

AVALIAÇÃO AGROECONÔMICA DE QUATRO CULTIVARES
DE SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) PARA
PRODUÇÃO DE ETANOL EM CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

CRISTÓBAL SOTO SOLANO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2016

AVALIAÇÃO AGROECONÔMICA DE QUATRO CULTIVARES DE
SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) PARA PRODUÇÃO
DE ETANOL EM CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

CRISTÓBAL SOTO SOLANO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. D.Sc. Niraldo José Ponciano.

Coorientador: Prof. D.Sc. Rogério Figueiredo Daher.

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

114/2016

Solano, Cristóbal Soto

Avaliação agroeconômica de quatro cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de etanol em Campos dos Goytacazes - RJ / Cristóbal Soto Solano. – Campos dos Goytacazes, 2016.

140 f. : il.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Engenharia Agrícola. Campos dos Goytacazes, 2016.

Orientador: Nilrado José Ponciano.

Coorientador: Rogério Figueiredo Daher.

Área de concentração: Engenharia e economia na agricultura.

Bibliografia: f. 95-109

1. BIOMASSA 2. SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS 3. GENÓTIPOS 4. ADUBAÇÃO NITROGENADA 5. ÓTIMO ECONÔMICO I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Engenharia Agrícola II. Título

CDD 633.62

AVALIAÇÃO AGROECONÔMICA DE QUATRO CULTIVARES DE
SORGO SACARINO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) PARA PRODUÇÃO
DE ETANOL EM CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

CRISTÓBAL SOTO SOLANO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.

Aprovada em 30 de março de 2016

Comissão Examinadora

Pesq. Pedro Gonçalves Fernandes (D. Sc., Produção Vegetal)
Petrobras Biocombustível

Prof. Paulo Marcelo de Souza (D. Sc. Fitotecnia) – UENF

Prof. Rogério Figueiredo Daher (D. Sc. Produção Vegetal) – UENF

Prof. Niraldo José Ponciano (D. Sc. Economia Aplicada) – UENF
Orientador

A Deus, pela vida;

A Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, por ter advogado por mim e minha família, a todo momento;

A minha querida e amada esposa,

Maria Ângela Botelho Faes Soto;

Aos meus queridos e amados filhos

Daniel, Allan e Jéssica;

Aos meus queridos e amados pais,

***Cristóbal Soto Cubillo (in memoriam) e
Teresa Solano Rodríguez;***

Aos meus queridos e amados irmãos,

Cecilia, Sara (in memoriam) Gerardo e Fanny

Dedico e ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), por meio do programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior, pela oportunidade de realizar o curso e pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Professor Orientador Dr. Niraldo José Ponciano, pela amizade, incentivo, dedicação, paciência, conselhos e orientação ao longo deste período e que muito contribuíram em minha vida profissional. Ao Professor Dr. Rogério Figueiredo Daher, pela amizade, apoio, motivação e conselhos valiosos e que muito contribuiu no desenvolvimento deste trabalho;

A EMBRAPA Milho e Sorgo, por intermédio do pesquisador Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella pela contribuição de material genético, apoio e conselhos valiosos para concretização deste trabalho;

A Usina Canabrava e Usina Paraíso, através do Dr. Marcelo Perdão e ao Dr. Mauricio Coutinho pelo apoio e contribuição proporcionado incondicionalmente a realização de todas as análises tecnológicas;

Ao meu amigo e colega Herval, que sem medir esforços, sempre me brindou especial atenção e apoio incondicional;

Aos professores Dra. Marta Simone e Dr. Paulo Marcelo pelo aconselhamento, pelas críticas e valiosas sugestões na defesa de projeto de tese e qualificação;

Aos professores das disciplinas cursadas, pela dedicação no ensino das matérias;

Aos amigos e funcionários do LEAG, em especial aos colegas Paccelli e Romildo pelo apoio brindado a todo momento no trabalho de campo;

Aos funcionários da Secretaria de Pós-graduação de Produção Vegetal, em especial a Patrícia pelo apoio e colaboração brindada;

Aos meus amigos e amigas do curso de pós-graduação pelo companheirismo e momentos de convívio, em especial Pedro e Willi que me privilegiam com tanta amizade;

E a outras tantas pessoas, que no anonimato, me brindaram sua confiança e apoio.

A todos, meu muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	IX
1.INTRODUÇÃO.....	1
2.REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Aspectos gerais da cultura do sorgo.....	4
2.2 O cultivo de sorgo sacarino.....	5
2.2.1 Sistemas de produção e requisitos agrônômicos básicos.....	7
2.2.2 Produção, colheita, caracterização e qualidade da matéria-prima para produção de etanol.....	11
2.2.3 Viabilidade do sorgo sacarino na produção de etanol.....	14
2.3 Função de produção.....	16
3. TRABALHOS.....	19
3.1 Produtividade de colmos e sacarose do caldo de cultivares de sorgo sacarino sob adubação nitrogenada.....	19
RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	20
INTRODUÇÃO.....	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26

CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
3.2 Qualidade do caldo para produção de etanol de cultivares de sorgo sacarino sob adubação nitrogenada.....	43
RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
INTRODUÇÃO.....	45
MATERIAL E MÉTODOS.....	47
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
3.3 Estimativa dos níveis ótimos econômicos de nitrogênio na cultura do sorgo sacarino em Campos dos Goytacazes, RJ.....	66
RESUMO.....	66
ABSTRACT.....	67
INTRODUÇÃO.....	68
MATERIAL E MÉTODOS.....	70
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
CONCLUSÕES.....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	93
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
APÊNDICES.....	109
APÊNDICE A.....	110
APÊNDICE B.....	120

RESUMO

SOLANO, Cristóbal Soto, Engenheiro Agrônomo, D. Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2016. Avaliação agroeconômica de quatro cultivares de Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de etanol em Campos dos Goytacazes – RJ. Orientador: Prof. Dr. Niraldo José Ponciano. Coorientador: Prof. Dr. Rogério Figueiredo Daher.

Objetivou-se avaliar, em quatro cultivares de sorgo sacarino, a resposta de doses crescentes de nitrogênio em cobertura na produtividade física e econômica de massa verde de colmos e na qualidade do caldo dos colmos visando produção de etanol. Para tal efeito, foi conduzido um trabalho, no município de Campos dos Goytacazes – RJ. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, segundo um esquema fatorial 5 x 4 constituído de cinco doses de N (0; 80; 160; 240 e 320 kg ha⁻¹), aplicados em cobertura aos 25 e 45 dias após emergência das plantas e quatro cultivares (BRS 506; BRS 508; BRS 509 e BRS 511), com quatro repetições. O experimento foi instalado em janeiro de 2014 e, a colheita e as avaliações das características produtivas e tecnológicas, foram realizadas aos 120 dias após o semeio. Diante dos resultados, verificou-se que o nitrogênio aplicado em cobertura afetou de forma significativa a produtividade de todos os cultivares de sorgo sacarino testadas. As respostas das variáveis estudadas às doses de nitrogênio se ajustaram de forma significativa ao modelo de segundo grau.

Para as características agronômicas, os atributos altura de plantas (AP), diâmetro de colmos (DC), massa do caldo (MC) e massa verde de colmos (MVC) foram influenciados significativamente por todos os fatores estudados: pelas doses de nitrogênio, cultivares e pela interação entre doses de nitrogênio e cultivares. O Brix foi influenciado significativamente apenas pelas doses de nitrogênio. O maior valor para produtividade física de massa verde de colmos foi observado para o cultivar BRS 506 com a dose estimada de 249,3 kg ha⁻¹ de N e que proporcionou uma máxima produtividade de 68,2 Mg ha⁻¹. O Brix não se diferenciou entre os cultivares, contudo, observou-se que a melhor resposta foi registrada com a dose estimada de 180 kg ha⁻¹ de N com um valor medido de 21,18°. Dentre os atributos tecnológicos da qualidade do caldo, os cultivares avaliados proporcionaram valores de ART superiores a 13,5%, considerados dentro de padrões aceitáveis e adequados ao processamento industrial. O cultivar BRS 506 obteve a máxima receita líquida estimada em R\$ 2.628,70 utilizando 111,46 kg de N ha⁻¹.

ABSTRACT

SOLANO, Cristóbal Soto, Agronomic Engineer, D. Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2016. Agro-economic evaluation of four saccharine sorghum cultivars (*sorghum bicolor* (L.) Moench) for ethanol production in Campos dos Goytacazes (RJ). Advisor: Prof. Dr. Niraldo José Ponciano. Co-advisor: Prof. Dr. Rogério Figueiredo Daher.

This study aimed to evaluate, in four cultivars of sorghum, the response to increasing levels of nitrogen, on coverage, in the physical and economic productivity of stem green mass and the stem juice quality aiming the ethanol production. For this purpose, a study was conducted in the municipality of Campos dos Goytacazes - RJ. The adopted design was randomized blocks, according to a 5 x 4 factorial scheme, consisting of five N doses (0, 80, 160, 240 and 320 kg ha⁻¹), applied in cover at days 25 and 45, after plants emergence, and four cultivars (BRS 506, BRS 508, BRS 509 and BRS 511), with four replications. The experiment was installed in January 2014. The harvest and the assessments of the productive and technological characteristics were carried out at 120 days after sowing. Given the results, it was found that the nitrogen applied on cover significantly affected the productivity of all tested saccharine sorghum cultivars. The responses of the studied variables to the nitrogen doses adjusted significantly to the second degree model. For agronomic characteristics, the attributes plant height

(PH) stem diameter (SD), the juice mass (JM) and green stem mass (GSM) were significantly influenced by all the factors studied: the nitrogen doses, cultivars and the interaction between nitrogen and cultivars. The Brix was significantly influenced only by the nitrogen doses. The greatest value to physical productivity of green stem mass was observed for the BRS 506 cultivar with the estimated N dose of 249.3 kg ha⁻¹ and provided a maximum productivity of 68.2 Mg ha⁻¹. The Brix did not differ among cultivars, however, noticed that the best response was recorded with the estimated N dose of 180 kg ha⁻¹ with a measured value of 21,18^o. Among the technological quality attributes of the juice, the evaluated cultivars provided values above 13,5%, considered within acceptable and suitable patterns for industrial processing. The BRS 506 cultivar obtained the highest net revenue estimated at R\$ 2,628.70 using 111.46 kg of N ha⁻¹.

1. INTRODUÇÃO

A existência de boas condições edafoclimáticas para a produção sustentável de bioetanol, a necessidade mundial de um combustível renovável e ambientalmente adequado, o Brasil se encontra em posição de destaque e como referência internacional na geração e utilização de fontes renováveis de energia.

O crescimento da demanda mundial por combustíveis renováveis tem se expandido a taxas elevadas nos últimos anos devido à preocupação com a redução do volume de emissões de gases causadores do efeito estufa, incertezas quanto a disponibilidade futura dos combustíveis fósseis e tensões geopolíticas em regiões produtoras de petróleo sinalizam perspectivas interessantes para a produção de biocombustíveis na substituição direta dos combustíveis convencionais derivados de petróleo (Miura et al, 2011).

Segundo o relatório elaborado pela OECD-FAO (2015) a produção de etanol brasileiro tendo como matéria-prima a cana-de-açúcar deve aumentar cerca de 50% nos próximos dez anos para quase 42,5 bilhões de litros, dos quais, 39 bilhões seriam para atender principalmente a demanda interna. Contudo, projeções ainda mais positivas são esperadas para os próximos anos, devidas também ao crescimento do consumo interno com produção projetada para 2019 de 58,8 bilhões de litros. O consumo interno está projetado em 50 bilhões de litros e as exportações em 8,8 bilhões (MAPA, 2015).

Estimativas feitas sobre o mercado global para o bioetanol realizadas por BNDES e CGEE em 2008, baseadas em dados estatísticos do Global Biofuels Center previam para 2010 um déficit de 13 bilhões de litros. O quadro tenderia a equilibrar-se no ano de 2015, quando a oferta estaria próxima aos 162 bilhões de litros frente a uma demanda em torno de 150 bilhões de litros. Cabe ressaltar que tanto o Brasil como os Estados Unidos, juntos participariam com cerca de 90% desse mercado (BNDES - CGEE, 2008).

A cana-de-açúcar apresenta-se como o cultivo de maior importância para suprir parte dessa demanda. No entanto, ao estar a produção centralizada nas principais regiões produtoras do Sudeste e devido à alta dependência a esse monocultivo, parece não ser a proposta adequada para ampliar e proporcionar de modo sustentável o uso de fontes renováveis de bioenergia.

O Brasil, devido à sua grande variação territorial e diversificação climática reúne condições e vantagens comparativas para tornar-se líder mundial na produção de biocombustíveis, com disponibilidade de áreas agrícolas em clima predominantemente tropical, promovendo um melhor aproveitamento das áreas já destinadas à produção agrícola, estimulando o manejo sustentável das terras e o aproveitamento de áreas degradadas ou marginalizadas, sem prejuízo à segurança alimentar e com impactos ambientais aceitáveis (OECD-FAO, 2015).

Particularmente, no Estado do Rio de Janeiro a atividade canavieira se concentra na Região Norte Fluminense, a qual fornece menos de 0,4% do etanol produzido no país proveniente da biomassa da cana-de-açúcar e que atualmente consome para atender em parte, uma frota crescente de veículos biocombustíveis e paga um preço alto pela importação de etanol de outros estados (CONAB, 2015; ANP, 2015).

Nesse contexto, além da cana-de-açúcar, diversas culturas energéticas estão sendo consideradas como matéria-prima com características para produção de etanol carburante. As culturas amiláceas utilizadas em larga escala são o milho, a cevada, o trigo e a mandioca. Dentro das sacarinas, o sorgo doce surge como cultura energética, que apresenta potencialidades interessantes, uma vez que possui alta qualidade

energética com o aproveitamento de toda a biomassa (caldo, bagaço, folhas e grãos) susceptível de ser fermentado em bioetanol (EMBRAPA, 2011).

Com a utilização do cultivo de sorgo sacarino em sucessão ou rotação com a cana-de-açúcar se procura potencializar a produção de etanol em uma mesma área, propiciando um aumento do período de colheita, com aproveitamento da infraestrutura existente na industrialização da cana-de-açúcar.

Dessa maneira, se faz necessário estudos que indiquem cultivares mais adaptadas para a região Norte Fluminense, tipos e doses de fertilizantes a serem empregados, épocas e modos de aplicação destes fertilizantes, assim como seus efeitos sobre a produtividade e viabilidade econômica desta cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura do sorgo

O sorgo é uma planta da família *poaceae*, do gênero *sorghum*, e da espécie *Sorghum bicolor* L. Moench. Sua origem está relacionada à região noroeste da África onde se agrupa maior variabilidade em espécies silvestres e cultivadas, embora algumas evidências indiquem também que é oriunda da Índia (Bassam, 2010).

Apresenta ampla versatilidade de uso e produção de diferentes produtos, sendo a quinta cultura cerealífera mais cultivada em todo o mundo, ficando atrás apenas do trigo, arroz, milho e cevada e cultivada em vastas áreas geográficas da América, África, Ásia e Pacífico (Sakellariou-Makrantonaki et al., 2007; Fornasieri Filho & Fornasieri, 2009). Podendo também, ser utilizada na alimentação humana e animal, servindo de matéria-prima para a produção de etanol anidro, bebidas alcoólicas, colas, tintas, vassouras, na extração de açúcar, produção de amido, rapadura e óleo comestível (Souza et al., 2005; Ribeiro Filho et al., 2008; Rodrigues e Santos, 2011)

Dependendo da variedade, o *Sorghum bicolor* é cultivado para o aproveitamento do seu grão, forragem ou de seu caule rico em açúcares. Dessa maneira, pode ser dividido em: sorgo granífero, de porte baixo e cujo produto principal

são os grãos, utilizados na fabricação de rações; sorgo forrageiro, de alta estatura cuja biomassa é utilizada na produção de silagem e etanol; sorgo-vassoura, de elevada estatura e utilizada para confecção de vassouras e artesanatos; sorgo-pastejo, cruzamento entre *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* (Sawazaki, 1998); sorgo sacarino e sorgo lignocelulose, para produção de etanol de primeira e segunda geração, respectivamente (IEA, 2010).

É uma planta do tipo C4, de dias curtos e elevada taxa fotossintética e que requerem temperaturas superiores a 21 °C para um bom crescimento e desenvolvimento. Seu alto potencial de produção; a boa adequação à mecanização, a reconhecida qualificação como fonte de energia, a sua grande versatilidade (feno, silagem e pastejo direto) e facilidades de adaptação às regiões mais secas, tornam essa cultura de grande utilização na agropecuária (Magalhaes et al., 2000).

Em geral, o sorgo tipo granífero é o que tem maior expressão econômica. A produção mundial de grãos de sorgo para a safra 2014/15 foi estimada em cerca de 64,1 milhões de toneladas métricas, sendo os Estados Unidos e o México os países de maior produção, empregado principalmente para consumo animal como ração. No Brasil, a área plantada correspondeu a 708,0 mil hectares com uma produção de 1,9 milhões de toneladas métricas, com destaque para os estados de Goiás e Minas Gerais em produção e área cultivada (Conab, 2014).

2.2 O cultivo do sorgo sacarino

Recentemente o Brasil vem intensificando pesquisas e promovendo projetos agrícolas dedicados a culturas fornecedoras de matéria-prima, para a obtenção de substitutos derivados do petróleo. Nessa retomada das pesquisas, destaque especial vem sendo dado ao sorgo sacarino por ser considerada uma espécie vegetal com potencial de ser utilizada como matéria-prima na produção de etanol.

O destaque ao sorgo sacarino, um tipo de *Sorghum bicolor* (L.) Moench como alternativa de produção de etanol, se deve a que é uma cultura, que assim como a cana-de-açúcar, se caracteriza por apresentar porte alto, colmo rico em açúcares

diretamente fermentáveis, assim como a sua alta adaptabilidade a diferentes ambientes climáticos, tornando-a propícia no fornecimento de matéria-prima para indústria sucroenergética (EMBRAPA, 2012b).

Pela versatilidade de adaptação a diferentes regiões edafoclimáticas e devido à sua eficiência no uso de água e tolerância a estresses bióticos, o sorgo sacarino apresenta-se como interessante alternativa na geração da agroenergia por ser uma cultura que apresenta as seguintes vantagens (Schaffert & Gourley, 1981; Gnansounou et al., 2005; Kolling, 2012).

- Concentração de açúcares fermentáveis muito próximos à cana-de-açúcar;
- Potencial de produção de biomassa verde até 80 Mg ha⁻¹;
- Reforçar a produção de etanol nacional e reduzir a ociosidade das usinas;
- Ciclo produtivo relativamente curto – 100 a 130 dias o que possibilita um uso mais intensivo e adequado da área;
- Totalmente mecanizável (plantio por sementes, tratamentos culturais e colheita) inclusive com o aproveitamento do maquinário empregado na lavoura da cana-de-açúcar;
- Tolerante à seca e baixa fertilidade dos solos, sendo considerada uma cultura eficiente na utilização de nutrientes, e
- Aproveitamento do bagaço como fonte de energia para industrialização, cogeração de eletricidade, etanol de segunda geração ou forragem para animais. Produz em torno de 2,5 t ha⁻¹ de grãos que podem ser utilizados para alimentação humana (características nutricionais similares às do milho) contribuindo para um balanço energético favorável.

Ainda, destacam-se outras vantagens importantes desse cultivo: propagação é realizada via sementes e a planta tem a capacidade de rebrotar após cortes sucessivos aumentando sua longevidade por 5 ou 6 anos em condições favoráveis de manejo (Embrapa, 2011). Também, pode ser associada ao setor sucroalcooleiro nos períodos de entressafra da cana-de-açúcar, na renovação de canaviais, redução da ociosidade industrial e agrícola, tornando possível a antecipação de 2 a 3 meses o período de moagem das usinas. Além disso, como matéria-prima utilizada em microdestilarias para produção de etanol, xaropes, aguardente e rapadura, inclusive, promovendo a participação da agricultura familiar ou organizações de pequenos agricultores (Teixeira et al., 1997; Parrella et al., 2010).

Apesar de possuir muitos aspectos positivos, o uso do sorgo sacarino ainda apresenta dificuldades que precisam ser superadas antes de sua efetiva adoção como matéria-prima para obtenção de bioetanol, como práticas de manejo inadequadas; falta de genótipos produtivos adaptados a ambientes bióticos e abióticos, como pulgões, a seca, baixas temperaturas, fotoperíodo (Srinivasa Rao *et al.*, 2009) reduzida resistência à degradação pós colheita; limitada base de germoplasma e arranjo espacial de plantas no campo, assim como baixa resistência a pragas e doenças (Venturi e Venturi, 2003; May et al., 2016).

Outras desvantagens apontadas são as seguintes: rápida deterioração após a colheita, maior dificuldade de cristalização do açúcar, baixa pureza do caldo e teor de açúcares menor que a cana (Parrella, 2011). Dentro do cenário de produção de produção de sorgo sacarino em sucessão com a cana-de-açúcar, pode-se também citar: aumento da incidência de broca; extração total da cultura, sem depósito da palha; atrapalhar a janela de plantio da cana e a colheita do sorgo sacarino com maquinário da cana-de-açúcar torna-se inapropriada.

2.2.1 Sistemas de produção e requisitos agrônômicos básicos

O estabelecimento de condições ótimas para a produção de sorgo sacarino envolve o reconhecimento e manejo de diversos fatores. As interações entre as

características de solo, do clima, do sistema de rotação/sucessão de culturas, época de plantio, cultivar, adubação e tratos fitossanitários são determinantes do potencial produtivo (Embrapa, 2011).

Com relação à época de semeadura, ela é determinada considerando as condições ambientais (temperatura do ar, fotoperíodo, e distribuição das chuvas e disponibilidade de água no solo) e do cultivar (ciclo, fases da cultura e necessidades térmicas dos cultivares). Além de considerar outros fatores ligados ao clima, tais como: radiação solar, intensidade e frequência de veranicos nas diferentes fases fenológicas da cultura (Embrapa, 2008).

Embora o cultivo de sorgo sacarino seja resistente a estresse hídrico, ele também sofre o efeito do déficit hídrico, recomenda-se que a semeadura seja feita no início das chuvas da região considerada. Especial atenção deve ser dada a dois períodos críticos em que a cultura exige umidade no solo. O que vai de 20 a 25 dias após a germinação e o que corresponde ao período próximo ao florescimento (Antunes, 1979).

Por ocasião da semeadura devem-se evitar os excessos ou deficiências de umidade para favorecer a germinação da semente. Recomenda-se semear a uma profundidade de 1 a 3 cm, não devendo ultrapassar os 2 cm em solos argilosos. Normalmente, utiliza-se para semear um hectare cerca de 8 kg de sementes (May, 2011).

Por outro lado, se deve considerar a época do plantio quando são utilizados cultivares sensíveis ao fotoperíodo, haja vista que a medida que se retarda o plantio ou se avança para menores latitudes, ocorrem reduções no ciclo da cultura com reflexos negativos sobre a produção. Estudos realizados têm mostrado que para a região Centro-Sul os melhores ganhos de produtividade foram obtidos em plantios realizados nos meses de outubro e novembro (Borgonovi et al., 1982).

Em trabalhos envolvendo melhoramento e tratos culturais com cultivares de sorgo sacarino, granífero e forrageiro, diversos autores citaram a importância do arranjo de plantas na obtenção de maiores rendimentos, demonstraram aumento na produtividade de grãos e/ou de matéria seca em função do arranjo de plantas na área (Von Pinho et al., 2007; Albuquerque e Mendes, 2011). Essas pesquisas têm

observado maiores produtividades de caldo por área em menores espaçamentos. Entretanto, recomenda-se que a população de plantas por hectare deve girar entre 100.000 e 120.000 em função do cultivar e da região considerada. Contudo, o espaçamento entre linhas pode variar, conforme o equipamento de colheita que será utilizado (May, 2011).

Quanto às exigências climáticas do sorgo deve-se dar especial atenção à temperatura do ar, precipitação e água no solo. Sabe-se que essas exigências estão intimamente interligadas o cultivar considerada. Por ser de origem tropical, manifesta sensibilidade a baixas temperaturas noturnas, causando redução na área foliar, perfilhamento, altura, acumulação de matéria seca e um atraso na data de floração. Para essa cultura, Bandeira et al. (2012) esboçaram que a temperatura deve estar relacionada com a época do plantio e concluíram que a semeadura de novembro foi a mais adequada por não sofrer com quedas acentuadas de temperaturas diurnas e noturnas. Temperaturas superiores a 38 °C ou inferiores a 16°C limitam o desenvolvimento da maioria dos cultivares, sendo que a temperatura ótima do solo para a germinação e crescimento da planta deveria ser de 21°C.

Devido a que o sorgo tolera diversas condições de solo, tem sido cultivado satisfatoriamente desde solos argilosos até ligeiramente arenosos. Da mesma maneira que outros cereais, as melhores produções são obtidas em solos planos, profundos e bem preparados, ricos em matéria orgânica, pH entre 5,5 e 6,5 e com umidade adequada, pois solos mal drenados não são recomendados para esta cultura. Os solos aluviais prestam-se muito bem ao cultivo do sorgo, desde que adequadamente preparados. Já os solos com declividade superior a 12% devem também ser evitados pela impossibilidade da colheita mecanizada (Embrapa, 2008)

Para Antunes (1979), características de eficiência no uso de água e tolerância a estresses bióticos fazem com que essa planta requeira menos água para se desenvolver, sendo que, seu período mais crítico à falta de água é o florescimento. Estas características de adaptabilidade a condições hídricas desfavoráveis, tornam essa cultura apta a se desenvolver em regiões em que a distribuição de chuvas é irregular (Santos et al., 2002), produzindo colheitas de grãos e massa verde economicamente compensadoras (Camacho et al., 2002).

Em relação às exigências nutricionais, o sorgo é considerado muito eficiente na utilização dos nutrientes do solo, devido ao seu grande sistema radicular. Pesquisas comprovaram que o sorgo responde muito bem aos fertilizantes em solos pobres do que aqueles solos de fertilidade média a alta. A dose de adubo depende da fertilidade do solo, em que as exigências nutricionais aumentam com a produtividade, sendo que a maior exigência do sorgo se refere ao nitrogênio e potássio, seguidos por cálcio, magnésio e fósforo (Embrapa, 2008).

A falta de pesquisa relativa às necessidades de nutrientes para o cultivo de sorgo sacarino tem obrigado a empregar adaptações das recomendações para milho, sorgo forrageiro e sorgo granífero. Contudo, sabe-se que as exigências do sorgo sacarino com relação ao nitrogênio, fósforo e potássio são maiores do que as do sorgo granífero e forrageiro. É recomendável que a aplicação do nitrogênio seja efetuada em duas etapas: na semeadura e 20-30 dias após o plantio (Giacomini, 1979).

Com o objetivo de diminuir custos, muitos produtores vêm eliminando a adubação nitrogenada no plantio e realizando apenas uma adubação em cobertura. Nesse sentido, Galani et al. (1991) constataram uma interação entre os níveis de nitrogênio aplicados e o rendimento em caldo e no seu Brix. Resultados comprovaram que conforme aumentava a dose de nitrogênio aplicado, que no experimento variou de 0 a 120 kg ha⁻¹, maior era o rendimento em caldo.

Na produção do sorgo sacarino, o arranjo das plantas no campo, além de facilitar o emprego das práticas culturais para a obtenção de maior produção, também deve favorecer o controle de invasoras e pragas. Plantas daninhas e a broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) precisam de atenção redobrada na condução da lavoura (May, 2011; Parrella, 2011).

Como consequência do crescimento lento da cultura nas primeiras 3 ou 4 semanas após a emergência, torna-a mais susceptível à competição por luz solar, água do solo e nutrientes minerais. O efeito da competição nesse período pode ser prejudicial, em que a produção pode ser reduzida até 25% ou mais. É o período em que a lavoura deve se manter limpa (Rodrigues, 2000).

Na atualidade não existem herbicidas registrados para controle de plantas daninhas em sorgo sacarino, principalmente monocotiledôneas, em pós-emergência.

Na prática utiliza-se o herbicida a base de atrazine para controle de dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas em pre-emergência. Posteriormente e com o aparecimento de monocotiledôneas pôde ser feito um controle mecanizado.

Quanto ao controle da broca-da-cana, o manejo deve ser dado através de técnicas de controle biológico, comumente utilizado no cultivo da cana-de-açúcar (Embrapa, 2008). A literatura menciona outras pragas que podem vir causar danos econômicos dos quais destacam-se a mosca do sorgo, pulgões e lagarta do colmo (Saucedo, 2008). A respeito das doenças, estas se manifestam em maior grau em lavouras de sorgo mal conduzidas. Antracnose, Helmintosporiose e Cercosporiose, doenças comuns no sorgo, tendem a aparecer no final do ciclo afetando muito pouco ou quase nada a produção de biomassa (Embrapa, 2011).

2.2.2 Produção, colheita, caracterização e qualidade da matéria-prima para produção de etanol

Pesquisas feitas pela Embrapa Milho e Sorgo na área de melhoramento genético de sorgo, selecionaram no início da década de 80, seis variedades de sorgo sacarino: BR 500, BR 501, BR 502, BR 503, BR504 e BR505 e todas mostrando produtividade de colmos superior a 40 t ha^{-1} e teor de sólidos solúveis médios entre 18° e 20° Brix. Ao fim desse mesmo período, três novos materiais promissórios foram também disponibilizados pela Empresa, a variedade BRS 506 e os híbridos BRS 601 e RS 602. Cabe salientar que nessa mesma época, houve eliminação dos incentivos governamentais ao setor sucroalcooleiro e o programa de melhoramento do sorgo sacarino foi desacelerado, no entanto, esses produtos se mantiveram no mercado pela boa produção e qualidade da biomassa, sendo atualmente comercializados como cultivares de dupla aptidão, sacarinas e forrageiras (Embrapa, 2011).

Assim como no setor público, a exigência do mercado por uma maior oferta de biocombustíveis carburantes motivou ao setor privado em participar por projetos de pesquisa nessa área. Dessa maneira, desde meados dos anos 2000, esse setor vem acompanhando essa dinâmica desenvolvendo pesquisa cujos resultados

possibilitaram colocar à disposição dos produtores híbridos de alta e boa qualidade de biomassa (Ribas, 2011)

Ensaio realizados na década de 80 em Sete Lagoas-MG, Brasília-DF, Jundiaí-SP e Pelotas-RS mostraram que essas variedades apresentaram alto potencial de produção de biomassa, destacando-se inclusive, o cultivar BR 506 por ter apresentado um maior rendimento de álcool por hectare, sendo ela também insensível ao fotoperiodismo (Parrella, 2011).

Trabalho feito por Teixeira et al. (1999), verificou que o cultivar BR 505 apresentava um alto potencial de produção de massa verde com alto teor de açúcares e produção de grãos. Ainda constatou que rendimento em massa verde e o teor de açúcares nos colmos são mais elevados quando as plantas atingem a maturidade fisiológica, que ocorre cerca de 120 dias após o plantio.

No Ensaio Nacional de Sorgo Sacarino, em Santa Maria, RS, em 1982/83, todos os cultivares apresentaram bom rendimento de massa verde, sendo a média do ensaio de 46 Mg ha⁻¹ e teor de açúcares redutores totais do caldo com média de 13,90%. Destacou-se o cultivar BR 503 com maior rendimento de colmos – 45,5 Mg ha⁻¹ e o cultivar BR 505 com teor de açúcares redutores totais de 16% no caldo extraído (Marchezan & Silva, 1984).

Souza *et al.*, (2011) em experimento realizado no norte de Minas Gerais, encontraram uma ampla variabilidade para as características produção de massa verde de cultivares potenciais para lançamento e cultivares comerciais do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo. Resultados encontrados variaram de 25,81 Mg ha⁻¹ a 71,05 t ha⁻¹ em produção de massa verde e de 8,7 a 21,7 ° Brix no teor de sólidos solúveis. Trata-se de uma cultura com potencial de produção de biomassa verde até 80 Mg ha⁻¹ e de colheita totalmente mecanizável. Como sugerido, o mesmo maquinário pode ser utilizado nessa operação, mas alguns entraves precisam ser superados (Embrapa, 2011).

Em relação ao período da moagem, Sordi (2011) relata que para a região Centro-Sul, durante a entressafra da cana-de-açúcar, o aconselhável é que a colheita seja feita no mês de março/abril; para tanto, o sorgo deve ser plantado no mês de novembro/dezembro. Plantios realizados em outubro e novembro correm o risco de

afetar a colheita por ser um período de muitas chuvas. Evidencia a possibilidade de colher o chamado “sorgo sacarino safrinha”, cujo plantio seria realizado em março/abril para ser colhido junto com a cana a partir de junho/julho.

A colheita é muito semelhante à da cana-de-açúcar por empregarem a mesma estrutura e maquinário de corte, transporte e recebimento. Como os açúcares concentram-se nos colmos, o método consiste basicamente no corte basal do caule e na remoção das panículas e posterior transporte dos toletes ao setor industrial para proceder à extração do suco (Embrapa, 2011).

Poucos são os trabalhos realizados sobre a viabilidade da colheita do sorgo sacarino usando colhedora de cana-de-açúcar. Sabe-se por experiência dos produtores que se o espaçamento entre as linhas não for adequado ao corte mecanizado corre-se o risco de pisoteio da linha de sorgo não colhida. Nesse sentido, trabalho feito por Bolonhezi et al. (2012) avaliando os híbridos da Advanta Seeds 81983, 81981 e 600009 em espaçamentos simples e duplos; constatou que todos podem ser semeados em espaçamentos simples (0,90m) e duplos (1,35m x 0,45m) sem afetar a produtividade de colmos.

Fernandes et al., (2014) avaliando a variedade BRS 506, em duas épocas de semeadura e cinco espaçamentos entre linhas (50; 60; 70; e 80cm e linha dupla 100x50x50cm); constataram que o espaçamento de 50cm entre linhas resultou em maior produção de biomassa total e o espaçamento duplo resultou em valores similares ao espaçamento de 80cm, para as principais variáveis produtivas,

Quanto à qualidade da biomassa, o sorgo sacarino apresenta colmos com caldo semelhante ao da cana, ricos em açúcares fermentáveis passíveis de serem processados na produção de etanol em que é possível ajustar a mesma estrutura para processamento da biomassa (moagem, fermentação e destilação) utilizada para cana-de-açúcar.

Essa qualidade da matéria-prima está fortemente relacionada com a riqueza do material em açúcares, o potencial de recuperação de açúcares e a qualidade do produto final. Verifica-se que quanto melhor e mais adequadas forem as condições de cultivo, melhor poderá ser a qualidade da matéria-prima, portanto, haverá obtenção de rendimentos satisfatórios e qualidade do produto final. Fatores como variedades,

condições climáticas, tipo de solos, tratos culturais, manejo da adubação da colheita incidem no acúmulo de açúcares, com reflexos diretos e indiretos sobre o processamento industrial (Mutton, 2008; Embrapa, 2011).

2.2.3 Viabilidade do sorgo sacarino na produção de etanol

O processamento industrial para produção de etanol a partir da matéria-prima do sorgo sacarino pouco difere da cana-de-açúcar (Tabela 1). Os parâmetros e o controle de qualidade usada para a produção de etanol são aqueles comumente utilizados nessa cultura (Gomes et al., 2011, Embrapa, 2012b).

Durante a recepção da matéria-prima nas usinas não foram observadas dificuldades relacionadas à amostragem dos caminhões, não necessitando, nesta etapa, de adaptação do setor. As análises laboratoriais mostram-se parcialmente adequadas segundo o Manual de Instruções da Consecana – SP (2006). A principal diferença reside na presença de interferentes na leitura sacarimétrica e na clarificação do caldo prensa quando se utiliza Octapol como agente clarificante.

O sorgo sacarino demanda quantidade três a quatro vezes maior desse agente quando comparado à cana. Se a presença de interferentes resultar em distorção das análises, recomenda-se determinação do ART (açúcares redutores totais) pelo método do digestor, para comparação. (Embrapa 2012b).

Tabela 1. Parâmetros de interesse industrial para sorgo sacarino e cana-de-açúcar

Análise do Caldo		
*Parâmetros	Sorgo Sacarino	Cana-de-Açúcar
Brix	15 - 19	18 - 25
Pureza	60 - 75	80 - 90
Fibra (%)	12 - 20	10 - 15
Sacarose (%)	8 - 13	14 - 22
AR (%)	1 - 3	0,5 - 1,0
Glicose (%)	0,5 - 2	0,2 - 1,0
Frutose (%)	0,5 - 1,5	0 - 0,5
ART (%)	12 - 17	15 - 24
Amido (%)	até 0,5	0,001 - 0,05

Quanto ao teor de sólidos solúveis, estudos realizados em diferentes épocas (Araújo et al., 1977; Schaffert, 1986; Teixeira et al., 1997; Embrapa, 2012a; Nóbile e Nunes, 2014) mostraram que não há diferença significativa entre a quantidade total de açúcares solúveis. Foram encontrados materiais com teor de açúcares solúveis entre 15 e 21%, concentrações muito próximas à cana-de-açúcar. Outros resultados observados foram os rendimentos de etanol por tonelada de massa verde, na faixa dos 50 a 77 litros, com ATR (açúcares totais recuperáveis) variando de 80 a 130 kg de açúcar extraídos por tonelada de massa verde, utilizando-se a mesma tecnologia utilizada nas usinas. A tabela 2 mostra uma estimativa do rendimento e álcool etílico do sorgo sacarino (colmos e grãos) aportada por Soriano em 2007.

Tabela 2 – Dados técnicos do cultivo de sorgo sacarino de interesse agroindustrial

Parâmetro	Valor de
Dias para florescer	75 – 85
Dias para maturar	100 – 115
Altura da planta (cm)	280 – 340
Rendimento dos colmos (t ha ⁻¹)	35 – 50
Rendimento de grão (t ha ⁻¹)	0,8 - 2,5
Extractabilidade do suco (%)	40 – 50
Rendimento de álcool (l ha ⁻¹)	2500 – 4000

Fonte: Cruz de la, R.S. (2007)

Um fator muito importante a ser considerado no rendimento da produção de etanol diz respeito não só a quantidade como também a composição de açúcares no caldo. A sacarose concentra-se em maior quantidade no caldo da cana-de-açúcar. Já no caldo do sorgo sacarino há uma concentração relativamente alta de açúcares redutores – glicose e frutose. Por esse motivo, o sorgo sacarino perde rendimento para a produção de açúcar e, portanto, deve ser destinado, sobretudo para a produção de etanol.

2.3 Função de produção

O estudo e análise da função de produção é considerado um instrumento muito importante e cada vez mais é utilizada na tomada de decisão dentre os sistemas de produção do setor agrícola. Dessa maneira, sua estimação e interpretação correta melhora a alocação dos recursos e técnicas agrícolas buscando aumentar a produtividade e renda dos produtores rurais.

Diante do atual estágio de desenvolvimento da produção de biomassa do sorgo sacarino para fins energéticos ainda é pouco comercializado no mercado, aonde existem inúmeros aspectos a serem investigados. Dessa forma, a viabilidade de um

sistema de produção baseia-se, cada vez mais, na otimização dos processos de produção e, nesse sentido, apenas a fertilização nitrogenada do sorgo não determina por si só o sucesso da cultura para a produção de biomassa e etanol, mas aliada a vários fatores que interagem entre si, determinando sua produtividade.

A função de produção mostra a relação física entre produto e fatores de produção. Para Ponciano *et al.* (2005), como a premissa básica é a maximização dos lucros deve-se utilizar a análise marginal para determinação do nível de insumo variável que maximiza o lucro. O fator variável deve ser adicionado ao processo produtivo até o ponto em que a mudança na renda, devido ao uso da última unidade de insumo, seja maior ou igual à mudança no custo resultante da última unidade empregada desse fator. Dessa forma, um fator variável deve ser agregado até o ponto onde o valor adicional do produto seja igual ao total adicional do custo do insumo.

Dessa maneira, a produção das culturas em resposta aos diversos insumos empregados depende de vários fatores, dentre estes, destacam-se a quantidade e frequência, época de aplicação, desenvolvimento da cultura e condições climáticas. Esses aspectos podem explicar uma grande quantidade de pesquisas que tem revelado uma relação não linear entre a produção agrícola e os fatores de produção.

Em relação ao sorgo sacarino há escassez de informações e estudos envolvendo temas relacionados à adubação nitrogenada em aspectos tais como: a quantidade de nitrogênio a ser aplicada de acordo com o cultivar e o solo, a resposta ao déficit e ao excesso desse mineral e a dose ótima econômica, entre outros. Muitos trabalhos de pesquisa com fertilizantes nitrogenados objetivam a obtenção de produtividade apropriada, como fertilidade, condições fitossanitárias adequadas e outros, e para a obtenção do retorno econômico da atividade é necessário fazer acompanhamento dos custos para verificar a viabilidade do investimento.

O uso da função de produção para análise e a discussão dos resultados de experimentação agrícolas a cada dia se tornam bastante difundidos e seu uso permite obter uma melhor compreensão das relações dos fatores envolvidos no processo produtivo e o máximo da quantidade do produto que pode ser produzido com uma determinada tecnologia.

O processo de produção agrícola está em permanente mudança e novos fatores de produção são envolvidos no processo produtivo na medida em que novas tecnologias são criadas pela pesquisa. Por esse motivo, o conhecimento das funções de produção é instrumento ideal de análise, pois permite determinar as interações entre os fatores e escolher as soluções mais condizentes com a realidade local para o manejo racional do adubo nitrogenado em bases técnicas e economicamente viáveis.

3. TRABALHOS

3.1 PRODUTIVIDADE DE COLMOS E SACAROSE DO CALDO DE CULTIVARES DE SORGO SACARINO SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO

Objetivou-se avaliar a produtividade da biomassa verde de colmos e o teor de sólidos solúveis totais do caldo do sorgo sacarino para produção de etanol em resposta às adubações nitrogenadas em cobertura. O experimento foi conduzido em Campos dos Goytacazes, RJ; combinando quatro cultivares de sorgo sacarino: BRS 506, BRS 508, BRS 509 e BRS 511 com cinco doses de nitrogênio (0, 80, 160, 240 e 320 Kg ha⁻¹), tendo como fonte ureia, aplicadas aos 25 e 45 dias após semeadura em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram avaliadas as características: altura da planta, diâmetro do colmo, massa do caldo, produção de massa verde dos colmos e teor de açúcar expresso em °Brix. Os resultados mostraram que doses diferenciadas de nitrogênio influenciam os atributos de crescimento do

sorgo sacarino afetando a produtividade de massa verde de colmo que teve resposta significativa ao incremento da adubação nitrogenada. O cultivar BRS 506 registrou a maior produtividade de massa verde de colmos estimado em 68,02 Mg ha⁻¹ com a dose de 249,33 kg ha⁻¹ de N. O °Brix, indicador do teor de açúcar na planta de sorgo sacarino, não diferiu entre os cultivares avaliadas no trabalho, contudo, apresentou um valor medido de 21,18 graus na dose estimada de 180,0 kg ha⁻¹ de N.

Palavras-chave: biomassa, sólidos solúveis totais, genótipos, ureia, adubação em cobertura

ABSTRACT

CANE YIELD AND SUCROSE BROTH OF SWEET SORGHUM CULTIVARS UNDER NITROGEN FERTILIZATION

This study aimed to evaluate the productivity of stems green biomass and the total soluble solids content of saccharine sorghum juice for ethanol production in response to nitrogenated fertilization in coverage. The experiment was conducted in Campos dos Goytacazes, RJ; combining four cultivars of sorghum: BRS 506, BRS 508, BRS 509 and BRS 51, with five nitrogen doses (0, 80, 160, 240 and 320 kg ha⁻¹), with an urea source, applied at 25 and 45 days after sowing in experimental design of randomized blocks with four replications. The following characteristics were evaluated: plant height, stem diameter, juice mass, stem green mass production and sugar content expressed in ° Brix. The results showed that different doses of nitrogen influence the attributes of growth of saccharine sorghum affecting the stem green mass productivity, that had a significant response to increased nitrogenated fertilization. The BRS 506 recorded the highest stem green mass productivity, estimated at 68.02 Mg ha⁻¹ with a N dose of 249.33 kg ha⁻¹. ° Brix, sugar content indicator on the saccharine sorghum plant did not

differ among the cultivars in the study; however, it showed a measured value of 21.18 degrees in the estimated N dose of 180.0 kg ha⁻¹.

Keywords: biomass, total soluble solids, genotypes, urea, coverage fertilization

INTRODUÇÃO

A cultura do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] constitui-se em uma importante exploração agrícola do Brasil, não só pela área cultivada de 721 mil hectares, como também pelo valor da produção estimado em 1.95 milhões de toneladas Conab, (2015). Além, de ser considerada uma fonte de proteína e de energia para alimentação humana e de animais. Nos últimos anos, o sorgo sacarino tem sido pesquisado como fonte alternativa de energia na produção de álcool.

Na busca de novas alternativas de energia renovável, a cultura do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] se destaca, de forma semelhante à cana-de-açúcar, por apresentar colmos suculentos com altos teores de açúcares diretamente fermentáveis, os quais possibilitam a produção de etanol com até 93% de eficiência (Ratnavathi et al., 2011; Han et al., 2012). Além disso, seu bagaço pode ser aproveitado pela indústria na geração de energia e eletricidade, produção de etanol de segunda geração e ainda, aproveitamento dos grãos que são úteis para consumo humano, produção de ração animal ou produção de combustíveis (Almodares & Hadi, 2009).

Contudo, o sorgo difere da cana-de-açúcar por tratar-se de uma espécie agrícola de ampla adaptabilidade, tolerante a estresses abióticos e de ciclo curto de produção de 100 a 120 dias para alto rendimento de biomassa, cultivado a partir de semente, de menor exigência em água, tolerante à seca podendo ser explorado em larga escala em diversas condições de clima e solo (Prasad et al., 2007; Durães, 2011)

tornando-a, dentre as culturas com potencial bioenergético, uma opção interessante para compor a matriz energética nacional.

Pesquisas vêm sendo efetivadas buscando melhorias no potencial bioenergético de cultivares promissoras de sorgo sacarino com estudos de avaliação em diversas condições de clima e solo, liberando cultivares de alto rendimento de biomassa, atendendo características tecnológicas para o setor sucroalcooleiro (Parrella et al., 2010). Assim, na década de 80 foram desenvolvidas as variedades BRS 506 e BRS 507 e o híbrido BRS 601 e, recentemente, foi disponibilizada a variedade de sorgo sacarino BRS 511 que apresenta alto potencial de produção de biomassa associado a altos teores de açúcares fermentáveis no caldo (Embrapa, 2012a)

Tendo-se em vista a importância do sorgo dada nos últimos anos, faz-se necessário o conhecimento sobre as práticas de adubação adotadas por produtores, as quais, juntamente com outras práticas culturais, contribuem para o aumento da produtividade e minimização do custo de produção. São poucos os trabalhos relacionados com a adubação nitrogenada do sorgo sacarino, principalmente no Brasil cujas recomendações técnicas, muitas vezes, são baseadas na cultura de sorgo forrageiro (May et al., 2012), sorgo granífero e do milho (Civardi et al., 2011).

O sorgo é responsivo à aplicação de insumos como os fertilizantes, sendo o nitrogênio (N) um dos nutrientes de maior demanda para a produção de biomassa (Silva & Lovato, 2010). Porém, fatores edafoclimáticos como textura do solo, regime de chuvas e os fatores genéticos inerentes a cada cultivar e devem ser considerados na recomendação de nitrogênio, principalmente em cultivares de alto rendimento de biomassa (Embrapa, 2008).

Em alguns trabalhos com fertilizantes nitrogenados foram observados aumentos no teor de carboidratos solúveis (sacarose) e biomassa em sorgo doce (Reddy et al., 2008). Uchino et al., (2012) trabalhando com doses e épocas de aplicação de N reafirmaram que o N parcelado nos estágios iniciais da planta teve efeito positivo na produção de grãos e açúcares. Almodares et al., (2007) relataram que com a aplicação de fertilizante nitrogenado houve aumento significativo da produtividade de colmos, do teor de sacarose e da concentração de açúcar (°Brix).

Resultados semelhantes foram obtidos por Kumar et al. (2008) e Miri & Rana (2014) ao avaliar cultivares sob diferentes doses de nitrogênio, concluindo também, que os melhores rendimentos foram alcançados na maturidade fisiológica da cultura.

Embora o nitrogênio desempenhe um papel muito importante para o bom crescimento e desenvolvimento do sorgo, o excesso de fertilização é muitas vezes prejudicial, uma vez que resulta em menor rendimento e qualidade da colheita (Tamang et al., 2011). Trabalhos realizados por Yang e Liu (2010) e Uchino (2012) relatam que adubações com fertilizantes nitrogenados não são apenas ineficientes como também podem afetar a produtividade e o meio ambiente. Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar quatro cultivares de sorgo sacarino em função da adubação nitrogenada de cobertura, bem como analisar as características de biomassa e de teores de sacarose do caldo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos da PESAGRO-RJ, localizada no município de Campos dos Goytacazes, na região norte do Estado do Rio de Janeiro, situado em latitude - 21°45'15"S e longitude 41°19' 28"E e altitude de 13 m. O solo é classificado como Cambissolos háplicos, com 23, 53 e 24% de argila, silte e areia total, respectivamente. O histórico da área é de pousio por um ano, sendo anteriormente utilizado com a cultura de feijão. O clima da região conforme a classificação de Köppen é Cwa do tipo quente úmido com temperatura média do mês mais frio em torno de 21°C e o mais quente, em torno de 27°C. A precipitação média anual de 1023 mm, concentrada no período de outubro a janeiro.

Os dados sobre as variações na temperatura e na precipitação média por decêndios, são apresentados na Tabela 1. Análise do solo foi realizada em julho de 2013 no Centro de Análises do Solo da UFRRJ, Campos dos Goytacazes/RJ, na

camada do solo de 0 a 0,20 m com os seguintes atributos químicos: pH = 5,5; P (Extrator Carolina do Norte) = 7 mg dm⁻³; K = 38 mg dm⁻³; Ca = 2,0; Mg = 0,9; Al = 0,0; T = 6,3 (cmol_c dm⁻³); MO = 19,1 g dm⁻³ e V = 48%. O solo recebeu 1.20 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 80 %), no dia 22/09/2013, para correção da acidez e elevação da saturação por bases a 60%.

Tabela 1 - Dados médios de precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) por decêndio durante o período de 11/01/2014 a 30/05/2014 da Estação Meteorológica de Campos dos Goytacazes/RJ. Fonte: CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

	Janeiro		Fevereiro			Março			Abril		Maio	
Decêndio	20	31	10	20	28	10	20	31	10	20	30	10
Chuvas -mm	34,6	0,0	0,0	10,6	0,0	8,2	0,0	104,0	45,4	60,8	28,2	4,0
Temperatura (°C)	26,4	27,0	27,5	26,5	27,0	26,2	27,1	24,7	25,3	25,1	22,8	23,6

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial 4 x 5, envolvendo 20 tratamentos, constituídos pela combinação de quatro cultivares (BRS 506, BRS 508, BRS 509 e BRS 511), com cinco doses de nitrogênio (0, 80, 160, 240 e 320 kg ha⁻¹) e quatro repetições por tratamento. As unidades experimentais ou parcelas foram constituídas por quatro linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,70 m constituindo um estande de 120.000 plantas por hectare. A área útil da parcela para avaliação das características agronômicas foi constituída pelas duas linhas centrais de 3 m de comprimento, eliminando-se 1 m de bordadura em cada extremidade.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional, sendo realizado uma aração e duas gradagem, antes da instalação do experimento. A semeadura foi realizada em 16/01/2014 colocando-se de 2 a 3 sementes por cova, sendo feito um desbaste aos 10-15 dias após emergência das plântulas, deixando-se apenas uma planta por cada ponto de semeio. Foram feitas duas capinas manuais aos 20 e 40 dias

após semeadura para o controle de plantas daninhas. Também, durante a condução dos experimentos, foram realizadas aplicações de inseticidas e fungicidas para o controle de pragas e doenças com produtos registrados para a cultura.

No cálculo da quantidade de fertilizante consideraram-se as características químicas do solo, a produtividade esperada e as recomendações de Embrapa (2008). As adubações fosfatada e potássica foram realizadas manualmente, no fundo do sulco de semeadura e constaram de 330 e 140 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e cloreto de potássio respectivamente. A adubação nitrogenada com ureia foi realizada em cobertura, sendo metade da dose aplicada aos 25 dias e a outra metade 45 dias após a semeadura, distribuindo-se superficialmente e ao lado, à distância de 15 a 20 cm, das linhas de plantio, em solo úmido e posterior cobrimento com terra. Todos os tratamentos receberam por igual irrigação complementar por aspersão convencional, com lâmina de 10 mm, de forma suplementar à precipitação local.

A colheita iniciou-se aos 120 dias após a semeadura e a obtenção dos dados foi realizada na maturação fisiológica, quando mais de 90% das panículas apresentavam grãos com coloração típica de maduros e em estado farináceo. Nesse trabalho foram avaliados: altura de plantas (AP), diâmetro de colmos (DC), massa do caldo (MC), massa verde dos colmos (MVC) e teor de sólidos solúveis totais (°Brix).

Antes do corte das plantas de cada área útil foram avaliadas as seguintes características: altura de plantas como sendo a distância média em metros da base rente ao solo até a base das panículas, em dez plantas escolhidas aleatoriamente na parcela. O diâmetro do colmo expresso em centímetro, medido no terço médio do colmo, em dez plantas escolhidas aleatoriamente na parcela.

Na colheita, as plantas de cada área útil foram cortadas manualmente a uma altura em torno de 0,05 m do solo e pesadas em balança eletrônica para estimativa de produção de matéria natural e massa seca. Desse material, uma amostra de 10 colmos despalhados de cada área útil foi selecionada aleatoriamente, pesada e imediatamente encaminhada até o Laboratório de Controle de Processos e Qualidade da Usina Canabrava, localizada em Travessão, aproximadamente 20 km da área experimental, para extração e análises do caldo, segundo manual de Consecana (2006).

As plantas foram desintegradas em desfibrador e homogeneizadas e o caldo do colmo foi extraído de uma subamostra de 500 g de material fresco (colmos), transferida a uma prensa hidráulica e submetida a pressão constante de 250 kgf cm⁻² (24,5 Mpa) durante um minuto. Após a prensagem, o caldo foi pesado e sua massa foi estimada pela relação do peso do caldo e do peso da massa fresca das dez plantas com o peso total da massa verde dos colmos das parcelas e, posterior conversão em Mg ha⁻¹. De uma amostra do caldo extraído foi determinado o Brix empregando-se um refratômetro digital, de leitura e correção automática de temperatura.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (anova) utilizando-se o programa Genes, versão Windows, Cruz (2013). Em caso de significância para o fator cultivar, os valores foram submetidos ao teste Tukey, em nível de significância de 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo de doses ou da interação entre nitrogênio e cultivares foram realizadas análises de regressão polinomial em 5%, utilizando-se o maior coeficiente de determinação como um dos critérios para a escolha do modelo de melhor ajustamento aos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme ilustra a Tabela 1, verificou-se que no período do experimento houve baixas precipitações pluviométricas e distribuição irregular de chuvas, principalmente, nos meses iniciais do período do cultivo, sendo necessárias irrigações para manter o bom desenvolvimento da cultura.

O resumo das análises de variância (quadrados médios) apresentada na Tabela 2, comprovou que os atributos altura de plantas (AP), diâmetro de colmos (DC), massa do caldo (MC) e massa verde de colmos (MVC) foram influenciados significativamente por todos os fatores estudados: pelas doses de nitrogênio, cultivares e pela interação entre doses de nitrogênio e cultivares. O Brix foi influenciado significativamente apenas pelas doses de nitrogênio.

Tabela 2. Estimativa dos quadrados médios (QM), médias e coeficientes de variação (CV) das análises de variância para as características: Altura de plantas (AP), Diâmetro de colmos (DC), Massa do caldo (MC), Massa verde de colmos (MVC) e Brix, de quatro cultivares de sorgo sacarino sob diferentes níveis de adubação nitrogenada no município de Campos dos Goytacazes - RJ, 2014

Fontes de Variação	GL	AP (m)	DC (mm)	MC (Mg ha ⁻¹)	MVC (Mg ha ⁻¹)	Brix (%)
Blocos	3	0,002	0,243	12,94612	1,399	5,687
Cultivares (Fa)	3	0,02082**	17,8384**	232,59112**	408,27146**	0,533 ^{ns}
Doses de N (Fb)	4	0,04485**	3,9643**	159,3627**	528,91075**	4,781**
(Fa) x (Fb)	12	0,0226**	0,74762*	24,5606**	85,11833**	0,363 ^{ns}
Resíduo	57	0,002	0,372	4,452	3,126	0,471
Média		2,80	15,6	33,55	54,66	20,73
CV (%)		1,59	3,90	6,23	3,23	3,31

*, ** significativos e ^{ns} não significativo, em níveis de 5% e 1%, pelo teste de F, respectivamente.

O estudo da interação cultivar x doses de nitrogênio, em relação à altura de plantas está ilustrado na tabela 3. Através do desdobramento, observou-se que os cultivares apresentaram respostas diferenciadas desse atributo na faixa dos 80 a 240 kg ha⁻¹ de N. Contudo, foi nas doses de 160 e 240 kg ha⁻¹ de N nas quais foram registradas as maiores alturas de plantas, com destaque para a BRS 508 que obteve valores de 2,97 e 2,99 m. Estes valores de altura de plantas são semelhantes aos comunicados técnicos publicados pela Embrapa Milho e Sorgo a respeito dos cultivares avaliadas nesse trabalho, os quais oscilam de 300 a 302 cm.

Tabela 3 – Valores médios de altura de plantas (AP), diâmetro de colmo (DC), massa do caldo (MC), produção de massa verde de colmos (MVC) e teor de brix (Brix) de cultivares de sorgo sacarino, sob diferentes doses de nitrogênio, em ensaio conduzido no município de Campos dos Goytacazes, RJ, 2014

Características	Cultivares	Níveis de Nitrogênio (Kg)				
		0	80	160	240	320
AP (m)	BRS 506	2,75 a	2,80 a	2,90 a	2,79 c	2,77 a
	BRS 508	2,75 a	2,76 ab	2,97 a	2,99 a	2,77 a
	BRS 509	2,70 a	2,70 b	2,69 c	2,91 b	2,85 a
	BRS 511	2,77 a	2,78 ab	2,81 b	2,78 c	2,80 a
DC (mm)	BRS 506	15,1 a	16,5 a	16,4 a	16,8 a	17,1 a
	BRS 508	13,3 b	13,9 c	15,4 a	14,5 b	14,4 c
	BRS 509	15,3 a	15,3 b	15,5 a	15,9 a	15,5 bc
	BRS 511	15,7 a	15,6 ab	16,6 a	16,9 a	17,1 ab
MC (Mg ha ⁻¹)	BRS 506	29,50 ab	38,77 a	39,75 a	38,05 a	39,67 a
	BRS 508	24,22 c	29,67 b	30,88 b	35,40 a	28,47 c
	BRS 509	27,38 bc	29,25 b	29,62 b	36,17 a	36,28 ab
	BRS 511	31,92 a	36,75 a	37,78 a	36,92 a	34,45 b
MVC (Mg ha ⁻¹)	BRS 506	47,90 a	61,90 a	65,20 a	62,15 a	64,10 a
	BRS 508	36,63 b	50,60 b	54,58 c	57,65 b	47,83 c
	BRS 509	45,93 a	48,30 b	48,88 d	60,18 ab	63,15 a
	BRS 511	48,52 a	59,82 a	58,22 b	57,60 b	54,15 b
Brix (%)	BRS 506	20,18 a	21,25 a	21,15 a	20,90 a	20,38 a
	BRS 508	19,93 a	21,38 a	21,35 a	21,55 a	20,50 a
	BRS 509	19,68 a	20,50 a	20,75 a	20,95 a	21,05 a
	BRS 511	19,50 a	20,78 a	21,20 a	21,05 a	20,55 a

AP - Altura de plantas; DC – Diâmetro de colmos; MC – Massa do caldo; MVC – Massa verde de colmos e Brix. Médias seguidas por uma mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Turkey.

A análise de regressão revelou que os cultivares BRS 506 e 508 apresentaram ajuste linear de 2° grau mostrando que aumentos crescentes de nitrogênio proporcionaram um aumento na altura da planta até um certo patamar, a partir do qual, aumentos sucessivos, causaram diminuição desse atributo (Figura 1).

Os efeitos foram mais significativos no cultivar BRS 508 que alcançou sua maior altura de planta na dose estimada de 185 kg ha⁻¹ de N, enquanto, o cultivar BRS 506 registrou plantas de maior tamanho de colmo com 162 kg ha⁻¹, sendo alturas médias registradas de 2,94 e 2,85 m respectivamente. Doses de nitrogênio superiores a estas, proporcionaram alturas menores, em ambos, os cultivares. Resposta linear crescente de 1º grau foi observada para o cultivar BRS 509, sendo que, a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N proporcionou aumento de 5 cm em altura das plantas, sugerindo com isto, estudos testando doses mais amplas. Já para o cultivar BRS 511, não houve efeito significativo com as doses testadas.

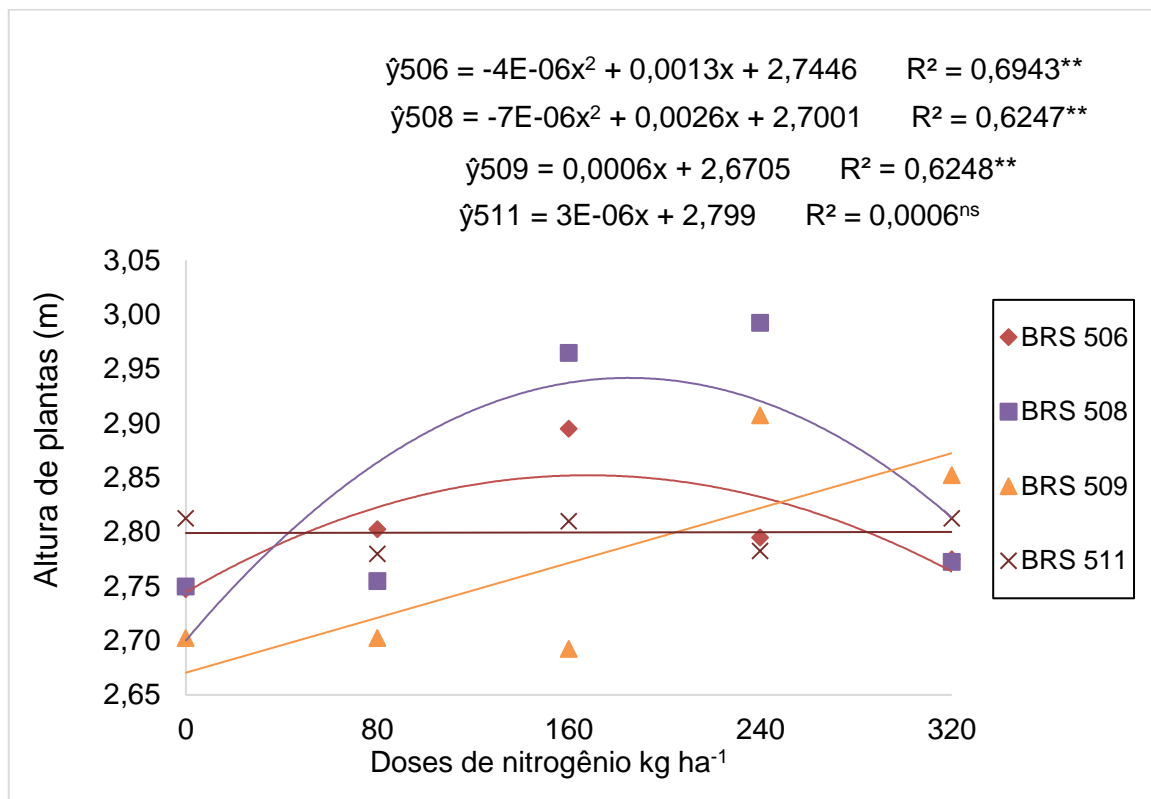


Figura 1. Equações de regressão para altura de plantas de cultivares sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. * e **: significativo em 5 e 1% pelo teste F.

Resultados semelhantes foram alcançados por Miri & Rana (2014) e Sawagaonkar et al., (2013), ao avaliarem cultivares de sorgo sacarino CSH22SS,

RSSV 9, SSV 84, ICSV 93046 e NTJ 2 sob diferentes doses de nitrogênio, quando observaram genótipos com crescimento linear ao aumento do nível de nitrogênio, enquanto que outros genótipos, responderam até um certo nível, após o qual, novo aumento das doses de nitrogênio, não apresentou efeito significativo. Reddy et al. (2008) trabalhando com cinco genótipos de sorgo sacarino e quatro níveis de nitrogênio relataram interação significativa “cultivares x doses de nitrogênio” para as variáveis: produção de colmos, volume do caldo, produção de açúcar e produção de grãos, mas a interação não foi significativa para altura de plantas e ° Brix.

Analisando a resposta dos cultivares avaliadas nas diversas doses de N aplicadas, constatou-se que na dose de 160 Kg ha⁻¹, todas elas estatisticamente tiveram a mesma resposta para o diâmetro de colmos. Resultados semelhantes também foram registrados na dose zero (testemunha) e 240 kg ha⁻¹ de N, nas que estatisticamente os cultivares BRS 506, BRS 509 e BRS 511 tiveram o mesmo desempenho. Da mesma maneira, foi observado que os cultivares tiveram respostas semelhantes nas doses testadas de 80 e 320 kg ha⁻¹ para o cultivar BRS 506 seguido da BRS 511 (Tabela 3).

Como apontado para o atributo de altura de plantas, em que os cultivares registraram os maiores valores na dose de 160 e 240 kg ha⁻¹ de N com destaque para o BRS 508. Entretanto, para a variável diâmetro de colmo verificou-se que os máximos valores desse atributo foram obtidos na faixa de 160 a 320 kg ha⁻¹ de N, com médias em torno dos 16 mm, destacando-se os cultivares BRS 511 e BRS 506.

Esses cultivares, BRS 511 e BRS 506 estão sendo recomendadas para semeadura nas principais regiões que cultivam cana-de-açúcar, devido ao alto potencial de produção de colmos (média de 60 t ha⁻¹) e com característica de resistência ao acamamento, podendo chegar a três metros de altura (Embrapa, 2012a). Para todas as doses testadas, o cultivar BRS 508 proporcionou plantas com menor diâmetro de colmos. No entanto, merece destaque que foi o cultivar que mostrou plantas com maior altura.

Em relação ao diâmetro de colmos, efeito das doses de N dentro dos cultivares, observou-se resposta linear, crescente e muito semelhante na BRS 506 e BRS 511. Isto é, a aplicação de 80 kg ha⁻¹ proporcionou resultados parecidos, com

incremento de 0,34 mm e 0,41 mm na espessura do colmo respectivamente. Para o cultivar BRS 509, a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N apenas proporcionou incrementos de 0,1 mm (Figura 2).

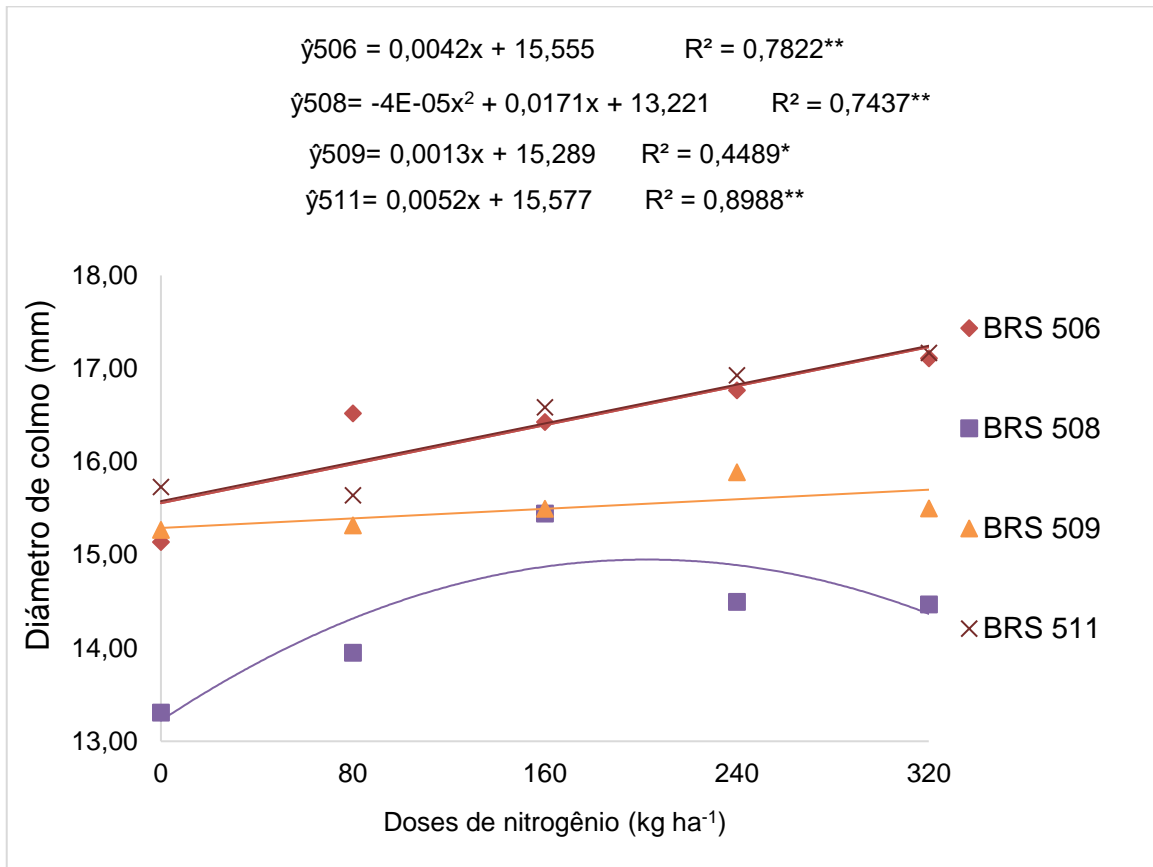


Figura 2. Equações de regressão para diâmetro de colmo de sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. * e **: significativo em 5 e 1% pelo teste F

O cultivar BRS 508 foi o único genótipo que exibiu resposta de 2º grau, sendo os efeitos dos tratamentos para essa característica na dose estimada de 257 kg ha⁻¹ de N.

Plantas com maior altura e diâmetro reduzido, induzem, de modo geral, a um maior acamamento ou quebramento, dificultando a colheita mecanizada da cultura. Marchezan & Silva (1984) trabalhando com cultivares de sorgo sacarino, registraram

acamamento em plantas de sorgo sacarino com diâmetros de 12,3 mm a 18,0 mm. Valores semelhantes foram registrados no presente estudo, porém, não houve acamamento na área útil das unidades experimentais.

No caso da variável massa do caldo, os cultivares apresentaram produtividade média de massa do caldo de 33,55 Mg ha⁻¹ e coeficiente de variação (CV) de 6,23% (Tabela 2). Observou-se uma tendência de melhor resposta dos cultivares BRS 506 e 511 (Tabela 3), diferindo estatisticamente das demais, em todas as doses testadas, com exceção da dose de 240 Kg ha⁻¹, em que não houve diferença entre os cultivares. A média máxima estimada de massa do caldo foi de 36,6 Mg ha⁻¹ obtida com a dose de 240 kg ha⁻¹ de N com destaque para a BRS 506 que alcançou o maior valor médio de 38,05 Mg ha⁻¹. Todavia, esse cultivar sobressaiu em todas as doses testadas junto com a BRS 511.

Os resultados alcançados, também evidenciam uma tendência de aumento na produção de massa do caldo em função das doses crescentes de nitrogênio. Pela análise de regressão, os cultivares BRS 506, BRS 508 e BRS 511 mostraram função polinomial de 2º grau conforme ilustrado na Figura 3, em que, o aumento da massa do caldo atingiu o máximo produtivo, obtido com as doses estimadas de 221, 236 e 134 kg ha⁻¹ de nitrogênio, respectivamente.

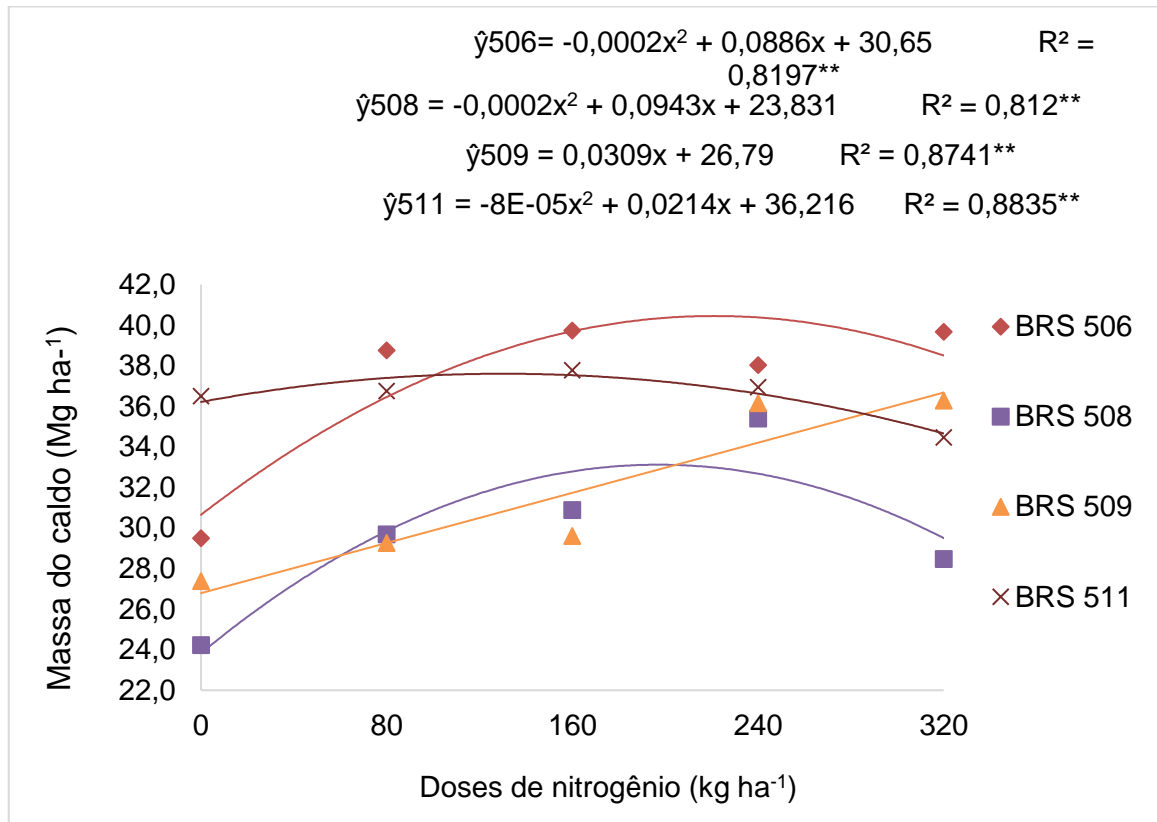


Figura 3. Equações de regressão para massa do caldo de sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. * e **: significativo em 5 e 1% pelo teste F.

Para essa mesma característica, observou-se relação linear de 1º grau crescente e significativa para o cultivar BRS 509, de modo que a massa do caldo aumentou com o incremento das doses de nitrogênio. Assim, o aumento das doses de nitrogênio a cada 80 kg ha⁻¹ proporcionou acréscimos de 2,47 Mg de massa do caldo dos colmos.

Pouco se há documentado na cultura do sorgo sacarino, principalmente no Brasil, sobre os efeitos de fontes nitrogenadas, níveis de nitrogênio e modos de aplicação na avaliação de características relacionadas com altura de plantas e diâmetro do colmo, que, por sua vez, são atributos influenciados pelas condições ambientais e práticas de manejo adotadas, inclusive, a adubação nitrogenada (Almodares et al., 2007; May et al., 2012). De acordo com Bandeira et al., (2012), altura de planta e diâmetro de colmo são caracteres que incidem direta ou indiretamente na produção de biomassa verde. Nesse estudo, foi verificado que houve diferença entre

os genótipos estudados e essas variáveis, inclusive massa do caldo, pode ter interferido na produtividade de massa verde de colmos.

Para o atributo de massa verde de colmos, o melhor desempenho foi alcançado pelo cultivar BRS 506, obtendo o maior valor médio com a dose de 160 kg ha⁻¹. Isso permite inferir que para esse cultivar a dose testada de 160 kg ha⁻¹ é a mais adequada para produção de massa verde de colmos nas condições realizadas nesse trabalho (Tabela 3). Verifica-se também, que excetuando o tratamento de dose zero (testemunha), esse cultivar registrou médias superiores aos 60,0 Mg ha⁻¹. Resposta semelhante foi observada na BRS 509, mas apenas na dose de 240 e 320 kg ha⁻¹ de N.

A BRS 511 registrou o maior valor médio na menor dose de nitrogênio utilizada e com resultado semelhante a BRS 506 na dose de 80 kg ha⁻¹. A BRS 509 obteve resposta semelhante ao observado para a BRS 506 nas maiores doses utilizadas, ou seja, nos 240 e 320 kg ha⁻¹ e o pior resultado na dose de 160 Kg ha⁻¹. Dentre os cultivares estudadas, a BRS 508 teve a pior resposta, principalmente nas doses 0 e 320 kg ha⁻¹, sendo seu valor médio máximo de 57,65 Mg ha⁻¹ obtido nas doses de 240 kg ha⁻¹ de N.

Conforme ilustra a Tabela 3, as máximas médias de produtividades foram obtida pelo cultivar BRS 506, em que, também foi observado para a variável massa do caldo, diâmetro de colmo e altura da planta (exceto na dose de 240 kg ha⁻¹ para essa última característica), indicando com isto, que existe possivelmente uma relação direta e positiva desses atributos.

Bandeira et al (2012) avaliando os genótipos BRS 506 e Fepagro 90, em épocas diferentes de semeadura na região Central do Rio Grande do Sul, obtiveram para altura de plantas, valores médios de 2,68 e 2,95 m. Já para produtividade de colmo, obtiveram valores muito semelhantes em ambos os genótipos e em torno de 53,0 t ha⁻¹. Esses valores mostraram similares aos encontrados no presente estudo.

As respostas da massa verde de colmos em função das doses de nitrogênio também proporcionaram resposta linear crescente de 1° grau para o cultivar BRS 509, sendo que um aumento de 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio originou um aumento de 4,63 Mg ha⁻¹ (Figura 4). As demais cultivares avaliadas tiveram respostas lineares de 2° grau.

Assim, a BRS 506, atingiu seu ponto máximo, estimado pela equação de regressão, na dose de 249,3 kg ha⁻¹ de N, estimando uma produtividade máxima de massa verde de colmos de 68,02 Mg ha⁻¹.

A máxima produtividade de massa verde de colmos para o BRS 508 e BRS 511 foi estimada com as doses de nitrogênio de 210 e 187,5 kg ha⁻¹ com valores estimados em 58,68 e 60,25 Mg ha⁻¹ respectivamente. Embora, o cultivar BRS 506 tenha registrado a máxima produtividade de MVC entre os cultivares estudadas, foi a BRS 511 que empregou menor quantidade de N, o que conduz a necessidade de realizar estudos para estimar a dose N que proporcione o máximo lucro.

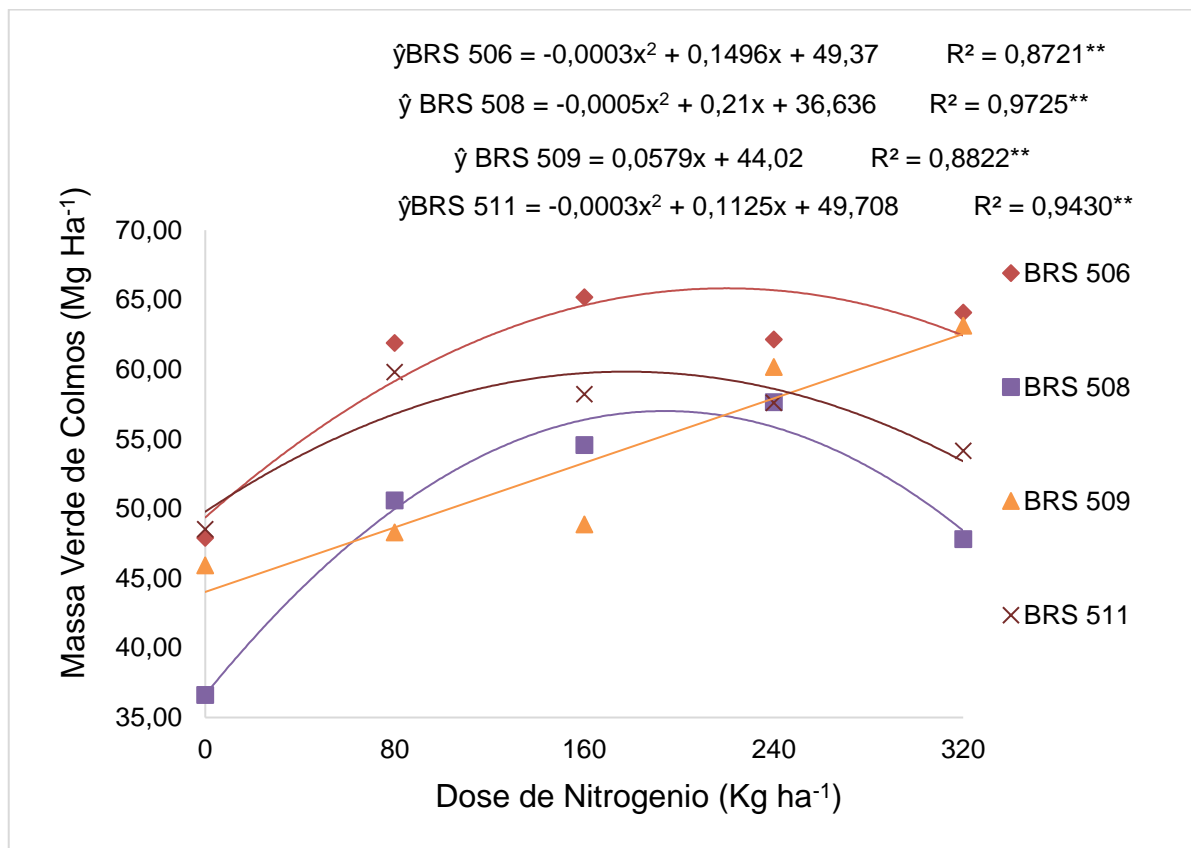


Figura 4 - Equações de regressão para massa verde de colmos de plantas de sorgo sacarino em função de cultivares e doses de nitrogênio. * e **: significativo em 5 e 1% pelo teste F.

Resultados semelhantes foram obtidos por Sawargaonkar et al., (2013), que avaliando espaçamento, cultivares e doses de nitrogênio, observaram que todos os cultivares responderam à aplicação de nitrogênio, sendo a dose máxima testada de 150 kg ha⁻¹. Ainda, os autores relatam que doses além de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, o aumento no rendimento foi insignificante. Da mesma forma, Miri & Rana (2014), avaliando doses de nitrogênio em duas variedades e um híbrido, alcançaram os melhores resultados de biomassa verde, na dose de 140 kg de nitrogênio ha⁻¹.

Em geral, 70 a 80% da massa verde da planta é composta de colmos. Assim, cultivares com maior massa verde de colmos são desejáveis, pois o caldo a ser fermentado para obtenção de etanol é extraído dos colmos. Quanto mais colmos mais caldo será obtido (Embrapa, 2011).

Para a variável “sólidos solúveis totais” (°Brix) do caldo, os cultivares não apresentaram diferença significativa entre genótipos para todas as doses testadas, contudo, os valores médios obtidos nesse trabalho, oscilaram de 19,50 a 21,55° Brix (Tabela 3).

O teor de Brix é um dos principais parâmetros para estimar o teor de açúcares, portanto, altos valores desse grau são convenientes para obtenção de um caldo de alta qualidade de fermentação, visando principalmente, altos rendimentos de etanol (Prasad et al., 2007; Emygdio, 2011). Ainda, os autores destacam a complexidade de se avaliar esse caráter, ao comparar valores obtidos em experimentos realizados em diferentes ambientes e diferentes épocas, isto, devido a metodologia utilizada na amostragem do caldo e da análise industrial.

Em relação ao efeito das doses de nitrogênio, observou-se que os cultivares apresentaram ajuste linear de 2° grau, em que a melhor resposta foi alcançada com a dose estimada de 180 kg ha⁻¹ de N para um Brix estimado de 21,18° (Figura 5).

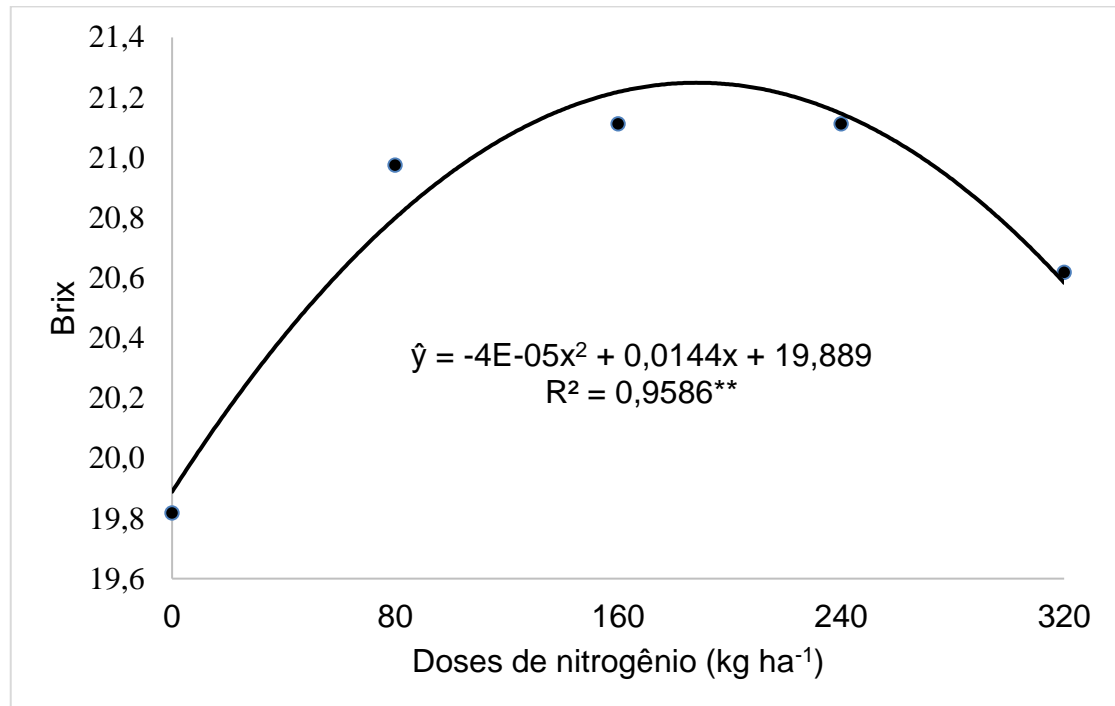


Figura 5 - Curva de regressão ajustada para Brix obtida de cultivares de sorgo sacarino sob diferentes níveis de adubação nitrogenada. Campos dos Goytacazes, RJ. 2014. * e **: significativo em 5 e 1% pelo teste F.

Kumar et al, (2008) e Miri & Rana (2014) estudando cultivares, doses de nitrogênio e população de plantas, relataram ter encontrado resultados estatisticamente significativos devido à aplicação de doses de nitrogênio em termos de produção de biomassa, suco e leitura do Brix. Prasad et al. (2007), apresentaram valores de 15,5 a 16,5 °Brix no momento da colheita, enquanto, (Almodares & Hadi, 2009) e Ratnavathi et al. (2010) recomendaram médias superiores para obter um caldo de alta qualidade de fermentação.

CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos, nas condições do experimento, pode-se concluir que:

- O estudo demonstrou que doses diferenciadas de nitrogênio aplicadas em cobertura influenciaram significativamente os atributos de crescimento dos cultivares de sorgo sacarino (altura e diâmetro de colmo e brix) afetando a produtividade de massa verde de colmos e teor de açúcar;
- A produção de massa verde de colmos ajustou resposta linear crescente para o cultivar BRS 509 e respostas lineares de segundo grau para os cultivares BRS 506, 508 e 511;
- O maior valor de massa verde de colmos foi observado para o cultivar BRS 506 com a dose estimada de 249,3 kg ha⁻¹ de N com uma produtividade estimada de 68,2 Mg ha⁻¹. No entanto, o cultivar BRS 508 e BRS 511 utilizaram menos N, na ordem de 210,0 e 187,5 kg ha⁻¹, para produzir 58,7 e 60,25 Mg ha⁻¹ respectivamente;
- O Brix não se diferenciou entre os cultivares, contudo, observou-se que a melhor resposta foi registrada com a dose estimada de 180 kg ha⁻¹ de N e um valor medido de 21,18°.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almodares, A.; Hadi, M.R. (2009) Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. *African Journal of Agricultural Research*, Washington, v. 4, n. 9, p. 772-780.
- Almodares, A.; Hadi, M. R.; Ranjbar, M.; Taheri, R. (2007) The effects of nitrogen treatments and harvest stages on stalk yield and sugar content in sweet sorghum. *Asian Journal of Plant Science*. v. 6, n. 2, p. 423-426.
- Bandeira, A. H.; Biondo, J. C.; Bialazor, A.; Silva, N. G.; Medeiros, S. L. P.; Emygdio, M. B. (2012) Desempenho de genótipos de sorgo sacarino cultivados em diferentes épocas de semeadura na região Central do Rio Grande do Sul. In: *XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO*, 2012, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia:
- Civardi, E. A.; Silveira Neto, A. N.; Ragagnin, V. A.; Godoy, E. G.; Brod, E. (2011) Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59.
- Conab – Companhia Nacional de Abastecimento (2015). Acompanhamento. safra bras. grãos, v. 2 - Safra 2014/15, n. 11 – Décimo primeiro levantamento, agosto 2015. Disponível em:<http://www.conab.gov.br>.
- Consecana – Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (2006). *Manual de Instrução*, Piracicaba, 112p.
- Cruz, C. D. (2013) GENES: A Software Package for Analysis in Experimental Statistics and Quantitative Genetics. *Acta Scientiarum: Agronomy*, 35, 271-276.

- Cruz de la, R.S. (2007) **El Sorgo Dulce**. Notas de Aula, Centro Universitario de Sancti Spiritus José Martí Pérez, Cuba. 10p.
- Durães, F. O. M. (2011) Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e industrial para alimentos e energia. *Agro energia em Revista*, Brasília, n. 3, p. 14-52.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2012a) - Embrapa e Ceres Sementes fecham parceria para lançamento de cultivar de sorgo sacarino. *Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas-MG) Ano 06 - Edição 39*. Acesso em: 04 jan. 2014. Online. Disponível em: <http://g Rao.cnpms.embrapa.br/noticia.php?ed=OQ==&id=MzQ=>
- Embrapa - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (2008). Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo. *Sistemas de produção: Cultivo do sorgo*. 4.ed. Sete Lagoas.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011). Embrapa Agroenergia. Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e Industrial para Alimentos e Energia. *Agroenergia em Revista*, edição 3º, 52 p
- Emygdio, B.M. (2011) Desempenho do cultivar de sorgo sacarino BR 506 visando à produção de etanol em dois ambientes contrastantes. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.17, n.1, p.45-51.
- Han, K.J.; Pitman, W.D.; Alison, M. W.; Harrell, D.L.; Viator, H.P.; McCormick, M.E.; Gravois, K.A.; Kim, M.; Day, D.F. (2012) Agronomic considerations for sweet sorghum biofuel production in the South-Central USA. *Bioenergy Research*, New York, v. 5, p. 748-758.

- Kumar, S. R.; Shrotria, P. K; Deshmukh, J. P. (2008) Characterizing Nutrient Management Effect on Yield of Sweet Sorghum Genotypes. *World Journal of Agricultural Sciences*, Pradesh, v. 4, n. 6, p. 787-789.
- Marchezan, E.; Silva, M.I. (1984) Avaliação de cultivares de sorgo sacarino em Santa Maria, RS. *Ciência Rural*, v.14, p.161-172.
- May, A.; Souza de, V.F.; Gravina, G.A.; Fernandes, P.G. (2016). Plant population and row spacing on biomass sorghum yield performance. *Ciência Rural*, v. 46, p. 434-439.
- May, A.; Durães, F. O. M.; Pereira Filho, I. A.; Schaffert, R. E.; Parrella, R. A. C. (2012) . *Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 22-31.
- Miri, K. & Rana D. S. (2014) Productivity, Nutrient Uptake and Profitability of Sweet Sorghum -Mustard Cropping System under Different Levels of Nitrogen. *American Journal of Agricultural Science and Technology*. v. 2, n. 2, p. 62-63.
- Parrella, R.A.C.; Meneguchi, J.L.P.; Ribeiro, A.; Silva, A.R.; Parrella, N.L.D.; Rodrigues, J.A.S.; Tardin, F.D.; Schaffert, R.D. (2010) Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diversos ambientes visando produção de etanol. *Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28; Simpósio Brasileiro sobre Lagarta do Cartucho, 4*, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 256-263
- Prasad, S.; Singh, A.; Jain, N.; Joshi, H. C. (2007) Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. *Energy Fuels*, Washington, v. 21, n. 4, p. 2415-2420.

- Ratnavathi, C.V.; Chakravarthy, S.K.; Komala, V.V.; Chavan, U.D.; Patil, J.V. (2011) Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: a review. *Sugar Tech*, Heidelberg v. 13, n. 4, p. 399-407.
- Ratnavathi, C. V.; Suresh, K.; Vijay Kumar, B. S.; Pallavi, M.; Komala, V. V.; Seetharama, N. (2010) Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v. 34, p. 947-952, 2010.
- Reddy, P.S.; Reddy B. V. S.; Kumar, A. A.; Srinivasa R. P. (2008) Standardization of nitrogen fertilizer rate for sugar yield optimization in sweet sorghum. *Journal of SAT Agricultural Research*, v. 6, p. 1-4.
- Sawargaonkar, G.L.; Patil, M.D.; Wani, S.P.; Pavani, E.; Reddy, B.V...S.R.; Marimuthu, S. (2013) Nitrogen response and water use efficiency of sweet sorghum cultivars. *Field Crops Research*. v. 149, p.245-251.
- Silva, P. C. S.; Lovato, C. (2010) Resposta da aplicação de nitrogênio em sorgo em sistema de plantio direto. *Revista Cascavel*, v. 3, n. 3, p. 170 – 189.
- Tamang, P.L.; Bronson, K.F.; Malapati, A.; Schwartz, R.; Johnson, J.; Moore-Kucera, J. (2011) Nitrogen Requirement for Ethanol Production from Sweet and Photoperiod Sensitive Sorghums in the Southern High Plains, *Agronomy Journal*, Vol. 103, No. 2, pp. 431-440.
- Uchino, H; Watanabe, T.; Ramu, K.; Sahrawat, K.L.; Marimuthu, S.; Wani, S.P.; Osamu Ito. (2012) Effects of nitrogen application on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the Semi-Arid Tropical zone of India. *JARQ*. 47 (1), 65 – 73.
- Yang, R.; Liu, W.J. (2010) Nitrate contamination of groundwater in an agro ecosystem in Zhangye Oasis, Northwest China. *Environ. Earth Sci*. 61, p.123-129.

3.2 QUALIDADE DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CULTIVARES DE SORGO SACARINO SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO

Como cultura energética, o sorgo sacarino tem potencial como fonte de matéria-prima para a produção de bioetanol. Objetivou-se, neste estudo, avaliar o efeito da adubação nitrogenada de cobertura na qualidade do caldo para produção de etanol de quatro cultivares de sorgo sacarino. O experimento foi conduzido em Campos dos Goytacazes, RJ, de janeiro a maio de 2014. Foram estudados quatro cultivares de sorgo sacarino: BRS 506, BRS 508, BRS 509 e BRS 511 e cinco doses de nitrogênio (0, 80, 160, 240 e 320 Kg ha⁻¹), aplicadas aos 25 e 45 dias após semeadura. Os resultados mostraram que o valor brix, açúcares redutores totais, açúcares totais recuperáveis, volume do caldo e rendimento de etanol foram afetados pela adubação nitrogenada. Para todas as características, o valor máximo foi obtido pela dose de 240 kg de N ha⁻¹. Entre os cultivares, a BRS 506 mostrou-se superior em produção de caldo e rendimento de etanol. O Enquanto, a BRS 511 destacou-se nos atributos ART e ATR e o cultivar BRS 508 no valor brix. O cultivar BRS 506 teve melhor resultado combinado de maior volume de caldo e rendimento de etanol com as doses de 204 e 212 kg N ha⁻¹ respectivamente.

Palavras-chave: biocombustíveis, etanol carburante, atributos industriais, caracterização da matéria-prima, genótipos.

ABSTRACT

As an energy crop, saccharine sorghum has potential as a source of raw material for the production of bioethanol. The objective of this study was to evaluate the effect of nitrogenated fertilization in the quality of the juice for ethanol production from four sorghum cultivars. The experiment was conducted in Campos dos Goytacazes, RJ, from January to May 2014. Four varieties of saccharine sorghum were studied: BRS 506, BRS 508, BRS 509 and BRS 511, and five nitrogen doses (0, 80, 160, 240 and 320 kg ha⁻¹) applied at 25 and 45 days after sowing. The results showed that the brix value, total reducing sugars, total recoverable sugars, juice volume and ethanol productivity were affected by nitrogenated fertilization. For all features, the maximum value was obtained by the dose of 240 kg of N ha⁻¹. Among the cultivars, BRS 506 was superior in juice production stock and ethanol productivity. While BRS 511 stood out in the attributes ART and ATR and BRS 508 in the brix value. The BRS 506 had better combined result of higher volume of juice and ethanol productivity with N doses of 204 and 212 kg ha⁻¹ respectively.

Keywords: biofuels, ethanol fuel, industrial attributes, characterization of raw materials, genotypes

INTRODUÇÃO

A matriz energética atual concentra-se em combustíveis de origem fóssil, que têm efeito poluidor emitindo gases que contribuem e agravam o efeito estufa. Atualmente, várias fontes alternativas de energias limpas renováveis são cogitadas a partir de matéria-prima vegetal para produção de biocombustíveis. O etanol é produzido mundialmente e em grande escala a partir da biomassa, utilizando como fontes culturas agrícolas que contenham quantidades consideráveis de açúcares, como no caso da cana-de-açúcar ou de culturas ricas em amido, como o milho.

Na busca de novas alternativas de energia renovável, a cultura do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] se destaca, de forma semelhante à cana-de-açúcar, por apresentar colmos suculentos com altos teores de açúcares diretamente fermentescíveis, os quais possibilitam a produção de etanol com até 93% de eficiência (Han et al., 2012). Além disso, seu bagaço pode ser aproveitado pela indústria na geração de energia e eletricidade, produção de etanol de segunda geração e ainda, aproveitamento dos grãos que são úteis para consumo humano, produção de ração animal ou produção de combustíveis, Almodares & Hadi (2009).

Como cultura e por tratar-se de uma espécie agrícola rústica, tem ampla adaptabilidade e tolerância a estresses abióticos. Além, de ter ciclo curto de produção (de 100 a 120 dias para alto rendimento de biomassa), cultivado a partir de semente, de menor exigência de água e boa tolerância à seca podendo ser explorado em larga escala e com grande adequabilidade a diversas condições de clima e solo (Durães, 2011; Ratnavathi et al., 2010; Prasad et al., 2007) tornando-a, dentre as culturas com potencial bioenergético, uma interessante opção para compor a matriz energética nacional como complemento ao cultivo da cana-de-açúcar.

Todavia, pode ser empregada como alternativa para adiantar o início da safra da cana-de-açúcar, onde a cultura de sorgo sacarino pode ser estabelecida e colhida no período da entressafra, nos meses de novembro a maio. Desta forma, reduz o período de ociosidade da indústria alcooleira, que não ficaria sem matéria-prima para a produção de álcool, haja vista, que nessa época, os canaviais encontram-se em

pleno desenvolvimento vegetativo sem ainda alcançar a maturidade adequada para seu aproveitamento industrial.

Outra vantagem, é que sua implantação e colheita são totalmente mecanizadas e seu processamento industrial pode utilizar as mesmas instalações destinadas à produção de etanol proveniente da cana-de-açúcar.

Variedades de sorgo sacarino diferem muito no potencial de produção de etanol e qualidade do caldo e em sua adaptação a diversas condições de solo e clima (Ratnavathi et al., 2010). Assim, variedades com colmos de porte alto e diâmetro grosso, alta percentagem de suco extraído, suco com alto teor de brix e xarope de alta qualidade são as preferidas para a produção de biocombustível, além, alta resistência ao acamamento, às doenças e à seca (Ratnavathi et al., 2010).

Em relação à adubação nitrogenada poucas são as informações específicas para esta cultura e cujas recomendações técnicas, muitas vezes, têm-se baseado na cultura de sorgo forrageiro (May et al., 2012), sorgo granífero e do milho (Civardi et al., 2011). O sorgo é responsivo à aplicação de insumos modernos como os fertilizantes, sendo o nitrogênio (N) um dos macronutrientes de maior demanda para a produção de biomassa (Silva & Lovato, 2010).

Apesar disso, fatores edafoclimáticos como textura do solo, regime de chuvas e os fatores genéticos inerentes a cada cultivar devem ser considerados na recomendação de nitrogênio, principalmente em cultivares de alto rendimento de biomassa (Embrapa, 2012b) e que têm apresentado boa qualidade de suco (Miri & Rana, 2014). Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar o efeito da adubação nitrogenada de cobertura na qualidade do caldo extraído de colmos de quatro cultivares de sorgo sacarino para obtenção de etanol.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos da PESAGRO-RJ, localizada no município de Campos dos Goytacazes, na região norte do Estado do Rio de Janeiro, situado em latitude - 21°45'15"S e longitude 41°19' 28"E e altitude de 13 m. O solo é classificado como Cambissolos háplicos, com 23, 53 e 24% de argila, silte e areia total, respectivamente. O histórico da área é de pousio por um ano, sendo anteriormente utilizado com a cultura de feijão. O clima da região conforme a classificação de Köppen é Cwa do tipo quente úmido com temperatura média do mês mais frio em torno de 21°C e o mais quente, em torno de 27°C. A precipitação média anual de 1023 mm, concentrada no período de outubro a janeiro.

Os dados sobre as variações na temperatura e na precipitação média por decênios, são apresentados na Tabela 1. Análise do solo foi realizada em julho de 2013 no Centro de Análises do Solo da UFRRJ, Campos dos Goytacazes/RJ, na camada do solo de 0 a 0,20 m com os seguintes atributos químicos: pH = 5,5; P (Extrator Carolina do Norte) = 7 mg dm⁻³; K = 38 mg dm⁻³; Ca = 2,0; Mg = 0,9; Al = 0,0; T = 6,3 (cmol_c dm⁻³); MO = 19,1 g dm⁻³ e V = 48%. O solo recebeu 1,20 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 80 %), no dia 22/09/2013, para correção da acidez e elevação da saturação por bases a 60%.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial 4 x 5, envolvendo 20 tratamentos, constituídos pela combinação de quatro cultivares (BR 506, BR 508, BR 509 e BR 511), com cinco doses de nitrogênio (0, 80, 160, 240 e 320 kg ha⁻¹) e quatro repetições por tratamento. As unidades experimentais ou parcelas foram constituídas por quatro linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,70 m para um estande de 120.000 plantas por hectare. A área útil da parcela para avaliação das características agrônomicas e industriais foi constituída pelas duas linhas centrais de 3 m de comprimento, eliminando-se 1 m de bordadura em cada extremidade.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional, sendo realizadas uma aração e duas gradagens, antes da instalação do experimento. A semeadura foi realizada em 16/01/2014 colocando-se de 2 a 3 sementes por cova, sendo feito um desbaste aos 10-15 dias após emergência das plântulas, deixando-se apenas uma planta por cada ponto de semeio. Foram feitas duas capinas manuais aos 20 e 40 dias após semeadura para o controle de plantas daninhas. Também, durante a condução dos experimentos, foram realizadas aplicações de inseticidas e fungicidas para o controle de pragas e doenças com produtos registrados para a cultura.

No cálculo da quantidade de fertilizante consideraram-se as características químicas do solo, a produtividade esperada e as recomendações de Embrapa (2008). As adubações fosfatada e potássica foram realizadas manualmente, no fundo do sulco de semeadura e constaram de 330 e 140 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e cloreto de potássio respectivamente. A adubação nitrogenada com ureia foi realizada em cobertura, sendo metade da dose aplicada aos 25 dias e a outra metade 45 dias após a semeadura, distribuindo-se superficialmente e ao lado, à distância de 15 a 20 cm, das linhas de plantio, em solo úmido e posterior cobrimento com terra. Todos os tratamentos receberam por igual irrigação complementar por aspersão convencional, com lâmina de 10 mm, de forma suplementar à precipitação local.

A colheita iniciou-se aos 120 dias após a semeadura e a obtenção dos dados foi realizada na maturação fisiológica, quando mais de 90% das panículas apresentavam grãos com coloração típica de maduros e em estado farináceo. Neste trabalho foram avaliados: teor de sólidos solúveis (Brix), concentração de açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ART), volume do caldo (VC), açúcares totais recuperáveis (ATR) e rendimento estimado de etanol (REE).

Na colheita, as plantas de cada área útil foram cortadas manualmente e rente ao solo, pesadas em balança eletrônica para estimativa de produção de matéria natural. Desse material, uma amostra de 10 colmos despalhados de cada área útil foi selecionada aleatoriamente, pesada e imediatamente encaminhada até o Laboratório de Controle de Processos e Qualidade da Usina Canabrava, localizada em Travessão, aproximadamente a uma distância de 20 quilômetros da área experimental, para

extração e análises do caldo, segundo o método de CONSECANA aplicada para o estado do Rio de Janeiro (Costa et al., 2008) descrita no apêndice A.

No laboratório pesa-se uma amostra de 500 g da cana desfibrada e homogeneizada e a transfere para uma prensa hidráulica onde ela é submetida a uma pressão constante de 250 kgf/cm² (24,5 MPa) durante o período de um minuto. A parte fibrosa resultante da prensagem é pesada para fornecer o peso do bolo (bagaço) úmido (PBU). Com o caldo extraído pela prensa são feitos dois ensaios para a determinação do brix¹ e da pol do caldo². Os três resultados obtidos no laboratório, PBU, brix e pol, servem de base para a apuração do ATR³. O caldo foi pesado e sua massa foi estimada através da relação do peso do caldo e do peso da massa fresca das dez plantas com o peso total da massa verde dos colmos das parcelas e, posterior conversão em Mg ha⁻¹.

A quantidade média de ATR (QATR) é determinada a partir da média quinzenal ponderada dos resultados tecnológicos obtidos nas análises, PBU, brix e LS empregados na determinação dos parâmetros tecnológicos utilizados no cálculo rendimento estimado de etanol – REE.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (anova) utilizando-se o programa Genes, versão Windows, Cruz (2013). Em caso de significância para o fator cultivar, os valores foram submetidos ao teste Tukey, em nível de significância de 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo de doses ou da interação entre nitrogênio e cultivares foram realizadas análises de regressão polinomial em 5%, utilizando-se o maior coeficiente de determinação como um dos critérios para a escolha do modelo de melhor ajustamento aos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de precipitação pluviométrica durante o período de condução do experimento, encontram-se na Tabela 1, que foi marcada por baixas precipitações e

uma má distribuição de chuvas, principalmente, nos meses iniciais do período do cultivo, sendo necessário contínuas irrigações para manter o bom desenvolvimento da cultura.

Tabela 1 - Dados médios de precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) por decêndio durante o período de 11/01/2014 a 30/05/2014 da Estação Meteorológica de Campos dos Goytacazes/RJ. Fonte: CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

	Janeiro		Fevereiro			Março			Abril			Maio
Decêndio	20	31	10	20	28	10	20	31	10	20	30	10
Chuvas -mm	34,6	0,0	0,0	10,6	0,0	8,2	0,0	104,0	45,4	60,8	28,2	4,0
Temperatura (°C)	26,4	27,0	27,5	26,5	27,0	26,2	27,1	24,7	25,3	25,1	22,8	23,6

O resumo dos resultados de análises de variância conjunta (quadrados médios) para as características avaliadas, apresentadas na Tabela 2, mostra diferenças significativas ($p < 0,05$) na fonte de variação doses de nitrogênio (Fb), inferindo que esse fator influencia significativamente nas características industriais do caldo extraído dos colmos de sorgo sacarino. Para a fonte de variação cultivares (Fa), observou-se diferenças altamente significativas ($p > 0,01$) para todos os caracteres avaliados, exceto o teor de sólidos solúveis (Brix) e açúcares redutores (AR), indicando diferenças entre os genótipos avaliados durante este trabalho.

Tabela 2: Quadrados médios das análises de variância para teor de sólidos solúveis (Brix), açúcares redutores (AR%), açúcares redutores totais (ART), volume de caldo por hectare (VC), açúcares totais recuperáveis (ATR) e rendimento estimado de etanol (REE) por hectare considerando quatro cultivares de sorgo sacarino (Fa) e cinco doses de nitrogênio (Fb). Campos dos Goytacazes – RJ, 2014

Fontes de Variação	GL	Brix (%)	ART	VC	ATR	REE
Blocos	3	5,687	0,207	34767563,579	14,132	8160,813
Cultivares (Fa)	3	0,533 ^{ns}	2,814**	256145274,946**	200,245**	2847614,046**
Doses de N (Fb)	4	4,781**	0,920*	126629944,394**	64,877*	1841760,513**
(Fa) x (Fb)	12	0,363 ^{ns}	0,246 ^{ns}	43291490,935**	17,186 ^{ns}	373793,838**
Resíduo	57	0,471	0,325	3435774,027	22,691	30522,514
Media		20,730	13,579	30699,538	114,131	3629,888
CV (%)		3,31	4,200	6,038	4,180	4,813

*, ** significativos, em níveis de 5% e 1%, pelo teste de F, ^{NS} não significativo.

Para a interação cultivar e doses de nitrogênio constatou-se diferenças significativas para as características volume de caldo extraído dos colmos e rendimento estimado de etanol, mostrando respostas diferenciadas dos cultivares quando avaliadas em diferentes doses de nitrogênio.

Analisando os valores médios referentes às características avaliadas nesse trabalho e expressos na Tabela 3, constatou-se que a variável “sólidos solúveis totais” (Brix) do caldo, quanto à resposta dos cultivares às doses de nitrogênio utilizadas, não houve diferença estatística significativa nos genótipos, contudo, os valores médios obtidos oscilaram de 19,50 a 21,55 graus.

Tabela 3 – Valores médios de teor de sólidos solúveis (Brix), açúcares redutores totais (ART), açúcares totais recuperáveis (ATR), volume de caldo por hectare (VC) e rendimento estimado de etanol (REE) por hectare considerando quatro cultivares de sorgo sacarino e cinco níveis de adubação nitrogenada, em ensaio conduzido no município de Campos dos Goytacazes, RJ, 2014

Características	Cultivares	Níveis de Nitrogênio (Kg)				
		0	80	160	240	320
Brix (%)	BRS 506	20,18 a	21,25 a	21,15 a	20,90 a	20,38 a
	BRS 508	19,93 a	21,38 a	21,35 a	21,55 a	20,50 a
	BRS 509	19,68 a	20,50 a	20,75 a	20,95 a	21,05 a
	BRS 511	19,50 a	20,78 a	21,20 a	21,05 a	20,55 a
ART (%)	BRS 506	13,48 a	13,93 a	13,70 ab	13,95 ab	13,55 a
	BRS 508	12,75 a	13,53 a	13,20 b	13,35 b	13,50 a
	BRS 509	13,12 a	13,50 a	13,48 ab	13,33 b	13,00 a
	BRS 511	13,45 a	13,82 a	14,52 a	14,52 a	13,90 a
ATR (%)	BRS 506	113,35 a	117,00 a	115,00 ab	117,20 ab	114,02 a
	BRS 508	107,25 a	113,85 a	110,80 b	112,43 b	113,35 a
	BRS 509	110,23 a	113,23 a	113,30 ab	111,98 b	109,30 a
	BRS 511	113,05 a	116,32 a	122,07 a	122,20 a	116,70 a
VC L ha ⁻¹	BRS 506	25.787 b	34.882 a	38.456 a	36.346 a	35.282 a
	BRS 508	20.215 c	26.291 b	28.956 c	29.950 c	25.854 c
	BRS 509	25.979 b	26.086 b	26.387 c	34.933 ab	33.761 a
	BRS 511	32.224 a	35.619 a	34.658 b	32.804 bc	29.513 b
REE L ha ⁻¹	BRS 506	3.114 b	4.158 a	4.303 a	4.185 a	4.196 a
	BRS 508	2.441 c	3.308 b	3.477 b	3.719 b	3.113 c
	BRS 509	2.907 b	3.143 b	3.181 b	3.870 ab	3.964 a
	BRS 511	3.765 a	3.992 a	4.085 a	4.043 ab	3.631 b

Medias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Esses valores são superiores aos encontrados por Parrella et al. (2010), que trabalhando com 25 genótipos de sorgo sacarino visando produção de etanol, em diferentes ambientes edafoclimáticos, obtiveram teores de brix em torno de 17,55°. Também se mostraram superiores aos 18,0° obtidos por Emygdio et al. (2014), nos

cultivares BRS 506, BRS 509 e BRS 511 em um ensaio realizado no município de Pelotas, RS, em diferentes épocas de semeadura, na safra 2012/2013.

O teor de Brix é um dos principais parâmetros para estimar a concentração de açúcares, portanto, altos valores desse grau são convenientes para obter um caldo de alta qualidade de fermentação, visando principalmente, altos rendimentos de etanol (Prasad et al., 2007; Emygdio, 2011). Ainda, os autores destacam a complexidade de se avaliar esse caráter, ao comparar valores obtidos em experimentos realizados em diferentes ambientes e diferentes épocas, isto, devido à metodologia utilizada na amostragem do caldo e da análise industrial.

Em relação ao efeito das doses de N, observou-se que os cultivares apresentaram ajuste quadrático, em ponto máximo, estimado pela equação de regressão, com a dose de 180 kg ha⁻¹ de N, registrando um Brix de 21,18° (Figura 1).

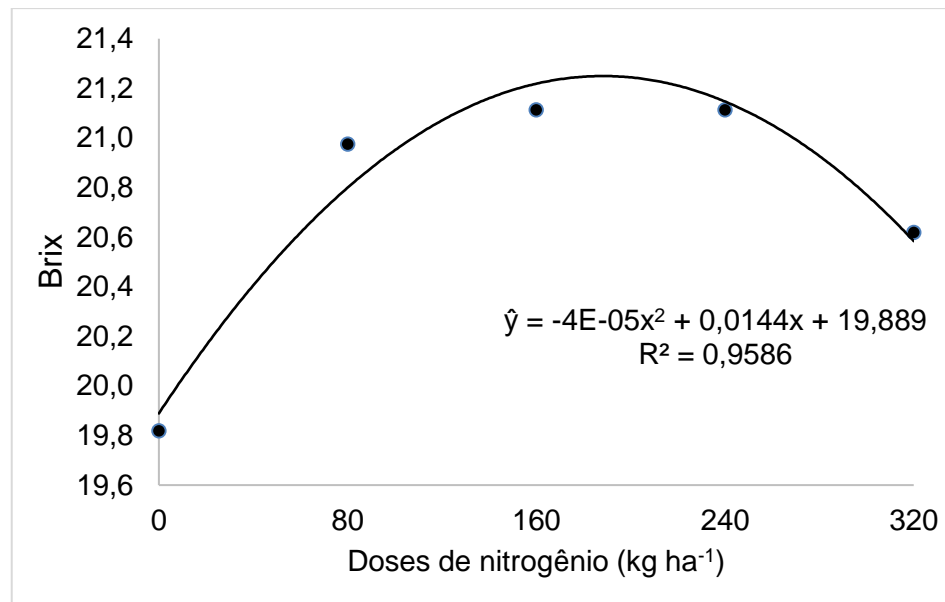


Figura 1. Curva de teor de sólidos solúveis (Brix) obtidos de quatro cultivares de sorgo sacarino considerando cinco doses de nitrogênio no município de Campos dos Goytacazes-RJ em 2014.

Kumar et al. (2008) e Miri & Rana (2014) estudando cultivares, doses de nitrogênio e população de plantas, relataram ter encontrado resultados estatisticamente significativos devido à aplicação de doses de nitrogênio em termos de produção de biomassa, caldo e leitura do brix. Prasad et al. (2007), sugerem valores de 15,5 a 16,5 °Brix no momento da colheita, enquanto, Almodares & Hadi (2009) e Ratnavathi et al. (2010) recomendam médias superiores para obter um caldo de alta qualidade de fermentação.

Analisando os resultados obtidos para o Brix (%) com média de 20,73%, observa-se que os cultivares avaliados nesse trabalho, apresentaram valores superiores aos sugeridos no programa de melhoramento de sorgo sacarino da EMBRAPA (Schaffert et al., 2011) e muito próximos da cana-de-açúcar.

Para os atributos agroindustriais, açúcares redutores totais (ART) e açúcares totais recuperáveis (ATR), observaram-se diferenças estatisticamente significativas, tanto na fonte de variação cultivares ($p < 0,01$) como nas doses de nitrogênio ($p < 0,05$), não existindo diferença significativa na interação cultivares e doses de nitrogênio (Tabela 2).

Por meio do desdobramento da interação cultivares dentro de cada dose de nitrogênio constatou-se diferença significativa nesta variável apenas nas doses de 160 e 240 kg ha⁻¹ de N (Tabela 3). Para ambos os atributos, o cultivar BRS 511 destacou-se entre os genótipos avaliados registrando valores médios iguais a 14,04 e 118,07 de ART e ATR, respectivamente (Figura 2).

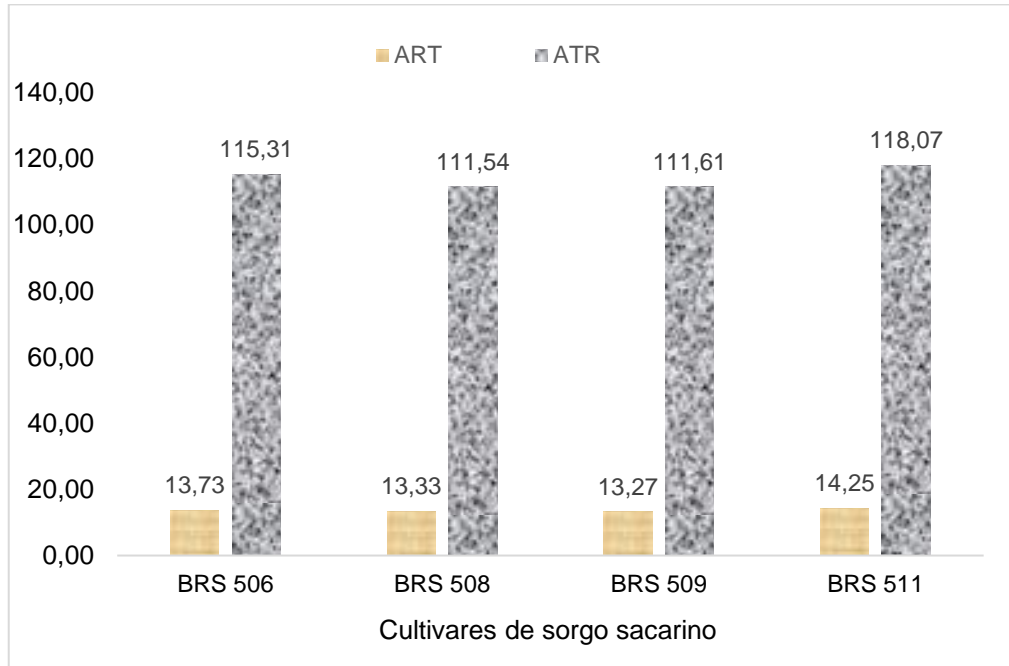


Figura 2: Teor de açúcares redutores totais – ART (%) e açúcares totais recuperáveis – ATR (Kg t⁻¹) sob cinco diferentes níveis de adubação nitrogenada em cobertura no município de Campos dos Goytacazes-RJ, 2014.

Resultados semelhantes foram relatados por Almodares & Hadi (2009), com valores na faixa de 12-17%, sendo que Masson et al., (2015), trabalhando com o genótipo de sorgo sacarino VSW80007, relataram teores de açúcares redutores totais (ART) de 15, 20%.

Essa variação entre genótipos pode ser atribuída à variação do potencial genético dos cultivares avaliados. Esses resultados corroboram com os obtidos por Redy et al. (2008) e Miri & Rana (2014), que proporcionaram valores claramente influenciados pela aplicação de diferentes doses de nitrogênio.

Tanto a concentração de açúcares fermentáveis (ART) como a quantidade estimada de açúcares recuperáveis (ATR) mostraram efeito linear de 2º grau no que se refere à resposta dos genótipos às diferentes doses utilizadas, cujas equações de regressão estimaram seus pontos máximos na dose de 160,0 e 244,5 kg ha⁻¹ respectivamente (Figura 3).

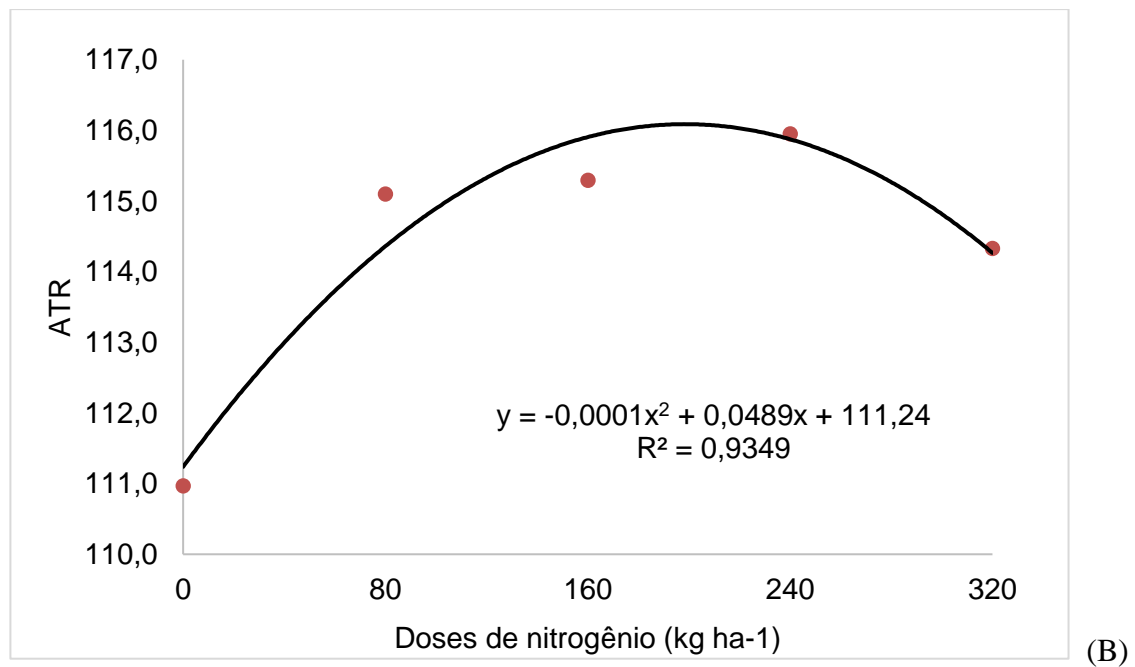
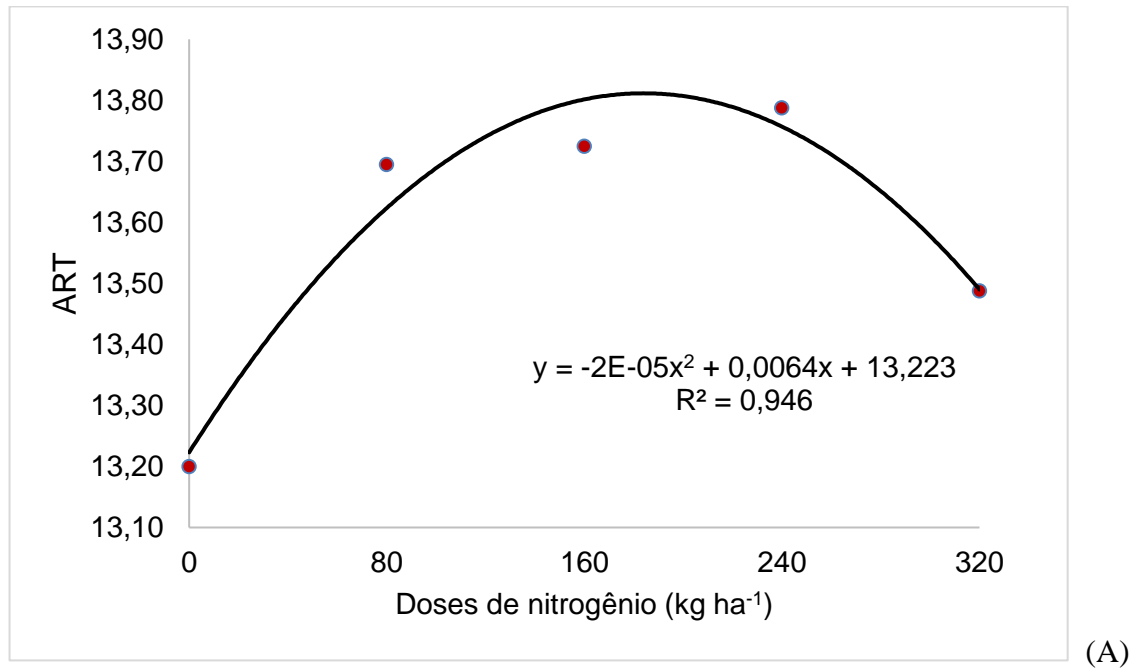


Figura 3: Médias da concentração de açúcares redutores totais (ART) e açúcares totais recuperáveis (ATR) obtidos de quatro cultivares sorgo sacarino considerando cinco doses de nitrogênio. Campos dos Goytacazes – RJ, 2014.

Trabalhos de pesquisa desenvolvidos pela Embrapa Milho e Sorgo, descrevem que o caldo dos colmos do sorgo sacarino deve prover níveis mínimos de produção de açúcar e teor de açúcar total (ART) para viabilizar uma produção econômica e sustentável de etanol (Schaffert e Parrella, 2012). Os autores recomendam um ART no mínimo de 12,5%, para que, a levedura possa converter completamente este nível de açúcar em etanol dentro de 6 a 10 horas, para obter um melhor aproveitamento da eficiência de utilização dos tanques de fermentação.

Desse modo, no presente trabalho verifica-se que as concentrações de açúcares redutores totais (ART) encontrados no colmo dos cultivares do sorgo sacarino registraram valor médio 13,58%, acima aos valores obtidos por Santos *et al.* (2010) e Ribeiro Filho *et al.* (2008), que relataram valores próximos aos 10%. Contudo, muito inferiores aos citados para a cana-de-açúcar que possui em média, valores de 16 a 19% (Von Pinho e de Vasconcelos, 2002). Nesse contexto, observa-se, que os cultivares de sorgo avaliados apresentaram valores de ART do caldo superiores a 13,5%, considerados dentro de padrões aceitáveis e adequados ao processamento industrial.

Para a variável volume de caldo (VC) foi constatado que os cultivares de sorgo sacarino apresentaram respostas significativamente diferentes em função das doses de nitrogênio utilizadas. Assim, verificou-se que os maiores valores médios de volume de caldo foram obtidos na dose de 240 kg ha⁻¹ de N. Onde não houve adubação nitrogenada, obteve-se os menores valores médios de caldo, sendo cultivar BRS 508 com a menor média registrada. Todavia constatou-se, que o cultivar BRS 506 registrou o maior valor médio de 38.456 litros por hectare na dose de 160 kg de N ha⁻¹ (Tabela 3).

A análise estatística também revelou diferenças entre os genótipos estudados. O cultivar BRS 506 registrou os maiores valores médios de produção de caldo, sendo apenas superado pelo BR 511 no tratamento onde não foi aplicado adubação nitrogenada. Enquanto que, o cultivar BRS 508 proporcionou os menores valores médios dentro dos cultivares avaliados (Tabela 3).

A análise de regressão revelou que os cultivares BRS 506, BRS 508 e BRS 511 apresentaram um efeito linear de 2º grau ($P < 0,05$) mostrando que aumentos

crecentes de nitrogênio proporcionaram um aumento no volume de caldo até um certo patamar, a partir do qual, aumentos sucessivos, causaram diminuição desse atributo (Figura 4).

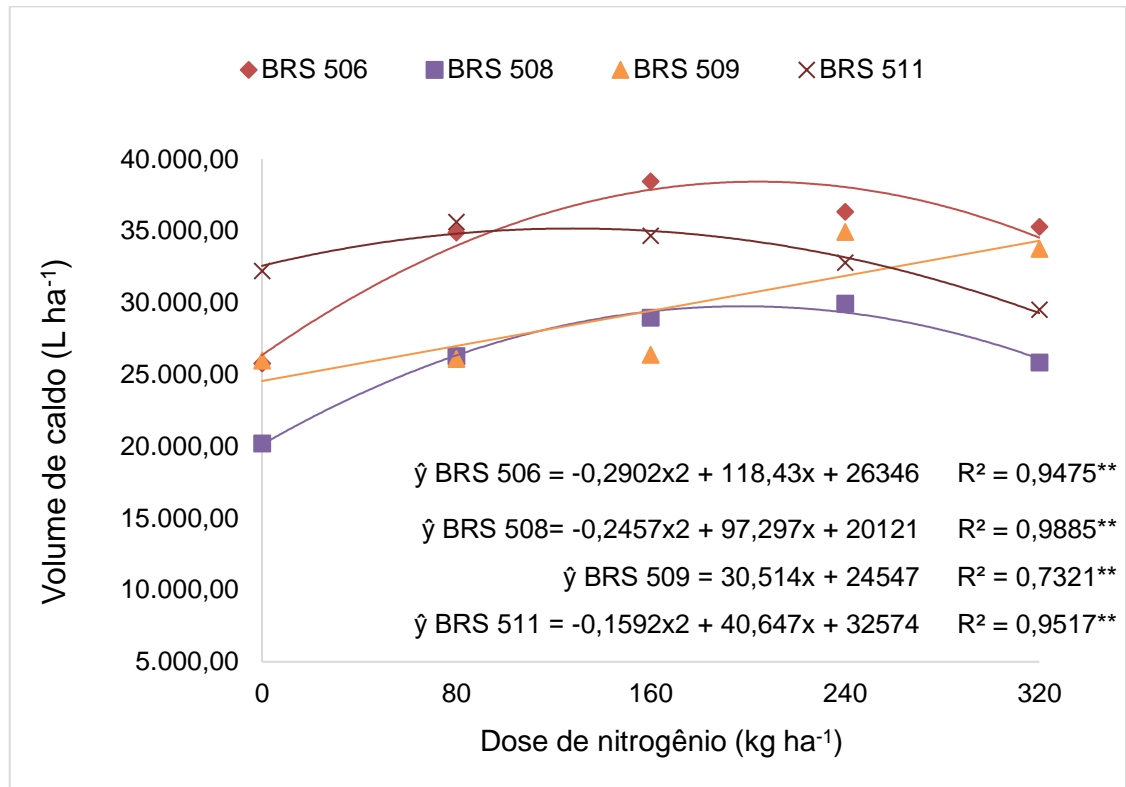


Figura 4: Curvas de regressão para volume do caldo obtido de quatro cultivares de sorgo sacarino considerando cinco doses de nitrogênio no município de Campos dos Goytacazes – RJ, 2014. * e **: significativo em 5 e 1% pelo teste F.

Os efeitos devido ao nitrogênio foram mais significativos no cultivar BRS 506 que alcançou maior volume de caldo nos colmos de sorgo sacarino na dose estimada de 204 kg N ha⁻¹, enquanto, os cultivares BRS 508 e BRS 511 registraram os maiores volumes de caldo nas doses estimadas de 198 e 128 kg ha⁻¹, respectivamente. Doses de nitrogênio superiores a estas, proporcionaram valores menores de volume de caldo. Resposta linear de 1º grau foi observado para o cultivar BRS 509, na qual, incrementos sucessivos de 80 kg ha⁻¹ de N proporcionaram ganhos iguais a 2.441 litros ha⁻¹,

sugerindo com isto, novas pesquisas com ampliação do intervalo de doses de nitrogênio.

Percebe-se que, apesar da BRS 506 obter o maior volume de caldo estimado em 38.428 L ha⁻¹, esse cultivar precisou de 37% a mais de nitrogênio quando comparada com a BRS 511, cuja produção de volume de caldo ficou em 35.168 L ha⁻¹.

Os volumes de caldo extraído neste trabalho são superiores aos relatados por Rutto et al. (2013), que avaliando cinco genótipos em três anos de colheita, verificaram rendimento de caldo variando de 7.600 a 23.400 L ha⁻¹ nos cultivares Sugar Drip e MS1E, respectivamente. Ainda relatam, que as diferenças e os baixos rendimentos obtidos podem ser devido, em parte, à eficácia da extração.

No rendimento estimado de etanol (REE), constataram-se diferenças significativas dos cultivares avaliados para todas as doses testadas. A melhor resposta dos cultivares à adubação nitrogenada foi obtida com a dose de 240 kg com um valor médio de 3.955 L ha⁻¹ (Tabela 3).

O rendimento médio de etanol foi influenciado pelas cultivares, ($p < 0,01$), mostrando maior valor da característica para a cultivar BR 506, com 3.991,65 L ha⁻¹ seguido do BRS 511, que produziu 3.903,55 L ha⁻¹. Entretanto, em relação às demais cultivares (BRS 508 e BR 509), as diferenças em relação ao cultivar mais produtiva foram, respectivamente, 779,95 L ha⁻¹ e 578,40 L ha⁻¹. Resultado semelhante em relação ao cultivar BRS 506, bom rendimento de caldo e com alto teor de açúcares, observado por Pereira Filho et al. (2012).

Os resultados obtidos, também evidenciaram uma tendência de aumento na produção de etanol em função das doses crescentes de nitrogênio conforme ilustrado na Figura 5. Assim, os cultivares BRS 506, 511 e 508 mostraram resposta linear de 2° grau, em que, o máximo produtivo foi alcançado com as doses estimadas de 212, 151 e 194 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente. Enquanto que, o cultivar BRS 509 teve resposta linear de 1° grau, de modo que, o rendimento de etanol aumentou com o incremento da dose de nitrogênio. Desse modo, aumento das doses de nitrogênio a cada 80 kg ha⁻¹ produziu acréscimos de 284 litros de etanol do caldo extraído dos colmos de sorgo sacarino.

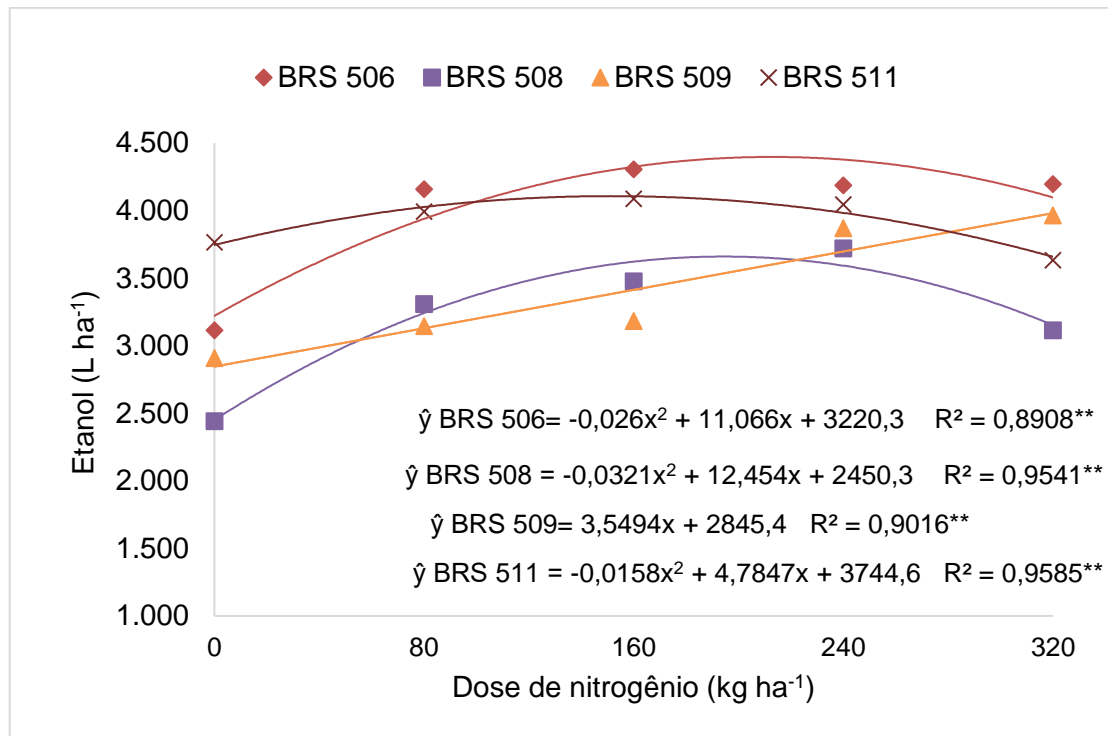


Figura 5: Curvas de rendimento estimado de etanol obtidas de quatro cultivares de sorgo sacarino considerando cinco doses de nitrogênio no município de Campos dos Goytacazes – RJ, 2014. * e **: significativo em 5 e 1% pelo teste F.

Nesse trabalho a produção de etanol por hectare, em média, variou entre 2.441 e 4.303 L ha⁻¹, com rendimento médio acima de 3.600 litros ha⁻¹, com valores máximos obtidos na dose de 240 kg de N e com uma produção estimada de 3.955 litros de etanol por hectare. Contudo, os máximos valores foram obtidos pelo cultivar BR 506, seguido do BR 511, ambas estatisticamente iguais na dose de 160 kg ha⁻¹ de N (Tabela 3), estando dentro das médias observadas pela Embrapa (2012b).

Ramos (2014) observou relações significativas e positivas entre valores de nitrogênio acumulado no colmo e o rendimento de etanol, entre outras variáveis, e que, a presença e a quantidade do nutriente nos colmos das plantas de sorgo sacarino podem interferir nos valores desta variável.

Miri e Rana (2014) estudando doses de nitrogênio em genótipos de sorgo sacarino, também verificaram aumento significativo na produção de etanol em função

das doses aplicadas, e esse aumento, sobre a testemunha, foi devido à aplicação de 150 kg de N ha⁻¹.

CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos, nas condições do experimento, pode-se concluir que:

- O estudo demonstrou que doses diferenciadas de nitrogênio aplicadas em cobertura influenciaram significativamente as características indicadoras de rendimento industrial do sorgo sacarino (açúcares redutores totais e volume do caldo) afetando a produção de etanol;
- O maior valor médio de rendimento estimado de etanol foi observado para o cultivar BRS 506 que obteve um valor estimado desse atributo de 4.397,75 L ha⁻¹ com uma dose de 212,80 Kg ha⁻¹ de N;
- O Brix não se diferenciou entre os cultivares, contudo, observou-se que a melhor resposta foi registrada com a dose estimada de 180 kg ha⁻¹ de N e um valor medido de 21,18°;
- Todos os cultivares de sorgo avaliados apresentaram valores de ART do caldo superiores a 13,5%, considerados dentro de padrões aceitáveis e adequados ao processamento industrial;
- O sorgo sacarino do cultivar BRS 506 mostrou-se mais atrativo como matéria-prima alternativa para a produção de etanol.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almodares, A.; Hadi, M.R. (2009) Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (9):772-780.
- Costa, C. J. A.; Ponciano, N. J.; Souza, P. M. (2008) Avaliação da sistemática de cálculos para efeito de pagamento de cana pelos açúcares totais recuperáveis (ATR) nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo. *In: XLVI CONGRSSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRACAO E SOCIOLOGIA RURAL*, 2008, Rio Branco. Anais...Rio Branco-AC. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, p. x-x. CD-ROM.
- Civardi, E. A.; Silveira Neto, A. N.; Ragagnin, V. A.; Godoy, E. G.; Brod, E. (2011) Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59.
- Cruz, C. D. (2013) GENES: A Software Package for Analysis in Experimental Statistics and Quantitative Genetics. *Acta Scientiarum: Agronomy*, 35, 271-276.
- Durães, F. O. M. (2011) Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e industrial para alimentos e energia. *Agro energia em Revista*, Brasília, n. 3, p. 14-52, 2011.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2012b). Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa / editores técnicos André May ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, Doc. 139, 120p.

- Emygdio, B.M. (2011) Desempenho do cultivar de sorgo sacarino BR 506 visando à produção de etanol em dois ambientes contrastantes. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.17, n.1, p.45-51.
- Emygdio, B.M.; Da Rosa, A.P.; Facchinello, P.H; Stohrlick, L.; Barros, L. (2014) Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para produção de etanol em diferentes épocas de semeadura, no município de Pelotas, RS. *XXX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO*, 2014, Salvador -BA Associação Brasileira de Milho e Sorgo. CD-ROM
- Han, K. J.; Pitman, W. D.; Alison, M. W.; Harrell, D. L.; Viator, H. P.; McCormick, M. E.; Gravois, K. A.; Kim, M.; Day, D. F. (2012) Agronomic considerations for sweet sorghum biofuel production in the South-Central USA. *Bioenergy Research*, New York, v. 5, p. 748-758.
- Kumar, S. R; Shrotria, P. K; Deshmukh, J. P. (2008) Characterizing Nutrient Management Effect on Yield of Sweet Sorghum Genotypes. *World Journal of Agricultural Sciences*, Pradesh, v. 4, n. 6, p. 787-789.
- Masson, I.S.; Costa, G.H.G.; Roviero J.P.; Freitas, L.A.; Mutton M.A.; Mutton, M.J.R. (2015) Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v.45, n.9, p. 1995-1700.
- May, A.; Albuquerque, C. J. B.; Silva, A. F. DA; Pereira Filho, I. A. (2012) Manejo e tratos culturais *In*: May, A.; Durães, F. O. M.; Pereira Filho, I. A.; Schaffert, R. E.; Parrella, R. A. da C. (Ed.). Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 22-31.
- Miri, K. & Rana D. S. (2014) Productivity, Nutrient Uptake and Profitability of Sweet

Sorghum -Mustard Cropping System under Different Levels of Nitrogen. *American Journal of Agricultural Science and Technology*. v. 2, n. 2, p. 62-63.

Pereira Filho I.A.; Parrella, R.A.C.; Moreira, A. J.A.; May, A.; Souza, V.F.; Cruz, J.C. (2012) XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Águas de Lindóia –SP: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 2376-2382.

Prasad, S.; Singh, A.; Jain, N; Joshi, H. C. (2007) Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. *Energy Fuels*, Washington, v. 21, n. 4, p. 2415-2420.

Ramos, S. B. (2014) *Dose, parcelamento e modo de aplicação de nitrogênio em atributos nutricionais, agrônômicos e tecnológicos de cultivares de sorgo sacarino*. Jaboticabal, Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Jaboticabal – SP, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 153p.

Ratnavathi, C. V.; Suresh, K.; Vijay Kumar, B. S.; Pallavi, M.; Komala, V. V.; Seetharama, N. (2010) Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v. 34, p. 947-952.

Reddy, P.S.; Reddy B. V. S.; Kumar, A. A.; Srinivasa R. P. (2008) Standardization of nitrogen fertilizer rate for sugar yield optimization in sweet sorghum. *Journal of SAT Agricultural Research*, v. 6, p. 1-4.

Ribeiro Filho, N.M.; Florêncio, I.M.; Rocha, A.S.; Dantas, J.P.; Florentino, E.R.; Silva, F.L.H. DA. (2008) Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16

- Rutto, L. K.; Xu, Y; Brandt, M.; Ren, S; Kering, M. K. (2013) Juice, Ethanol, and Grain Yield Potencial of Five Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) Cultivars. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, v. 3, p. 113 – 118.
- Santos, R.C.; Ribeiro Filho, N.M.; Souza de, W.J.B.; Almeida de, K.V.; Florentino, E.R. (2010) Estudo de fermentação alcoólica do caldo de sorgo sacarino. In: Anais do I Congresso Químico do Brasil, João Pessoa-PB.
- Schaffert, R. E.; Parrella, R. A. C. (2012) Planejamento Industrial. In: MAY, A. (Ed.) Sistema embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas, p.85-92.
- Silva, P. C. S.; Lovato, C. (2010) Resposta da aplicação de nitrogênio em sorgo em sistema de plantio direto. *Revista Cascavel*, v. 3, n. 3, p. 170 – 189.
- Von Pinho, R. Z.; Vasconcelos de, R. C. (2002) Cultura do Sorgo. Textos Acadêmicos. Lavras: Editora UFLA. 75p.

3.3 ESTIMATIVA DOS NÍVEIS ÓTIMOS ECONÔMICOS DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO SORGO SACARINO EM CAMPOS DOS GOYTACAZES

RESUMO

Genótipos de sorgo sacarino respondem ao nitrogênio de forma diferenciada, de acordo com a disponibilidade deste nutriente. A adubação nitrogenada representa parte significativa nos custos de produção dessa cultura. Objetivou-se estimar os níveis de adubação nitrogenada que propiciem a máxima produtividade e o ótimo econômico em quatro cultivares de sorgo sacarino (BRS 506, BRS 508, BRS 509 e BRS 511) em função de doses de nitrogênio em cobertura (0, 80, 160, 240 e 320 kg ha⁻¹) na forma de ureia. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Centro Estadual de Pesquisa em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos, da Pesagro-Rio em Campos dos Goytacazes, em solo classificado como Cambissolo háplico. Utilizou-se o delineamento estatístico experimental em blocos ao acaso realizado no verão de 2014. As respostas das variáveis estudadas às doses de nitrogênio se ajustaram de forma significativa ao modelo de segundo grau. O nitrogênio aplicado por cobertura afetou de forma significativa a produtividade de todos os

cultivares de sorgo sacarino testados. Os máximos valores de produtividade física de massa verde de colmos foram 62,39; 55,26 Mg ha⁻¹, com os níveis de nitrogênio de 111,46; 127,27 e 49,62 e 127,27 kg ha⁻¹, que proporcionaram obter receitas líquidas de R\$2.628,70; R\$2,211,52 e R\$2.494,00 respectivamente para os cultivares BRS 506, BRS 508, e BRS 511. Assim, apesar do cultivar BRS 511 apresentar maior eficiência no uso do nitrogênio, constatou-se que o BRS 506, obteve a máxima receita líquida em relação ao fator nitrogênio como variável independente.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench, adubação nitrogenada, produtividade, maximização da eficiência, ótimo econômico.

ABSTRACT

Sorghum genotypes respond differently to the nitrogen, according to the availability of this nutrient. Nitrogenated fertilization is a significant part of production costs of the crop. This study aimed to estimate the levels of nitrogenated fertilization that provide maximum productivity and economic optimum on four sorghum cultivars (BRS 506, BRS 508, BRS 509 and BRS 511) as a function of nitrogen doses on coverage (0, 80, 160, 240 and 320 kg ha⁻¹) in the form of urea. The experiment was conducted at the Experimental Station of the State Center for Research in Agro-Energy and Waste Utilization of Pesagro-Rio in Campos dos Goytacazes, in soil classified as haplic cambisol. We used the experimental statistical design in randomized blocks in the summer of 2014. The responses of the variables to nitrogen doses adjusted significantly to the second degree model. Nitrogen applied for coverage significantly affected the productivity of all tested saccharine sorghum cultivars. The maximum physical productivity values for the stem green mass were 62.39, 55.26 Mg ha⁻¹, with the nitrogen levels of 111.46, 127.27, 49.62 and 127.27 kg ha⁻¹, that provided net income of R\$ 2,628.70, R\$ 2,211,52 and R\$ 2,494.00 respectively for the cultivars BRS

506, BRS 508 and BRS 511. Thus, despite the BRS 511 provide greater efficiency in nitrogen use, it was found that 506 obtained the highest net income in relation to nitrogen factor as an independent variable.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench, nitrogenated fertilization, productivity, efficiency maximization, economic optimum

INTRODUÇÃO

Em termos de cereais, o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é a quinta cultura mais cultivada no mundo, depois do trigo, do arroz, do milho e da cevada. O Brasil cultiva sorgo granífero em uma área de cerca de 731 mil hectares e produção de aproximadamente 2 milhões de toneladas (Conab, 2015). É uma cultura importante economicamente para o Brasil, principalmente como fonte de proteína e de energia para alimentação animal (suínos, aves e bovinos). Recentemente, as pesquisas têm apontado a utilização alternativa do sorgo sacarino para produção de energia (álcool).

O sorgo se destaca, de forma semelhante à cana-de-açúcar, por apresentar colmos suculentos com altos teores de açúcares diretamente fermentescíveis, os quais possibilitam a produção de etanol com até 93% de eficiência (Ratnavathi et al., 2011; Han et al., 2012). Além disso, seu bagaço pode ser aproveitado pela indústria na geração de energia e eletricidade, produção de etanol de segunda geração e ainda, aproveitamento dos grãos que são úteis para consumo humano, produção de ração animal ou produção de combustíveis, (Almodares & Hadi, 2009).

Entretanto, o sorgo difere da cana-de-açúcar por tratar-se de uma espécie agrícola rústica de ampla adaptabilidade, tolerante a estresses abióticos e de ciclo curto de produção (de 100 a 120 dias para alto rendimento de biomassa), cultivado a partir de semente, de menor exigência em água, tolerante à seca podendo ser explorado em larga escala em diversas condições de clima e solo (Prasad et al., 2007;

Durães, 2011) tornando-a, dentre as culturas com potencial bioenergético, uma opção interessante para compor a matriz energética nacional.

Trabalhos de pesquisas vêm sendo realizados buscando ativamente melhorias no potencial bioenergético do sorgo sacarino mediante cultivares promissores com estudos de avaliação em diversas condições de clima e solo, liberando cultivares de alto rendimento de biomassa atendendo características tecnológicas para o setor sucroalcooleiro. Assim, na década de 80 foram desenvolvidas as variedades BRS 506, BRS 507, BRS 508 e o híbrido BRS 601 e mais recentemente foi disponibilizada a variedade de sorgo sacarino BRS 511 que apresenta alto potencial de produção de biomassa associado a altos teores de açúcares fermentáveis no caldo (Embrapa, 2012a).

Considerando a importância dada recentemente ao sorgo sacarino em complemento à cultura da cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de etanol, faz-se necessário o conhecimento sobre as práticas de adubação adotadas por produtores, as quais, juntamente com outras práticas culturais, contribuem para o aumento da produtividade e minimização do custo de produção. O emprego de tecnologias sustentáveis, como o plantio direto e uso de híbridos, pode demandar adubações de maiores quantidades de nitrogênio, em função do processo de imobilização dos nutrientes, pelos micro-organismos que decompõem a palhada e materiais genéticos mais uniformes, de maior produtividade e exigência nutricional (Soares et al, 2014).

Contudo, na literatura poucas são as informações sobre a demanda nutricional da cultura de sorgo sacarino, notadamente a adubação nitrogenada e cujas recomendações técnicas, muitas vezes, são oriundas de resultados de pesquisas antigos ou dados de pesquisa baseados na cultura de sorgo forrageiro (May et al., 2012), sorgo granífero e do milho (Civardi et al., 2011). Estudos recentes mostram que o sorgo é responsivo à aplicação de insumos como os fertilizantes, sendo o nitrogênio um dos nutrientes de maior demanda para a produção de biomassa (Silva & Lovato, 2010). A exportação deste nutriente pelos colmos é apenas superada pelo potássio, podendo ultrapassar 3,22 kg por tonelada de colmos May et al. (2013).

Embora o nitrogênio desempenhe um papel muito importante para o bom crescimento e desenvolvimento do sorgo, o excesso de fertilização é muitas vezes prejudicial, uma vez que resulta em menor rendimento e qualidade da colheita (Tamang et al., 2011). Trabalhos realizados por Yang e Liu (2010); Uchino (2012) relatam que adubações impróprias com fertilizantes nitrogenados não são apenas ineficientes como também podem afetar a produtividade e o meio ambiente.

Por outro lado e em relação, aos preços dos adubos, o mercado brasileiro de comercialização de fertilizantes apresentou um recuo em seu desempenho influenciado pelo aumento do preço com uma redução de 6,4% no consumo no período de janeiro a agosto de 2015 quando comparado ao mesmo período de 2014. Em fertilizantes nitrogenados, as entregas ao consumidor final registraram queda de 9,4% para o mesmo período (Anda, 2015).

Mesmo que alguns insumos tenham mantido preços estáveis em dólar, o câmbio fez o preço de fertilizante crescer em reais. Nesse sentido, a desvalorização cambial provocou crescimento no custo dos fatores importados, principalmente dos fertilizantes. Este efeito de crescente elevação nos preços dos adubos nitrogenados acompanhado do manejo incorreto da aplicação destes fertilizantes seja nas dosagens ou em condições de clima e solo impróprias desencadeiam em prejuízos ambientais e podem tornar até inviável economicamente a produção de vários produtos agrícolas. Neste cenário de incertezas e riscos de novas oscilações cambiais, o produtor agrícola precisa otimizar a adubação.

Diante do exposto, este trabalho objetivou estimar os níveis ótimos de nitrogênio para maximizar a produtividade econômica do sorgo sacarino na região Norte Fluminense.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos da PESAGRO-RJ, localizada no município de Campos dos Goytacazes, na região norte do Estado do Rio de Janeiro, situado em latitude - 21°45'15"S e longitude 41°19' 28"E e altitude de 13 m. O solo é classificado como Cambissolos háplicos, com 23, 53 e 24% de argila, silte e areia total, respectivamente. O histórico da área é de pousio por um ano, sendo anteriormente utilizado com a cultura de feijão. O clima da região conforme a classificação de Köppen é Cwa do tipo quente úmido com temperatura média do mês mais frio em torno de 21°C e o mais quente, em torno de 27°C. A precipitação média anual de 1023 mm, concentrada no período de outubro a janeiro.

Os dados sobre as variações na temperatura e na precipitação média por decêndios durante o período de desenvolvimento do cultivo, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados médios de precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) por decêndio durante o período de 11/01/2014 a 30/05/2014 da Estação Meteorológica de Campos dos Goytacazes/RJ. Fonte: CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

	Janeiro		Fevereiro			Março			Abril			Maio
Decêndio	20	31	10	20	28	10	20	31	10	20	30	10
Chuvas -mm	34,6	0,0	0,0	10,6	0,0	8,2	0,0	104,0	45,4	60,8	28,2	4,0
Temperatura (°C)	26,4	27,0	27,5	26,5	27,0	26,2	27,1	24,7	25,3	25,1	22,8	23,6

A análise do solo foi realizada em julho de 2013 no Centro de Análises do Solo da UFRRJ, Campos dos Goytacazes/RJ, na camada do solo de 0 a 0,20 m com os seguintes atributos químicos: pH = 5,5; P (Extrator Carolina do Norte) = 7 mg dm⁻³; K = 38 mg dm⁻³; Ca = 2,0; Mg = 0,9; Al = 0,0; T = 6,3 (cmol_c dm⁻³); MO = 19,1 g dm⁻³ e V

= 48%. O solo recebeu 1.20 t ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT 80 %), no dia 22/09/2013, para correção da acidez e elevação da saturação por bases a 60%.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, dispostos em esquema fatorial 4×5 , envolvendo 20 tratamentos, constituídos pela combinação de quatro cultivares (BRS 506, BRS 508, BRS 509 e BRS 511), com cinco doses de nitrogênio (0, 80, 160, 240 e 320 kg ha^{-1}) na forma de ureia e, quatro repetições por tratamento. As unidades experimentais foram constituídas por quatro linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,70 m constituindo um estande de 120.000 plantas por hectare. A parcela útil para avaliação das características agronômicas foi constituída pelas duas linhas centrais de 3 m de comprimento, eliminando-se 1 m de bordadura em cada extremidade.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional, sendo realizadas uma aração e duas gradagens, antes da instalação do experimento. A semeadura foi realizada em 16/01/2014 colocando-se de 2 a 3 sementes por cova, sendo feito um desbaste aos 10-15 dias após emergência das plântulas, deixando-se apenas uma planta por cada ponto de semeio. Foram feitas duas capinas manuais aos 20 e 40 dias após semeadura para o controle de plantas daninhas. Também, durante a condução dos experimentos, foram realizadas aplicações de inseticidas e fungicidas para o controle de pragas e doenças com produtos registrados para a cultura.

No cálculo da quantidade de fertilizante consideraram-se as características químicas do solo, a produtividade esperada e as recomendações de Embrapa (May et al., 2012). A adubação fosfatada e potássica foi realizada manualmente, no fundo do sulco de semeadura e constou de 330 e 140 kg ha^{-1} de superfosfato simples e cloreto de potássio respectivamente. A adubação nitrogenada com ureia foi realizada em cobertura, sendo metade da dose aplicada aos 25 dias e a outra metade 45 dias após a semeadura, distribuindo-se superficialmente e ao lado, à distância de 15 a 20 cm, das linhas de plantio, em solo úmido e posterior cobrimento com terra. Todos os tratamentos receberam por igual irrigação complementar por aspersão convencional, com lâmina de 10 mm, de forma suplementar à precipitação local.

A colheita iniciou-se aos 120 dias após a semeadura e a obtenção dos dados foi realizada na maturação fisiológica, quando mais de 90% das panículas apresentavam grãos com coloração típica de maduros e em estado farináceo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (anova) utilizando-se o programa Genes, versão Windows, Cruz (2013). Em caso de significância para o fator cultivar, os valores foram submetidos ao teste Tukey, em nível de significância de 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo de doses ou da interação entre nitrogênio e cultivares foram realizadas análises de regressão polinomial a 5%, utilizando-se o maior coeficiente de determinação como um dos critérios para a escolha do modelo de melhor ajustamento aos resultados.

A partir dos dados de produção e produtividade, foram feitas as análises econômicas das funções de resposta (adubação nitrogenada x produtividade de massa verde de colmos). Nesse caso, foi utilizada a função polinomial de segundo grau, a qual, esta equação melhor explicou a função de produção “nitrogênio-cultura”, tendo como variável independente o nitrogênio (X), medido em kg ha⁻¹, e como variável dependente a produção de sorgo sacarino (Y), medido em Mg ha⁻¹ (Apêndice B).

Para a geração da função de produção da relação fator-produto para cada cultivar testado foi utilizado o módulo específico para análise de regressões múltiplas do software Microsoft Excel 2013.

A função de produção é uma relação que indica a quantidade física máxima de produto que pode ser obtido a partir de uma determinada quantidade de insumos ou fatores produtivos para uma dada tecnologia disponível, por unidade de tempo. De uma forma simplificada, a função produção pode ser apresentada como uma função matemática da forma:

$$Y = f (X_1/ X_2, X_3, X_4, \dots, X_n) \quad \text{eq. [1]}$$

Em que, Y é a quantidade produzida e X₁, X₂, ..., X_n são os *n* insumos que entram neste processo e se transformam em Y (Noronha 1987).

No trabalho proposto, foram obtidas equações de regressão de segunda ordem, onde a quantidade de nitrogênio (X) aplicado é o único insumo como variável independente e a produção de sorgo sacarino (Y) é o produto, da forma matemática:

$$Y = f(X) = a + bX + cX^2 \quad \text{eq. [2]}$$

em que,

Y = produtividade de colmos, Mg ha⁻¹;

X = dose de nitrogênio, kg ha⁻¹;

a, b, c = coeficiente de ajuste.

A partir desta equação, $Y = f(X)$, é possível determinar as relações físicas na produção, aquelas que não envolvem variáveis monetárias, como preço do nitrogênio e da matéria-prima.

A variável dependente Y é frequentemente chamada de Produto Físico Total ou Produção Física Total (PFT), definida como a produção total medida em termos físicos.

$$PFT = Y \quad \text{.....} \quad \text{eq. [3]}$$

Do produto físico total (PFT), que vem a ser a produção (Y), duas importantes relações podem ser derivadas, o Produto Físico Médio (PFMe) e o Produto Físico Marginal (PFMa).

A equação para a Produtividade Física Média do Fator Variável (PFMe) é obtida como sendo a razão entre a quantidade produzida de biomassa (colmos) e a quantidade correspondente de nitrogênio usado em um determinado período de tempo. Utilizado para determinar quanto de produto em termos médios é gerado por cada unidade do fator variável.

$$PFMe = \frac{Y}{X} \quad \text{ou} \quad \frac{PFT}{X} \quad \text{eq. [4]}$$

A Produtividade Físico Marginal (PFMa) mede a variação da produção decorrente de um incremento unitário ou de uma variação unitária no uso do fator variável, mantendo-se inalterados os níveis dos demais insumos. Portanto, ela mede a quantidade que o produto físico total (PFT) cresce ou decresce, à medida que o fator variável cresce.

Em geral, a equação da PFMa é a primeira derivada da função de produção em ordem ao fator variável e ela define o declive da curva da PFT ou a PFMa exata para qualquer nível de X;

$$PFMa = \frac{dy}{dx} = 0 \quad \text{eq. [5]}$$

Com a função de produção ajustada, foram determinadas as doses de nitrogênio (X_m) que maximizam a produção. A produtividade máxima (Y_{\max}) de cada cultivar foi estimada substituindo X por X_m na equação de regressão de segunda ordem para cada cultivar. (Apêndice B).

$$Y_{\max} = a + bX_m + cX_m^2 \quad \text{eq. [6]}$$

$$\frac{dY}{dX_m} = b + 2cX_m = 0$$

$$X_m = -\frac{b}{2c} \quad \text{eq. [7]}$$

em que:

X_m = dose de nitrogênio, kg ha⁻¹; que proporciona o máximo valor de produção de MVC por cultivar.

Um dos objetivos do empresário é a maximização dos lucros da empresa, ou da sua receita líquida. Na determinação do nível de insumo variável que maximiza o

lucro, o uso da análise marginal é o mais apropriado. Essa análise é utilizada para comparar o custo do insumo variável com a receita do produto.

A receita líquida é expressa por:

$$L(X) = RB - C \quad \text{eq. [8]}$$

em que:

$L(X)$ = receita líquida, em R\$;

RB = Receita total ou bruta ($Y \cdot P_y$);

$C = X \cdot P_x + K$;

Y = produção física de colmos de sorgo sacarino, em Mg ha^{-1} ;

P_y = preço da tonelada do produto (MVC), em $\text{R\$ Mg}^{-1}$;

X = quantidade de nitrogênio em kg ha^{-1} ;

P_x = preço do nitrogênio em $\text{R\$ kg}^{-1}$;

K = custos dos insumos fixos.

As doses de nitrogênio que proporcionaram os máximos rendimentos econômicos foram estimadas igualando-se a zero a derivada de primeira ordem da equação (8) em relação ao preço do nitrogênio ($\text{R\$ kg}^{-1}$) e o preço da MVC ($\text{R\$ Mg ha}^{-1}$) pagos aos produtores da região Norte Fluminense no período de janeiro a maio de 2015.

Assim, para maximizar o lucro tem-se que diferenciar a função $L(x)$ com relação ao insumo variável X .

$$L(x) = YP_y - (XP_x + K) \quad \text{eq. (9)}$$

$$dL(X) = \frac{dP_y}{dx} Y + \frac{dy}{dx} P_y - \frac{dP_x}{dx} x - \frac{dx}{dx} P_x - \frac{dK}{dx} = 0 \quad \text{eq. (10)}$$

Considerando que os preços dos produtos e dos insumos sejam constantes (P_x , P_y e K).

$$\frac{dL(X)}{dx} = \frac{dy}{dx} P_y - \frac{dx}{dx} P_x = 0 \quad \text{eq. (11)}$$

$$\frac{dy}{dx} P_y - P_x = 0 \quad \text{eq. (12)}$$

Assim, tem-se que a Produtividade Marginal de X (PMa) será de:

$$PMa = \frac{dy}{dx} = P_x / P_y \quad \text{ou} \quad PMa \cdot P_y = P_x \quad \text{eq. (13)}$$

Portanto, ter-a então a Rentabilidade Marginal de X:

$$RMa = P_x \quad \text{eq. (14)}$$

Sendo a função de produção conhecida, no caso, de segunda ordem, a dose de nitrogênio, kg ha⁻¹; que proporciona o máximo lucro, pode ser estimada através da seguinte equação:

$$X_{ot.} = \frac{P_x - P_y b}{2 P_y c} \quad \text{eq. [15]}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período em que foi realizado o estudo, verificaram-se baixas precipitações pluviométricas e distribuição irregular de chuvas, principalmente, nos meses iniciais do período do cultivo, sendo necessárias contínuas irrigações para manter o bom desenvolvimento da cultura.

A análise de variância demonstrou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) para a produtividade de massa verde dos colmos em função da dose de nitrogênio, do

cultivar, além das interações “doses de nitrogênio x cultivar”. A produtividade média das plantas foi de 54,66 Mg ha⁻¹. O CV (%) para essa característica foi de 3,23% (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativa dos quadrados médios (QM), médias e coeficientes de variação (CV) das análises de variância para a característica Massa Verde de Colmos (MVC) de quatro cultivares de sorgo sacarino sob diferentes níveis de adubação nitrogenada em cobertura no município de Campos dos Goytacazes - RJ, 2014

Fontes de Variação	GL	MVC (Mg ha ⁻¹)
Blocos	3	1,399
Cultivares (Fa)	3	408,27146**
Doses de N (Fb)	4	528,91075**
(Fa) x (Fb)	12	85,11833**
Resíduo	57	3,126
Média		54,66
CV (%)		3,23

** significativos, em níveis de 1%, pelo teste de F.

A época de plantio mais indicada para o cultivo dessa cultura é de outubro até meados de dezembro (época das águas), quando o sorgo sacarino pode expressar melhor o seu potencial produtivo. Embora, nesse trabalho o plantio tenha sido realizado em meados de janeiro, os resultados se aproximam de outros trabalhos de investigação do potencial do sorgo para produção de biomassa, como o trabalho de Ramos (2014) que avaliando dose, parcelamento de nitrogênio em quatro genótipos, observou que todos os cultivares apresentaram diferenças significativas para produtividade de colmos, em função dos cultivares testados, assim como, das doses aplicadas de nitrogênio.

Os resultados estatísticos evidenciaram que os cultivares avaliadas apresentaram respostas diferenciadas de produtividade de massa verde de colmos em função das doses de nitrogênio utilizadas, demonstrando com isto, a importância da adubação nitrogenada nessa cultura (Tabela 3). A disponibilidade desse elemento às plantas deve-se a vários fatores, principalmente edafoclimáticos como textura do solo

e regime de chuvas e os fatores genéticos a cada cultivar, os quais determinam sua capacidade de resposta à adubação (Silva & Lovato, 2008).

Tabela 3 – Dados médios de produção de massa verde de colmos em Mg ha^{-1} de cultivares de sorgo sacarino em função das doses de nitrogênio, em ensaio conduzido no município de Campos dos Goytacazes, RJ, 2014

Descrição	Cultivares	Níveis de Nitrogênio (kg)				
		0	80	160	240	320
Mg ha^{-1}	BRS 506	47,9 a	61,9 a	65,2 a	62,2 a	64,1 a
	BRS 508	36,6 b	50,6 b	54,6 c	57,7 b	47,8 c
	BRS 509	45,9 a	48,3 b	48,9 d	60,2 ab	63,2 a
	BRS 511	48,5 a	59,8 a	58,2 b	57,6 b	54,2 b

Fonte: dados da pesquisa.

As médias no tratamento testemunha (dose zero) variaram de 36,6 a 48,5 Mg ha^{-1} , constatando que os cultivares BRS 506, BRS 509 e BRS 511 produziram quantidades estatisticamente iguais, porém, superiores à BRS 508. Na dose de 80 kg de N ha^{-1} utilizado, as médias dos cultivares BRS 511 e BRS 506, estatisticamente iguais, apresentaram desempenho superior, cerca de 22% do que a produzida por BRS 508 e BRS 509.

No tratamento com 160 kg de N ha^{-1} , todas os cultivares produziram quantidades diferentes de MVC. O cultivar BRS 506 teve o melhor desempenho seguido da BRS 511; ambas, com medias de 62,39 e 58,2 Mg ha^{-1} respectivamente. Nesse tratamento, a BRS 508 e BRS 509 registraram quantidades de 54,6 e 48,9 Mg ha^{-1} (Tabela 3).

A análise estatística também demonstrou que para os tratamentos com 240 e 320 kg de N ha^{-1} , os cultivares BRS 506 e BRS 509, registraram as maiores médias, produzindo quantidades semelhantes de massa verde de colmos, sendo que, no tratamento com 240 kg de N ha^{-1} produziram cerca de 6% a mais em comparação com BRS 508 e BRS 511 e, no tratamento com 320 kg de N ha^{-1} produziram em torno de

25% a mais do que a produzida pela BRS 508 e 15% quando comparada com a BRS 511.

Todavia, em todas as doses testadas, a BRS 506 foi o cultivar que produziu maior quantidade de MVC, contrário ao observado com o cultivar BRS 508 que apresentou o pior desempenho. Contudo, todos os cultivares avaliadas demonstraram respostas positivas da cultura do sorgo sacarino à adubação nitrogenada, variando de 48,3 a 65,2 Mg ha⁻¹.

Os resultados de produtividade de massa verde obtidos neste trabalho estão dentro da amplitude de produção de massa verde encontrada por Almodares & Hadi (2009) estudando 36 materiais de sorgo sacarino dentre variedades, híbridos e linhagens, obtiveram valores na faixa de 27,9 a 124 t ha⁻¹.

May et al. (2013) relatam, em relação à produção de massa verde, que os cultivares BRS 511 e BRS 509 foram mais produtivas que BRS 506 e BRS 508, quando avaliaram 13 cultivares de sorgo sacarino em Nova Porteirinha, MG, na safra agrícola de 2011/2012. Em termos de produtividade, os resultados alcançados no presente trabalho se mostraram promissores quando comparados com as metas estabelecidas pelo Programa de Melhoramento de Sorgo da Embrapa Milho e Sorgo, no qual os cultivares tiveram uma produtividade mínima de colmos de 60 Mg ha⁻¹ (Schaffert et al., 2011).

Os resultados obtidos de produtividade de colmos verdes de sorgo sacarino em função das doses de nitrogênio, assim como, para as estimativas das doses de nitrogênio que corresponderam à produtividade máxima física e a produtividade máxima econômica em função do custo de aquisição do quilo de nitrogênio e do valor de venda da tonelada de matéria verde de colmos, o modelo que melhor se ajustou pela análise de regressão foi o quadrático, sendo significativo para a regressão de 2º grau, em nível de 1% de probabilidade pelo teste F, para os cultivares BRS 506, BRS 508 e BRS 511, as quais apresentaram coeficientes de determinação (R²) de 0,8721, 0,9725 e 0,9430, respectivamente. Isto demonstra a necessidade do manejo de adubação nitrogenada na cultura do sorgo, podendo assim, determinar a necessidade nitrogênio da cultura

Para o cultivar BRS 509, o modelo que melhor se ajustou foi o polinomial de 1º grau, o qual, não contém um máximo de produtividade para as doses testadas (Figura 1). Segundo Fageria et al. (1999), o modelo quadrático tem sido o que representa melhor a resposta das culturas ao nitrogênio.

A variação da produção de massa verde de colmos (MVC) para os cultivares pesquisadas, em função das doses de nitrogênio aplicadas no experimento, pode ser explicada pelas respectivas equações de regressão conforme ilustra a Figura 1.

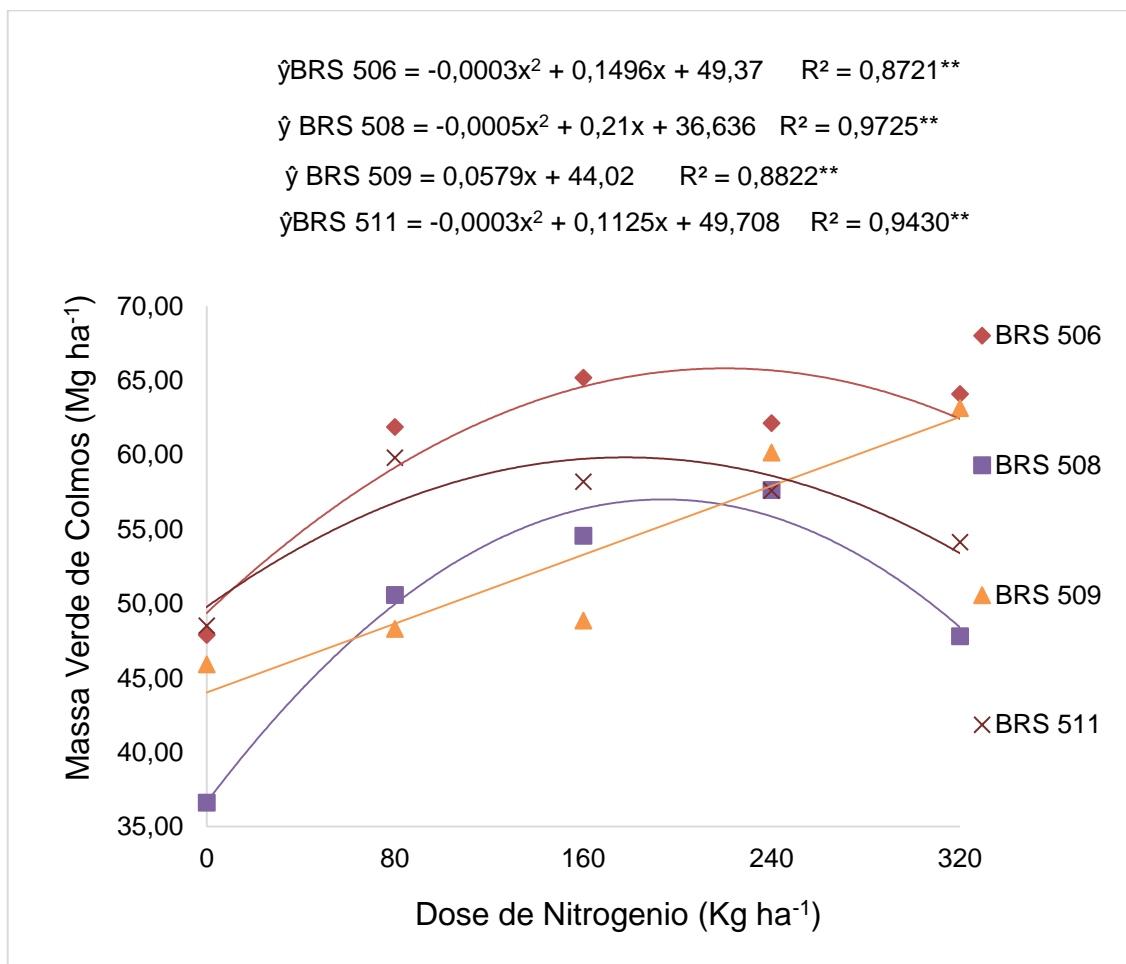


Figura 1. Curvas de resposta de produtividade de massa verde de colmos de sorgo sacarino obtida de quatro cultivares em função de doses crescentes de nitrogênio no município de Campos dos Goytacazes, RJ, 2014. (**: significativo em 1% pelo teste F).

Desse modo, verifica-se que nas condições do experimento, a produtividade dos cultivares avaliadas foi afetado pela quantidade de nitrogênio de forma diferenciada. À medida que se aumentou a quantidade de nitrogênio aplicado nos tratamentos diferenciados, houve incrementos positivos de produtividade até atingir um máximo físico, para então, apresentar tendência contínua decrescente com as doses aplicadas. Para o cultivar BRS 509, não se obteve função quadrática que expressasse máximo físico, evitando assim sua utilização para mensurar função de produção.

Macedo et al., (2012) constataram que o sorgo híbrido BR 601 teve resposta positiva e a produção variou segundo modelo quadrático ao incremento da adubação nitrogenada e o ponto de máxima para a matéria verde foi obtido com 143,19 kg de N ha⁻¹. Scivittaro et al. (2005) também constataram resposta positiva da cultura do sorgo em função da aplicação de nitrogênio em cobertura, no cultivar BRS 305. Contudo, Rodrigues Filho et al. (2006) avaliando os CMSXS 762, BRS 610, BR 700 e BR 506 sob doses crescentes de nitrogênio constataram que não houve diferenças significativas em relação à produção de matéria natural e matéria seca.

Os resultados experimentais, ainda mostraram no intercepto das equações de regressão valores relativamente altos, isto é, na dose sem adubação de N (testemunha), cujos resultados de produtividade de MVC oscilaram de 36,634 e 49,708 Mg ha⁻¹. Esses valores altos podem ser explicados, em parte, pela contribuição do nitrogênio advindo da adubação residual dos cultivos anteriores e pela contribuição do teor de matéria orgânica de 19,1 g kg⁻¹; que apresentava o solo da área experimental. (Souza e Lobato, 2004).

Os coeficientes de ajustes da equação do segundo grau foram significativos em nível de 1% de probabilidade pelo teste t. Com a aplicação da função de produção, a produtividade máxima (Y_{max}) calculada de MVC foi de 68,07 Mg ha⁻¹ para o cultivar BRS-506 na dose (X_m) estimada de 249,33 Kg ha⁻¹ de nitrogênio. Para o cultivar BRS 511, sua produtividade máxima total de 60,25 Mg ha⁻¹ foi alcançada com a dose estimada de 187,50 kg ha⁻¹ de nitrogênio, seguida do cultivar BRS 508 com uma produtividade máxima de 58,68 Mg ha⁻¹ empregando-se a dose de 210, 00 kg N ha⁻¹. (Apêndice B).

Enquanto, o cultivar BRS 509 e, conforme foi apontado, mostrou que, à medida que aumenta a dose de nitrogênio aplicada, aumenta também a produtividade de MVC. De tal modo que, por cada quilograma de nitrogênio aplicado, houve um aumento da produtividade de MVC de 57, 90 kg ha⁻¹ (Figura 1 e Tabela 4).

Percebe-se que a produção máxima estimada de MVC dos cultivares que apresentaram resposta quadrática, variou de 58,68 a 68,07 Mg ha⁻¹, onde a extração do nitrogênio pelas plantas oscilou na faixa de 190 e 250 kg ha⁻¹.

Dados de Ramos (2014) em pesquisa realizada em duas localidades e quatro genótipos, relatam que no parcelamento de nitrogênio e a aplicação a lanço, os valores absolutos de produtividade de colmos encontrados nos cultivares de sorgo sacarino, em função das doses de N ficaram entre 42,04 e 54,45 t ha⁻¹ com destaque do cultivar a CVW 82158 com valores de máxima produtividade de colmos esperada em torno de 58 t ha⁻¹ com a aplicação de 92 kg ha⁻¹ de N e a CVW 82028 com 61 t ha⁻¹, aplicando-se 96 kg de N ha⁻¹.

Considerando os resultados obtidos conforme ilustrados na Tabela 4, a qual só considera relações físicas na produção, isto é, sem considerar os preços de fertilizante e da matéria-prima para a indústria, constata-se que o cultivar BRS 111 foi mais eficiente no uso do nitrogênio, pois, por cada kg de nitrogênio extraído e exportado pela planta, produz 17,5 e 15,0% de MVC a mais do que os cultivares BRS 506 e BRS 508 respectivamente. Quando se compara os cultivares BRS 506 e BRS 508, essa diferença é de apenas 2% a favor do BRS 508, não obstante, o cultivar BRS 506 utiliza 16,0 % a mais de nitrogênio.

Tabela 4. Indicadores relativos à produtividade máxima de sorgo sacarino e a produtividade física média (PFMe) em relação à dose máxima de nitrogênio

Cultivar	Nitrogênio (Kg ha ⁻¹)	Produtividade (Mg ha ⁻¹)	PFMe (Mg Kg ⁻¹)
BRS 506	249,33	68,07	0,273
BRS 508	210,00	58,68	0,279
BRS 511	187,50	60,25	0,321

Ainda, da Tabela 4, observa-se que todos os cultivares estudados nas condições desse experimento diferem muito em relação à capacidade de extração de nitrogênio do solo e da resposta em produtividade, o que pode ser explicado devido à variação no potencial genético dos cultivares (Reddy, 2006) e sua adaptação a diferentes condições climáticas e de solos (Miri e Rana, 2012; Wortmann et al., 2010).

Muitos autores têm achado resultados positivos em produtividade quando da aplicação de nitrogênio, enquanto, outros relatam resultados distintos em função das doses e parcelamento do nutriente e do material genético em estudo. Miri e Rana (2014) avaliando três genótipos de sorgo sacarino em função de doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹), observaram que as médias de produtividade de biomassa verde responderam até 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Santos et al. (2014) corroboram, em parte, os resultados obtidos neste trabalho, avaliando adubações nitrogenada e potássica em cobertura, na produtividade e a qualidade de fibra de duas variedades de sorgo biomassa para produção de etanol lignocelulósico, mostrando valores de máxima produtividade de matéria seca, segundo modelo quadrático, com doses de 168,72 e 148,3 kg ha⁻¹ de nitrogênio para a variedade CMSXS 7020 e CMSXS 652, respectivamente. May et al. (2013) também relatam que o nitrogênio é um dos nutrientes demandados em maiores quantidades pelo sorgo sacarino, cuja extração pode ultrapassar os 3,22 kg por tonelada de colmos produzidos.

Outros trabalhos de pesquisa realizados com a cultura de sorgo não constataram aumento de produtividade da biomassa (Almodares et al.,1996) e variação nos valores de massa da matéria seca do sorgo forrageiro (Rodrigues Filho et al.,2006; Oliveira et al.,2005) quando da aplicação de doses de nitrogênio.

Teoricamente, como a produtividade máxima física não corresponde à melhor rentabilidade a ser obtida, torna-se necessária a estimativa dos custos para se identificar em que ponto de incremento de nitrogênio, e conseqüentemente, de produção, deixa de gerar maiores lucros.

As doses de nitrogênio do ponto de vista econômico, ou seja, aquelas que maximizam o retorno econômico, sendo também as que satisfazem a condição de que

o produto físico marginal do nitrogênio se iguale ao quociente entre o preço do nitrogênio (P_x) e o preço do produto (P_y).

Desse modo, para estimar a receita líquida (LX) em relação ao preço por tonelada de colmos do sorgo sacarino, foi considerado o valor pago aos produtores de cana-de-açúcar de acordo com o Convênio UFRRJ-FAPUR/Associações dos Plantadores/Unidades Industriais do Estado do Rio de Janeiro estimado em R\$ 57,06 corresponde à média de janeiro/maio de 2015. A esse valor lhe foi debitado \$ 7,62 que corresponde a cada tonelada de MVC transportada do imóvel até a indústria em um raio de 30 quilômetros, conforme acordado pela classe para a Região Norte Fluminense, ficando, portanto, um valor final pago ao produtor de R\$ 49,44 para estimação da receita bruta.

O custo do nitrogênio foi estimado em R\$ 4,09 equivalente ao valor regional de R\$ 92,00 de uma saca de ureia com 45% de nitrogênio. Todos os demais fatores que entram na produção de sorgo sacarino, exceto o nitrogênio, foram mantidos constantes no experimento. Dessa maneira, o cálculo do custo de nitrogênio estimado para cada tratamento, assim como a dose que proporciona o máximo valor de produção e lucro máximo encontram-se ilustrados na Tabela 5.

Nota-se que os cultivares BRS 506 e BRS 508 utilizaram 61,84 e 77,65 kg ha⁻¹ de nitrogênio a mais quando comparada com o cultivar BRS 511, porém, registrando praticamente a mesma produtividade de MVC. O cultivar BRS 508 empregou 127,27 kg ha⁻¹ de nitrogênio para produzir 55,26 Mg ha⁻¹ de MVC. Tal situação conduziu a esse cultivar ter o maior custo pelo N de R\$ 520,53 e que a levou a alcançar uma receita líquida menor de R\$ 2.211,52.

Por outro lado, a produtividade máxima de MVC do cultivar BRS 506 ocorreu com a dose de nitrogênio economicamente ótima de 111,46 kg ha⁻¹. O custo estimado do adubo nitrogenado para esse cultivar foi de R\$ 455,85; inferior ao valor estimado de R\$ 520,53 para o cultivar BRS 508 e, bem acima dos RS 202,94 do BRS 511. Contudo, foi a que obteve a maior receita líquida estimada em R\$ 2.628,70 ao produzir 62,39 Mg ha⁻¹ de MVC dentre as três cultivares estudadas (Tabela 5).

Tabela 5. Produção estimada de massa verde de colmos (MVC), receita bruta (RB), custos de nitrogênio (N) e receita líquida (L) de cultivares de sorgo sacarino em função de dose ótima econômica de nitrogênio em ensaio realizado em Campos dos Goytacazes, RJ.2014

Cultivar	X _{ot.} Kg ha ⁻¹	Y _{ot.} Mg ha ⁻¹	RB R\$	C N R\$	L(X) R\$
BRS 506	111,46	62,39	3.084,56	455,85	2.628,70
BRS 508	127,27	55,26	2.732,05	520,53	2.211,52
BRS 511	49,62	54,55	2.696,95	202,94	2.494,00

Sawargaonkar et al. (2013), estudando três genótipos de sorgo sacarino, dois espaçamentos entre linhas e seis doses de adubação nitrogenada, em condições de irrigação na Índia, relatam diferenças significativas dos cultivares apenas em função da dose de nitrogênio. Todos os cultivares responderam à aplicação de nitrogênio até 150 kg ha⁻¹; porém a dose de máximo efeito foi observada na dose de 90 kg ha⁻¹ e um retorno econômico líquido estimado em US \$ 681 para o híbrido CSH 22 SS.

Também foram observados resultados semelhantes por Miri e Rana (2012) que avaliando duas variedades e um híbrido de sorgo sacarino sob quatro doses de nitrogênio na produtividade de biomassa verde e rendimento de etanol em dois anos consecutivos, os genótipos responderam até na dose de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio, destacando-se novamente o híbrido C SH 22 SS que registrou rendimentos netos superiores quando comparado com as variedades.

Os resultados alcançados demonstraram que o sorgo sacarino é uma cultura de alto rendimento de biomassa visando produção de etanol para o Norte Fluminense. Gestão adequada na escolha de cultivares e doses de nitrogênio irão desempenhar um grande papel na lucratividade de produção de sorgo sacarino.

CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos, nas condições do experimento, pode-se concluir que:

- O nitrogênio aplicado por cobertura afetou de forma significativa a produtividade de todos os cultivares de sorgo sacarino testadas;
- As respostas das variáveis estudadas às doses de nitrogênio se ajustaram de forma significativa ao modelo de segundo grau;
- Os máximos valores de produtividade física de massa verde de colmos em função das doses ótima econômica de nitrogênio foram 62,39; 55,26 e 54,55 Mg ha⁻¹, respectivamente para os cultivares BRS 506, BRS 508, e BRS 511;
- A maior eficiência no uso do nitrogênio foi obtido pelo cultivar BRS 511 com produtividade física média de 0,321 Mg Kg⁻¹ de nitrogênio;
- A máxima receita líquida estimada de R\$ 2.628,70 foi obtida pelo cultivar BRS 506 utilizando 111,46 kg de nitrogênio por hectare.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Mercado de Fertilizantes. Disponível em: <http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>. Acesso em: 12 de out. 2015.

- Almodares, A.; Aghamiri, A.; Sepahl, A. (1996) Effects of the amount and time of nitrogen fertilization on carbohydrate contents of three sweet sorghum cultivars. *Ann. Plant Physiol.*, Ghaziabad, v.10, p.56-60.
- Almodares, A., Hadi, M. R., (2009). Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (9):772-780.
- Civardi, E. A.; Silveira Neto, A. N.; Ragagnin, V. A.; Godoy, E. G.; Brod, E. (2011) Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59.
- Conab – Companhia Nacional de Abastecimento (2015). Acompanhamento. safra bras. grãos, v. 2 - Safra 2014/15, n. 11 – Décimo primeiro levantamento, agosto 2015.
- Cruz, C. D. (2013) GENES: A Software Package for Analysis in Experimental Statistics and Quantitative Genetics. *Acta Scientiarum: Agronomy*, 35, 271-276.
- Durães, F. O. M. (2011) Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e industrial para alimentos e energia. *Agro energia em Revista*, Brasília, n. 3, p. 14-52.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2012a). Embrapa e Ceres Sementes fecham parceria para lançamento de cultivar de sorgo sacarino. *Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas-MG) Ano 06 - Edição 39*. Acesso em: 05 jan. 2015. Online. Disponível em: <http://grao.cnpms.embrapa.br/noticia.php?ed=OQ==&id=MzQ=>
- Fageria, N. K.; Stone, L. F.; Santos, A. B. dos. (1999) *Maximização da eficiência de produção das culturas*. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294 p.

- Han, K. J.; Pitman, W. D.; Alison, M. W.; Harrell, D. L.; Viator, H. P.; McCormick, M. E.; Gravois, K. A.; Kim, M.; Day, D. F. (2012) Agronomic considerations for sweet sorghum biofuel production in the South-Central USA. *Bioenergy Research*, New York, v. 5, p. 748-758, 2012.
- Macedo, C.H.O.; Santos, E.M.; Da Silva, T.C.; De Andrade, A.P.; Da Silva, D.S.; Da Silva, A.P.G.; De Oliveira, J.S. (2012). Produção e composição bromatológica do sorgo (*Sorghum bicolor*) cultivado sob doses de nitrogênio. *Arch. zootec.*, Córdoba, v. 61, n. 234, jun. 2012. Disponível em <http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-05922012000200005&lng=es&nrm=iso>. acesso em 21 janeiro 2016. <http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922012000200005>.
- May, A.; Durães, F. O. M.; Pereira Filho, I. A.; Schaffert, R. E.; Parrella, R. A. Da C. (Ed.) (2012). Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 22- 31.
- May et al., (2013). Cultivo de Sorgo Sacarino em Áreas de Reforma de Canaviais. Embrapa Sete Lagoas – MG. Circular Técnica 186. 36 p.
- Miri, K., Rana, D.S. (2012). Evaluation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes for biomass, sugar and ethanol production under different levels of nitrogen. *Indian J. Agril. Sci.* 82, 195-200.
- Miri, K. & Rana D. S. (2014) Productivity, Nutrient Uptake and Profitability of Sweet Sorghum -Mustard Cropping System under Different Levels of Nitrogen. *American Journal of Agricultural Science and Technology*. v. 2, n. 2, p. 62-63.

Noronha, J.F. (1987) *Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica*. 2 ed. São Paulo, Atlas, 269p

Oliveira, R.P.; França, A.F.S.; Rodrigues Filho, O.; Oliveira, E.R.; Rosa, B.; Soares, T.V.; Mello, S.Q.S. (2005) Características agronômicas de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob três doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.35, n.1, p.45-53.

Prasad, S.; Singh, A.; Jain, N.; Joshi, H. C. (2007) Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. *Energy Fuels*, Washington, v. 21, n. 4, p. 2415-2420.

Ramos, S. B. (2014) *Dose, parcelamento e modo de aplicação de nitrogênio em atributos nutricionais, agronômicos e tecnológicos de cultivares de sorgo sacarino*. Jaboticabal, Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Jaboticabal – SP, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 153p.

Ratnavathi, C. V.; Chakravarthy, S. K.; Komala, V. V.; Chavan, U. D.; Patil, J. V. (2011) Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: a review. *Sugar Tech*, Heidelberg v. 13, n. 4, p. 399-407.

Reddy, S.G. (2006) Studies on production potential of sweet sorghum genotypes for grain and ethanol production as influenced by management practices. Ph.D Thesis. University of Agricultural Sciences, Dharwad. 197 pp.

Rodrigues Filho, O., França, A.F.S., Oliveira, R.P., Oliveira, E.R., Rosa, B., Soares, T.V. e Mello, S.Q.S. (2006). Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) submetidos a três doses de nitrogênio. *Ciência Animal Brasileira*, 7: 37-48.

- Santos Dos, F.C.; Alburquerque Filho De, M.R.; Resende, A.V.; Gomes, T.C.; Oliveira, M.S. (2014) Adubações nitrogenada e potássica no sorgo Biomassa - produtividade e qualidade de fibra. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.13, n.1, p. 1-13.
- Sawargaonkar, G.L.; Patil, M.D.; Wani, S.P.; Pavani, E.; Reddy, B.V...S.R.; Marimuthu, S. (2013) Nitrogen response and water use efficiency of sweet sorghum cultivars. *Field Crops Research*. V. 149, P. 245-251.
- Scivittaro, W. B.; Santos, G. G.; Farias, D. G.; Andres, A.; Castilhos, R. M. V. (2005) Doses de nitrogênio e de atrazine em cultivo de sorgo em terras baixas. *Revista Brasileira de Agrociências*, Pelotas, v. 11, n. 3, p. 315-321.
- Silva, P.C.S.; Lovato, C. (2008) Análise de crescimento e rendimento em sorgo granífero em diferentes manejos com nitrogênio. *Revista da FZVA*, Uruguaiana, v.15, n.1, p.15-33.
- Silva, P. C. S.; Lovato, C. (2010) Resposta da aplicação de nitrogênio em sorgo em sistema de plantio direto. *Revista Cascavel*, v. 3, n. 3, p. 170 – 189.
- Schaffert, R. E.; Parrella, R. A. Da C.; May, A.; Duraes, F. O. M. (2011) Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino. *Agroenergia em Revista*, Brasília, v. 2, n. 3, p. 47.
- Soares, E.R.; Coutinho, E.L.M.; Ramos, S.B.; Silva da, M.S.; Barbosa, J.C. (2014) Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 35, n. 6, p. 3015-3030.
- Sousa, D. M. G.; Lobato, L. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: *Embrapa Informação Tecnológica*, 2004. 416 p.

- Tamang, P.L.; Bronson, K.F.; Malapati, A.; Schwartz, R.; Johnson, J.; Moorekucera, J. (2011) Nitrogen Requirement for Ethanol Production from Sweet and Photoperiod Sensitive Sorghums in the Southern High Plains, *Agronomy Journal*, Vol. 103, No. 2, pp. 431-440.
- Uchino, H; Watanabe, T.; Ramu, K.; Sahrawat, K.L.; Marimuthu, S.; Wani, S.P.; Osamu Ito. (2012) Effects of nitrogen application on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the Semi-Arid Tropical zone of India. *JARQ*. 47 (1), 65 – 73, 2012.
- Wortmann, C.S., Liska, A., Ferguson, R.B., Lyon, D.J., Klein, R.N., Dweikat, I.M. (2010) Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel in Nebraska. *Agronomy Journal*, 102, 319-326.
- Yang, R.; Liu, W.J. (2010) Nitrate contamination of groundwater in an agro ecosystem in Zhangye Oasis, Northwest China. *Environ. Earth Sci.* 61, 123-129. 2010.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

1. O nitrogênio aplicado em cobertura afetou de forma significativa os atributos agrônômicos e tecnológicos de todos os cultivares de sorgo sacarino testadas;
2. As respostas das variáveis estudadas às doses de nitrogênio se ajustaram de forma significativa ao modelo de segundo grau, com exceção do cultivar BRS 509 que ajustou resposta linear crescente;
3. O nitrogênio influenciou os atributos de crescimento diâmetro de colmo e altura da planta afetando a produtividade de massa verde de colmos e massa de caldo;
4. O nitrogênio influencia características indicadoras de rendimento industrial do sorgo sacarino afetando o rendimento de etanol;
5. O cultivar BRS 506 apresenta maior resultado para as principais variáveis produtivas e tecnológicas para produção de etanol;

6. A maior eficiência no uso do nitrogênio foi obtida pelo cultivar BRS 511 com produtividade física média de $0,321 \text{ Mg Kg}^{-1}$ de nitrogênio;
7. 5- A máxima receita líquida estimada de R\$ 2.628,70 foi obtida pelo cultivar BRS 506 utilizando 111,46 kg de nitrogênio por hectare.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, C. J. B. ; Mendes, M. C (2011) Época de siembra del sorgo forrajero en dos localidades del Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava-PR, v.4, n.1, Jan/Abr p.116–134
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Mercado de Fertilizantes (2015). Disponível em: <http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>. Acesso em: 12 de out. 2015.
- Almodares, A.; Aghamiri, A.; Sepahl, A. (1996) Effects of the amount and time of nitrogen fertilization on carbohydrate contents of three sweet sorghum cultivars. *Ann. Plant Physiol.*, Ghaziabad, v.10, p.56-60.
- Almodares, A.; Hadi, M. R.; Ranjbar, M.; Taheri, R. (2007) The effects of nitrogen treatments and harvest stages on stalk yield and sugar content in sweet sorghum. *Asian Journal of Plant Science*. v. 6, n. 2, p. 423-426.
- Almodares, A.; Hadi, M.R. (2009) Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, Lagos Nigeria, v. 4, n. 9, p. 772-780.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2015). Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=78136&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1452103644121>. Pdf. Acesso jan 2016.

Antunes, F. Z. (1979) Tecnologia para cultura do sorgo. Exigências climáticas para a cultura do sorgo. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 5, n. 56, p. 6-12.

Araujo, N. de a.; Castro, H.F. de; Visconti, A.E.S.; Aalles Filho, M.; Silva, H.G.B. da; Schneidermann, V.M.S.; Ferraz, M.H.A.; Almeida, W.R. de; Baggio, C. de A.; Esteves, A.M.L.; Costa, F. de A. (1977) Sorgo: matéria-prima renovável para produção de etanol na escalada energética nacional. *Informativo do Instituto Nacional de Tecnologia*, !!!... (15/16):34-46.

Bandeira, A. H.; Biondo, J. C.; Bialazor, A.; Silva, N. G.; Medeiros, S. L. P.; Emygdio, M. B. (2012) Desempenho de genótipos de sorgo sacarino cultivados em diferentes épocas de semeadura na região Central do Rio Grande do Sul. In: *XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO*, 2012, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia:

Bassam N. (2010) Handbook of bioenergy crops – A complete reference to species, development and applications. Earthscan, London.

BNDES/CGEE – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2008) **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Organização BNDES e CGEE. Rio de Janeiro: BNDES, 316 p

Biserra, J. V. Rentabilidade da irrigação pública no Nordeste, sob condições de risco: o caso do perímetro Morada Nova. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 1994, n.03, art.4.

- Bolonhezi, A.C.; Teixeira, E.B.; Ribeiro, N.A.; Dos Santos G.N.; Da Silva, M.R.P.; Bolonhezi, D. (2012) Híbridos de sorgo sacarino em espaçamentos simples e duplos. *VI Workshop Agroenergia* – Ribeirão Preto.
- Borgonovi, R. A.; Giacomini, S. F.; Santos dos, H. L.; Ferreira, A.; Waquil, J. A.; Silva da, J. B.; Cruz, I. (1982) *Recomendações para o plantio de sorgo sacarino*. Embrapa, Sete Lagoas. Embrapa-CNPMS, Circular técnico, 8. 16p
- Costa, C. J. A.; Ponciano, N. J.; Souza, P. M. **Avaliação da sistemática de cálculos para efeito de pagamento de cana pelos açúcares totais recuperáveis (ATR) nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo**. In: XLVI CONGRSSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRACAO E SOCIOLOGIA RURAL, 2008, Rio Branco. Anais...Rio Branco-AC. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, CD-ROM.
- Camacho, R.; Malavolta, E.; Alves, J. G.; Camacho, T. (2002) Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition. *Journal Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.59, n.4. p.771-776.
- Civardi, E. A.; Silveira Neto, A. N.; Ragagnin, V. A.; Godoy, E. G.; Brod, E. (2011) Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59.
- Conab – Companhia Nacional de Abastecimento (2015). Acompanhamento. safra bras. grãos, v. 2 - Safra 2014/15, n. 11 – Décimo primeiro levantamento, agosto 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>

- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2014). Perspectivas para a agropecuária / Companhia Nacional de Abastecimento – v.2 – Brasília, p. 158 : Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.
- Consecana – Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (2006). *Manual de Instrução*, Piracicaba, 112p.
- Cruz, C. D. (2013) GENES: A Software Package for Analysis in Experimental Statistics and Quantitative Genetics. *Acta Scientiarum: Agronomy*, 35, 271-276.
- Durães, F. O. M. (2011) Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e industrial para alimentos e energia. *Agro energia em Revista*, Brasília, n. 3, p. 14-52.
- Embrapa (2012a) - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa e Ceres Sementes fecham parceria para lançamento de cultivar de sorgo sacarino. *Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas-MG) Ano 06 - Edição 39*. Acesso em: 04 jan. 2014. Online. Disponível em: <http://grao.cnpms.embrapa.br/noticia.php?ed=OQ=&id=MzQ=>
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2012b). Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa / editores técnicos André May ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, Doc. 139, 120 p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011). Embrapa Agroenergia. Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e Industrial para Alimentos e Energia. *Agroenergia em Revista*, edição 3º, 52 p
- Embrapa - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (2008). Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo. *Sistemas de produção: Cultivo do sorgo*. 4.ed. Sete Lagoas.

- Emygdio, B.M.; Da Rosa, A.P.; Facchinello, P.H; Stohrlick, L.; Barros, L. (2014) Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para produção de etanol em diferentes épocas de semeadura, no município de Pelotas, RS. *XXX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO*, 2014, Salvador -BA Associação Brasileira de Milho e Sorgo. CD-ROM
- Emygdio, B.M. (2011) Desempenho do cultivar de sorgo sacarino BR 506 visando à produção de etanol em dois ambientes contrastantes. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.17, n.1, p.45-51.
- Fageria, N. K.; Stone, L. F.; Santos, A. B. dos. (1999) *Maximização da eficiência de produção das culturas*. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 294 p.
- Fernandes, P. G.; MA; Coelho, F. C.; Abreu, M. C.; Bertolino, K. M. Influência do espaçamento e da população de plantas de sorgo sacarino em diferentes épocas semeadura. *Ciência Rural (UFSC)*, v. 44, p. 100, 2014.
- Fornasier Filho, D.; Fornasier, J. L. (2009) *Manual da cultura do sorgo*. Jaboticabal: Funep, 202p.
- Galani, N. N.; Lomte, M. H.; Choudhart, S. D. (1991) Juice yield and Brix as affected by genotype, plant density and N levels in high energy sorghums. *Bharatiya Sugar*, v. 16, p. 23-24.
- Giacomini, S. F (1979) Sorgo sacarino para produção de álcool. *Informe Agropecuário. Sorgo: , Belo Horizonte*, ano 5, n. 56, p. 44-47.
- Gnansounou, E.; Dauriata, A.; Wyman, C. E. (2005) Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of north China. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 96, n. 9, p. 985-1002.

- Gomes, A.; Rodrigues, D.; Oliveira, P. (2011) Caracterização do sorgo para a produção de etanol. *Agroenergia em Revista*, ano II, nº3, p. 26.
- Han, K.J.; Pitman, W.D.; Alison, M. W.; Harrell, D.L.; Viator, H.P.; McCormick, M.E.; Gravois, K.A.; Kim, M.; Day, D.F. (2012) Agronomic considerations for sweet sorghum biofuel production in the South-Central USA. *Bioenergy Research*, New York, v. 5, p. 748-758.
- IEA. International Energy Agency. *Sustainable Production of Second generation Biofuels*. Paris: OECD/IEA, 2010
- Kolling, D. F. (2012) *Determinação da localização de uma planta multi-produto no Estado do Mato Grosso com base na eficiência da produção de etanol*. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 74p.
- Kumar, S. R; Shrotria, P. K; Deshmukh, J. P. (2008) Characterizing Nutrient Management Effect on Yield of Sweet Sorghum Genotypes. *World Journal of Agricultural Sciences*, Pradesh, v. 4, n. 6, p. 787-789.
- Macedo, C.H.O.; Santos, E.M.; Da Silva, T.C.; De Andrade, A.P.; Da Silva, D.S.; Da Silva, A.P.G.; De Oliveira, J.S. (2012). Produção e composição bromatológica do sorgo (*Sorghum bicolor*) cultivado sob doses de nitrogênio . *Arch. zootec.*, Córdoba, v. 61, n. 234, jun. 2012. Disponible en <http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-05922012000200005&lng=es&nrm=iso>.acesso en 21 enero 2016. <http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922012000200005>
- Magalhaes, P. C.; Durães, F. O. M.; Schaffert, R. E. (2000) Fisiologia da planta de sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46 p. *Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica*, 3.

- Malavolta, E.; Vitti, G. C. & Oliveira, S. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*, 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- Mapa - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2015) Anuário Estatístico da Agroenergia 2014: statistical yearbook of agrienergy 2014 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Bilingue. – Brasília: MAPA/ACS, 205 p.
- Marchezan, E.; Silva, M.I. (1984) Avaliação de cultivares de sorgo sacarino em Santa Maria, RS. *Ciência Rural*, v.14, p.161-172.
- Masson, I.S.; Costa, G.H.G.; Roviero J.P.; Freita, L.A.; Mutton M.A.; Mutton, M.J.R. (2015) Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v.45, n.9, p. 1995-1700.
- May, A. (2011) boas práticas agrícolas para o cultivo de sorgo sacarino. *Agroenergia em Revista*– Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e Industrial para Alimentos e Energia. Brasília, 3:16-17
- May, A.; Durães, F. O. M.; Pereira Filho, I. A.; Schaffert, R. E.; Parrella, R. A. C. (2012) (Ed.) *Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 22-31.
- May et al., (2013). Cultivo de Sorgo Sacarino em Áreas de Reforma de Canaviais. Embrapa Sete Lagoas – MG. Circular Técnica 186. 36 p.
- Miri, K., Rana, D.S. (2012). Evaluation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes for biomass, sugar and ethanol production under different levels of nitrogen. *Indian J. Agril. Sci.* 82, 195-200.

- Miri, K. & Rana D. S. (2014) Productivity, Nutrient Uptake and Profitability of Sweet Sorghum -Mustard Cropping System under Different Levels of Nitrogen. *American Journal of Agricultural Science and Technology*. v. 2, n. 2, p. 62-63.
- Miura, A. K.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E. (2011) Avaliação de áreas potenciais ao cultivo de biomassa para produção de energia e uma contribuição de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. ***Eng. Agríc., Jaboticabal***, v.31, n.3, p.607-620, maio/
- MME - Ministério de Minas e Energia (2012) Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis. Edição Nº 60 de Janeiro 2013. Acesso em: 29 abr. 2013. Online. Disponível em: http://www.mme.gov.br/spg/galerias/arquivos/publicacoes/boletim_mensal_combustiveis_renovaveis/Boletim_DCR_nx_060_-_janeiro_de_2013.pdf
- Mutton, M. J. R. (2008) Reflexos da qualidade da matéria-prima sobre a fermentação etanólica. WORKSHOP sobre “Produção de etanol: qualidade da matéria-prima”. Lorena-SP.
- Nóbile F.O.de; Nunes, H.D (2014) Avaliação da produção de etanol e cogeração de energia pela cultura do sorgo sacarino. *Revista Uniara*, v.17, n.1, p.89-98.
- Noronha, J.F. (1987) *Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica*. 2 ed. São Paulo, Atlas, 269p
- OECD/FAO - Organisation for Economic Co-operation and Development – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015), **OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2015**, OECD Publishing, Paris. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-es

- Oliveira, R.P.; França, A.F.S.; Rodrigues Filho, O.; Oliveira, E.R.; Rosa, B.; Soares, T.V.; Mello, S.Q.S. (2005) Características agronômicas de cultivares de sorgo (*sorghum bicolor* (L.) moench) sob três doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.35, n.1, p.45-53.
- Parrella, R.A.C.; Meneguchi, J.L.P.; Ribeiro, A.; Silva, A.R.; Parrella, N.L.D.; Rodrigues, J.A.S.; Tardin, F.D.; Schaffert, R.D. (2010) Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diversos ambientes visando produção de etanol. *Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28; Simpósio Brasileiro sobre Lagarta do Cartucho, 4*, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 256-263.
- Parrella, R. C. (2011) Melhoramento genético do sorgo sacarino. *Agroenergia em Revista – Sorgo sacarino: Tecnologia Agronômica e Industrial para Alimentos e Energia*. Brasília, 3:8-9.
- Pereira Filho I.A.; Parrella, R.A.C.; Moreira, A. J.A.; May, A.; Souza, V.F.; Cruz, J.C. (2012) XXIX *Congresso Nacional de Milho e Sorgo*, Águas de Lindóia –SP: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 2376-2382.
- Ponciano, N.J. *Análise econômico-financeira da produção agropecuária: Custos de produção da empresa rural*. Notas de Aula, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ. 2005, 16p.
- Prasad, S.; Singh, A.; Jain, N.; Joshi, H. C. (2007) Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. *Energy Fuels*, Washington, v. 21, n. 4, p. 2415-2420.
- Ramos, S. B. (2014) *Dose, parcelamento e modo de aplicação de nitrogênio em atributos nutricionais, agronômicos e tecnológicos de cultivares de sorgo sacarino*. Jaboticabal, Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Jaboticabal –

SP, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 153p.

Ratnavathi, C.V.; Chakravarthy, S.K.; Komala, V.V.; Chavan, U.D.; Patil, J.V. (2011) Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: a review. *Sugar Tech*, Heidelberg v. 13, n. 4, p. 399-407.

Ratnavathi, C. V.; Suresh, K.; Vijay Kumar, B. S.; Pallavi, M.; Komala, V. V.; Seetharama, N. (2010) Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v. 34, p. 947-952.

Reddy, S.G. (2006) Studies on production potential of sweet sorghum genotypes for grain and ethanol production as influenced by management practices. Ph.D Thesis. University of Agricultural Sciences, Dharwad. 197 pp.

Reddy, P.S.; Reddy B. V. S.; Kumar, A. A.; Srinivasa R. P. (2008) Standardization of nitrogen fertilizer rate for sugar yield optimization in sweet sorghum. *Journal of SAT Agricultural Research*, v. 6, p. 1-4.

Ribas, P.M. (2011) Tecnologias para Produção de Sementes de Sorgo Sacarino no Brasil. Seminário temático sobre sorgo sacarino. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG 20-21/set/2011.

Ribeiro Filho, N.A.; Florêncio, I.M.; Rocha, A.S.; Dantas, J.P.; Florentino, E.R.; Silva, F.L.H. DA. (2008) Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16.

Ribeiro Filho, N. M. ; Alves, R. M. ; Florêncio, I. M.; Florentino, E. R. ; Dantas, J. P. (2007) Viabilidade de Utilização do Caldo do Sorgo Sacarino para a Produção de

Alcól Carburante (ETANOL). In: Anais do I Congresso Norte Nordeste de Química, Natal-RN.

Rodrigues, J. A. S. (2000) Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanese*) sob condições de corte e pastejo. In: *SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS*, 1.,2000, Lavras. Temas em evidência. Lavras: UFLA, 2000. p. 179-201.

Rodrigues Filho, O., França, A.F.S., Oliveira, R.P., Oliveira, E.R., Rosa, B., Soares, T.V. e Mello, S.Q.S. (2006). Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) submetidos a três doses de nitrogênio. *Ciência Animal Brasileira*, 7: 37-48.

Rodrigues, J.A.S.; Santos, F.G. (2011) (Ed.). *Sistema de produção do sorgo*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Acesso em: 8 fev 2013. Online. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_7_ed/index.htm

Rutto, L. K.; Xu, Y; Brandt, M.; Ren, S; Kering, M. K. (2013) Juice, Ethanol, and Grain Yield Potencial of Five Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) Cultivars. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, v. 3, p. 113 – 118.

Sakellaviou-Makrantonaki, M.; Papalexis, D.; Nakos, N. and Kalavrouziotis, I.K. (2007) Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece. *Agric Water Manage*, 90:181–189.

Santos, F. G.; Albuquerque, P. E.; Oliveira, A. C.; Rodrigues, J. A. S.; Schaffert, R. E.; Casela, C. R.; Duraes F. O. M.; Leite C. P. (2002) *Avaliação de Cultivares de Sorgo para Resistência a Seca em Pós-Florescimento*. XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo - 01 a 05 de setembro de 2002 - Florianópolis – SC.

- Santos, R.C.; Ribeiro Filho, N.M.; Souza de, W.J.B.; Almeida de, K.V.; Florentino, E.R. (2010) Estudo de fermentação alcoólica do caldo de sorgo sacarino. In: Anais do I Congresso Químico do Brasil, João Pessoa-PB.
- Santos F.C. dos; Albuquerque Filho M.R. de; Resende, A.V.; Gomes, T.C.; Oliveira, M.S. (2014) Adubações nitrogenada e potássica no sorgo Biomassa - produtividade e qualidade de fibra. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.13, n.1, p. 1-13.
- Saucedo, O.M. 2008. *Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana. Taller Nacional sobre empleo del sorgo*. Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.
- Sawargaonkar, G.L.; Patil, M.D.; Wani, S.P.; Pavani, E.; Reddy, B.V...S.R.; Marimuthu, S. (2013) Nitrogen response and water use efficiency of sweet sorghum cultivars. *Field Crops Research*. v. 149, p.245-251.
- Scivittaro, W. B.; Santos, G. G.; Farias, D. G.; Andres, A, Castilhos, R. M. V. (2005) Doses de nitrogênio e de atrazine em cultivo de sorgo em terras baixas. *Revista Brasileira de Agrociências*, Pelotas, v. 11, n. 3, p. 315-321.
- Sawazaki, E. (1998) Sorgo forrageiro ou misto, sorgo granífero, sorgo vassoura Sorghum bicolor L. Moench. In: FALH, J. L. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 6. ed. Campinas: IAC, p. 44-49.
- Schaffert, R. E. (2008) *Potencial do Sorgo na Produção de Etanol no Brasil*. Palestra do Simpósio Estadual de Agroenergia – Porto Alegre, RS.
- Schaffert, R.E. (1986) Determinação do período útil de industrialização para o sorgo sacarino. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. *Anais...*

RELATÓRIO ANUAL DO CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO. Sete Lagoas, MG, p.155- 157.

Schaffert, R. E.; Gourley, L. M. (1981) *Sorghum as energy source*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SORGHUM, 8., 1981, Patancheru, India. Proceedings... Patancheru, India: ICRISAT, Nov. 1981. p. 605-623.

Schaffert, R. E.; Parrella, R. A. C. (2012) Planejamento Industrial. In: MAY, A. (Ed.) Sistema empresa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas, p.85-92.

Schaffert, R. E.; Parrella, R. A. Da C.; May, A.; Duraes, F. O. M. (2011) Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino. *Agroenergia em Revista*, Brasília, v. 2, n. 3, p. 47.

Silva, P.C.S.; Lovato, C. (2008) Análise de crescimento e rendimento em sorgo granífero em diferentes manejos com nitrogênio. *Revista da FZVA*, Uruguaiana, v.15, n.1, p.15-33.

Silva, P. C. S.; Lovato, C. (2010) Resposta da aplicação de nitrogênio em sorgo em sistema de plantio direto. *Revista Cascavel*, v. 3, n. 3, p. 170 – 189.

Soares, E.R.; Coutinho, E.L.M.; Ramos, S.B.; Silva da, M.S.; Barbosa, J.C. (2014) Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 35, n. 6, p. 3015-3030.

Sordi R. A. (2011) Sorgo sacarino para produção de etanol: uma visão do produtor e da usina de cana-de-açúcar. Grupo São Martinho. **Agroenergia em Revista**, ano II, nº3, ago. 2011, p 31-32.

- Sousa, D. M. G.; Lobato, L. (2004) Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: *Embrapa Informação Tecnológica*, 2004. 416 p.
- Souza, C.C. de; Dantas, J.P.; Silva, S. de M.; Almeida, F.A.; Silva, L.E de. (2005) Produtividade do sorgo granífero cv. Sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. *Ciênc. Tecnol. Alimentos*. Campinas, 25(3):512-517.
- Souza, V. F. de; Parrella, R.A.; Portugal, A.; Tardin, F. D.; Duraes, N.N. Schaffert, E.R (2011) Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino em Duas Épocas de Plantio no Norte de Minas Gerais Visando a Produção de Etanol. Acesso em agosto de 2014. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/898939/1/Desempenhocultivares.pdf>.
- Srinivasa Rao, P.; Rao S.S.; Seetharama N.; Umakanth A.V.; Reddy S. P.; Reddy B.V.S.; Gowda, C.L.L. (2009) Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement. Patancheru, Andhra Pradesh, India: *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*. Information Bulletin, 77, 80 p.
- Tabosa, J.N.; Tavares, J.A.; Reis, O.V. dos; Simplício, J.B.; Lima, J.M.P. de; Carvalho, H.W.L. de; Nascimento, M.M.A. do. (2008) Potencial do Sorgo Granífero em Pernambuco e no Rio Grande do Norte – Resultados obtidos com e sem irrigação. In: **Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28., 2008, Londrina, PR. Anais**. Londrina: ABMS, 2008.
- Tamang, P.L.; Bronson, K.F.; Malapati, A.; Schwartz, R.; Johnson, J.; Moore-Kucera, J. (2011) Nitrogen Requirement for Ethanol Production from Sweet and Photoperiod Sensitive Sorghums in the Southern High Plains, *Agronomy Journal*, Vol. 103, No. 2, pp. 431-440.

- Teixeira, C.G.; Jardine, J.G.; Nicolela, G.; Zaroni, M.H. (1999) Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. ***Pesq. Agropec. Bras.***, v.34, n.9, p. 1601-1606.
- Teixeira, C.G.; Jardine, J.G.; Beisman, D.A. (1997) Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 17:221-229.
- Uchino, H; Watanabe, T.; Ramu, K.; Sahrawat, K.L.; Marimuthu, S.; Wani, S.P.; Osamu Ito. (2012) Effects of nitrogen application on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the Semi-Arid Tropical zone of India. *JARQ*. 47 (1), 65 – 73.
- Venturi, P.; Venturi, G. (2003) Analysis of energy comparison for crops in european agricultural systems. *biomass and bioenergy*, v. 25, n. 3, p. 235-255
- Von Pinho, R. Z.; Vasconcelos de, R. C. Cultura do Sorgo. Textos Acadêmicos. Lavras: Editora UFLA. 2002. 75p.
- Wortmann, C.S., Liska, A., Ferguson, R.B., Lyon, D.J., Klein, R.N., Dweikat, I.M. (2010) Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel in Nebraska. *Agronomy Journal*, 102, 319-326.
- Yang, R.; Liu, W.J. (2010) Nitrate contamination of groundwater in an agro ecosystem in Zhangye Oasis, Northwest China. *Environ. Earth Sci.* 61, p.123-129.
- Zamora, M; A Melín y J Massigoge. 2008. Fertilización nitrogenada en sorgo. Resultados campaña 2007-08. ***AgroBarrow N° 42***. Chacra Experimental Agropecuaria (Convenio INTA-MAA): 11-13.

APÊNDICES

APÊNDICE A - COLETA E ANÁLISE DE DADOS TECNOLÓGICOS

As análises foram feitas no laboratório industrial da Usina Canabrava localizada em Travessão no município de Campos dos Goytacazes –RJ. As amostras coletadas em colmos inteiros aleatórios de cada unidade experimental, imediatamente transportadas no percurso de 20 km. A amostra é transferida para um desfibrador tipo forrageira. O colmo desintegrado é homogeneizado mecanicamente, em betoneiras, e em seguida uma amostra é enviada juntamente com a boleta de identificação laboratório para ser analisada.



PESAGEM DA AMOSTRA PARA ANÁLISE

No laboratório pesa-se uma amostra de 500 g da cana desfibrada e homogeneizada e a transfere para uma prensa hidráulica onde ela é submetida a uma pressão constante de 250 kgf/cm² (24,5 MPa) durante o período de um minuto.



A parte fibrosa resultante da prensagem é pesada para fornecer o peso do bolo (bagaço) úmido (PBU). Com o caldo extraído pela prensa são feitos dois ensaios para a determinação do brix e do pol do caldo. Os três resultados obtidos no laboratório, PBU, Brix e Pol, servem de base para a apuração da qualidade da cana para fins de pagamento.



Esses resultados obtidos (Brix, Pol e Leitura Sacarímetro) foram distribuídos em um programa computacional, obtendo-se os demais resultados conforme ao Manual de Instruções da Consecana (2006), ajustados para o Estado de Rio de Janeiro (Costa et al., 2008)

DETERMINAÇÃO DO BRUX DO CALDO (B)

A determinação do brix (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo) ou (porcentagem em massa dos sólidos totais solúveis em uma solução). Como exemplo, ao se dissolver 10 g de sacarose e 5 g de cloreto de sódio em água suficiente para formar 100 g de solução, a concentração dessa solução será de 15 graus brix¹.



DETERMINAÇÃO DA POL DO CALDO (S)²

Pol é a porcentagem em massa de sacarose aparente em uma solução, determinada pela capacidade que o açúcar tem de desviar a luz polarizada em uma única direção. A pol é obtida a partir da leitura sacarimétrica (LS) do caldo previamente clarificado.

A pol do caldo extraído (S) é calculada por:

$$S = LS \times (0,2605 - 0,0009882 \times B)$$

Onde:

LS = leitura sacarimétrica obtida com o clarificante subacetato de chumbo e corrigida para 20° C;

B = brix % do caldo corrigido para 20° C.



CÁLCULO DA POL DO COLMO (PC)

A Pol do colmo (PC) é obtida em função da Pol do caldo extraído multiplicado pela fibra e pelo coeficiente “C”, calculada por meio da seguinte expressão:

$$PC = S \times (1 - 0,01 \times F) \times C$$

Onde:

F = fibra industrial do colmo, calculada em função da massa, em gramas, do material fibroso residual da prensagem da amostra (bolo úmido), ajustado para o estado de Rio de Janeiro:

$$F_{RJ} = 0,1926 \times PBU - 15,39$$

O coeficiente “C” representa a transformação da Pol do caldo extraído em Pol do caldo absoluto proveniente da prensa hidráulica, calculado em função do peso do bolo úmido:

$$C_{RJ} = 1,0154 - 0,00575 \times PBU$$

Onde:

PBU = peso do bagaço (bolo) úmido

CÁLCULO DA PUREZA APARENTE DO CALDO (Q)

A pureza aparente do caldo (Q) definida como a porcentagem de pol em relação ao brix, será calculada pela equação:

$$Q = 100 \times S \div B, \text{ onde:}$$

S = pol do caldo;

B = brix do caldo.

CÁLCULO DOS AÇÚCARES REDUTORES DO CALDO (AR_{Caldo})

Os açúcares redutores do caldo (AR_{caldo}) são calculados pela equação de correlação obtida entre a pureza do caldo (Q) e os açúcares redutores analisados. Os principais açúcares redutores encontrados no caldo do sorgo sacarino são glicose e frutose, calculado pela equação:

$$AR_{caldo} = 9,9408 - 0,1049 \times Q$$

Q = pureza aparente do caldo, expressa em porcentagem.

CÁLCULO DOS AÇÚCARES REDUTORES DO COLMO (AR_{colmo})

A transformação do AR_{caldo} em açúcares redutores do colmo (AR) se faz pela seguinte expressão:

$$AR_{\text{Colmo}} = AR_{\text{Caldo}} \times (1 - 0,01 \times F) \times C$$

CÁLCULO DOS AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS DO CALDO (ART_{Caldo})

Representam todos os açúcares contidos no caldo do sorgo sacarino na forma redutora ou de açúcar invertido. Calculado pela equação:

$$ART_{\text{Caldo}} = (\text{Pol do caldo} / 0,95) + \text{AR do caldo}$$

CÁLCULO DOS AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS DO CALDO (ART_{Colmo})

$$ART_{\text{Colmo}} = ART_{\text{Caldo}} \times (1 - 0,01 \times F) \times C$$

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE AÇÚCAR TOTAL RECUPERÁVEL (ATR)³

Conhecendo-se a pol da cana (PC) e os açúcares redutores do colmo (AR_{Colmo}), o ATR é calculado pela equação:

$$ATR = 10 \times (1-P) \times (1,052632 \times PC + AR)$$

Onde:

10 = fator de conversão de porcentagem para tonelada;

1,052632 = fator estequiométrico de conversão de pol em açúcares redutores;

P = Perdas industriais (%).

A equação de cálculo da quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR) pode ser simplificada com a substituição das respectivas perdas industriais de 15,95% adotada no Rio de Janeiro.

Assim:

$$ATR_{RJ} = 8,8474 \times PC + 8,405 \times AR$$

• CÁLCULO DA QUANTIDADE DE ÁLCOOL HIDRATADO

$$ART_{Caldo} \times 10 \times 0,6475 \times 0,855.$$

Considerando 85,5% de eficiência do processo de fermentação.

¹ Brix é a porcentagem em massa dos sólidos totais solúveis em uma solução. O brix é determinado diretamente no equipamento denominado refratômetro. Como exemplo, ao se dissolver 10 g de sacarose e 5 g de cloreto de sódio em água suficiente para formar 100 g de solução, a concentração dessa solução será de 15 graus brix.

² Pol é a porcentagem em massa de sacarose aparente em uma solução. A pol é obtida partir da leitura sacarimétrica (LS) do caldo previamente clarificado. Um sacarímetro é um polarímetro calibrado para fornecer a leitura de 100°Z (Zucker) para uma solução contendo 26 gramas de sacarose dissolvidas em 100 mL de solução. Portanto, para se obter a pol do caldo a partir da leitura sacarimétrica deve-se conhecer a densidade do caldo, que pode ser obtido a partir do valor do brix:

$$Pol = LS \times 0,26 / d$$

³ ATR não é o mesmo que ART. Os açúcares redutores totais – ART representam a soma dos açúcares redutores (glicose e frutose) com a sacarose convertida em açúcar redutor (AR). O fator de conversão estequiométrico de sacarose em AR é igual a 1,05263. Os açúcares totais recuperáveis - ATR representam os açúcares redutores totais – ART menos as perdas industriais.

APÊNDICE B - Estimativas para obtenção do máximo físico e produtividade máxima, ótimo econômico e produtividade ótima econômica e receita líquida.

Com base na média dos resultados de produtividade obtidos de sorgo sacarino em função das doses de nitrogênio, o experimento apresentou resposta polinomial do 2º grau para os cultivares BRS 506, BRS 508 e BRS 511 conforme mostra a seguinte figura:

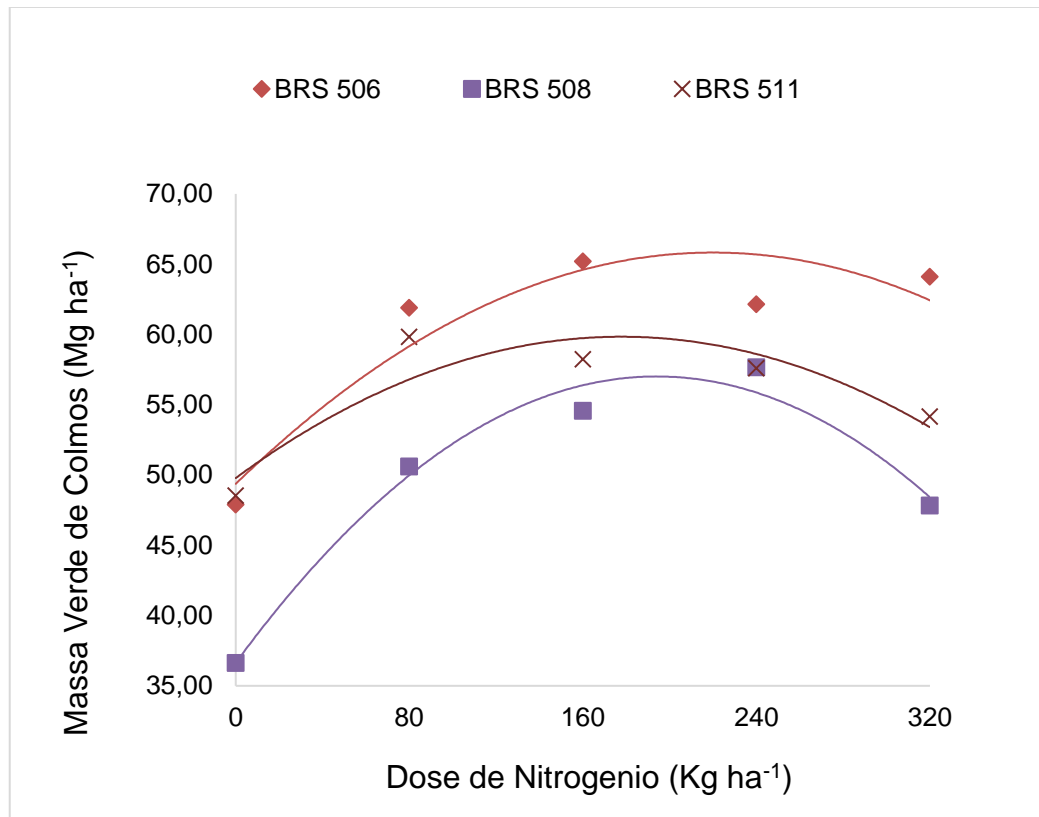


Figura 1. Curvas de resposta de produtividade de massa verde de colmos de sorgo sacarino obtida de quatro cultivares em função de doses crescentes de nitrogênio no município de Campos dos Goytacazes, RJ, 2014. (**: significativo em 1% pelo teste F).

Este ajuste permitiu as estimativas das doses de nitrogênio que corresponderam à produtividade máxima e à produtividade máxima econômica em função do custo de aquisição do quilo de nitrogênio e do valor de venda da tonelada de colmos de sorgo sacarino.

Desse modo, a função de produção obtida para cada cultivar representa o processo de transformação do insumo nitrogênio em toneladas de colmos, obtendo-se a produtividade máxima de massa verde de colmos. As equações de função de produção obtidas foram:

$$\hat{Y}_{\text{BRS 506}} = -0,0003 x^2 + 0,1496 x + 49,370 \quad R^2 = 0,8721^{**}$$

$$\hat{Y}_{\text{BRS 508}} = -0,0005 x^2 + 0,210 x + 36,636 \quad R^2 = 0,9725^{**}$$

$$\hat{Y}_{\text{BRS 511}} = -0,0003 x^2 + 0,1125 x + 49,708 \quad R^2 = 0,9430^{**}$$

Onde:

Y = produtividade física total de colmos de sorgo sacarino em Mg ha⁻¹;

X = doses de nitrogênio usadas na adubação.

Cultivar BRS 506

A partir da equação $Y = -0,0003 x^2 + 0,1496 x + 49,370$ determinam-se a produtividade física média e a produtividade física marginal ou produtividade marginal (PMA) que conduz à dose (X_m) de nitrogênio que correspondente ao máximo da função.

- **Cálculo da produtividade física total e produtividade física media.**

$$\text{PFT} = Y = -0,0003 x^2 + 0,1496 x + 49,370$$

$$\text{PMA} = \frac{dy}{dx} = -0,0006 x + 0,1496$$

$$X_m = 249,33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Ou

$$X_m = -\frac{b}{2c}$$

$$X_m = -\frac{0,1496}{2(-0,0003)}$$

$$X_m = 249,33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Substituindo-se para $X_m = 249,33 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na equação:

$$\text{PFT (Y)} = -0,0003 x^2 + 0,1496 x + 49,370$$

$$\text{PFT (Y)} = -0,0003 (249,33)^2 + 0,1496 (249,33) + 49,370$$

$$\text{PFT}_{\text{max.}} (\text{Y}) = 68,02 \text{ Mg ha}^{-1}$$

A produtividade física média (PFMe) pode-se obter dividindo o PFT por X.

$$\text{PFMe} = \frac{\text{PFT}}{X}$$

$$\text{PFMe} = \frac{68,02}{249,33}$$

$$\text{PFMe} = 0,273 \text{ t kg}^{-1} \text{ de N}$$

Para o cálculo do ótimo econômico, considerou-se o preço da tonelada de massa verde de colmos em R\$ 49,44 e R\$ 4,09 o valor do quilo de N.

- **Cálculo da produtividade ótima econômica.**

$$X_{ot.} = \frac{Px - Py b}{2 Py c}$$

P_Y = preço da tonelada do produto (MVC), em R\$ Mg⁻¹;

P_X = preço do nitrogênio em R\$ kg⁻¹.

$$X_{ot.} = \frac{[4,09 - (49,44)(0,1496)]}{(2)(49,44) (-0,0003)}$$

$$X_{ot.} = 111,46 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Portanto, a produtividade ótima econômica seria:

$$\text{PFT } (Y_{ot.}) = -0,0003 x^2 + 0,1496 x + 49,370$$

$$\text{PFT } (Y_{ot.}) = -0,0003 (111,46)^2 + 0,1496 (111,46) + 49,370$$

$$\text{PFT } (Y_{ot.}) = 62,39 \text{ Mg ha}^{-1}$$

Receita líquida seria:

$$L(X) = RB - C$$

Em que:

$L(X)$ = receita líquida, em R\$;

$RB = Y.P_y$;

$C = X.P_x + k$ (onde $k = 0$).

Portanto,

$$L(X) = YP_y - XP_x$$

$$L(X) = (62,39 * 49,44) - (111,46 * 4,09)$$

$$L(X) = R\$ 2.628,70$$

Cultivar BRS 508

$$\hat{Y}_{\text{BRS 508}} = -0,0005 x^2 + 0,210 x + 36,636$$

- **Cálculo da produtividade física total e produtividade física média.**

$$PFT = Y = -0,0005 x^2 + 0,210 x + 36,636$$

$$PMa = \frac{dy}{dx} = -0,001 x + 0,210$$

$$X_m = 210,00 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Ou

$$X_m = -\frac{b}{2c}$$

$$X_m = -\frac{0,210}{2(-0,0005)}$$

$$X_m = 210,00 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Substituindo-se para $X_m = 210,00 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$ na equação:

$$PFT (Y) = -0,0005 x^2 + 0,210 x + 36,636$$

$$PFT (Y) = -0,0005 (210,00)^2 + 0,1496 (210,00) + 36,636$$

$$PFT_{\max.} (Y) = 58,68 \text{ Mg ha}^{-1}$$

A produtividade física média (PFMe) pode-se obter dividindo o PFT por X.

$$PFMe = \frac{PFT}{X}$$

$$PFMe = \frac{58,68}{210,00}$$

$$PFMe = 0,279 \text{ t kg}^{-1} \text{ de N}$$

- **Cálculo da produtividade ótima econômica.**

$$X_{\text{ot.}} = \frac{Px - Py b}{2 Py c}$$

$$X_{\text{ot.}} = \frac{[4,09 - (49,44)(0,210)]}{(2)(49,44) (-0,0005)}$$

$$X_{\text{ot.}} = 127,27 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Portanto, a produtividade ótima econômica seria:

$$PFT (Y_{\text{ot.}}) = -0,0005 x^2 + 0,210 x + 36,636$$

$$PFT (Y_{\text{ot.}}) = -0,0005 (127,27)^2 + 0,210 (127,27) + 36,636$$

$$\text{PFT } (Y_{\text{ot.}}) = 55,26 \text{ Mg ha}^{-1}$$

- **Cálculo da receita líquida.**

$$L(X) = \text{RB} - \text{C}$$

$$L(X) = YPy - XPx$$

$$L(X) = (55,26 * 49,44) - (127,27 * 4,09)$$

$$L(X) = \text{R\$ } 2.211,52$$

Cultivar BRS 511

$$\hat{Y}_{\text{BRS 511}} = -0,0003 x^2 + 0,1125 x + 49,708$$

- **Cálculo da produtividade física total e produtividade física média.**

$$\text{PFT} = Y = \hat{Y}_{\text{BRS 511}} = -0,0003 x^2 + 0,1125 x + 49,708$$

$$\text{PMa} = \frac{dy}{dx} = -0,0006 x + 0,1125$$

$$X_m = 187,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Ou

$$X_m = -\frac{b}{2c}$$

$$X_m = - \frac{0,1125}{2 (-0,0003)}$$

$$X_m = 187,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Substituindo-se para $X_m = 187,50 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na equação:

$$\text{PFT (Y)} = -0,0003 x^2 + 0,1125 x + 49,708$$

$$\text{PFT (Y)} = -0,0003 (187,50)^2 + 0,1125 (187,50) + 49,708$$

$$\text{PFT}_{\text{max.}} (\text{Y}) = 60,25 \text{ Mg ha}^{-1}$$

A produtividade física média (PFMe) pode-se obter dividindo o PFT por X.

$$\text{PFMe} = \frac{\text{PFT}}{X}$$

$$\text{PFMe} = \frac{60,25}{187,50}$$

$$\text{PFMe} = 0,321 \text{ t kg}^{-1} \text{ de N}$$

- **Cálculo da produtividade ótima econômica.**

$$X_{\text{ot.}} = \frac{Px - Py b}{2 Py c}$$

$$X_{\text{ot.}} = \frac{[4,09 - (49,44)(0,1125)]}{(2)(49,44) (-0,0003)}$$

$$X_{ot.} = 49,62 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

Portanto, a produtividade ótima econômica seria:

$$PFT (Y_{ot.}) = -0,0003 x^2 + 0,1125 x + 49,708$$

$$PFT (Y_{ot.}) = -0,0003 (49,62)^2 + 0,1125 (49,62) + 49,708$$

$$PFT (Y_{ot.}) = 54,55 \text{ Mg ha}^{-1}$$

- **Cálculo da receita líquida.**

$$L(X) = RB - C$$

$$L(X) = YPy - XPx$$

$$L(X) = (54,55 * 49,44) - (49,62 * 4,09)$$

$$L(X) = \text{R\$ } 2.494,00$$