilizados como matéria-prima para a produção de etanol na entressafra da cana (SILVA et al., 2014). Visto que se assemelha à cana-de-açúcar por armazenar, em seus colmos, grandes quantidades de açúcar e fornecer bagaço. A utilização do sorgo para produção de etanol tem como objetivo somar à cana-de-açúcar, assumindo uma posição de destaque, por diminuir a ociosidade

das indústrias canavieiras na produção de etanol, ocupando deste modo o espaço de entressafra da cana-de-açúcar, como uma cultura complementar, dando oportunidade à rotação de culturas e proporcionando um período anual completo (QUEIROZ et al., 2013).

Em trabalho realizado sob condições irrigadas, Tabosa et al. (2013) encontraram valores da ordem de 147,3 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria verde com a variedade SF-15 de colmo sacarino em um único corte no Estado de Sergipe.

Masson et al. (2015), estudando parâmetros de qualidade tecnológica do sorgo sacarino como brix e açúcares redutores totais (ART) encontraram para as duas variáveis, valores superiores a 15%, grandezas essas, recomendadas para o processamento, considerado potencialmente satisfatório para procedimento industrial, objetivando a produção de bioetanol, possibilitando a redução do período de entressafra canavieira.

Outra característica dessa cultura é possuir um sistema radicular desenvolvido, que o torna eficiente na utilização de nutrientes do solo, porém, as quantidades de nutrientes por ele absorvidos dependem da cultivar, das condições de clima, da fertilidade do solo e das técnicas culturais aplicadas (FORNASIERI FILHO & FORNASIERI, 2009). A altura da planta pode variar entre 40 cm e 4 m, dependendo da sua genética. Com relação ao sistema radicular, é considerado bem desenvolvido, sendo capaz de chegar até 1,50 m de profundidade e 2,0 m de alcance lateral (MAGALHÃES et al., 2000).

Malavolta (2006) destaca que o potássio, é necessário para a formação dos açúcares e do amido e para seus transportes até os órgãos de reserva. Com isso, adubações potássicas são indispensáveis, principalmente no que se refere ao aumento dos teores de carboidratos, constituinte fundamental para a produção de etanol.

A estimativa das exigências nutricionais das culturas é de extrema importância, pois permite a determinação da adubação e manutenção das quantidades e épocas de aplicações de fertilizantes, proporcionando redução dos custos de produção, através da utilização racional e eficiente dos insumos.

Porém, vale destacar que na literatura existem poucos estudos sobre a demanda nutricional, principalmente com avaliações de micronutrientes da cultura do sorgo sacarino, ao mesmo tempo que, os dados existentes são de experimentos antigos, como os de Rosolem & Malavolta (1981). Esses autores obtiveram produtividade de massa seca de 14 a 16 Mg ha<sup>-1</sup> para as cultivares de sorgo sacarino (Brandes e Rio) adubadas com doses altas de nutrientes (150 kg ha<sup>-1</sup> de N; 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). Esses autores observaram ainda que a extração de nutrientes pela planta seguiu a seguinte ordem: K > N > Ca > Mg > P > S > Fe > B > Mn > Zn > Cu, o que evidencia a importância deste

trabalho com doses de vinhaça, composta em sua maioria por potássio (MARQUES, 2006).

Essa ordem de exigência de macronutrientes foi confirmada por Coelho (2011), onde observou que os nutrientes K e N são os nutrientes mais exigidos pelo sorgo, seguindo-se de cálcio, magnésio e fósforo.

### **3. APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS PELO SETOR SUCROENERGÉTICO**

O setor sucroalcooleiro no Brasil está em expansão, e como consequência da destilação do caldo fermentado da cana-de-açúcar para produção de etanol há incrementos na geração de subprodutos como vinhaça, torta de filtro, águas residuárias, cinzas de caldeira, fuligem, entre outros.

No cenário atual da agricultura a adubação orgânica vem sendo uma prática bem quista, pois além ser um método ambientalmente viável, permite a disponibilidade de diversos elementos químicos, tais como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes. Além de favorecer com o fornecimento de nutrientes para as plantas, também contribui através da adição de matéria orgânica e com a microflora do solo, promove a melhoria da estrutura física, colaborando com a capacidade de absorção de água para suprir às deficiências hídricas. Como consequência, as plantas se desenvolvem melhor aumentando a produção das culturas (SANTIAGO & ROSSETO, 2009).

A vinhaça, também conhecida como vinhoto, trata-se de um resíduo líquido de coloração marrom escura, de caráter ácido, com alto poder poluidor. Esse resíduo foi por muito tempo lançado nos cursos d'água, proliferando microrganismos que promoviam o esgotamento do oxigênio existente na água e conseqüentemente a destruição da flora e fauna aquáticas, dificultando o uso da água para fins de abastecimento público (ORTEGÓN et al., 2016). Observando os desastres ecológicos provocados por esse descarte incorreto, a crescente responsabilidade com o meio ambiente foi mobilizando vários segmentos da agricultura moderna, e desenvolvendo estudos para utilização de técnicas adequadas que minimizem os impactos negativos na natureza, visando o controle da poluição (NASPOLINI et al., 2017).

Lamo (1991), cita que para cada litro de etanol produzido são gerados em torno de 10 a 14 litros de vinhaça. Deste modo, entre as diversas alternativas, as usinas têm utilizado a vinhaça em áreas agrícolas, através da fertirrigação, pois este é um material de

origem orgânica, sem presença de metais pesados ou contaminantes que impeçam o uso agrícola racional.

Usualmente, a prática de aplicação da vinhaça ao solo é comum nos sistemas de produção da cana-de-açúcar, pois a vinhaça contém componentes do vinho, vinhoto ou restilo, não arrastados na fase de destilação, além de quantidades residuais de açúcar e álcool e é composta em sua maioria, por 93% de água e 7% de sólidos, 75% dos quais correspondem à matéria orgânica. A fração sólida é constituída, principalmente, de compostos orgânicos e elementos minerais, dos quais cerca de 20% é K, sendo determinante para o estabelecimento da dose que deve ser aplicada nos solos (MARQUES, 2006).

A vinhaça apresenta elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), características que a torna um efluente altamente poluidor, somando-se a isso o fato de apresentar-se como solução tamponada com pH em torno de 4,3, quando obtida em altas temperaturas, propriedades essas que lhe dão maior potencialidade corrosiva (LAIME et al., 2011), chegando a ser 100 vezes maior que o do esgoto doméstico, o que explica seu elevado valor fértil (FREIRE & CORTEZ, 2000).

A vinhaça é principalmente fonte de K, contém porcentagem apreciável de matéria orgânica, mostrando ainda quantidades notáveis de outros elementos essenciais à nutrição das plantas, como por exemplo: Ca, Mg,  $SO_4^{-2}$  e quantidades razoáveis de N e P, segundo Glória & Orlando Filho (1984). Vale ressaltar que esses autores também afirmam que as quantidades são variáveis com o tipo de vinho a ser destilado, com a natureza e composição da matéria prima, com o sistema usado no mosto, com o método de fermentação adotado e com o sistema de condução da fermentação alcoólica, com a raça da levedura, com os equipamentos de destilação, com o modo de destilação e do tipo de flegma.

A vinhaça usada como fertilizante permite alcançar o objetivo de não poluir o ambiente e esse uso poderá também reduzir o custo com insumos, podendo até mesmo substituir a adubação mineral, gerando resultados positivos. Eventuais efeitos maléficis causados aos solos e/ou às plantas foram normalmente decorrentes de seu uso inadequado, isto é, doses excessivas ou aplicação em solos não apropriados, ou seja, que já sejam férteis naturalmente. Por estas razões, para a aplicação racional de vinhaça, devem-se considerar a sua composição básica, o estudo das condições do solo que a receberá e a cultura que será fertilizada (GLORIA, 1975).

Os benefícios agronômicos e econômicos do uso da vinhaça são óbvios. Porém, o uso indiscriminado desse resíduo gera sérios danos ambientais podendo até contaminar as fontes de água superficial e subterrânea, e o excesso de K pode desregular diversas funções estruturais e metabólicas da planta, levando a redução no rendimento das culturas ou mesmo a sua morte em curto prazo de tempo, sendo capaz também de causar acidificação, diminuição da oxigenação e aumento da carga orgânica no solo em médio e longo prazo (MIJANGOS-CORTES et al., 2014).

Canella et al. (2003), observando os efeitos principais da vinhaça sobre os atributos químicos do solo, constataram melhoria na fertilidade do solo, proporcionando aumento no teor de matéria orgânica, elevação no pH e aumento nos teores de macro e micronutrientes. Essa consequência de elevação do pH ocorre devido à sua elevada demanda bioquímica de oxigênio. Em tais condições, íons  $H^+$  passam a trabalhar como aceptores finais de elétrons. Como resultado do seu consumo, o pH eleva-se temporariamente. Esse processo está relacionado com a decomposição da matéria orgânica da vinhaça, que é altamente passível de ser decomposto (DOELSCH et al., 2009).

Segundo Malavolta (2006), o potássio, é necessário para a formação dos açúcares e do amido e para seus transportes até os órgãos de reserva. Portanto, adubações com esse nutriente são de fundamental importância, principalmente no que se refere ao aumento dos teores de carboidratos, constituinte fundamental para a produção de etanol.

A prática da aplicação de vinhaça é difundida nos canaviais e ganhou espaço significativo, pois além de oferecer um descarte de forma sustentável para o aproveitamento desse subproduto, Magalhães (2010) relata as vantagens como: requerimento de baixo investimento inicial, baixo custo de manutenção, rápida disposição para sua aplicação e não usa tecnologia complexa, assim como também, sua aplicação pode ser realizada por vários métodos, como: aspersão convencional, autopropelido, sulcos de infiltração e caminhões-tanque.

Silva et al. (2014), conduziram um experimento durante aproximadamente 3 anos no município de Campo Grande - Mato Grosso do Sul, com o intuito de analisar o efeito da aplicação de cinco doses de vinhaça (0, 100, 200, 400 e 800  $m^3 ha^{-1}$ ) em alguns atributos químicos do solo e na produtividade de colmos de cana-de-açúcar. O ensaio foi conduzido em solo classificado como Neossolo Quartzarênico órtico e a variedade estudada de cana-de-açúcar a RB855536. Os resultados do experimento mostram claramente que o uso de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar tem potencial de aumentar a produtividade de colmos

em torno de  $10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  em solos arenosos. Os autores sugerem que para o solo estudado, podem ser aplicados até  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça.

Estudos foram realizados por Ruiz et al. (2015) em Cuba, onde a vinhaça ainda não possuía gerenciamento adequado e uso racional, com o propósito de avaliar seus benefícios como fertilizante para a cultura da cana-de-açúcar. No estudo foram utilizadas duas doses de vinhaça ( $60$  e  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), a aplicação de NPK recomendada pelo Serviço de Recomendações e emendas de fertilizantes (SERFE) e um controle absoluto (tratamento não fertilizado), foram avaliados os efeitos da aplicação da vinhaça sobre indicadores morfológicos da cultura e algumas propriedades químicas do solo. Os resultados demonstraram que a dose correspondente de  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça mostrou as melhores respostas em termos de indicadores de crescimento, como: o número de perfilhos, diâmetro do caule e altura da planta. Quanto às avaliações do solo, as aplicações da vinhaça responderam aumentando o conteúdo de fósforo e potássio assimiláveis, embora não tenha influenciado o valor do pH no solo, como mostram alguns estudos. Os dados obtidos permitiram identificar o potencial da vinhaça como alternativa para fertilização na cana-de-açúcar, observando sempre os melhores resultados com  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  do tratamento aplicado, sugerindo então essa dose para a melhor produtividade da cana-de-açúcar na região.

Diante do exposto, baseando-se em referências consistentes na literatura nacional e internacional, pode-se concluir que a vinhaça é um resíduo altamente benéfico ao solo, como fonte de nutrientes e matéria orgânica, contribuindo nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e como resultado, esses benefícios se estendem para a melhor produtividade das culturas e sua qualidade para o processamento industrial (TASSO JÚNIOR et. al., 2007; VASCONCELOS et. al., 2017)

Porém, o uso indiscriminado desse resíduo gera sérios danos ambientais podendo até contaminar as fontes de água superficial e subterrânea, e o excesso de K pode desregular diversas funções estruturais e metabólicas da planta, levando à redução no rendimento das culturas ou mesmo a sua morte em curto prazo de tempo, sendo capaz também de causar acidificação, diminuição da oxigenação e aumento da carga orgânica no solo em médio e longo prazo (MIJANGOS-CORTES et al., 2014).

Além disso, ainda existem produtores que supõem que ao aplicar doses de vinhaça mais elevadas, pode-se esperar um aumento nos lucros, tanto no que diz respeito à economia com fertilização quanto para aumentar o rendimento agrícola. Mas, como mencionado, esse excesso pode desregular diversos fatores no solo e na planta. Por isso, estudos detalhados para compreender e recomendar doses adequadas nas diferentes classes

de solos brasileiros são fundamentais, pois a influência desse resíduo depende de uma série de fatores como, sua concentração, clima local (chuva) e na capacidade de retenção do solo (BRITO et al., 2009; FREITAS et al., 2017).

Como mencionado anteriormente, outro resíduo orgânico usualmente aproveitado da agroindústria sucroalcooleira que pode ser aplicado ao solo é a torta de filtro, e seu modo de aplicação é testado de diferentes formas nas unidades de produção, desde a aplicação em área total até nas entrelinhas ou nos sulcos de plantio, obtendo assim, benefícios para o solo e bons rendimentos na produção.

Santana & Souza (1984), descrevem a torta de filtro como um resíduo industrial da purificação do caldo nas usinas de açúcar, também conhecido pelos nomes de lodo ou bagacilho. É composta da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, obtida nos filtros rotativos após a extração da sacarose residual da borra.

Relatórios mostram que são gerados em média de 30 a 40 kg desse resíduo para cada tonelada de cana processada (SANTOS et al., 2011).

A importância da utilização da torta de filtro no solo resulta não somente da destinação adequada do grande volume desse resíduo que é gerado, mas também pela economia de insumos que se obtêm com a prática do seu aproveitamento na forma de fertilizante e condicionador do solo, isto é, melhorando a propriedades físico-químicas do solo, principalmente por ser uma forma de preservar o meio ambiente, reduzindo a poluição ambiental (NOGUEIRA et al., 2013).

Ferreira et al. (1986) apresentam a composição média da torta de filtro expressa em % da matéria seca sendo 77 a 85% de matéria orgânica; 1,1 a 1,4 de N; 1,04 a 2,55 de  $P_2O_5$ ; 0,3 a 0,96 de  $K_2O$ ; 4,07 a 5,46 de CaO; 0,15 a 0,56 de MgO e 2,70 a 2,96 de S. Nunes Júnior (2008) completa esta composição mostrando que a torta de filtro também é rica em micronutrientes, sendo 0,8 a 1,2  $mg\ dm^{-3}$  de Ferro, 500 a 800  $mg\ dm^{-3}$  de Manganês, 40 a 80  $mg\ dm^{-3}$  de Cobre e 150 a 220  $mg\ dm^{-3}$  de Zinco.

A composição química varia conforme a variedade da cana, tipo de solo, estágio fisiológico da cana processada, processo de clarificação do caldo e outros (NUNES JÚNIOR, 2008). A forma mais destinada para o uso deste subproduto é no lançamento direto no sulco onde a muda será plantada (PIACENTE, 2005).

Enfatizando, dentre os benefícios da utilização da torta de filtro em substituição aos adubos químicos, destaca-se o fornecimento de matéria orgânica, que aumenta a atividade microbológica do solo, além da adição de novos microorganismos, diversificando a flora e a microflora do solo. Tais benefícios no solo refletem na melhor produtividade das

culturas, diminuindo os custos com fertilizantes minerais, trazendo com isso vantagens financeiras, bem como dá destino ao subproduto, que durante algumas décadas foi despejado nos cursos d'água (ALMEIDA JÚNIOR, 2011).

A aplicação de fertilizantes fosfatados, ou ainda resíduos orgânicos ricos em fósforo, como a torta de filtro, são alternativas para aumentar a disponibilidade de fósforo, que é encontrado em baixa quantidade nos solos brasileiros, pois a falta desse elemento provoca distúrbios no metabolismo e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

Os benefícios com a utilização da torta de filtro na cultura do sorgo sacarino na Zona da Mata de Pernambuco foram descritos por Lucena et al. (2018), que encontrou vantagem na qualidade tecnológica do sorgo para produção de etanol. Verificaram expressivos aumentos no rendimento de caule do sorgo, Brix° e produção de etanol.

Resultados similares também foram encontrados por Vasconcelos et al. (2017), onde constataram aumento na produção de açúcar, álcool hidratado e sólidos solúveis totais (°Brix), além de aumento na acumulação de P em partes aéreas da cana de açúcar e para produção de colmos obteve 123,1 Mg ha<sup>-1</sup>. Esses resultados foram possíveis devido à combinação aplicação de P, sob a forma de Superfosfato Triplo em combinação com a torta de filtro.

Segundo Almeida Junior et al. (2011), as plantas de cana-de-açúcar respondem favoravelmente à adubação com torta de filtro, aumentando o acúmulo de fósforo, potássio e cobre na parte aérea das plantas, por ocorrência de melhorias na fertilidade do solo em virtude do aumento dos teores de macro e micronutrientes neste.

Fica evidente que para satisfazer a expansão do mercado agrícola, especialmente o setor sucroalcooleiro deve investir em tecnologias que proporcionem maximizar a produtividade com eficiência econômica. Nesse sentido, o uso racional tanto da vinhaça, quanto da torta de filtro apresenta-se como alternativa para alcançar esses objetivos desejados por todo agricultor, e ainda diminuir o impacto ambiental gerando produtos de qualidade a partir deste resíduo.

#### **4. LITERATURA CITADA**

ALMEIDA JUNIOR, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B. V.; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.1004-1013, 2011.

- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. *African Journal of Agricultural Research*. v.4, p. 772–780. 2009.
- ANANDAN, S.; ZOLTAN, H.; KHAN, A.A.; DEVULAPALLI, R. Feeding value of sweet sorghum bagasse and leaf residues after juice extraction for bio-ethanol production fed to sheep as complete rations in diverse physical forms. *Animal Feed Science and Technology*, v. 175, p. 131–136, 2012.
- 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*, v.16, p.952–958, 2012.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solo da Zona da Mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 4, n. 4, p. 456-462, 2009.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 5, p.935-944, 2003.
- CARRILLO, M. A.; STAGGENBORG, S.; PINEDA, J. et al. Washing sorghum biomass with water to improve its quality for combustion. *Fuel*, London, v. 116, p. 427–431, 2014.
- CGEE- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil - Brasília, DF. 2009.
- COELHO, A. M. Fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sorgo sacarino. *Agroenergia em Revista*, Brasília, v. 2, n. 3, p. 18-19, 2011.
- DOELSCH, E.; MASON, A.; CAZEVIEILLE, P.; CONDOM, N. Spectroscopic characterization of organic matter of a soil and vinasse mixture during aerobic or anaerobic incubation. *Waste Management*, Oxford, v. 29, n. 6, p. 1929-1935, 2009.
- DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônoma. *Agroenergia em Revista*. 3ª ed, 2011.
- EKEFRE D. E, MAHAPATRA A. K, LATIMORE M. JR, BELLMER D. D, JENA U, WHITEHEAD G. J, WILLIAMS A. L. Evaluation of three cultivars of sweet sorghum as feedstocks for ethanol production in the Southeast United States. *Heliyon*. v. 3, Ed 2, p3-12. 2017.

- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Processamento industrial do sorgo sacarino, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas – MG, 2p., 2012.
- EMBRAPA Milho e Sorgo-Sistemas de Produção, 2 Versão Eletrônica - 5<sup>a</sup> edição Produção de sorgo. 2009.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- FARINA, E.; RODRIGUES, L. A política nacional de biocombustíveis e os ganhos de eficiência no setor produtivo. Caderno Opinião, FGV Energia, 2018.
- FERREIRA, E. S.; ZOTARELLI, E. M. M.; SALVIATI, L. Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar. In: Seminário de Tecnologia agrônômica, 4., 1986, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Copersucar, 1986. p. 321-331
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. Manual da cultura do sorgo. Jaboticabal: Funep, 202p. 2009.
- FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2000. 203p.
- FREITAS, J. M. A. S.; NETTO, A. M.; CORRÊA, M. M.; XAVIER, B. T. L.; ASSIS, F. X. Potassium adsorption in soil cultivated with sugarcane. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2017.
- GIACOMINI, I.; PEDROZA, M. M.; SIQUEIRA, F. L. T.; MELLO, S. Q. S.; CERQUEIRA, F. B.; SALLA, L. Uso potencial de sorgo sacarino para a produção de etanol no estado do Tocantins. Revista Agrogeo ambiental / Instituto Federal do Sul de Minas Gerais.– v.5, n.3 , 2013.
- GLÓRIA, N. A. Utilização agrícola da vinhaça. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v. 86, n. 5, p. 11-17, 1975.
- GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. Álcool e Açúcar, v.4, n15, p. 22-31, 1984.
- GOMES, A.; RODRIGUES, D.; OLIVEIRA, P. Caracterização do sorgo para a produção de etanol. Agroenergia em Revista. Ano II, nº 3, p. 26, 2011.
- LAIME, E. M. O.; FERNANDES, P. D.; OLIVEIRA, D. C. de S.; FREIRE, E. de A. Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão. Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas. v. 5, n. 3, p. 16-29, 2011.
- LAMO, PAULO DE. Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais - METHAX/BIOPAQ - CODISTIL - Piracicaba, 1991.

- LIMA, J. M. P., MEDEIROS, A. C., GONÇALVES, R. J. S., LIMA, J. G. A., TABOSA, J. N., LIRA, M. A. ARAÚJO, J. M. M. Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino na Chapada do Apodi no Estado do Rio Grande do Norte In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Resumos expandidos. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia-ABMS, 2010.
- LUCENA, E. H. L.; DUTRA, E. D.; PEDROSA, E. M. R.; MENEZES, R. S. C.; TABOSA, J. N.; CARVALHO, A. L.; ROLIM, M. M.; ARAÚJO FILHO, R. N.; PRIMO, D. C.; ANTUNES, J. E. L.; PISCOYA, V. C. Ethanol Production Potential from Sweet Sorghum Fertilized with Filter Cake and Vinasse from the Sugarcane Industry. *American Journal of Experimental Agriculture*, v. 24, n. 4, p. 1-13, 2018.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Ecofisiologia da produção de sorgo. Sete Lagoas: Embrapa (Comunicado técnico, 87). 2003.
- MAGALHÃES, P. C.; DURAES, F.; SCHAFFERT, R. E. Fisiologia da planta de sorgo. (EMBRAPA – CNPMS (Circular Técnica, 3) Sete Lagoas (MG): Embrapa, 2000, 46 p.
- MAGALHÃES, V. R. Influências de doses de vinhaça nas características agrônômicas de variedades de cana-de-açúcar, canaplanta e atributos químicos do solo. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúbas. 89 f. 2010.
- MALAVOLTA, E. Manual de Nutrição Mineral de Plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, 638 p.
- MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, p. 369-375. 2006.
- MASSON, I. S.; COSTA, G. H. G.; ROVIERO, J. P.; FREITA, L. A.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.45, n.9, p.1695-1700, set, 2015.
- MAY, A.; SILVA, D. D.; SANTOS, F. C. (Ed.). Cultivo do sorgo biomassa para cogeração de energia elétrica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 65 p.
- MIJANGOS-CORTES, J. O.; GONZALEZ, M.; ESPAÑA, E.; MALDONADO, J. D.; ALZATE-GAVIRIA, L. Fertigation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. MOENCH.) in laboratory and nursery assays with treated vinasses of hydrated ethanol of UASB reactor. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, v.13. p.713-722, 2014.

- MILANEZ, ARTUR YABE; MANCUSO, RAFAEL VIZEU. Biocombustíveis. BNDES 2018.
- MIZUNO, H.; KASUGA, S.; KAWAHIGASHI, H. The sorghum sweet gene family: stem sucrose accumulation as revealed through transcriptome profiling. *Biotechnol Biofuels*. v.9. 2016.
- NASPOLINI, B. F.; MACHADO, A. C. O.; CRAVO JUNIOR, W. B.; FREIRE, D. M. G.; CAMMAROTA, M. C. Bioconversion of Sugarcane Vinasse into High-Added Value Products and Energy. *BioMed Research International*. v.2017, p.1-11. 2017.
- NOGUEIRA, M. A. F. DE S.; GARCIA, M. DA S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brillhante, Mato Grosso do Sul. *Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET*, v. 17, n. 17, p. 3275 – 3283, 2013
- NUNES JUNIOR, D. Torta de filtro: de resíduo a produto nobre. *Revista Idea News*, ano 8, n. 92, p. 22-30, Jun, 2008.
- OCDE-FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. *Perspectivas Agrícolas 2015-2024. Agricultural Outlook*. 2015
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, v. 56, n. 4, p. 803-809. 1999.
- ORTEGÓN, G. P.; ARBOLEDA, F. M.; CANDELA, L.; TAMOH, K.; VALDES-ABELLAN, J. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). *Science of the Total Environment*. v.539, p.410-419. 2016.
- PARRELA, R. A. C. Melhoramento genético do sorgo sacarino. *Embrapa Agroenergia*, n.3, p.8-9, 2011.
- PIACENTE, F. J. Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental: O caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. 2005. 175f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- QUEIROZ, T. R.; BERALDO, M, A; ERNESTO, R. C.; YOSHIMURA, B. K. Análise da viabilidade econômica e as potencialidades de produção de biocombustível a partir do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench). *GDS – Gestão da Sustentabilidade. XXIV ENANGRAD, Resumos*. Florianópolis, SC. 2013.

- RATNAVATHI, C. V.; SURESH, K.; VIJAY KUMAR, B. S.; PALLAVI, M.; KOMALA, V. V.; SEETHARAMA, N. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 7, p. 947-952, 2010.
- RIBAS, P. M. Cultivo de sorgo: Importância econômica. Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, 2 Versão Eletrônica - 3ª edição Set./2007.
- RIBAS, P. M. Sorgo: introdução e importância econômica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 14 p.
- ROSOLEM, C. A.; MALAVOLTA, E. Exigências nutricionais do sorgo sacarino. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, p. 257-267, 1981.
- RUIZ; E. P.; LAMAS, Y. C.; DÍAZ, M. L. V.; ARMAS, E. B.; HERNÁNDEZ, F. A.; DENIS, I. F.; RUIZ, I. L. Uso alternativo de la vinaza en la fertilización de la caña de azúcar, efectos sobre el cultivo y el suelo. *Revista Centro Agrícola*, v.42, n.1, p.31-36, 2015.
- SANTANA, J; SOUZA, S.O. Subprodutos da cana-de-açúcar. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 10, n.119, p. 22-27, 1984.
- SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. Adubação: resíduos alternativos. Embrapa. 2009.
- SANTOS, D. H.; SILVA, M. DE A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15,p.443-449, 2011.
- SEVERINO, L.S.; COSTA, F.X.; BELTRÃO, N.E.; LUCENA, M.A.; GUIMARÃES, M.M.B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.5, n.1, 2004.
- SILVA, C.; SILVA, A. F.; VALE, W. G.; GALON, L.; PETTER, F.A.; MAY, A.; KARAM, D. Interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo sacarino. *Bragantia*, v.73, n. 4, p.438-445, 2014.
- SOLANO, C. S PONCIANO, N.J; DAHER, R.F; PARRELLA, R.A.C; SOUZA, P M; ROCHA, J. P. S.M. Qualidade do caldo para produção de etanol em cultivares de sorgo sacarino sob adubação nitrogenada *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.16, n.3, p. 388-400, 2017
- TABOSA, J. N. BARROS, A. H. C.; BRITO, A. R. M. B.; SIMPLÍCIO, J. B. Cultivo de sorgo no semiárido brasileiro: Potencialidades e utilizações. *Instituto Agrônomo de PernambucoIPA/Emater/SEAGRI-AL*, p.133-162. 2013.

- TABOSA, J. N.; TAVARES FILHO, J. J.; BRITO, A. R. M. Instituto Agrônomo de Pernambuco: Folhetos explicativos. O cultivo do Sorgo no Semiárido de Pernambuco- Aspectos gerais e recomendações básicas de plantio. Recife, 5p. 2008.
- TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. A.; NOBILE, F. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *Revista Engenharia Agrícola*, v.27, n.1, p.276-283, 2007.
- USDA- United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. World Agricultural Production. Circular Series, WAP 03-17, 2017.
- VASCONCELOS, R. L.; ALMEIDA, H. J.; PRADO, R. M.; SANTOS, L. F. J.; PIZAURO JÚNIOR, J. M. Filter cake in industrial quality and in the physiological and acid phosphatase activities in cane-plant. *Industrial Crops and Products*, v.105, p133-141, 2017.
- VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; KARAGIANNIDIS, N.; GATSI, T. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. *Field Crops Research* [S.I.], v. 120, n. 1, p. 38-46, 2011.
- VIANA, R. S.; MAY, A.; MATEUS, G. P.; RODRIGUES NETO, A. D.; LOPES, P. R. M. Aspectos tecnológicos de sorgo-sacarino submetido à aplicação de maturadores químicos. *Científica, Jaboticabal*, v.45, n.3, p.204-213, 2017.
- WALL, J. S.; ROSS, W. M. *Producción y usos del sorgo*. Madrid, Ed. Hemisferio Sur, 400 f. 1975.
- XIMENES, P. A.; FREIRE, A. C.; JÚNIOR, W. N. M. Avaliação do potencial agrônomo de algumas cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*). *Anais Esc. Agron. e Vet.* v.18, n. 1, p. 109-115, 1988.

## **CAPÍTULO II**

---

### **PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ETANOL DO SORGO SACARINO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO**

## PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ETANOL DO SORGO SACARINO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO

### RESUMO:

Os biocombustíveis apresentam-se como alternativa para substituir os combustíveis fósseis. Nesse setor, o etanol destaca-se e a cana-de-açúcar é sua principal matéria prima e para complementar sua produção o sorgo sacarino vem se revelando como uma alternativa de grande potencial. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a aplicação da vinhaça e da torta de filtro como adubo na cultura do sorgo sacarino, cultivar SF-15, analisando-se altura de planta, produtividade da parte aérea, as variáveis tecnológicas (teor de sólidos solúveis, teor de sacarose do caldo, fibra, açúcar teórico recuperável) e a produção de etanol. O experimento foi realizado no período de fevereiro a julho de 2018, na Estação Experimental de Cana-de-açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada em Carpina, Pernambuco. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com doze tratamentos e quatro repetições, em esquema fatorial  $5 \times 2 + 2$  que correspondem a cinco doses de vinhaça (0;0; 9,0; 18,0; 36,0 e 72,0  $m^3 ha^{-1}$ ), com e sem aplicação de torta de filtro, mais dois tratamentos adicionais com adubo mineral combinadas com e sem torta de filtro, totalizando quarenta e oito unidades experimentais. O uso da torta de filtro proporcionou aumento na produtividade do sorgo SF-15. O teor de fibra e produção de etanol foram influenciados positivamente pelo uso da torta de filtro. Os melhores resultados foram obtidos com doses entre 56 a 59  $m^3 ha^{-1}$  de vinhaça associada a 20  $Mg ha^{-1}$  de torta de filtro.

**Palavras - chave:** *Sorghum bicolor*, biocombustível, culturas energéticas, variáveis tecnológicas.

## BIOMASS PRODUCTION AND ETHANOL OF SWEET SORGHUM UNDER APPLICATION OF VINHAÇA AND FILTER CAKE

### ABSTRACT:

Biofuels are presented as an alternative to replace fossil fuels. In this sector, ethanol stands out and sugar cane is its main raw material and to complement its production sweet sorghum is proving to be a great potential alternative. Thus, the objective of this work was to evaluate the application of vinasse and filter cake as fertilizer in the sweet sorghum

culture, SF-15 cultivar, analyzing plant height, mass production in aerial part, technological variables (soluble solids content, sucrose content of the broth, fiber, recoverable theoretical sugar) and ethanol production. The experiment was carried out from February to July of 2018, at the Experimental Station of Sugarcane the University Federal Rural of Pernambuco, in Carpina, Pernambuco. With a randomized block design, with twelve treatments and four replications. A  $5 \times 2 + 2$  factorial scheme was used, corresponding to five doses of vinasse (0; 0; 9,0; 18,0; 36,0 and 72,0  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) with and without filter cake application and two additional treatments with mineral fertilizer combined with and without filter cake, totalizing forty-eight experimental units. The use of the filter cake provided an increase in SF-15 sorghum yield. The fiber content and ethanol production were positively influenced by the use of the filter cake. The best results were obtained with 56 to 59  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  of vinasse associated with 20  $\text{Mg ha}^{-1}$  of filter cake.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, biofuel, energy crops, technological variables.

## INTRODUÇÃO

Os problemas econômicos e ambientais causados pela exploração e uso desenfreado do petróleo têm causado escassez de combustível, forçando a procura de outras fontes de energias renováveis. Com isso os biocombustíveis, principalmente o biodiesel e etanol, apresentam-se como possibilidades renováveis para substituir os carburantes provenientes de petróleo e para redução da liberação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera, contribuindo para sustentabilidade do planeta e para a redução do aquecimento global (EKEFRE et al., 2017).

Atualmente a cana-de-açúcar é considerada como a principal matriz da matéria-prima destinada à fabricação de etanol, porém sua produção é fortemente limitada pelas exigências edafoclimáticas e está diretamente relacionada à disponibilidade de água (RATNAVATHI et. al., 2010).

Sob essa óptica, surge à demanda da diversificação das fontes de biomassa para a produção de etanol, como alternativa o sorgo sacarino, está sendo implementado com um futuro promissor, por possuir açúcares diretamente fermentáveis (glicose, frutose e sacarose), fato que contribui para a simplificação do processo, apresentando menor custo de produção e maior eficiência energética, quando comparadas a fontes amiláceas como

milho (MIZUNO et al. 2016). Com isso, vem crescendo o interesse e ganhando espaço nas usinas sucroalcooleiras o cultivo do sorgo para complementar a produção de açúcar e etanol nos períodos de entressafra da cana-de-açúcar dando oportunidade à rotação de culturas e proporcionando um período anual completo.

A produção de etanol e seus processos geram resíduos caracterizados como de grande periculosidade, dois principais deles é a vinhaça e a torta de filtro. Esses resíduos foram por muito tempo descartados sem nenhum tipo de tratamento na natureza, lançado em cursos d'água como forma de descarte, causando enormes impactos ambientais (NASPOLINE et al., 2017). Com o passar do tempo, as empresas passaram a aplicar uma política ambiental, com um maior comprometimento e uma ação sustentável, com menor quantidade de resíduos tóxicos, uso racional dos recursos naturais e bom reaproveitamento desses resíduos (MORAN-SALAZAR et al., 2016).

Assim, no meio agrícola a vinhaça é utilizada principalmente como fonte de K, e a torta de filtro destaca-se pelo fornecimento de P. Estudos apontam que esses resíduos contém porcentagens apreciáveis de matéria orgânica e de outros elementos essenciais as plantas, por isso seus benefícios utilizados nas agroindústrias como fonte de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2017).

A aplicação da vinhaça e da torta de filtro ao solo, evita impactos ambientais maléficos, decorrentes do seu descarte em corpos hídricos. O interesse pelo uso de resíduos orgânicos na agricultura fundamenta-se na quantidade adequada para o sistema solo-planta. Pois o uso com quantidades errôneas, com técnicas mal manejadas podem causar toxidade nas plantas, salinização do solo e/ou contaminação do lençol freático (PUGLIESE, et al., 2017). Logo, a utilização da vinhaça e torta de filtro deve ser testada de modo a comprovar sua efetividade na cultura específica e seus efeitos no solo.

É de vital importância estudar como se comporta a influencia tanto da vinhaça como da torta de filtro na quantidade e qualidade do sorgo sacarino. Acredita-se que a ação conjunta de fatores como variedade, idade da planta, clima, disponibilidade hídrica e de nutrientes, como o potássio e o fósforo, afetam as características das plantas e consequentemente o seu crescimento e produtividade (ROSOLEM & MALAVOLTA, 1981)

São poucos os estudos que relatam o efeito conjunto desses resíduos na produtividade e qualidade tecnológica do sorgo sacarino para produção de etanol. Dessa maneira, justifica-se o conhecimento das respostas da cultura a diferentes doses de vinhaça e a aplicação da torta de filtro, definindo o manejo a ser praticado, apresentando maior

rendimento da cultura e um produto de melhor qualidade. Assim, objetivou-se por meio desse trabalho avaliar o crescimento, produtividade e qualidade do sorgo sacarino submetido à aplicação desses adubos orgânicos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em campo no período de fevereiro a julho de 2018, na área agrícola da Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), unidade de pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) localizada no município de Carpina, PE (7°51'13''S, 35°14'10''W, a 180 m de altitude).

Para caracterização química e física do solo da área de estudo, antes da aplicação dos tratamentos foram retiradas amostras do solo nas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 m. As análises química e física do solo foram realizadas no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) de acordo com EMBRAPA (1997) (Tabela 1 e 2).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo distrófico abrupto (EMBRAPA, 2013).

Tabela 1. Caracterização química do solo antes da instalação do experimento.

Camada (m)	Análises Químicas												
	pH (H <sub>2</sub> O)	P (mg.dm <sup>-3</sup> )	MO (%)	H	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	CTC	S	V	m
0 – 0,20	5,8	8,0	2,45	3,08	0,05	1,75	0,75	0,09	0,08	5,8	2,7	46	2
0,20 – 0,40	5,6	5,0	2,05	3,31	0,15	1,25	0,75	0,06	0,07	5,6	2,1	38	7

Fonte: Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). P: fósforo; MO: matéria orgânica; Al<sup>3+</sup>: alumínio; Ca<sup>2+</sup>: cálcio; Mg<sup>2+</sup>: magnésio; K<sup>+</sup>: potássio; Na<sup>+</sup>: sódio; CTC: capacidade de Troca de Cátions; S: Soma de Bases; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Alumínio

Tabela 2. Caracterização física do solo antes da instalação do experimento.

Camada (m)	Análises Físicas								
	Ds	Dp	Composição Granulométrica				Argila Natural	Grau de Floculação	Classe Textural
			Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
0 – 0,20	1,66	2,57	51	25	11	13	2	85	Franco arenoso
0,20 – 0,40	1,68	2,57	52	25	8	15	2	87	Franco arenoso

Fonte: Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Ds: Densidade do solo; Dp: Densidade das partículas.

O preparo do solo foi realizado 15 dias antes da instalação do experimento, consistindo de grade aradora e posteriormente niveladora para destorroamento,

incorporação do calcário, sistematização da área e posterior abertura dos sulcos, objetivando-se a aplicação dos tratamentos e plantio da cultura.

De posse dos resultados da análise química do solo, aplicou-se a dose recomendada de 0,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico para a correção do solo, seguindo o Manual de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008).

A área experimental consistiu no total de 2.880,0 m<sup>2</sup> (0,288 ha<sup>-1</sup>). Após a marcação das parcelas no campo (unidade experimental) foi estruturada com oito fileiras de dez metros de comprimento espaçadas por 0,75 m, totalizando 60,0 m<sup>2</sup>, com 4 repetições. A área útil de cada parcela foi formada considerando apenas as quatro fileiras centrais desprezando 1,0 m de cada extremidade e, perfazendo assim uma área útil de 24,0 m<sup>2</sup>.

O experimento foi disposto em delineamento em blocos casualizados, com 12 tratamentos, em arranjo fatorial (2 × 5) + 2, constituído com e sem aplicação de torta de filtro e 5 níveis de vinhaça (0,0; 9,0; 18,0; 36,0 e 72,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), mais dois tratamentos adicionais, adubo mineral, com e sem aplicação de torta de filtro (T1 e T0), com quatro repetições (blocos), totalizando quarenta e oito unidades experimentais (parcelas).

A vinhaça e a torta de filtro aplicadas foram geradas e disponibilizadas pela Usina Petribu, localizada no município de Lagoa de Itaenga, PE. A vinhaça utilizada foi coletada “*in natura*” diretamente do bocal de distribuição da usina. A determinação da sua composição química (Tabela 3) foi realizada no AGROLAB - Análises Ambientais, seguindo a Standard Methods For The Examination Of Water & Wastewater (2003). A torta de filtro obtida permaneceu armazenada, sem revolvimento durante três meses no pátio da usina, sendo transportada para o local do experimento um dia antes da sua instalação. Para realização dos parâmetros químicos da torta de filtro (Tabela 4) foi encaminhada uma amostra para a Central Analítica de Alagoas, que seguiu a metodologia proposta por Kiehl (1985).

Após a caracterização do solo, com base no teor de potássio no mesmo, e na vinhaça, bem como a exigência do nutriente para a cultura do sorgo forrageiro seguindo a recomendação do IPA (2008), calculou-se a dose de vinhaça aplicada ao solo. Foram levados em conta os fatores multiplicativos: 0, 50, 100, 200 e 400% da dose recomendada para cultura, perfazendo assim doses de 0,0; 9,0; 18,0; 36,0 e 72,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça, respectivamente. As doses de vinhaça foram aplicadas no sulco de plantio, permanecendo nessa condição durante 30 dias antes dos procedimentos necessários para o plantio, tempo necessário para estabilização da vinhaça no solo (GOMES, 2012).

A quantidade de torta de filtro estipulada para o experimento foi de 20 Mg ha<sup>-1</sup>, tendo sido empregada diretamente no sulco. A aplicação dos fertilizantes minerais nos

tratamentos adicionais foi calculada conforme o IPA (2008) para a cultura do sorgo forrageiro de acordo com análise prévia da fertilidade do solo. Foram aplicadas as doses de 30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na semeadura e 60 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura (40 dias após o plantio), 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, ambos na semeadura.

Tabela 3. Caracterização da vinhaça utilizada no experimento.

Parâmetros	Resultado
pH	4,2
Condutividade elétrica – dS.m <sup>-1</sup>	15,06
Nitrogênio total – mg.L <sup>-1</sup>	51,8
Fósforo – mg.L <sup>-1</sup>	6,78
Potássio – mg.L <sup>-1</sup>	1.053,0
Cálcio – mg.L <sup>-1</sup>	888,3
Magnésio – mg.L <sup>-1</sup>	395,3
Sulfato – mg.L <sup>-1</sup>	754,0
Demanda bioquímica de Oxigênio (DBO) – mg.L <sup>-1</sup>	12.300,0
Demanda química de Oxigênio (DQO) – mg.L <sup>-1</sup>	27.250,0

Fonte: AGROLAB- Análises Ambientais

Tabela 4. Caracterização da torta de filtro utilizada no experimento.

Parâmetros	Resultado
pH	7,97
Condutividade elétrica – dS.m <sup>-1</sup>	2,68
Matéria orgânica – (%)	33,2
Nitrogênio total – (g.kg <sup>-1</sup> )	15,0
Fósforo – P (g.kg <sup>-1</sup> )	11,66
Potássio – K (g.kg <sup>-1</sup> )	1,58
Cálcio – (g.kg <sup>-1</sup> )	11,05
Magnésio – (g.kg <sup>-1</sup> )	0,78

Fonte: Central Analítica de Alagoas.

A cultivar utilizada foi a SF-15. Esse material foi desenvolvido e disponibilizado pelo IPA. Definido como sendo genótipo de duplo propósito, isto é, destinado tanto para produção de forragem como para produção de etanol. O plantio foi realizado manualmente em sulcos contínuos, deixando-se de 20 a 25 sementes por metro linear a uma profundidade de 5,0 cm aproximadamente. Após 15 dias da emergência, realizou-se o desbaste deixando uma densidade de 12 plantas por metro linear. Por oportuno salientar

que por ocorrência de ataques de formigas foi feito um replantio parcial em algumas parcelas. E para o controle das formigas, procedeu-se nos primeiros 15 dias após o plantio a aplicação de formicida Sulfluramida 0,3%, com isca granulada, distribuída 10g por m<sup>2</sup> próximo da área do formigueiro.

Para controle das plantas daninhas foram realizadas capinas manuais da área no início na cultura, após 40 dias aplicou-se herbicida, 2 l de 2,4-D Amina e 2,5 l de Atrazine em todo hectare, para a contenção das plantas indesejáveis.

Apenas no primeiro mês do ciclo da cultura foram realizadas irrigações uniformes em todos os tratamentos três vezes por semana, utilizando-se o sistema de aspersão do tipo mini canhão, com taxa de aplicação de 11 mm h<sup>-1</sup>, devido ao plantio ter sido iniciado no verão, época mais seca do ano, de modo a assegurar uniformidade de brotação e estabelecimento das plantas. Os dados pluviométricos são apresentados na Figura 1.

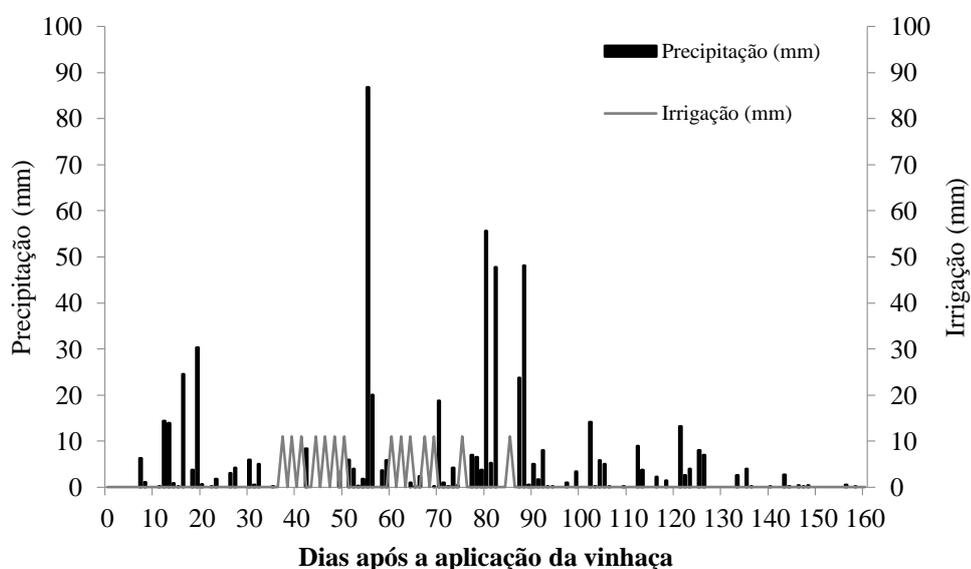


Figura 1. Distribuição da precipitação pluviométrica e água aplicada por irrigação durante o ensaio em campo

A colheita foi realizada aos 130 dias após a semeadura, quando 50% das plantas da parcela encontravam-se inicialmente floradas, com os grãos na fase de maturação fisiológica, estágio pastoso leitoso.

As avaliações das alturas das plantas foram mensuradas com o auxílio de uma fita métrica partindo-se do solo até a extremidade superior da panícula, em cinco plantas marcadas aleatoriamente na área útil da parcela, o resultado final foi expresso em altura média de planta em centímetro.

Para analisar a produção do sorgo sacarino, especificamente para a produção total de massa verde, foram colhidas todas as plantas da área útil da parcela e pesadas em balança de campo. Esse resultado em kg/parcela de massa verde foi expresso em Mg ha<sup>-1</sup>.

Para obtenção dos dados de massa verde e seca da parte aérea da planta, separou-se do material colhido cinco plantas e divididas em colmos, folhas e panícula, logo após pesou-se cada um dos componentes da planta, para a determinação do peso verde. Em seguida, os materiais foram transferidos para uma estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas até atingirem o peso constante para calcular o peso seco, esses valores foram quantificados para a produção de massa seca total (Mg ha<sup>-1</sup>).

Para a determinação das variáveis tecnológicas, foram coletados dez colmos de cada tratamento e enviadas para o Laboratório Agroindustrial da Usina Japungu S.A., na Paraíba, onde seguiram as recomendações da CONSECAN (2006), obtendo-se o teor de sólidos solúveis do caldo (°Brix), teor de sacarose (Pol do caldo em %), fibra industrial no sorgo (Fibra %) e açúcar total recuperável (ATR kg Mg<sup>-1</sup>),

Para avaliação da produtividade teórica de etanol por hectare utilizou-se a seguinte equação proposta por VASILAKOGLU et al. (2011).

$$\text{Etanol (L ha}^{-1}\text{)} = \text{ATR} \times \text{PV-C} \times 6,5 \times 0,85 \times \left(\frac{1,0}{0,79}\right)$$

Em que:

ATR = açúcar total recuperável (%); PV-C = Peso verde do colmo (Mg ha<sup>-1</sup>); 6,5 = fator de conversão do etanol a partir do açúcar; 0,85 = eficiência do processo de fermentação;  $\left(\frac{1,0}{0,79}\right)$  = gravidade específica do álcool.

Os resultados obtidos foram interpretados por meio da análise variância e de regressão, buscando-se ajustar modelos de melhor tendência. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As médias dos tratamentos adicionais foram contrastadas com os resultados obtidos das médias dos tratamentos do fatorial. As análises estatísticas foram conduzidas com o auxílio do Software R (R CORE TEAM, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se através da análise de variância, Tabela 5, efeito significativo da interação das doses de vinhaça e aplicação de torta de filtro sobre a produtividade verde do colmo (PV-C) e na altura do sorgo sacarino no momento da colheita (ALT) ao nível de

significância de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. Com relação ao fator aplicação da torta de filtro, verifica-se influência com 1% de probabilidade sobre a produtividade verde total (PV-T), peso seco do colmo (PS-C), peso seco da folha (PS-F), peso seco da panícula e produtividade seca total (PS-T).

Tabela 5. Resumo da ANOVA e F calculados para os dados de biomassa e altura do Sorgo SF-15 avaliados.

Fonte de Variação	Valores de F									
	GL	PV-C	PV-F <sup>1</sup>	PV-P <sup>1</sup>	PV-T	PS-C	PS-F	PS-P <sup>1</sup>	PS-T	ALT
Dose	4	2,76*	0,45ns	2,32ns	1,95ns	1,13ns	1,18ns	2,03ns	1,52ns	4,66**
Torta	1	24,48**	3,38ns	2,12ns	17,21**	13,13**	8,70**	27,31**	15,81**	27,43**
Dose X Torta	4	2,78*	0,98ns	1,18ns	2,17ns	1,71ns	1,38ns	2,05ns	1,68ns	6,12**
CV (%)	-	25,53	21,04	22,37	27,92	33,26	22,30	10,13	29,62	10,24

\*\* e \*: Significativo a 1% e a 5% de probabilidade de acordo com o teste F; ns: Não significativo de acordo com o teste F; <sup>1</sup>: Dados transformados raiz quadrada de Y; GL: Graus de Liberdade; PV-C: Peso Verde dos Colmos; PV-F: Peso Verde das Folhas; PV-P: Peso Verde da Panícula; PV-T: Produtividade Verde Total; PS-C: Peso Seco dos Colmos; PS-F: Peso Seco das Folhas; PS-P: Peso Seco da Panícula; PS-T: Produtividade Seca Total; ALT: Altura.

No desdobramento das interações, estudando-se o efeito das doses de vinhaça, com e sem aplicação de torta de filtro na produção de peso verde de colmo do sorgo sacarino, observou-se uma tendência de crescimento quadrático (Figura 2). Constatando-se maior acúmulo de 47,72 Mg ha<sup>-1</sup>, na dose de vinhaça de 59,10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> com a aplicação de torta de filtro (T1).

Resultados superiores foram encontrados por Lucena (2014), estudando a aplicação isolada de vinhaça e torta de filtro no sorgo sacarino irrigado, obtiveram valores máximos de produção de colmo iguais a 53,5 Mg ha<sup>-1</sup> empregando 77,68 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça, e 51,3 Mg ha<sup>-1</sup> com o uso de 22 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro no município de Vitória de Santo Antão, PE.

Com o intuito de fomentar o levantamento da produção do sorgo sacarino, Santos et al. (2015) realizaram um estudo em Minas Gerais, alcançando 28,60 Mg ha<sup>-1</sup> no tratamento testemunha e 56,55 Mg ha<sup>-1</sup> com aplicação de NPK mineral. Esse incremento, possivelmente ocorreu devido à aplicação de nitrogênio ideal disponível para a cultura, nutriente esse, fundamental para o maior crescimento e produção das plantas.

O peso verde de colmo é uma das características mais importante do sorgo quando o foco é obtenção de material com maior produção para fabricação de etanol. Observa-se que os resultados obtidos a partir da dose de vinhaça de 18 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> com aplicação de torta de

filtro do presente trabalho, foram superiores aos encontrados no desenvolvido por Tabosa et al. (2010) na mesma variedade do sorgo estudada (SF-15) em Canguaretama, Araripina e Apodi, os autores mencionaram valores de 29,1, 29,5 e 45,0 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. E confirmaram que tais resultados são devido à existência de questões ligadas ao fotoperíodo, em função dos aspectos climáticos e exigidos pela cultura (ROSOLEM, 1978).

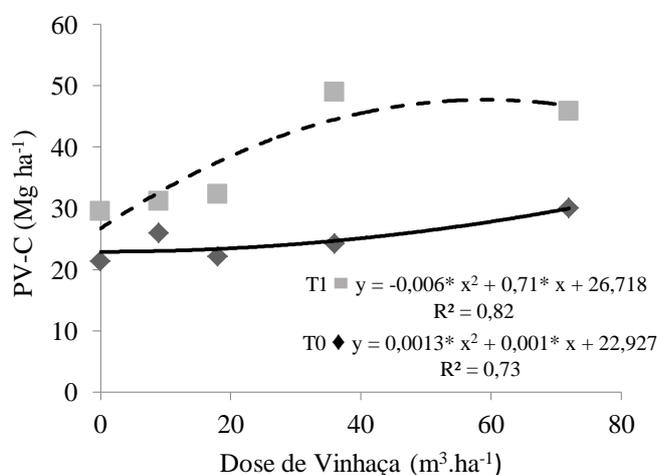


Figura 2. Peso verde do colmo (PV-C) em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro (T0 - sem torta; T1 - com torta).

Esse aumento do PV-C com o uso da torta de filtro provavelmente pode ser devido o acréscimo de nitrogênio (N) contido também nesse adubo orgânico, já que o N é o fator determinante para desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular da planta, pois participa da composição dos aminoácidos, proteínas, clorofila e muitas enzimas essenciais responsáveis pelo crescimento das plantas (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

Embora não tenham sido verificados efeitos significativos nos níveis de vinhaça para PV-T, PS-C, PS-F, PS-P e PS-T, entretanto, constatou-se respostas positivas na aplicação da torta de filtro para essas variáveis analisadas (Tabela 6). Sendo obtido 49,17 Mg ha<sup>-1</sup> na produtividade verde total, 45% a mais sem o uso da torta de filtro.

Esses valores aqui observados estão um pouco abaixo aos encontrados por Oliveira Filho (2016), estudando esses mesmos parâmetros no sorgo influenciado por água salina, em Vitória de Santo Antão no Estado de Pernambuco, mensurando 90 Mg ha<sup>-1</sup> de PV-T, 28, Mg ha<sup>-1</sup> de PS-C, 4,64 Mg ha<sup>-1</sup> PS-F, 1,81 PS-P e 35 Mg ha<sup>-1</sup> de PS-T. Porém, Perazzo et al. (2013) revelam quantidades menores do que os encontrados no presente estudo, como 42,65 Mg ha<sup>-1</sup> de PV-T e 10,88 Mg ha<sup>-1</sup> de PS-T na mesma cultivar em Soledade, Paraíba.

Isso fica evidente que o tipo de água, solo e manejo pode interferir diretamente na produção da cultura. Por isso, estudos comparativos entre várias cultivares vêm sendo realizados, visando recomendar aos produtores a opção que apresenta melhor relação entre a produtividade e adaptabilidade à região e manejo.

Tabela 6. Média das variáveis de biomassa e altura do sorgo SF-15 em função da aplicação da torta de filtro

Dados de Produção	Média	
	T0- Sem Torta	T1- Com Torta
PVT (Mg.ha <sup>-1</sup> )	33,95 b	49,17 a
PSC (Mg.ha <sup>-1</sup> )	8,25 b	12,14 a
PSF (Mg.ha <sup>-1</sup> )	2,76 b	3,4 a
PSP (Mg.ha <sup>-1</sup> )	1,08 b	1,92 a
PST (Mg.ha <sup>-1</sup> )	11,89 b	17,33 a

Letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. PV-T: Produtividade Total Verde; PS-C: Peso Seco dos Colmos; PS-F: Peso Seco das Folhas; PS-P: Peso Seco da Panícula; PS-T: Produtividade Seca Total; ALT: Altura.

A altura das plantas no momento da colheita, na fase do grão leitoso/pastoso observa-se interação entre os níveis de vinhaça em função da torta de filtro, apresentando em seu desdobramento comportamento quadráticos (Figura 3). Constatando-se que no nível de 48,03 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> aliada ao uso de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro potencializou a altura em valor máximo de 283,33 cm. Já para a ausência da torta de filtro, revelou-se na menor dose de vinhaça (23,9 Mg ha<sup>-1</sup>) um incremento de 268,3 cm de altura. Possivelmente, os maiores valores constatados neste trabalho, devem-se a aplicação da matéria orgânica presente em maior quantidade na torta de filtro e sua ativação nos processos microbianos fomentando a estrutura, a aeração e a capacidade de retenção de água, favorecendo assim, o suprimento de nutrientes necessários para o melhor desenvolvimento da cultura.

Resultados positivos foram encontrados com a aplicação de torta de filtro como fonte de fósforo por Costa et al. (2017), verificaram que o crescimento de 80% na cana-de-açúcar.

Nessa fase de grão leitoso/pastoso, Fornasieri Filho & Fornasieri (2009) afirmam que o sorgo já absorveu mais de 95, 85 e 98% do total final de N, P e K, nessa ordem, elementos esses essenciais para o bom desenvolvimento da cultura.

Contraopondo-se as alturas encontradas por outros autores com o sorgo sacarino, Nagai (2012) alcançou valores de 132 a 281 cm, dependendo da cultivar, e mais

especificamente para a cultivar SF 15 encontrou resultado com 250 cm de altura. Assim como também, Tabosa et al. (2010), obtiveram para a mesma variedade estudada, 220 cm de altura no SF-15 em Araripina- PE, e 342 cm de altura no município de Canindé- SE, esses autores recomendam essa variedade para região semiárida ou áreas similares.

A prática do aproveitamento dos resíduos como adubos orgânicos tem se mostrado com boa potencialidade, sendo bem quista pela cultura do sorgo e desde que não prejudique o sistema solo-planta, fato que não foi percebido nesses parâmetros mediante os tratamentos aplicados.

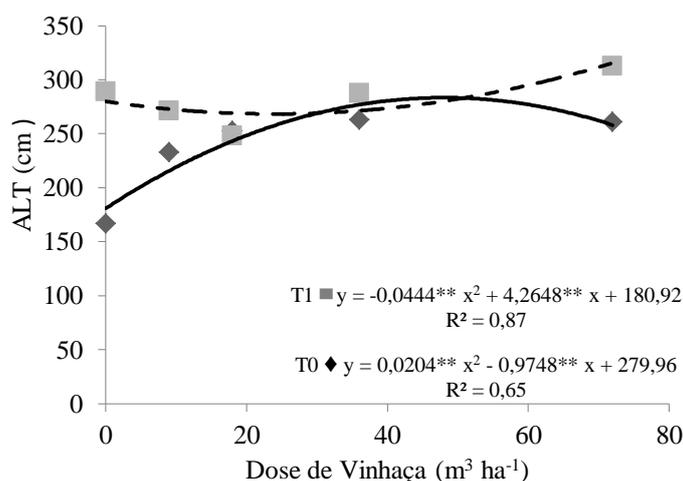


Figura 3. Altura das plantas no dia da colheita do sorgo SF-15 em função das doses de vinhaça e aplicação da torta de filtro (T0- sem torta; T1- com torta).

Para as variáveis tecnológicas, verificou-se por meio da análise de variância (Tabela 7) efeito significativo entre as doses de vinhaça e aplicação de torta de filtro sobre o °Brix do sorgo sacarino ao nível de significância de 5% de probabilidade. O fator aplicação da torta de filtro foi significativa para o teor de fibra e produção de etanol, ambas, a 1% de probabilidade. Para o teor de sacarose (Pol) e açúcar total recuperável (ATR) não houve efeito significativo para nenhuma dos fatores aplicados.

Tabela 7. Resumo da ANOVA e F calculados para as variáveis tecnológicas.

Fonte de Variação	Valores de F					
	GL	Brix°	Pol	Fibra	ATR	Etanol
Dose	4	1,30ns	1,83ns	1,96 ns	1,76ns	1,92ns
Torta	1	33,31**	0,71ns	17,22**	0,48ns	10,49**
Dose X Torta	4	3,89*	2,03ns	2,18 ns	1,98ns	1,14ns
CV (%)	-	5,94	20,90	5,90	20,69	37,71

\*\* e \*: Significativo a 1% e a 5% de probabilidade de acordo com o teste F; ns: Não significativo de acordo com o teste F; Brix°: teor de sólidos solúveis do caldo; Pol: teor de sacarose do caldo; ATR: açúcar total recuperável.

No desdobramento das interações, estudando-se o efeito das doses de vinhaça com e sem aplicação de torta de filtro no °Brix (Figura 4), conforme o modelo ajustado verificou-se um comportamento quadrático, o maior valor foi obtido na dose de 56 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, perfazendo 15,17 °Brix com a aplicação de torta de filtro (T1). Fato ocorrido possivelmente devido ao incremento de potássio, nutriente este contido na vinhaça, e da matéria orgânica da torta de filtro. Uma vez que, segundo Taiz & Zeiger (2013) o potássio desempenha funções importantes no metabolismo energético e transporte de sacarose, portanto, é um macronutriente que estimula o sorgo sacarino.

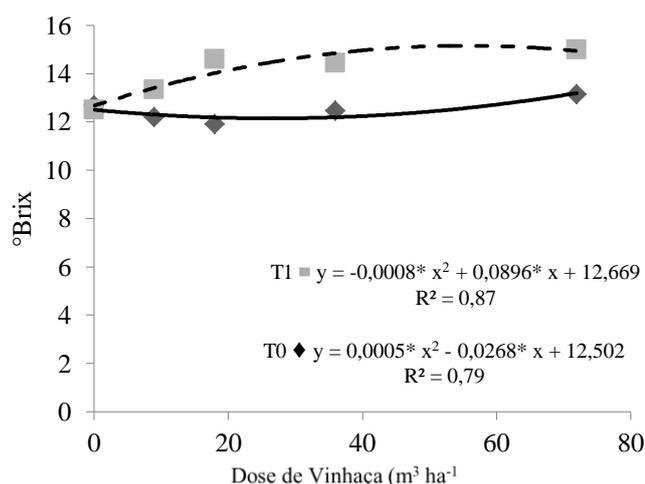


Figura 4. Teor de sólidos solúveis do caldo (°Brix) em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro (T0- sem torta; T1- com torta).

Analisando o °Brix, para o desdobramento do fator vinhaça sem aplicação de torta de filtro (T0), verificou-se 12,49 °Brix para uma menor dose de vinhaça aplicada (0,37 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

Os resultados de °Brix encontrados no presente estudo estão dentro da faixa considerada adequada segundo Tabosa et al., (2010), que encontraram valores de 11 a 22. Resultados similares foram encontrados por Oliveira Filho (2016), estudando 20 genótipos de sorgo, a cultivar SF-15 se destacou como uma das melhores para aptidão sacarina com 14,58 °Brix.

Para a produção de fibra no sorgo sacarino (Tabela 8), observou-se maiores valores com a aplicação da torta de filtro, para este, obteve-se 23,53 % e 20,97% de fibra sem aplicação da torta de filtro. Valores aproximados foram encontrados por Viana et al., (2017) no município de Andradina-SP, trabalhando com maturadores químicos em duas cultivares diferentes, constatando 21,91% para a BRS 508 e 20,78% para a BRS 509.

Tabela 8. Médias de fibra e produção de etanol do sorgo SF-15 em função da aplicação da torta de filtro

Variável	Médias	
	T0- Sem Torta	T1- Com Torta
Fibra (%)	20,97 b	23,53 a
Etanol (L ha <sup>-1</sup> )	2.323,43 b	3.435,96 a

Letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Obtendo-se um rendimento de etanol da ordem de 2.323,23 L ha<sup>-1</sup> na ausência da torta, e 3.435,97 L ha<sup>-1</sup> utilizando-se a torta de filtro, aumentando assim sua produção, em até 48%. Segundo Zhao et al., (2009), para que uma cultivar se estabeleça em uma determinada região, a produção teórica de etanol por hectare é uma das variáveis mais importantes.

Estudando a aplicação isolada de vinhaça e torta de filtro no sorgo sacarino município de Vitória de Santo Antão, PE, Lucena et al. (2018) obtiveram uma produção de 2.040,0 L de etanol por hectare aplicando 77 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça e 2.061,78 L ha<sup>-1</sup> de etanol aplicando 11 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, valores inferiores aos obtidos no presente trabalho. Valores similares foram estimados por Rocha et al. (2014), com produção de etanol de 2032,18 L ha<sup>-1</sup> para a cultivar IPA 4667-4-2, usando doses crescentes de gesso mineral ao solo no município de Carpina- PE. No entanto a produção de etanol é variável de acordo com as cultivares que são comumente cultivadas em diferentes regiões e climas.

Avaliando os tratamentos que receberam doses de vinhaça comparados com os tratamentos que receberam adubação mineral, na presença e na ausência de torta de filtro, observa-se significância (< 0,01) na maioria dos parâmetros estudados (Tabela 9).

Verifica-se que a adubação com fertilizantes minerais influencia diretamente na produção da cultura com valores superiores aos obtidos com a aplicação dos resíduos ao solo, provavelmente ocorreu, devido a adubação mineral (NPK) está na quantidade ideal para as plantas, principalmente com o nitrogênio, elemento este responsável pelo melhor desenvolvimento da cultura (MALAVOLTA, 2006).

Tabela 9. Médias do contraste entre a adubação mineral e os tratamentos com doses de vinhaça, ambos com e sem de torta de filtro, no sorgo SF-15.

Contrastes	PV-C (Mg ha <sup>-1</sup> )		PV-F (Mg ha <sup>-1</sup> )		PV-P (Mg ha <sup>-1</sup> )		PV-T (Mg ha <sup>-1</sup> )	
	Média	P	Média	P	Média	P	Média	P
Doses sem torta vs Mineral sem torta	26,37 X 75,8	<0,01	5,89X 16,33	<0,01	2,57X 5,23	<0,01	34,83X 97,37	<0,01
Doses sem torta vs Mineral com torta	26,37 X 77,53	<0,01	5,89 X 17,8	<0,01	2,57 X 6,2	<0,01	34,83 X 101,53	<0,01
Doses com torta vs Mineral sem torta	40,15 X 75,8	<0,01	8,15 X 16,33	<0,01	2,96 X 5,23	0,013	51,26 X 97,37	<0,01
Doses com torta vs Mineral com torta	40,15 X 77,53	<0,01	8,15 X 17,8	<0,01	2,96 X 6,2	<0,01	51,26 X 101,53	<0,01
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	22,42 X 75,8	<0,01	5,66 X 16,33	<0,01	2,35 X 5,23	0,013	30,43 X 97,37	<0,01
Dose zero com torta vs Mineral com torta	31,11 X 77,53	<0,01	6,28 X 17,8	<0,01	3,42 X 6,2	0,016	40,81 X 101,53	<0,01
Contrastes	PS-C(Mg ha <sup>-1</sup> )		PS-F(Mg ha <sup>-1</sup> )		PS-P(Mg ha <sup>-1</sup> )		PS-T (Mg ha <sup>-1</sup> )	
	Média	P	Média	P	Média	P	Média	P
Doses sem torta vs Mineral sem torta	8,2X 18,07	<0,01	2,8X 5,1	<0,01	1,06X 1,83	0,039	12,07X 25,0	<0,01
Doses sem torta vs Mineral com torta	8,2 X 19,83	<0,01	2,8 X 4,87	<0,01	1,06 X 2,23	<0,01	12,07 X 26,93	<0,01
Doses com torta vs Mineral sem torta	12,85 X 18,07	<0,01	3,55 X 5,1	<0,01	1,85 X 1,83	0,963	18,25 X 25,0	<0,01
Doses com torta vs Mineral com torta	12,85 X 19,83	<0,01	3,55 X 4,87	<0,01	1,85 X 2,23	0,291	18,25 X 26,93	<0,01
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	8,47 X 18,07	<0,01	2,59 X 5,1	<0,01	1,13 X 1,83	0,129	12,19 X 25,0	<0,01
Dose zero com torta vs Mineral com torta	9,31 X 19,83	<0,01	2,8 X 4,87	<0,01	2,18 X 2,23	0,908	14,29 X 26,93	<0,01
Contrastes	ALT (cm)		°Brix		Pol (%)		Fibra (%)	
	Média	P	Média	P	Média	P	Média	P
Doses sem torta vs Mineral sem torta	250,35X 321,25	<0,01	12,17 X 13,63	0,52	3,30 X 4,66	0,101	20,47 X 20,39	0,01
Doses sem torta vs Mineral com torta	250,35 X 338,0	<0,01	12,17 X 14,35	0,49	3,30 X 5,32	<0,01	20,47 X 25,68	0,254
Doses com torta vs Mineral sem torta	273,9 X 321,25	<0,01	13,98 X 13,63	0,01	3,70 X 4,66	0,023	24,10 X 20,39	0,952
Doses com torta vs Mineral com torta	273,9 X 338,0	<0,01	13,98 X 14,35	<0,01	3,70 X 5,32	<0,01	24,10 X 25,68	<0,01
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	166,5 X 321,25	<0,01	12,50 X 13,63	0,10	2,45 X 4,66	<0,01	21,29 X 20,39	0,605
Dose zero com torta vs Mineral com torta	288,8 X 338,0	<0,01	12,67 X 14,35	0,01	3,11 X 5,32	<0,01	22,98 X 25,68	0,126
Contrastes	ATR (kg t <sup>-1</sup> )		Etanol (L ha <sup>-1</sup> ).					
	Média	P	Média	P				
Doses sem torta vs Mineral sem torta	127,63 X 126,41	0,411	2527,7 X 4750,5	<0,01				
Doses sem torta vs Mineral com torta	127,63 X 207,05	<0,01	2527,7 X 5591,5	<0,01				
Doses com torta vs Mineral sem torta	141,27 X 126,41	0,946	3641,1 X 4750,5	<0,01				
Doses com torta vs Mineral com torta	141,63 X 207,05	<0,01	3641,1 X 5591,5	<0,01				
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	96,08 X 126,41	0,188	1506,5 X 4750,5	<0,01				
Dose zero com torta vs Mineral com torta	121,31 X 180,05	<0,01	2615,2 X 5591,5	<0,01				

P: Probabilidade; PV-C: Peso Verde dos Colmos; PV-F: Peso Verde das Folhas; PV-P: Peso Verde da Panícula; PV-T: Produtividade Verde Total; PS-C: Peso Seco dos Colmos; PS-F: Peso Seco das Folhas; PS-P: Peso Seco da Panícula; PS-T: Produtividade Seca Total; ALT: Altura; °Brix: teor de sólidos solúveis, Pol: teor de sacarose do caldo; Fibra; ATR: açúcar teórico recuperável.

Segundo Tasso Júnior et al. (2007), é importante analisar e pesquisar se a fertilização com resíduos pode ser comparável à adubação mineral em termos de produtividade e qualidade da cultura. Outros autores enfatizam a importância de doses combinadas de

adubos orgânicos e minerais no rendimento das culturas (ALMEIDA JUNIOR et al., 2011; CARVALHO et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2017).

Mesmo com rendimentos superiores com o uso de adubo mineral, observados na Tabela 9, a aplicação conjunta da vinhaça com a torta de filtro obteve bons resultados de produção de biomassa e dentro dos ganhos aceitáveis para a cultura do sorgo sacarino (TABOSA et al., 2010; MAY et al., 2012).

De acordo com Parrella & Schaffert (2012), o ATR deve apresentar uma extração mínima de 80 Kg Mg<sup>-1</sup> de biomassa visando uma produção eficiente de etanol. Os valores de ATR na cana-de-açúcar variam em torno de 120 a 190 Kg Mg<sup>-1</sup>, em função do genótipo, ambiente e época de colheita (PRADO et al., 2017; CONAB, 2018). Verifica-se na Tabela 9, que pelos resultados obtidos os fatores apresentaram 127,63 na aplicação de vinhaça sem torta e 141,27 nos tratamentos que levaram vinhaça com torta, o que reafirma o potencial do sorgo SF-15 como matéria-prima para produção de etanol.

A aplicação do material orgânico no solo torna-se uma opção lucrativa para os produtores, gerando incrementos na produção e economia com fertilizantes minerais, além de oferecer um destino adequado para os rejeitos.

## CONCLUSÕES

O uso da torta de filtro proporcionou aumento na produtividade do sorgo SF-15.

A torta de filtro obteve resposta para peso seco de colmo, peso seco de folhas, peso seco de panículas, produção seca total.

O teor de fibra e produção de etanol, foram influenciadas positivamente pelo uso da torta de filtro.

A vinhaça adicionada com a torta de filtro aumentaram o peso verde de colmo, altura de planta e °Brix.

Os melhores resultados foram obtidos com 56 a 59 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça associada a 20 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, incrementando significativamente no sorgo SF-15.

## LITERATURA CITADA

ALMEIDA JÚNIOR, A. B. Adubação orgânica em cana-de-açúcar: efeitos no solo e na planta. 2010, 58f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

- APHA; AWWA; WPCF. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environmental Federation –Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 19<sup>a</sup> ed. Washington, DC, USA. 2003, 920p.
- 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, v.16, n.9, p.952–958, 2012.
- CARVALHO, J. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; PASSOS, M. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.43, p.1-9, 2013.
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Manual de Instruções. 5<sup>a</sup> edição, Piracicaba-SP, 2006.
- COSTA, N. R., LIMAR. A., SILVA. G. D. S, MTOSO, A.O, GARCIA, G.C; ROMEIRO, E. R; MARASCA, I., SOUZA, D. M E; LIMA, C.G.R. Aplicação de torta de filtro no sulco de plantio sobre o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar . Tecnol. & Ciên. Agropec., v.10, n.6, p.1-7. 2016
- EKEFRE D. E, MAHAPATRA A. K, LATIMORE M. JR, BELLMER D. D, JENA U, WHITEHEAD G. J, WILLIAMS A. L. Evaluation of three cultivars of sweet sorghum as feedstocks for ethanol production in the Southeast United States. Heliyon. v. 3, Ed 2, p3-12. 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. Manual da cultura do sorgo. Jaboticabal: Funep, 202 p. 2009.
- GOMES, T. C. A. Reciclagem de vinhaça por meio do processo da compostagem. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa/Embrapa Tabuleiros Costeiros. 40 p. 2012.
- IPA. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2<sup>a</sup> aproximação Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, 2008.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes Orgânicos. Piracicaba: Agrônômica Ceres, 1985. 492 p

- LUCENA, E. H. L. Efeito da aplicação de vinhaça e torta de filtro na cultura do sorgo sacarino visando produção de biomassa e rendimento de caldo. 2014. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.
- MALAVOLTA, E. Manual de Nutrição Mineral de Plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, 638 p.
- MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. New York, Academic Press, 2012, 651p.
- MAY, A.; CAMPANHA, M.M.; ABREU, M. C.; BERTOLINO, K.M.; SILVA, A.F.S.; COELHO, M.; PARRELLA, R.A.C.; SCHAFFERT, R.E; FILHO, A.P. (2012b) Influência do arranjo de plantas no desempenho produtivo de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), em Sete Lagoas - MG, Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 29, Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 2382-2389.
- MONTEIRO, F. A.; COLOZZA, M. T.; WERNER, J. C. Enxofre e micronutrientes em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21, 2004, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 279-301.
- MORAN-SALAZAR, R. G.; SANCHEZ-LIZARRAGA, A. L.; RODRIGUEZ-CAMPOS, J.; DAVILA-VAZQUEZ, G.; MARINO-MARMOLEJO, E. N.; DENDOOVEN, L.; CONTRERAS-RAMOS, S. M. Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives. Springer Plus. v. 5, 1007. 2016.
- NAGAI, M.A. Produtividade de biomassa de sorgo sacarino sem irrigação na Zona da Mata Norte de Pernambuco. 2012, 43 f. Dissertação – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- NASCIMENTO, R; SOUZA, J. A.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. Phosphogypsum and vinasse application: soil chemical properties and alfalfa productivity and nutritional characteristics. Revista Caatinga, v. 30, n. 1, p. 213–219, 2017.
- NASPOLINI, B. F.; MACHADO, A. C. O.; CRAVO JUNIOR, W. B.; FREIRE, D. M. G.; CAMMAROTA, M. C. Bioconversion of Sugarcane Vinasse into High-Added Value Products and Energy. BioMed Research International. p.1-11. 2017.
- OLIVEIRA FILHO, R. A. L. Aspectos produtivos da rebrota de cultivares de sorgo irrigados com água salina. Dissertação. Engenharia agrícola-UFRPE. 2016.
- OLIVEIRA, F. L. N.; OLIVEIRA, W. S.; STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S. Effectiveness of biofertilizer enriched in N by *Beijerinckia indica* on sugarcane grown on an Ultisol and the interactive effects between

- biofertilizer and sugarcane filter cake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. v.17, n.4, p.1040-1057. 2017.
- PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; RAMOS, J. P. F.; AQUINO, M. M.; SILVA, T. C.; BEZERRA, H. F. C. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. *Ciência Rural*, v. 43, n. 10, p.1771-1776, 2013.
- PUGLIESE, L.; LOURENCETTI, C.; RIBEIRO, M. L. Impactos ambientais na produção do etanol brasileiro: uma breve discussão do campo à indústria. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, v. 20, n. 1, p. 143-165, 2017.
- R. CORE TEAM R: A Language and Environment for Statistical Computing [internet] R Foundation for statistical computing, 2016.
- RATNAVATHI, C. V.; SURESH, K.; VIJAY KUMAR, B. S.; PALLAVI, M.; KOMALA, V. V.; SEETHARAMA, N. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 7, p. 947-952, 2010.
- RESENDE, G. M.; ALVARENGA, M. A. R.; YURI, J. E.; SOUZA, R. J.; MOTA, J. H.; DE CARVALHO, J. G. RODRIGUES JÚNIOR, J. C. Rendimento e teores de macronutrientes em alface tipo americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio em cultivo de verão. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p.153-163, 2009.
- ROCHA, I. T. M.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; SILVA, A. V.; SIMÕES NETO, D. E.; SOBRAL, N. M. Mineral gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), a promoter of biomass production of sweet sorghum *Australian Journal of Crop Science*, v.8, n.12, p.1663-1670. 2014.
- ROSOLEM, C. A. Nutrição mineral comparada do sorgo granífero e do milho. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 110p. 1978.
- SALLES, J. S.; STEINER, F.; ABAKER, J. E. P.; FERREIRA, T. S.; MARTINS, G. L. M. Resposta da rúcula à adubação orgânica com diferentes compostos orgânicos. *Revista de Agricultura Neotropical*, v.4, n.2, p.35-40, 2017.
- SANTOS, D. H.; SILVA, M. DE A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.443-449, 2011.
- TABOSA, J. N.; REIS, O. V. dos; NASCIMENTO, M. M. A do; LIMA, J. M. P. de; SILVA, F. G.; SILVA FILHO, J. G.; BRITO, A. R. M. B. e RODRIGUES, J. A. S. O

sorgo sacarino no semiárido Brasileiro: elevada produção de biomassa e rendimento de caldo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO e SORGO, 28, Goiânia, GO, 2010. CD ROM.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. A.; NOBILE, F. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. Revista Engenharia Agrícola, v.27, n.1, p.276-283, 2007.

VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; KARAGIANNIDIS, N.; GATSI, T. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. Field Crops Research [S.I.], v. 120, n. 1, p. 38-46, 2011.

VIANA, R. S.; MAY, A.; MATEUS, G. P.; RODRIGUES NETO, A. D.; LOPES, P. R. M. Aspectos tecnológicos de sorgo-sacarino submetido à aplicação de maturadores químicos. Científica, v.45, n.3, p.204-213, 2017.

ZHAO, Y.L., DOLAT, A., STEINBERGER, Y., WANG, X., OSMAN, A., XIE, G.H. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. Field Crops Res. v. 111, p.55-64. 2009.

### **CAPÍTULO III**

---

## **TEORES DE MACRONUTRIENTES NO SORGO SACARINO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO**

## TEORES DE MACRONUTRIENTES NO SORGO SACARINO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO

### RESUMO:

Com o crescimento da produção de biocombustíveis, o sorgo sacarino passou a ser uma alternativa que pode complementar a produção de etanol nos períodos de entressafra da cana-de-açúcar, dando oportunidade à rotação de culturas e proporcionando um período anual completo de produção. Assim o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar estado nutricional do sorgo sacarino submetidos a diferentes doses de vinhaça, com e sem torta de filtro. O experimento foi realizado no período de fevereiro a julho de 2018, na Estação Experimental de Cana-de-açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada em Carpina, Pernambuco. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com doze tratamentos e quatro repetições, em esquema fatorial  $5 \times 2 + 2$  que correspondem a cinco doses de vinhaça (0;0; 9,0; 18,0; 36,0 e 72,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), com e sem aplicação de torta de filtro, mais dois tratamentos adicionais com adubo mineral combinadas com e sem torta de filtro, totalizando quarenta e oito unidades experimentais.. De acordo com os resultados, constatou-se em ordem decrescente o teor dos nutrientes na parte aérea do sorgo sacarino SF-15:  $K > N > Mg \geq Ca > S > P$ . Recomenda-se o uso da vinhaça na dose entre 40,00 a 59,00 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> associada a 20 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, como maneira de maximizar os teores dos macronutrientes no sorgo sacarino SF-15.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de resíduo, nutrição de planta, adubação orgânica, *Sorghum bicolor* (L.).

## MACRONUTRIENT CONTENT IN SWEET SORGHUM UNDER APPLICATION OF VINASSE AND FILTER CAKE

### ABSTRACT:

With the growth of biofuel production, sweet sorghum has become an alternative that can complement the production of ethanol in the off-season of sugarcane, giving opportunity for crop rotation and providing a complete annual production period. Thus the present study was developed with the objective of evaluating the nutritional status of sweet sorghum submitted to different doses of vinasse, with and without filter cake. The experiment was carried out from February to July of 2018, at the Experimental Station of Sugarcane the University Federal Rural of Pernambuco, in Carpina, Pernambuco. The

experimental design was a randomized block design with twelve treatments and four replicates, in a 5 X 2 + 2 factorial scheme, corresponding to five doses of vinasse (0, 0, 9,0, 18,0, 36,0 and 72 , 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), with and without the application of filter cake, plus two additional treatments with mineral fertilizer combined with and without filter cake, totaling forty-eight experimental units. According to the results, the nutrient content in the aerial part of SF-15 sorghum was determined in descending order: K> N> Mg ≥ Ca> S> P. It is recommended to use the vinasse in dose between 40,00 to 59,00 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> associated to 20 Mg ha<sup>-1</sup> of filter cake, as way to maximize macronutrient contents in SF-15 sweet sorghum.

**Key words:** Residue recovery, plant nutrition, organic fertilization, Sorghum bicolor (L.).

## INTRODUÇÃO

A procura por fontes de energias renováveis promoveu o surgimento de tecnologias avançadas como os biocombustíveis. No Brasil, a matéria-prima que mais se destaca é a cana-de-açúcar. No entanto, continuam as buscas por culturas como matérias-primas renováveis que apresentem um ciclo curto de desenvolvimento (EKEFRE et al., 2017). Diante disso, o sorgo sacarino que tem como característica principal os açúcares fermentáveis presentes nos colmos das plantas, é uma cultura que vem sendo estudada com potencialidade para a produção etanol, pois pode ser cultivado em áreas de reforma de canaviais, visando à colheita no período da entressafra da cana-de-açúcar, reduzindo a ociosidade da indústria (VIANA et. al., 2017).

O uso dos resíduos provindos da indústria sucroalcooleira como a vinhaça e a torta de filtro em atividades agrícolas é um fato. Esses resíduos agroindustriais têm se mostrado uma alternativa sustentável do ponto de vista social, ambiental e econômico, melhorando o rendimento das culturas, pois apresentam em sua constituição grande aporte de nutrientes, haja vista sua riqueza de nutrientes requeridos pelas plantas (GLÓRIA & ORLANDO FILHO, 1984). No entanto sua aplicação ao solo sem critérios pode causar problemas de degradação ambiental e/ou intoxicação por algum elemento na cultura, sendo necessário um estudo mais aprofundado de uso racional no manejo e dose mais adequada dessa alternativa como fonte de nutrientes, principalmente em relação ao sistema solo-planta (CARDOSO et al., 2009; ORTEGÓN, et al., 2016; LUCENA et. al., 2018).

De maneira geral, os resíduos foram por muito tempo lançados nos cursos d'água, proliferando microrganismos que promoviam o esgotamento do oxigênio existente na água e, conseqüentemente, a destruição da flora e fauna aquáticas, dificultando o uso da água para fins de abastecimento público (MORAN-SALAZAR et al., 2016). Com isso, entre as diversas alternativas, as usinas têm utilizado a vinhaça e a torta de filtro em áreas agrícolas como fertilizante, possibilitando alcançar o objetivo de não poluir o ambiente, além de reduzir o custo com insumos, podendo até mesmo substituir a adubação mineral, gerando resultados positivos, devido aos seus percentuais consideráveis de elementos essenciais às plantas (VASCONCELOS et al., 2017).

Na literatura existem poucos estudos sobre a demanda nutricional da cultura do sorgo sacarino, ao mesmo tempo que, os dados existentes são de experimentos antigos, como os de Rosolem & Malavolta (1981). Esses autores obtiveram produtividade de massa seca de 14 a 16 Mg ha<sup>-1</sup> para as cultivares de sorgo sacarino Brandes e Rio, respectivamente. Também observaram que a extração de nutrientes pela planta seguiu a seguinte ordem: K > N > Ca > Mg > P > S > Fe > B > Mn > Zn > Cu. A ordem de exigência destes macronutrientes foram confirmadas por Coelho (2011) e Santos et al. (2015), onde observaram que os nutrientes K e N são os nutrientes mais exigidos pelo sorgo, seguindo-se de cálcio, magnésio e fósforo. O que evidencia a importância do estudo com vinhaça e torta de filtro, compostas em sua maioria por esses nutrientes.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar os teores de macronutrientes da cultura do sorgo sacarino SF-15 sobre as diferentes doses de vinhaça e a aplicação da torta de filtro.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em campo, na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), unidade de pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) localizada no município de Carpina, PE (7°51'13''S, 35°14'10''W), a 180 m de altitude, no período de fevereiro a julho de 2018.

Foram retiradas amostras do solo nas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 para caracterização química e física do solo da área de estudo. As análises química e física do solo foram realizadas no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) de acordo com EMBRAPA (1997) (Tabela 1 e 2). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo distrófico abrupto (EMBRAPA, 2013).

Tabela 1. Caracterização química do solo antes da instalação do experimento.

Camada (m)	Análises Químicas													
	pH (H <sub>2</sub> O)	P (mg.dm <sup>-3</sup> )	MO (%)	H	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	CTC	S	V	m	
					----- (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> ) -----								- (%) -	
0 – 0,20	5,8	8,0	2,45	3,08	0,05	1,75	0,75	0,09	0,08	5,8	2,7	46	2	
0,20 – 0,40	5,6	5,0	2,05	3,31	0,15	1,25	0,75	0,06	0,07	5,6	2,1	38	7	

Fonte: IPA. P: fósforo; MO: matéria orgânica; Al<sup>3+</sup>: alumínio; Ca<sup>2+</sup>: cálcio; Mg<sup>2+</sup>: magnésio; K<sup>+</sup>: potássio; Na<sup>+</sup>: sódio; CTC: capacidade de Troca de Cátions; S: Soma de Bases; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Alumínio

Tabela 2. Caracterização física do solo antes da instalação do experimento.

Camada (m)	Análises Físicas								
	Ds	Dp	Composição Granulométrica				Argila Natural	Grau de Floculação	Classe Textural
			Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
	- (g.cm <sup>-3</sup> ) -		----- (%) -----				----- (%) -----		
0 – 0,20	1,66	2,57	51	25	11	13	2	85	Franco arenoso
0,20 – 0,40	1,68	2,57	52	25	8	15	2	87	Franco arenoso

Fonte: IPA. Ds: Densidade do solo; Dp: Densidade das partículas.

O preparo do solo foi realizado 15 dias antes da instalação do experimento, consistindo de uma gradagem (grade aradora e grade niveladora) para destorroamento, incorporação do calcário, sistematização da área e posterior abertura dos sulcos, para a aplicação dos tratamentos e plantio da cultura. De posse dos resultados químicos do solo, aplicou-se a dose de recomendada de 0,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico para a correção do solo, seguindo o Manual de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Pernambuco (CAVALCANTE et al., 2008)

A área experimental consistiu de uma área total de 2.880,0 m<sup>2</sup> (0,288 ha). Após a marcação das parcelas no campo (unidade experimental) foi estruturada com oito fileiras de dez metros de comprimento espaçadas por 0,75 m, totalizando 60,0 m<sup>2</sup>, com 4 repetições. A área útil de cada parcela foi formada considerando apenas as quatro fileiras centrais desprezando 1,0 m de cada extremidade e, perfazendo assim uma área útil de 24,0 m<sup>2</sup>.

O experimento foi disposto em delineamento em blocos casualizados, com 12 tratamentos, em arranjo fatorial (2 × 5) + 2, constituído com e sem aplicação de torta de filtro e 5 níveis de vinhaça (0,0; 9,0; 18,0; 36,0 e 72,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), mais dois tratamentos adicionais, que foram adubo mineral, com e sem aplicação de torta de filtro (T1 e T0), com quatro repetições (blocos), totalizando quarenta e oito unidades experimentais (parcelas).

A vinhaça e a torta de filtro aplicadas foram geradas e disponibilizadas pela Usina Petribu, localizada no município de Lagoa de Itaenga, PE. A vinhaça utilizada foi coletada

“*in natura*” diretamente do bocal de distribuição da usina. A determinação da sua composição química (Tabela 3) foi realizada no AGROLAB- Análises Ambientais, seguindo a Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (2003). A torta de filtro obtida permaneceu armazenada, sem revolvimento durante três meses no pátio da usina, sendo transportada para o local do experimento um dia antes da sua instalação. Para realização dos parâmetros químicos da torta de filtro (Tabela 4) foi encaminhada uma amostra para a Central Analítica de Alagoas, que seguiu a metodologia proposta por Kiehl (1985).

Tabela 3. Caracterização da vinhaça utilizada no experimento.

Parâmetros	Resultado
pH	4,2
Condutividade elétrica – dS.m <sup>-1</sup>	15,06
Nitrogênio total – mg.L <sup>-1</sup>	51,8
Fósforo – mg.L <sup>-1</sup>	6,78
Potássio – mg.L <sup>-1</sup>	1.053,0
Cálcio – mg.L <sup>-1</sup>	888,3
Magnésio – mg.L <sup>-1</sup>	395,3
Sulfato – mg.L <sup>-1</sup>	754,0
Demanda bioquímica de Oxigênio (DBO) – mg.L <sup>-1</sup>	12.300,0
Demanda química de Oxigênio (DQO) – mg.L <sup>-1</sup>	27.250,0

Fonte: AGROLAB- Análises Ambientais

Tabela 4. Caracterização da torta de filtro utilizada no experimento.

Parâmetros	Resultado
pH	7,97
Condutividade elétrica – dS.m <sup>-1</sup>	2,68
Matéria orgânica – (%)	33,2
Nitrogênio total – (g.kg <sup>-1</sup> )	15,0
Fósforo – P (g.kg <sup>-1</sup> )	11,66
Potássio – K (g.kg <sup>-1</sup> )	1,58
Cálcio – (g.kg <sup>-1</sup> )	11,05
Magnésio – (g.kg <sup>-1</sup> )	0,78

Fonte: Central Analítica de Alagoas.

Após a caracterização do solo, com base no teor de potássio no mesmo, e na vinhaça, bem como a exigência do nutriente para a cultura do sorgo forrageiro seguindo a recomendação de Cavalcante et al. (2008), calculou-se a dose de vinhaça aplicada ao solo. Foram levados em conta os fatores multiplicativos: 0, 50, 100, 200 e 400% da dose

recomendada para cultura, perfazendo assim doses de 0,0; 9,0; 18,0; 36,0 e 72,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça, respectivamente. As doses de vinhaça foram aplicadas no sulco de plantio, permanecendo nessa condição durante 30 dias antes dos procedimentos necessários para o plantio, tempo necessário para estabilização da vinhaça no solo (GOMES, 2012).

A quantidade de torta de filtro estipulada para o experimento foi de 20 Mg ha<sup>-1</sup>, tendo sido empregada diretamente no sulco. A aplicação dos fertilizantes minerais nos tratamentos adicionais foram calculados conforme o IPA (2008) para a cultura do sorgo forrageiro de acordo com análise prévia da fertilidade do solo. Foram aplicadas as doses de 30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na semeadura e 60 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura (40 dias após o plantio), 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, ambos na semeadura.

A cultivar utilizada foi a SF-15. Esse material foi desenvolvida e disponibilizada pelo IPA. Definido como sendo genótipo de duplo propósito, isto é, é destinado tanto para produção de forragem como para produção de etanol. O plantio foi realizado manualmente em sulcos contínuos, deixando-se de 20 a 25 sementes por metro linear a uma profundidade de 5,0 cm aproximadamente. Após 15 dias da emergência, realizou-se o desbaste deixando uma densidade de 12 plantas por metro linear.

Apenas no primeiro mês do ciclo da cultura foram realizadas irrigações uniformes em todos os tratamentos três vezes por semana, utilizando-se o sistema de aspersão do tipo mini canhão, com taxa de aplicação de 11 mm h<sup>-1</sup>, devido ao plantio ter sido iniciado no verão, época mais seca do ano, de modo a assegurar uniformidade de brotação e estabelecimento das plantas. Os dados pluviométricos são apresentados na Figura 1.

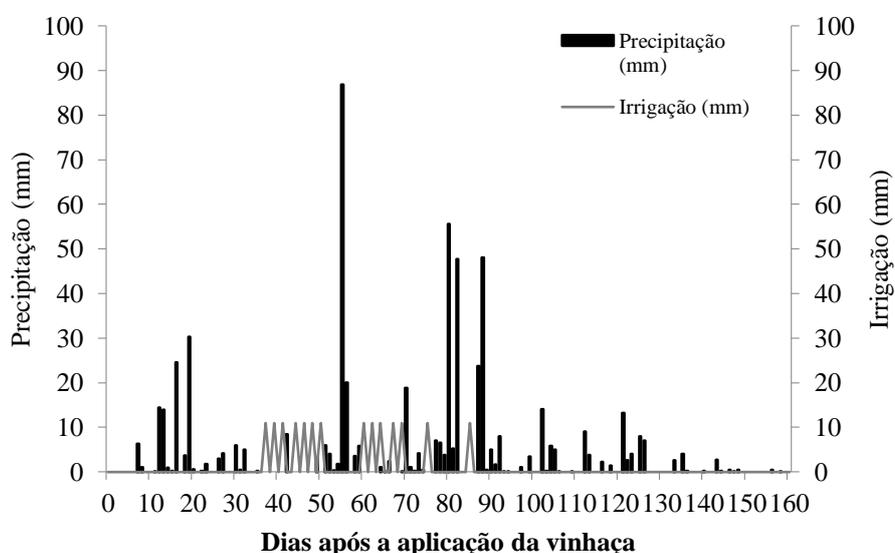


Figura 1. Distribuição da precipitação pluviométrica e água aplicada por irrigação durante o ensaio em campo

É oportuno salientar que por ocorrência de ataques de formigas, procedeu-se nos primeiros 15 dias após o plantio a aplicação de formicida Sulfluramida 0,3%, com isca granulada, distribuída 10g por m<sup>2</sup> próximo da área do formigueiro.

Para controle das plantas daninhas foram realizadas capinas manuais da área no início na cultura, após 40 dias aplicou-se herbicida, 2 l de 2,4-D Amina e 2,5 l de Atrazine em todo hectare, para a contenção das plantas indesejáveis.

A colheita foi realizada aos 130 dias após a semeadura (DAS) quando 50% das plantas da parcela encontravam-se inicialmente floradas, com os grãos na fase de maturação fisiológica, estágio pastoso leitoso. Para a análise nutricional, foram amostradas cinco plantas por parcela útil. As plantas foram cortadas rente ao solo, fracionadas em colmo, folha e panícula, sendo acondicionadas em sacos de papel e colocadas, posteriormente, em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C, até atingir massa constante.

Após a secagem, as amostras foram processadas em moinho tipo Willey com peneira de 2 mm e armazenadas para posterior quantificação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S). A extração dos nutrientes foi realizada por via úmida, onde, para o N procedeu-se a digestão sulfúrica, e para os demais P, K, Ca, Mg e S digestão nítrica de acordo com metodologia proposta por Silva (2009). A quantificação dos teores de N total foi determinada pelo método de arraste de vapor (Kjeldahl); potássio pelo método de fotometria de chamas; fósforo pelo método colorimétrico molibdo-vanadato; enxofre pelo método turbidimétrico do sulfato de bário; cálcio e magnésio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, seguindo procedimentos metodológicos sugeridos por Bezerra Neto & Barreto (2011).

Os resultados obtidos foram interpretados por meio da análise variância e de regressão pelo teste F a 5% de probabilidade, buscando-se ajustar modelos de melhor tendência. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As médias dos tratamentos adicionais foram contrastadas com os resultados obtidos das médias dos tratamentos do fatorial. As análises estatísticas foram conduzidas com o auxílio do Software R (R CORE TEAM, 2016).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados da análise de variância para os teores de nutrientes no sorgo sacarino SF-15 encontram-se na Tabela 5, sendo possível observar efeito significativo da interação

entre as doses de vinhaça e aplicação de torta de filtro na concentração de cálcio no colmo (Ca-C) e na folha (Ca-F) ao nível de significância de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Verificou-se também, influência significativa para as doses de vinhaça e aplicação da torta de filtro de maneira isolada na concentração de nitrogênio no colmo (N-C), fósforo no colmo (P-C), bem como no enxofre no colmo (S-C). Ainda observando a ANOVA, somente a aplicação da torta de filtro apresentou diferença significativa a 1% de probabilidade para nitrogênio na panícula (N-P), fósforo na folha (P-F), potássio na folha (K-F), além de magnésio no colmo, folha e panícula (Mg-C, Mg-F e Mg-P). Porém, não houve efeito significativo para nenhum dos tratamentos sobre as variáveis, nitrogênio na folha (N-F), potássio na panícula (K-P), cálcio na panícula (Ca-P) e enxofre na folha (S-F) e na panícula (S-P).

Tabela 5. Resumo da ANOVA e valores de F calculados para os teores de nutrientes nos órgãos da planta em função das doses de vinhaça e aplicação da torta de filtro.

Fonte de Variação	Valores de F									
	GL	N-C	N-F	N-P	P-C	P-F	P-P	K-C	K-F	K-P
Dose	4	6,15**	2,30ns	0,27ns	3,53*	1,92ns	0,64ns	2,77*	2,65ns	1,18ns
Torta	1	20,60**	0,00ns	7,74**	117,56**	62,57**	7,77**	1,16ns	8,76**	0,57ns
Dose × Torta	4	1,78ns	2,08ns	0,40ns	0,11ns	1,14ns	2,16ns	2,32ns	2,05ns	1,68ns
CV (%)	-	14,17	17,77	11,23	17,08	18,97	13,41	26,84	15,93	45,74
		Ca-C	Ca-F	Ca-P	Mg-C	Mg-F	Mg-P	S-C	S-F	S-P
Dose	4	9,27**	1,78ns	0,56ns	2,51ns	2,33ns	0,76ns	13,52**	0,58ns	1,00ns
Torta	1	19,15**	0,00ns	1,25ns	5,56*	9,77**	9,01**	23,83**	3,01ns	0,25ns
Dose × Torta	4	10,53**	3,36*	0,36ns	2,56ns	1,27ns	2,39ns	1,73ns	0,49ns	1,61ns
CV (%)	-	18,11	9,34	25,21	13,38	8,68	13,77	16,98	33,57	13,43

\*\* e \*: Significativo a 1% e a 5% de probabilidade de acordo com o teste F; ns: Não significativo de acordo com o teste F; GL: Graus de Liberdade; N-C: Teor de nitrogênio no colmo; N-F: Teor de nitrogênio na folha; N-P: Teor de nitrogênio na panícula; P-C: Teor de fósforo no colmo; P-F: Teor de fósforo na folha; P-P: Teor de fósforo na panícula; K-C: Teor de potássio no colmo; K-F: Teor de potássio na folha; K-P: Teor de potássio na panícula; Ca-C: Teor de cálcio no colmo; Ca-F: Teor de cálcio na folha; Ca-P: Teor de cálcio na panícula; Mg-C: Teor de magnésio no colmo; Mg-F: Teor de magnésio na folha; Mg-P: Teor de magnésio na panícula; S-C: Teor de enxofre no colmo; S-F: Teor de enxofre na folha; S-P: Teor de enxofre na panícula

O teor de N no colmo apresentou comportamento quadrático com a aplicação das doses de vinhaça (Figura 2), mostrando-se eficaz quanto ao aporte de N para o sorgo sacarino. O teor de nitrogênio no tratamento sem adubação orgânica ( $0,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) foi de  $3,51 \text{ g kg}^{-1}$ , com a máxima eficiência de  $4,68 \text{ g kg}^{-1}$  na dose de  $54 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça, ocorrendo um aumento de 33%.

O teor de N-C ficou um pouco abaixo da faixa considerada normal para cultura do sorgo sacarino segundo Rosolem & Malavolta (1981) que foi de 4,94 e  $8,30 \text{ g kg}^{-1}$ , no entanto, a faixa adequada proposta por estes autores foi estabelecida com base na cultivar

Rio e cultivar Brandes, respectivamente, e no presente estudo a cultivar avaliada foi a SF-15.

Porém, deduz-se que não houve limitação na absorção do N pelo colmo das plantas; visto que o N é considerado um elemento indispensável para produção e crescimento das culturas, e a produção de matéria seca total da cultivar SF-15 avaliada, foi de 17,33 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto que ainda conforme Rosolem & Malavolta (1981), a produção obtida foi de 14,6 e 16,3 Mg ha<sup>-1</sup> para a cultivar Rio e Brandes, respectivamente. Rosolem (1978) estudou 5 cultivares de sorgo granífero e para cada cultivar encontrou uma média para o teor de N diferente, concluindo com isso, que suas exigências dependem também do cultivar analisada.

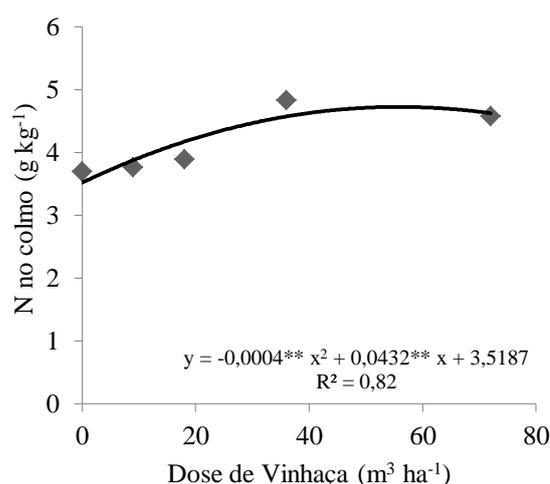


Figura 2. Teor de nitrogênio no colmo do sorgo sacarino, variedade SF-15, em função da aplicação das doses de vinhaça.

O uso da torta de filtro no solo foi significativo para o N-C e para N-P (Tabela 4), sendo constatados, 5,42 e 14,69 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, valores mais elevados do que a aplicação da vinhaça. Tal fato, pode ter ocorrido devido a maior concentração de nitrogênio e quantidade apreciável de matéria orgânica contida na torta de filtro, potencializado assim sua disponibilidade para as plantas. Resultados similares foram obtidos por Oliveira et al. (2017), observaram incrementos no teor de nitrogênio na parte aérea na cana-de-açúcar influenciadas pela torta de filtro.

Tabela 4 - Desdobramento da Torta de filtro pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para o teor de macronutrientes do sorgo sacarino SF-15.

Variável	Concentração (médias)	
	T0- Sem Torta	T1- Com Torta
	-----g kg <sup>-1</sup> -----	
N-C	4,57 b	5,42 a
N-P	13,3 b	14,69 a
P-C	0,12 b	0,22 a
P-F	0,19 b	0,31 a
P-P	0,28 b	0,31 a
K-F	9,03 b	12,23a
Mg-C	0,35 b	0,39 a
Mg-F	0,67 b	0,74 a
Mg-P	0,36 b	0,41 a
S-C	1,69 b	2,80 a

Letras minúsculas e distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N-C: Teor de nitrogênio no colmo; N-P: Teor de nitrogênio na panícula; P-C: Teor de fósforo no colmo ; P-F: Teor de fósforo na folha ; P-P: Teor de fósforo na panícula; K-F: Teor de potássio na folha; Mg-C: Teor de magnésio no colmo ; Mg-F: Teor de magnésio na folha; Mg-P: Teor de magnésio na panícula; S-C: Teor de enxofre no colmo

Quanto ao teor de fósforo no colmo, verifica-se que as doses de vinhaça influenciaram de forma positiva, ajustando-se o modelo quadrático como melhor representatividade (Figura 3).

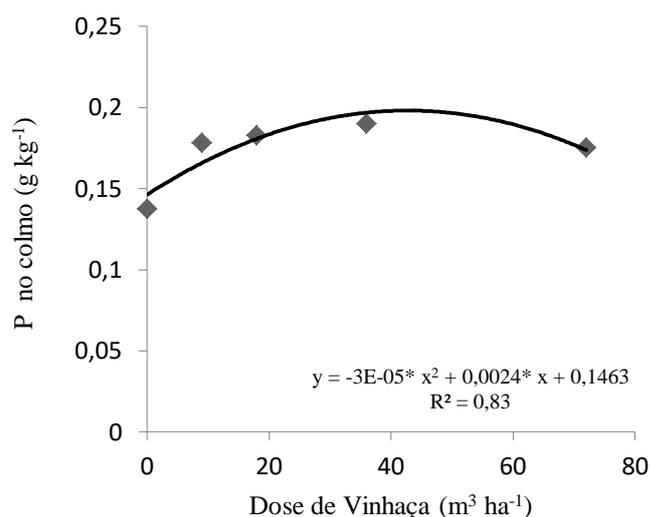


Figura 3. Teor de fósforo no colmo do sorgo sacarino, variedade SF-15, em função da aplicação das doses de vinhaça.

O máximo teor de P obtido no colmo da cultura do sorgo sacarino foi de 0,194 g kg<sup>-1</sup> na dose de 40,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> revelando um incremento de 33%. O fósforo assim como o nitrogênio, é um elemento essencial ao crescimento, desenvolvimento e à reprodução das

plantas, participa da fotossíntese, divisão celular, sínteses de açúcares e amido, além de desempenhar importante papel no processo de formação de sementes e grãos (LÓPEZ-BUCIO et al., 2002, SILVA et al., 2014).

Observa-se na Tabela 4, que torta de filtro também exerceu influência significativa sobre o aporte de fósforo em todos os órgãos da parte aérea da planta (PC, PF, PP). Essa contribuição foi superior se comparada com a aplicação de vinhaça, visto que um dos elementos principais da torta de filtro é o P nela contida. O P em todas as partes do sorgo sacarino foi o terceiro elemento mais requerido pela cultura, seguido do potássio e do nitrogênio. Sua concentração se deu em menores quantidades no colmo, estimados em 0,12 e 0,22 g kg<sup>-1</sup>, na folha o teor de P foi de 0,19 e 0,31 g kg<sup>-1</sup>, e na panícula se deu em 0,28 e 0,31 g kg<sup>-1</sup> para T0 e T1, respectivamente.

Mesmo com o reforço em P garantidos pelo uso da vinhaça e da torta de filtro, constata-se, que os valores encontrados não foram considerados satisfatórios, pois de acordo com Rosolem & Malavolta (1981) os teores adequados de fósforo estão situados em 0,39 e 0,5 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca de colmo, 1,21 e 1,75 g kg<sup>-1</sup> para folha e 3,23 e 3,63 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca de panícula. Talvez, essa ocorrência possa ser explicada devido ao fato do fósforo ser um elemento de baixa mobilidade no solo, dificultando assim sua disponibilidade para as plantas em curto espaço de tempo.

Com relação ao teor de potássio no colmo, observa-se na Figura 4, que o a vinhaça proporcionou maior teor de P (23,91 g kg<sup>-1</sup>) na dose de 58,84 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, com um incremento de 86 % em relação à dose 0,00 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça. A faixa considerada adequada segundo Rosolem & Malavolta (1981), indicam valores entre 13,54 a 15,27 g kg<sup>-1</sup>.

Esse excesso pode ser explicado de acordo com GOMMERS et al. (2005), segundo os quais as plantas em geral, possuem habilidade em absorver K acima de suas necessidades metabólicas, acumulando esse nutriente nas organelas das células vegetais. Vale ressaltar também, que o potássio por ser um elemento móvel no solo, pode ser mais facilmente exportado pelas plantas em grandes quantidades, e em condições de alta disponibilidade de K no solo provindo da vinhaça aplicada, as plantas absorvem quantidades acima da sua necessidade metabólica.

Comportamento similar foi encontrado por Alves et al. (1988), que aplicando várias doses de potássio verificaram o consumo de luxo de potássio no colmo do sorgo sacarino em quatro cultivares diferentes. Tal comportamento, igualmente foi identificado por Silva & Lazarini (2014) na cultura da soja.

Segundo Taiz & Zeiger (2013) o potássio desempenha funções importantes nas plantas como na fotossíntese, além de ser responsável pelo metabolismo energético e transporte de sacarose, portanto, é um macronutriente que estimula o crescimento e a produção do sorgo sacarino.

A quantidade de K aplicado via vinhaça foi de 12,5 kg ha<sup>-1</sup> para a dose de 9,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e 100 kg ha<sup>-1</sup> referente à dose 72,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Esta quantidade de K proveniente da vinhaça utilizada no experimento indica elevada disponibilidade do nutriente para as plantas e pode ser recomendada como fonte exclusiva de K, principalmente em solos intemperizados, com baixa concentração do nutriente.

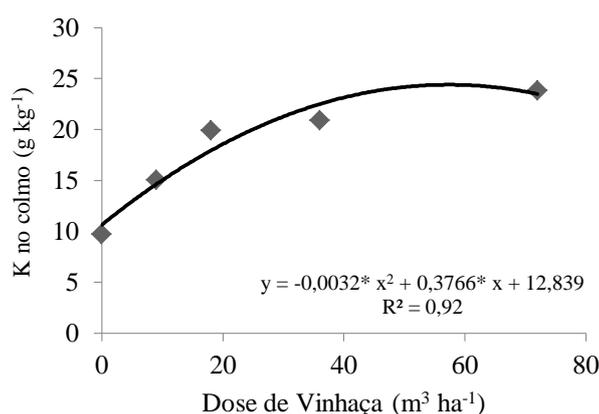


Figura 4. Teor de potássio no colmo do sorgo sacarino, variedade SF-15, em função da aplicação das doses de vinhaça.

Na Tabela 4, verifica-se o desdobramento da aplicação da torta de filtro no teor de potássio na folha, onde é possível observar o valor mais elevado com a aplicação de torta de filtro 12,23 g kg<sup>-1</sup>, enquanto sem aplicação da torta de filtro 9,03 g kg<sup>-1</sup>, enquadrando-se dentro do estimado para a cultura (4,54 a 9,5 g kg<sup>-1</sup>) por Rosolem & Malavolta (1981). Almeida Jr. et al. (2011) trabalhando com torta de filtro observaram acréscimo de K nas folhas da cana-de-açúcar, constatando a disponibilização de K da torta para as plantas.

Avaliando-se a concentração de cálcio no colmo em função das doses de vinhaça e aplicação de torta de filtro (Figura 5), pode-se verificar que para a aplicação conjunta de vinhaça mais torta de filtro (T1) ajustou-se o modelo linear crescente, com teores médios estimados de 0,15 e 0,30 g kg<sup>-1</sup> para as doses de 0,0 e 137 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. A maior concentração de cálcio no colmo (0,33 g kg<sup>-1</sup>) foi obtida na dose de vinhaça de 39,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> sem torta e a menor (0,18 g kg<sup>-1</sup>) no tratamento testemunha (0,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> sem torta). Valor de Ca superior (1,90 g kg<sup>-1</sup>) foi encontrado por Rocha et al. (2014), na cultura do sorgo sacarino, porém

trabalharam com aplicação de gesso, o qual é um fornecedor ativo de cálcio no solo e consequentemente disponível para a planta.

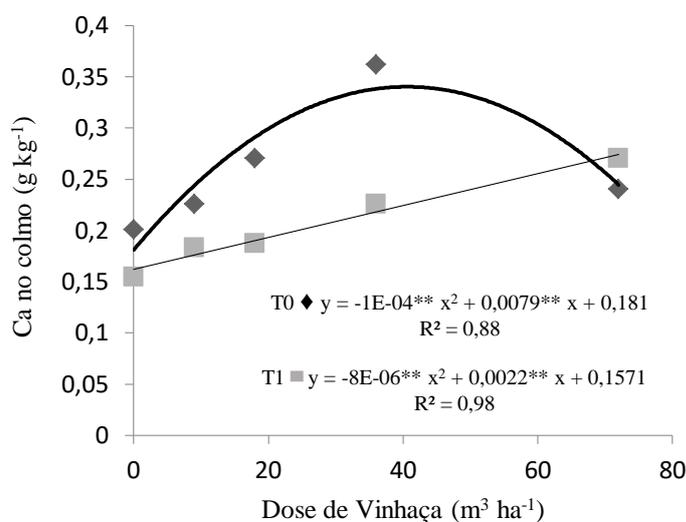


Figura 5. Concentração de cálcio no colmo do sorgo sacarino, variedade SF-1, em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro (T0-sem torta e T1- com torta).

Na Figura 6, são apresentados os efeitos da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro (T0 e T1) no teor de cálcio na folha do sorgo sacarino. Observa-se que para ambas as aplicações com os adubos orgânicos os valores se mantiveram com a mesma tendência. Os maiores valores de Ca-F foram observados na dose de vinhaça de 45,6 m³ ha⁻¹ com aplicação da torta, quantificando teor de 0,65 g kg⁻¹ de Ca-F, e na ausência da torta de filtro 0,59 g kg⁻¹ na dose de 55 m³ ha⁻¹, revelando um incremento de 32 e 34 %, respectivamente, quando comparado com a dose 0,0 45,6 m³ ha⁻¹ de vinhaça. Mesmo com esse incremento observado no Ca-F esses valores são bem inferiores aos propostos como adequado por Rosolem & Malavolta (1981) que são entre 6,06 e 8,25 g kg⁻¹.

Um aspecto importante a ser relatado é que nos últimos 40 dias antes da colheita e avaliação nutricional da cultura, houve redução da precipitação, o que provavelmente pode ter interferido negativamente a absorção do Ca e Mg pela cultura, já que são transportados por fluxo de massa e necessitam de água para atingir a umidade e ficarem na solução do solo disponíveis para as plantas (BARBER, 1974; RUIZ et al., 1999)

Resultados similares de baixos teores de Ca na cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça foram encontrado por Bebé (2011), que relatou outra possível causa da menor absorção de Ca pela cultura, provavelmente devido à influência da competição com K nos sítios de absorção das raízes das plantas.

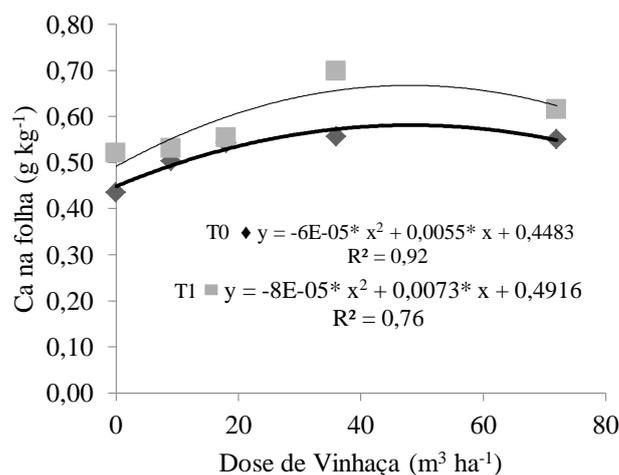


Figura 6. Teor de cálcio na folha do sorgo sacarino, variedade SF-1, em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro (T0-sem torta e T1- com torta).

A aplicação da torta de filtro influenciou no teor de Mg no colmo, folha e panícula do sorgo sacarino (Tabela 4). Quando se observa seu comparativo nos órgãos das plantas, verifica-se seu acúmulo maior nas folhas, uma vez que faz parte da molécula da clorofila, e tem influência direta no processo de fotossíntese da planta, desta forma, a demanda pelo nutriente nas folhas é devido a maior área foliar fotossinteticamente ativa (TAIZ & ZEIGER, 2013). Verifica-se também, baixos valores de Mg, e que seu comportamento se dá semelhante aos observados para o Ca, onde o K adicionado pela aplicação dos resíduos pode ter interferido sensivelmente no acúmulo de Mg na cultura. Os resultados obtidos corroboram com Alves et al. (1988), onde estudando aplicações de diferentes doses de potássio, observaram menores valores de Ca e Mg no sorgo sacarino, porém obtiveram produtividades satisfatórias (24 Mg ha<sup>-1</sup>). Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho et al. (2013), também relataram baixos valores de Ca e Mg na cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça.

Com relação ao teor de enxofre no colmo, observa-se, Figura 7, que apresentou comportamento quadrático em função da aplicação das doses de vinhaça. O teor de S nos colmos foi igual a 1,11 g kg<sup>-1</sup> na dose de vinhaça de 0,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, e obtidos maior valor 3,35 g kg<sup>-1</sup> na dose de 45,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, o que representa um incremento de 67%. Isso demonstra que a vinhaça, nas condições em que o experimento foi desenvolvido, constituiu-se uma ótima fonte de enxofre para a cultura do sorgo sacarino. Este elemento tem função metabólica importante nas plantas, as moléculas contendo enxofre (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) participam da estrutura de alguns aminoácidos, atuam como ativador enzimático, participam na formação

das proteínas metabólicas e formação de açúcar, papel este, fundamental em culturas destinadas para produção de etanol (VITTI et al., 2006; LUCHETA, 2016). Apesar da importância desse nutriente na cultura, ainda são escassas informações sobre o nutriente nas plantas com relação à aplicação de adubos do setor sucroalcooleiro.

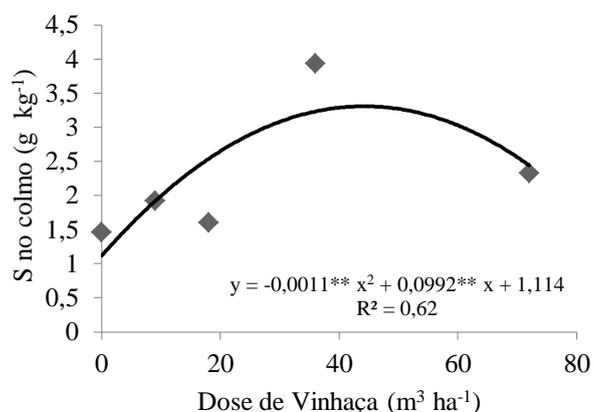


Figura 7. Teor de enxofre no colmo do sorgo sacarino, variedade SF-1, em função da aplicação de doses de vinhaça.

Observando o desdobramento da torta de filtro, Tabela 4, constata-se que a aplicação da torta também favoreceu o teor de S no colmo, passando de 1,69 g kg<sup>-1</sup> em T0 para 2,80 g kg<sup>-1</sup> com o uso da torta de filtro (T1), perfazendo um aumento significativo de 65,68%. Incrementos no teor de S na cultura do girassol também foram encontrados por Dantas et al. (2016), usando a manipueira, que é um adubo orgânico rico K e P. Fravet et al. (2010) observaram incremento de S e de todos os macronutrientes na cultura da cana-de-açúcar com a aplicação da torta de filtro no solo.

Avaliando os tratamentos que receberam doses de vinhaça comparando-os com os tratamentos que receberam adubação mineral (NPK), na presença e na ausência de torta de filtro, observa-se significância (< 0,01) em quase todos os parâmetros estudados (Tabela 5).

Pode-se verificar que as aplicações do adubo mineral mostraram valores superiores quanto à disponibilidade de nutrientes para as plantas, contrastando com os adubos orgânicos. Possivelmente, tal fato se explica devido aos nutrientes presentes nos resíduos serem orgânicos, e sua liberação ocorre gradualmente pela mineralização e pela atividade de microrganismos, principalmente o fosfato natural, que se solubiliza mais lentamente (ROSSETTO et al., 2008).

Tabela 5. Médias dos contrastes entre os tratamentos com doses de vinhaça e adubo mineral, com e sem aplicação da torta de filtro sobre os teores de nutrientes em cada órgão do sorgo sacarino SF-15

Contrastes	N-C (g kg <sup>-1</sup> )		N-F (g kg <sup>-1</sup> )		N-P (g kg <sup>-1</sup> )	
	Média	P	Média	P	Média	P
Doses sem torta vs Mineral sem torta	3,66 × 4,2	<0,01	13,31 × 18,9	<0,01	13,38 × 14,7	0,075
Doses sem torta vs Mineral com torta	3,66 × 6,2	0,807	13,31 × 21,7	<0,01	13,38 × 15,05	0,387
Doses com torta vs Mineral sem torta	4,31 × 4,2	<0,01	13,5 × 21,7	<0,01	14,58 × 14,1	0,609
Doses com torta vs Mineral com torta	4,31 × 6,2	0,229	13,5 × 21,7	<0,01	14,58 × 14,17	0,660
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	4,02 × 4,2	0,243	12,7 × 18,9	<0,01	13,04 × 14,7	0,090
Dose zero com torta vs Mineral com torta	5,63 × 6,2	0,757	13,65 × 21,7	<0,01	15,14 × 15,0	0,409
	P-C (g kg <sup>-1</sup> )		P-F (g kg <sup>-1</sup> )		P-P (g kg <sup>-1</sup> )	
	Média	P	Média	P	Média	P
Doses sem torta vs Mineral sem torta	0,13 × 0,08	<0,01	0,19 × 0,21	0,541	0,28 × 0,26	0,309
Doses sem torta vs Mineral com torta	0,13 × 0,11	0,166	0,19 × 0,27	<0,01	0,28 × 0,26	0,424
Doses com torta vs Mineral sem torta	0,23 × 0,08	<0,01	0,32 × 0,21	<0,01	0,31 × 0,26	0,012
Doses com torta vs Mineral com torta	0,23 × 0,11	<0,01	0,32 × 0,27	0,063	0,31 × 0,26	0,018
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	0,09 × 0,08	0,908	0,19 × 0,21	0,498	0,29 × 0,26	0,269
Dose zero com torta vs Mineral com torta	0,19 × 0,11	<0,01	0,28 × 0,27	0,653	0,32 × 0,26	0,046
	K-C (g kg <sup>-1</sup> )		K-F (g kg <sup>-1</sup> )		K-P (g kg <sup>-1</sup> )	
	Média	P	Média	P	Média	P
Doses sem torta vs Mineral sem torta	21,63 × 16,87	0,083	9,79 × 15,58	<0,01	12,77 × 7,03	<0,01
Doses sem torta vs Mineral com torta	21,63 × 8,6	<0,01	9,79 × 17,96	0,053	12,77 × 16,67	0,245
Doses com torta vs Mineral sem torta	19,14 × 16,87	0,401	12,23 × 15,58	<0,01	8,64 × 7,03	<0,01
Doses com torta vs Mineral com torta	19,14 × 8,6	<0,01	12,23 × 17,96	<0,01	8,64 × 16,67	0,020
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	15,56 × 16,87	0,700	8,07 × 15,58	<0,01	4,99 × 7,03	<0,01
Dose zero com torta vs Mineral com torta	16,62 × 8,6	0,023	11,46 × 17,96	0,029	13,72 × 16,67	0,484
	Ca-C (g kg <sup>-1</sup> )		Ca-F (g kg <sup>-1</sup> )		Ca-P (g kg <sup>-1</sup> )	
	Média	P	Média	P	Média	P
Doses sem torta vs Mineral sem torta	0,18 × 0,23	0,513	0,5 × 0,8	<0,01	0,1 × 0,2	0,802
Doses sem torta vs Mineral com torta	0,18 × 0,28	<0,01	0,5 × 0,8	<0,01	0,1 × 0,2	0,140
Doses com torta vs Mineral sem torta	0,21 × 0,23	0,068	0,5 × 0,8	<0,01	0,1 × 0,2	0,443
Doses com torta vs Mineral com torta	0,21 × 0,28	<0,01	0,5 × 0,8	<0,01	0,1 × 0,2	0,050
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	0,18 × 0,23	<0,01	0,5 × 0,8	<0,01	0,1 × 0,2	0,867
Dose zero com torta vs Mineral com torta	0,38 × 0,28	<0,01	0,5 × 0,8	<0,01	0,1 × 0,2	0,039
	Mg-C (g kg <sup>-1</sup> )		Mg-F (g kg <sup>-1</sup> )		Mg-P (g kg <sup>-1</sup> )	
	Média	P	Média	P	Média	P
Doses sem torta vs Mineral sem torta	0,36 × 0,32	0,263	0,67 × 0,94	<0,01	0,40 × 0,37	0,255
Doses sem torta vs Mineral com torta	0,36 × 0,46	<0,01	0,67 × 1,04	<0,01	0,40 × 0,39	0,762
Doses com torta vs Mineral sem torta	0,41 × 0,32	0,013	0,72 × 0,94	<0,01	0,37 × 0,37	0,986
Doses com torta vs Mineral com torta	0,41 × 0,46	0,095	0,72 × 1,04	<0,01	0,37 × 0,39	0,410
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	0,36 × 0,32	0,367	0,70 × 0,94	<0,01	0,48 × 0,37	<0,01
Dose zero com torta vs Mineral com torta	0,34 × 0,46	<0,01	0,84 × 1,04	<0,01	0,36 × 0,39	0,337
	S-C (g kg <sup>-1</sup> )		S-F (g kg <sup>-1</sup> )		S-P (g kg <sup>-1</sup> )	
	Média	P	Média	P	Média	P
Doses sem torta vs Mineral sem torta	1,77 × 2,24	0,036	3,88 × 3,57	0,502	3,71 × 3,18	0,111
Doses sem torta vs Mineral com torta	1,77 × 2,02	0,242	3,88 × 2,80	0,022	3,71 × 3,79	0,793
Doses com torta vs Mineral sem torta	3,12 × 2,24	0,522	3,15 × 3,57	0,357	3,71 × 3,18	0,107
Doses com torta vs Mineral com torta	3,12 × 2,02	0,109	3,15 × 2,80	0,441	3,71 × 3,79	0,808
Dose zero sem torta vs Mineral sem torta	1,40 × 2,24	<0,01	3,21 × 3,57	0,532	3,57 × 3,18	0,352
Dose zero com torta vs Mineral com torta	1,52 × 2,02	0,075	3,06 × 2,80	0,656	3,16 × 3,79	0,127

P: Probabilidade; N-C: Teor de nitrogênio no colmo; N-F: Teor de nitrogênio na folha; N-P: Teor de nitrogênio na panícula; P-C: Teor de fósforo no colmo ; P-F: Teor de fósforo na folha ; P-P: Teor de fósforo na panícula ; K-C: Teor de potássio no colmo; K-F: Teor de potássio na folha; K-P: Teor de potássio na panícula; Ca-C: Teor de cálcio no colmo; Ca-F: Teor de cálcio na folha; Ca-P: Teor de cálcio na panícula ; Mg-C: Teor de magnésio no colmo ; Mg-F: Teor de magnésio na folha ; Mg-P: Teor de magnésio na panícula; S-C: Teor de enxofre no colmo; S-F: Teor de enxofre na folha; S-P: Teor de enxofre na panícula

Mesmo com valores do teor de macronutrientes no sorgo SF-15 superiores com a adubação mineral, os resultados obtidos com o uso conjunto dos dois resíduos (vinhaça e torta de filtro) sugerem que são uma boa fonte de nutrientes para a cultura do sorgo sacarino, uma vez que foram encontrados teores considerados adequados, como mencionados anteriormente de acordo com Rosolem & Malavolta (1981). Assim como, apresentaram uma elevada produção total do material verde, obtendo-se 34 e 50 Mg ha<sup>-1</sup> em função da aplicação de vinhaça com T0 e T1, respectivamente, pois segundo Tabosa et al. (2010) para a variedade estudada SF-15, gira em torno de 29,5 e 45,0 t de material verde por hectare.

Lucena et al. (2018) obtiveram para essa cultura, uma produção de 2.040,0 L de etanol por hectare aplicando 77 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça e 2.061,78 L ha<sup>-1</sup> de etanol aplicando 22 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, valores inferiores aos obtidos no presente trabalho.

## CONCLUSÕES

A sequencia decrescente de teor de nutrientes nas plantas da variedade de do sorgo sacarino SF-15 submetidos à aplicação de vinhaça e torta de filtro foi de  $K > N > Mg \geq Ca > S > P$ .

A torta de filtro favoreceu o incremento dos macronutrientes na parte aérea das plantas.

Recomenda-se o uso da vinhaça na dose de 40,00-59,00 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> associada a 20 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, como maneira de maximizar os teores dos macronutrientes no sorgo sacarino.

## LITERATURA CITADA

- ALMEIDA JUNIOR, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B. V.; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.10, p.1004-1013, 2011.
- ALVES, A. C.; BRAUNER, J. L.; CORDEIRO, D. S.; ZONTA, E. P.; CORREA, L. A. V. Exigências nutricionais em potássio, cálcio e magnésio do sorgo sacarino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.23, p.529-536. 1988.

- APHA; AWWA; WPCF. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environmental Federation –Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 19<sup>a</sup> ed. Washington, DC, USA, 2003. 920 p.
- BARBER, S. A. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University of Virginia, 1974. p.525-564.
- BEBÉ, F. V. Atributos agroindustriais, nutricionais e de fertilidade do solo em cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 72f. 2011.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. Métodos de Análises Químicas em plantas. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2011.
- CARDOSO, E.; CARDOSO, D. C.; CRISTIANO, M. P.; SILVA, L.; BACK, A. J.; BERNARDIN, A. M.; PAULA, M. M. S. Use of *Manihot esculenta*, Crantz Processing Residue as Biofertilizer in Corn Crops. Research Journal of Agronomy. v.3, p.1-8. 2009.
- CARVALHO, J. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; PASSOS, M. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.43, p.1-9, 2013.
- COELHO, A. M. Fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sorgo sacarino. Agroenergia em Revista, Brasília, v. 2, n. 3, p. 18-19, 2011.
- DANTAS, M. S. M.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; BEZERRA NETO, E.; SILVA, G. F.; SILVA, E. F. F. Accumulation of macronutrients in different parts of sunflower fertilized with cassava wastewater. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 20, n. 7, p. 630-636. 2016.
- EKEFRE D. E, MAHAPATRA A. K, LATIMORE M. JR, BELLMER D. D, JENA U, WHITEHEAD G. J, WILLIAMS A. L. Evaluation of three cultivars of sweet sorghum as feedstocks for ethanol production in the Southeast United States. Heliyon. v. 3, Ed 2, p3-12. 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

- FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 3, p. 618-624. 2010.
- GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. *Álcool e Açúcar*, v.4, n15, p. 22-31, 1984.
- GOMES, T. C. A. Reciclagem de vinhaça por meio do processo da compostagem. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 40 p. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- GOMMERS, A.; THIRY, Y.; DELVAUX, B. Rhizospheric mobilization and plant uptake of radiocesium from weathered micas: I. Influence of potassium depletion. *Journal of Environmental Quality*, v.34, p.2167-2173, 2005.
- IPA. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, 2008.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes Orgânicos, Piracicaba. Editora Agronômica Ceres. 492 p. 1985.
- LÓPEZ-BUCIO, J.; HERNÁNDEZ-ABREU, E.; SÁNCHEZ-CALDERÓN, L.; NIETO-JACOBO, M. F.; SIMPSON, J.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate availability alters architecture and cause changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. *Plant Physiology*, v. 129, n. 1, p. 244-256. 2002.
- LUCENA, E. H. L.; DUTRA, E. D.; PEDROSA, E. M. R.; MENEZES, R. S. C.; TABOSA, J. N.; CARVALHO, A. L.; ROLIM, M. M.; ARAÚJO FILHO, R. N.; PRIMO, D. C. *Journal of Experimental Agriculture International*, v.24, n.4, p.1-13. 2018.
- LUCHETA, A. R.; LAMBAIS, M. R. Sulfur in agriculture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 5, p. 1369-1379. 2012.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997.
- MORAN-SALAZAR, R. G.; SANCHEZ-LIZARRAGA, A. L.; RODRIGUEZ-CAMPOS, J.; DAVILA-VAZQUEZ, G.; MARINO-MARMOLEJO, E. N.; DENDOOVEN, L.; CONTRERAS-RAMOS, S. M. Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives. *SpringerPlus*. v. 5, 1007. 2016.
- NASPOLINI, B. F.; MACHADO, A. C. O.; CRAVO JUNIOR, W. B.; FREIRE, D. M. G.; CAMMAROTA, M. C. Bioconversion of Sugarcane Vinasse into High-Added Value Products and Energy. *BioMed Research International*. v.2017, p.1-11. 2017.

- OLIVEIRA, F. L. N.; OLIVEIRA, W. S.; STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S. Effectiveness of biofertilizer enriched in N by *Beijerinckia indica* on sugarcane grown on an Ultisol and the interactive effects between biofertilizer and sugarcane filter cake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. v.17, n.4, p.1040-1057. 2017.
- ORTEGÓN, G. P.; ARBOLEDA, F. M.; CANDELA, L.; TAMOH, K.; VALDES-ABELLAN, J. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). *Science of the Total Environment*. v.539, p.410-419. 2016.
- R. Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing [internet] R Foundation for statistical computing, 2016.
- ROCHA, I. T. M.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; SILVA, A. V.; SIMÕES NETO, D. E.; SOBRAL, N. M. Mineral gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), a promoter of biomass production of sweet sorghum *Australian Journal of Crop Science*, v.8, n.12, p.1663-1670. 2014.
- ROSOLEM, C. A. Nutrição mineral comparada do sorgo granífero e do milho. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 110p. 1978.
- ROSOLEM, C. A.; MALAVOLTA, E. Exigências nutricionais do sorgo sacarino. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, p. 257-267, 1981.
- RUIZ, H. A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J. C. S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.1015-1018, 1999.
- SANTOS, F.C.; RESENDE, A. V.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; MAY, A.; CRUZ, S.C.B.; GRAVINA, G. DE A.; PARRELLA, R. A. C. Resposta do sorgo sacarino à adubação NPK em Latossolo de Cerrado na Região Central de Minas Gerais. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, EMBRAPA*, n.130, 2015.
- SILVA, A. F.; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. *Semina: Ciências Agrárias*, v.35, n.1, p.179-192. 2014.
- SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p
- SILVA, G. F.; OLIVEIRA, F. H. T.; PEREIRA, R. G.; SILVA, P. S. L.; DIÓGENES, T. B. A.; SILVA, A. R. C. Doses de nitrogênio e fósforo para produção econômica de

- milho na Chapada do Apodi, RN. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.12, p.1247-1254. 2014.
- TABOSA, J. N.; REIS, O. V.; NASCIMENTO, M. M. A.; LIMA, J. M. P.; SILVA, F. G.; SILVA FILHO, J. G.; BRITO, A. R. M. B.; RODRIGUES, J. A. S. O sorgo sacarino no semiárido Brasileiro: elevada produção de biomassa e rendimento de caldo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO e SORGO, 28, Goiânia, GO, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- VASCONCELOS, R. L.; ALMEIDA, H. J.; PRADO, R. M.; SANTOS, L. F. J.; PIZAURO JÚNIOR, J. M. Filter cake in industrial quality and in the physiological and acid phosphatase activities in cane-plant. *Industrial Crops and Products*. v.105, p.133-141. 2017.
- VIANA, R.S; MAY, A.; MATEUS, G. P.; RODRIGUES NETO, A.D; LOPES, P.R.M. Aspectos tecnológicos de sorgo-sacarino submetido à aplicação de maturadores químicos. *Rev. Científica*. v.45, n.3, p.204–213, 2017.
- VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: Fernandes, M. S. ed. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, SBCS, 2006. p. 299-325.