



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA



EFEITOS DO MANEJO NUTRICIONAL NA CULTURA DO SORGO SACARINO
[*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

ARARAS – SP

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA



ANA LÚCIA SCAVAZZA

EFEITOS DO MANEJO NUTRICIONAL NA CULTURA DO SORGO SACARINO

[*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Agrônômica – CCA – UFSCar para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Roberto Soares.

ARARAS – SP

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que me guiou durante toda a graduação, estendendo seus braços para me amparar em momentos tão difíceis, me dando força, coragem e saúde para vencer muitos obstáculos. A minha família, que todos os dias acorda às 5 da manhã com fé e disposição para batalhar por nosso progresso e que tanto se sacrificaram para que eu realizasse o sonho de me tornar engenheira agrônoma. Minha mãe Cristina, meu pai Luís, minhas irmãs Cláudia e Lucimara, meu cunhado William, meus avós Marlene e Nelson (em memória), meus tios e primos, é para vocês que eu dedico cada vitória, cada suor, cada lágrima que derramei durante estes 5 anos, por toda minha vida.

A todos os professores da UFSCar, em especial Dr. Marcio Roberto Soares, Dra. Maria Bernadete da Silva Campos, Dr. José Carlos Casagrande, Dra. Maria Teresa Mendes Ribeiro Borges e Dr. Cláudio Hartkopf Lopes pela dedicação, humanidade, pelos conhecimentos compartilhados, confiança e apoio. Ter sido aluna e orientada de profissionais extremamente competentes me fortalece e encoraja a vencer qualquer desafio.

Em especial ao Paulo Henrique Pizzi de Santi, César Augusto Santana, Ana Laura Belloni e Kauê de Sousa Soares Rocha que não me abandonaram e acreditaram neste trabalho mesmo quando pensei não ter mais forças para continuá-lo. Aos companheiros do Grupo de Estudo e Pesquisa em Manejo do Solo (GEMASO) Rodrigo, Diego, Danilo, Alisson, Gustavo, Josimara, Jéssica, Júlia, Ludmila e Laíse agradeço cada gota de suor do rosto de vocês, tornando possível a realização deste trabalho. As amigas Gabriela Salgado e Ana Cláudia Zina, pelo apoio fundamental nas fases de implantação deste projeto.

Aos funcionários e técnicos da Seção Agrícola, Fausto, Curtolo e Maurício, e do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA), Fernandinho e Dinei, que não mediram esforços para ajudar no que fosse necessário para a realização deste projeto.

Aos funcionários e estagiários Laboratório de Análise Química de Solos e Planta (DRNPA/CCA/UFSCar) e Laboratório de Análises e Simulação Tecnológica (LAST/DTaiSER/UFSCar) especialmente ao Cidinho, Larissa, João Consoni, Roberto e Sílvia pelo apoio fundamental nas análises envolvidas nesta pesquisa. A Camila Pessoto, sempre atenciosa e paciente e aos técnicos agrícolas do DRNPA Gabriela e Anselmo, pela dedicação, sabedoria e auxílio nas avaliações experimentais. A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste experimento e a todos aqueles que torceram por mim, meus sinceros agradecimentos!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus não sou o que era antes”.

Marthin Luther King.

RESUMO

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], poácea originária do Centro-Leste da África, apresenta grande potencial para a produção de bioenergia, fazendo parte inclusive da matriz energética de países como China, Estados Unidos e União Europeia. No Brasil, devido à importância da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável, pesquisas acerca do processo agrícola e industrial do sorgo sacarino ainda são incipientes. No tocante à adubação, poucas são as regiões com recomendações estabelecidas e as exigências nutricionais dos genótipos disponíveis são praticamente desconhecidas. O objetivo deste trabalho foi o de avaliar se o aumento de doses de macronutrientes primários pode contribuir para o aumento da produtividade e rendimento tecnológico de um cultivar híbrido de sorgo sacarino. O experimento foi conduzido em área experimental da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), em delineamento de blocos casualizados, com cinco repetições, composto por quatro doses de adubação NPK, definidas a partir da recomendação do Instituto Agronômico de Campinas (Boletim Técnico 200). As DRs foram respectivamente de 110-90-120 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, constituindo-se os seguintes tratamentos: 0% da DR, 50% da DR, 100% da DR e 150% da DR. Aos 105 dias após a emergência das plantas, foram determinadas a altura (m), diâmetro do colmo (mm), número de entrenós (nº nós planta⁻¹), produção de colmos (t ha⁻¹), biomassa verde (t ha⁻¹), biomassa seca (t ha⁻¹), massa seca da parte aérea (g planta⁻¹), umidade (%), Brix (%), Pol do caldo (%), Fibra (%), ATR (kg t⁻¹), AR (%) e Pureza (%). Doses crescentes de macronutrientes primários não proporcionaram respostas significativas (p≤0,05) tanto nos parâmetros biométricos, tecnológicos e de produtividade do sorgo sacarino cultivar NS 105, permitindo concluir que a fertilidade inicial do solo foi suficiente para o desenvolvimento da cultura. A baixa qualidade industrial do caldo do sorgo sacarino foi influenciada por fatores climáticos que desencadearam alta infestação de *Ergot*, doença causada por *Claviceps africana*. A dose de produtividade máxima e de produtividade máxima econômica não pode ser determinada devido à falta de ajuste significativo da equação de regressão quadrática.

Palavras-chave: adubação, NPK, bioenergia, sorgo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases fenológicas do sorgo sacarino.....	15
Figura 2. Absorção de npk pelo sorgo em função de seu desenvolvimento fisiológico.	16
Figura 3. Informações climáticas mensais de precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°c) registradas durante o período de execução do experimento.	25
Figura 4. Resistência à penetração (MPa) do solo da área experimental.	26
Figura 5. Esquema de distribuição das parcelas e subparcelas do experimento (a); detalhe de uma unidade experimental, quadro verde representa a área útil da parcela (b).	27
Figura 6. Espaçamento em Fileiras Duplas (1,00 x 0,50 x 0,50 m), adotado na instalação da cultura.	28
Figura 7. Detalhe de uma planta de sorgo sacarino apresentando folha bandeira visível (indicada pela seta)....	30
Figura 8. Estimativa da fertilidade do solo de áreas destinadas a reforma de cana-de-açúcar a partir dos parâmetros de P resina, K ⁺ , pH e M.O., período de 2015/16.	39
Figura 9. Produção de colmos (PC) por hectare em função de doses de macronutrientes primários (NPK) aplicados.....	41
Figura 10. Preparo do solo e abertura dos sulcos de plantio, realizado em 15/12/2015.	54
Figura 11. Estaqueamento das parcelas experimentais, realizado em 15/12/2015.	54
Figura 12. Distribuição dos adubos conforme as doses testadas, calculadas para aplicação em 6m lineares.	55
Figura 13. Capina seletiva e vista experimental aos 25 DAE	55
Figura 14. Vista experimental aos 60 DAE.	56
Figura 15. Corte aleatório de plantas contidas em de 6 m por parcela (a) e despalhamento das plantas e seleção de plantas (b) para determinações biométricas, nutricionais e de rendimento.	56
Figura 16. Processamento das amostras em máquina forrageira para determinação de matéria seca, umidade e teores nutricionais da parte aérea.	57
Figura 17. Prensagem hidráulica para extração do caldo (a); filtração e clarificação do caldo para determinação dos caracteres tecnológicos.....	57
Figura 18. Leitura do °Brix em refratômetro de bancada (a); leitura da Pol em sacarímetro digital.	58
Figura 19. Determinação do PBU (Peso do Bolo Úmido) (a); determinação do PBS (Peso do Bolo Seco) (b), para cálculo do teor de Fibra.	58
Figura 20. Doença açucarada do sorgo ou <i>Ergot</i> , causada por (<i>Claviceps africana</i>). (a) exsudação de açúcares nas panículas, (b) desenvolvimento saprofitico sobre os açúcares, com aspecto de carvão sobre as panículas. ...	59
Figura 21. Sintomas do vírus do mosaico da cana-de-açúcar (a) e ferrugem (<i>Puccinia purpurea</i>) (b) apresentadas pelas plantas de sorgo sacarino.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características agroindustriais da cana-de-açúcar e do sorgo sacarino.....	12
Tabela 2. Características químicas e granulometria de amostras da camada de 0-20 cm de um LATOSSOLO Vermelho distrófico.....	26
Tabela 3. Doses de nutrientes aplicadas em seus respectivos tratamentos, considerando DR 110-80-120 kg ha ⁻¹ de NPK. Detalhes dos cálculos podem ser obtidos no anexo II.....	29
Tabela 4. Valores médios de parâmetros biométricos e de umidade (%) de sorgo sacarino cultivar NS 105, cultivado em diferentes doses de adubação NPK.	35
Tabela 5. Quantidades teóricas de nutrientes fornecidos ao sorgo sacarino cultivar NS 105, nos diferentes tratamentos com doses de NPK.	36
Tabela 6. Análise de variância da regressão polinomial da variável produção de colmos (PC), considerando diferentes doses de adubação NPK (0%DR, 50%DR, 100%DR e 150%DR).	40
Tabela 7. Valores médios de parâmetros tecnológicos do caldo do sorgo sacarino cultivar NS 105, cultivado em diferentes doses de adubação NPK.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.2. Objetivos	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. O sorgo sacarino	11
2.1.1. Botânica e morfologia do sorgo sacarino	13
2.1.2. Fenologia do sorgo sacarino	14
2.2. Práticas agrícolas para cultivo do sorgo sacarino	17
2.3. Exigências nutricionais e adubação	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Caracterização da área experimental	25
3.2. Delineamento experimental e análise estatística	27
3.3. Instalação e condução do experimento	28
3.4. Avaliações biométricas e da produtividade	31
3.5. Dose de produtividade máxima (PM) e dose de produtividade máxima econômica (PME)	32
3.6. Análises tecnológicas do caldo	32
3.7. Estimativa da fertilidade do solo de áreas de reforma de cana-de-açúcar	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. Características biométricas e produtividade	35
4.2. Dose de produtividade máxima (PM) e dose de produtividade máxima econômica (PME)	40
4.3. Análises tecnológicas do caldo	41
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
6. CONCLUSÃO	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
8. ANEXOS	54

1. INTRODUÇÃO

A utilização de energia renovável a partir da biomassa vegetal tem se mostrado uma alternativa viável à substituição de derivados do petróleo. Neste cenário, o Brasil destaca-se como grande produtor de etanol a partir da cana-de-açúcar, ocupando uma proporção significativa da matriz energética do país (SOARES et al., 2014).

Embora a cana-de-açúcar seja a principal matéria-prima para a produção de etanol, outras culturas podem ser utilizadas para a produção deste biocombustível. Neste sentido, especial atenção vem sendo dada ao sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], por esta cultura apresentar alta capacidade de produção de biomassa, possuir ciclo curto e totalmente mecanizável, apresentar teores relativamente altos de açúcares diretamente fermentáveis contidos nos colmos e resistência ao estresse hídrico, bem como a utilização de seu bagaço como fonte de cogeração de eletricidade (TOMAZ & ASSIS, 2013).

O desenvolvimento desta cultura no Brasil está intimamente relacionado ao setor sucroenergético, para quem a moagem do sorgo sacarino pode ser uma alternativa ao manejo varietal, já que ocorre a falta de opções de variedades de cana-de-açúcar de maturação precoce ou hiperprecoce, principalmente para ambientes mais restritivos de cultivo. Ainda, com a adoção do plantio do sorgo sacarino, as variedades de cana-de-açúcar do início de safra podem ter sua colheita atrasada e, conseqüentemente, gerar um maior acúmulo de açúcar, aumentando a Pol da cana por hectare, aumentando o rendimento e diluindo os custos fixos devido à redução da ociosidade da indústria (ASSIS & MORAIS, 2013). Estas e outras vantagens possibilitam que o sorgo sacarino ocupe o espaço de entressafra da cana de açúcar, proporcionando um período anual completo produzindo matéria prima e reduzindo a oscilação no preço do etanol (QUEIROZ et. al., 2013).

No entanto, a cultura ainda apresenta desafios no que concerne a seu processo agrícola e industrial, como a restrição de base de germoplasma, escassa adaptabilidade ambiental de alguns cultivares, a baixa resistência a pragas e doenças, dentre outros (OLIVEIRA, 2012). No que diz respeito à adubação, as informações de recomendações ainda são incipientes, sendo que em algumas regiões são praticadas com base na cultura do milho ou do sorgo granífero, cujo interesse é a produção de grãos e não biomassa (CIVARDI et al., 2011). Na literatura, poucas são as informações sobre a demanda nutricional e as existentes são resultados de experimentos pouco recentes e conduzidos com variedades, sendo que

atualmente os materiais genéticos disponíveis são em sua maioria híbridos que, em tese, apresentam maior produtividade e exigência nutricional (SOARES et al, 2014).

Pelo o que foi exposto, é imprescindível conhecer o comportamento do sorgo sacarino em diferentes condições de adubação, para que o manejo nutricional seja adequado e econômico, visando à manutenção de altas produtividades e redução de custos da cultura, garantindo a eficiência e qualidade da produção de etanol a partir do sorgo sacarino. Assim, a fertilidade dos solos, a nutrição e a adubação são componentes essenciais para a construção de um sistema de produção eficiente (BORGES, 2006; TOMAZ & ASSIS, 2013; SANTOS et al.,2015).

1.2. OBJETIVOS

Partindo-se da hipótese de que a produtividade e os parâmetros biométricos e tecnológicos do sorgo sacarino podem ser influenciados por diferentes níveis de adubação, o objetivo geral deste trabalho consistiu em avaliar se o aumento de doses de macronutrientes primários pode contribuir para o aumento do rendimento da cultura. Os objetivos específicos foram:

- Analisar se as doses recomendadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) são suficientes para o desenvolvimento do cultivar escolhido;
- Avaliar os efeitos do aumento de doses de nutrientes nos parâmetros de biomassa e produtividade da cultura;
- Avaliar os efeitos do aumento de doses de nutrientes nos parâmetros tecnológicos do caldo do sorgo sacarino;
- Estimar a fertilidade do solo de áreas de reforma de cana-de-açúcar, passíveis a serem cultivadas com o sorgo sacarino;
- Calcular a dose que resulta na Produtividade Máxima (PM) e na Produtividade Máxima Econômica (PME).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Sorgo Sacarino

O sorgo é o quinto cereal mais importante no mundo depois do trigo, arroz, milho e cevada, fazendo parte da alimentação de mais de 500 milhões de pessoas, principalmente nos países africanos e asiáticos (FAO, 2012). Nos Estados Unidos, Austrália e Brasil é um importante componente da alimentação animal (QUEIRÓZ, 2014).

Segundo informações do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) citadas pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), na safra 2014/2015 os maiores produtores de sorgo foram os Estados Unidos, produzindo cerca de 11 milhões de toneladas, seguido pelo México (6,2 milhões t), Nigéria (6 milhões t) e Índia (5,5 milhões t). O Brasil ocupa a 8ª posição, com uma produção de 2 milhões de toneladas, sendo que 60% deste total provém da região Centro-Oeste (CONAB, 2016).

Notadamente, esta cultura é reconhecida por sua contribuição à produção de grãos. No entanto, a espécie *Sorghum bicolor* abrange cinco morfotipos de importância econômica sendo o granífero, o forrageiro, o sacarino, o vassoura e o biomassa. Todos são de cultivo anual e diferem entre si pelo porte da planta, pela panícula (aberta ou compacta) e pelo direcionamento dos fotoassimilados nas estruturas de reserva (grãos ou colmo) (FORNASIERI FILHO, 2009).

Nos últimos anos, especial destaque tem sido dado ao sorgo sacarino, o que possibilitará a expansão da cultura no Brasil, uma vez que constitui matéria-prima para a produção de etanol. Outros países como a China, Índia, União Europeia e EUA também têm investido no sorgo sacarino como alternativa real para produção e uso do etanol, reduzindo a dependência de energia de origem fóssil (MARCOCCIA, 2007).

Pesquisadores têm relatado que os açúcares fermentáveis do sorgo sacarino têm potencial para produzir até 8.000 litros de etanol por hectare. Isso representaria rendimento cerca de duas vezes o potencial de produção de etanol a partir de grãos de milho ou ainda 30 % maior do que a média da cana-de-açúcar brasileira, que é de aproximadamente 6.000 L ha⁻¹ (REIS, 2014). Pesquisas na China tem apresentado resultados de 50 a 60 t ha⁻¹ de matéria verde e de 6.000 a 7.000 L ha⁻¹ de etanol com o aproveitamento dos colmos e dos grãos

(FAO, 2002). No Brasil, devido à falta de planejamento e manejo, pesquisas apontam que o rendimento do sorgo sacarino não ultrapassa 3.500 L ha⁻¹ (ARAÚJO et al., 2012).

Neste sentido, o sorgo sacarino se mostra como uma alternativa viável para aumentar a quantidade produzida de etanol anualmente no Brasil, podendo ofertar cerca de 50% a mais deste biocombustível no mercado (KLINK, 2010). Além disso, não há a necessidade de mudanças estruturais e logísticas do parque industrial e operacional das usinas, pelo fato desta cultura permitir que sua colheita seja realizada com a mesma colhedora da cana. A época ideal de colheita ocorre justamente na entressafra de cana-de-açúcar, quando a produção de etanol por hectare é máxima no sorgo, e a cana-de-açúcar ainda está muito abaixo do seu potencial máximo de produção (EMBRAPA, 2011). A Tabela 1 apresenta uma comparação das características agroindustriais da cana-de-açúcar e do sorgo sacarino.

Tabela 1. Características agroindustriais da cana-de-açúcar e do sorgo sacarino.

Características	Sorgo Sacarino	Cana-de-açúcar
Ciclo vegetativo	120 a 130 dias	12 a 18 meses
Rendimento (t ha ⁻¹)	48	65
Umidade (%)	67,9	68,7
Açúcares redutores (%)	5,6	3
Açúcares red. totais (ART t ⁻¹)	96,3	105
Álcool a 100° GL (L t ⁻¹)	62,4	67,9

Fonte: Teixeira et al. (1997).

Marcoccia (2007) relatou que desde a década de 1970 a pesquisa brasileira demonstrou o potencial do sorgo sacarino. Porém, apesar das vantagens elencadas, há pouco interesse e divulgação, enquanto nos EUA, na União Europeia, na China e na Índia a cultura já vem sendo encarada como uma alternativa viável para complementar a produção de etanol.

A partir de 2008 houve uma retomada nos testes com a cultura do sorgo sacarino, principalmente pelos pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, como matéria-prima para a produção de etanol no Brasil. Os principais problemas apresentados pela cultura que demandam técnicas de manejo mais apuradas tem sido o despreparo das equipes operacionais e gerenciais dos grupos do setor sucroenergético, os graves problemas no controle de plantas daninhas, devido à falta de herbicidas registrados e o desconhecimento sobre o momento ideal

de aplicação, um período útil de industrialização (PUI) muito curto para algumas cultivares (10 a 15 dias) e desconhecimento sobre o ponto ideal de colheita, o acamamento em taxas elevadas devido à falta de informações sobre o arranjo ideal de plantas, a baixa densidade de carga na colheita, gerando alto custo de transporte, problemas quanto ao manejo conservacionista do solo, afetando o estabelecimento da cultura, e o desconhecimento sobre a demanda nutricional do sorgo sacarino. Desta maneira, muitos desafios precisam ser vencidos para o uso eficiente da tecnologia de cultivo do sorgo sacarino (MAY et al., 2013).

2.1.1. Botânica e morfologia do sorgo sacarino

O sorgo é uma planta da família Poaceae, do gênero *Sorghum*, e da espécie *Sorghum bicolor* L. Moench. Apresenta metabolismo C4, gerando como primeiro produto da conversão da energia luminosa um composto de quatro carbonos, o malato, que lhe confere maior eficiência fotossintética e pequena taxa de fotorrespiração (CASTRO et al., 2008). A grande maioria dos materiais genéticos de sorgo requerem temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento, além de apresentarem sensibilidade ao fotoperíodo (JARDINE et al., 2009). Apresenta um sistema radicular do tipo fasciculado, composto por raízes que possuem sílica na endoderme, grande quantidade de pelos absorventes e altos índices de lignificação de periciclo, que garantem ao sorgo maior tolerância ao déficit hídrico que as demais culturas. As raízes do sorgo sacarino podem absorver água e nutrientes a uma profundidade de aproximadamente 1,70 m, proporcionando condições para que a planta se desenvolva bem em solos relativamente pobres (COWLEY & SMITH, 1972). O sorgo necessita de 330 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca, enquanto o milho e o trigo necessitam de 370 kg e 500 kg de água por kg de matéria seca, respectivamente. Além disso, o sorgo possui tolerância à acidez, ao excesso de alumínio e baixa fertilidade do solo (MAGALHÃES et al., 2003). A disponibilidade adequada de água durante o ciclo é essencial para um bom rendimento de colmos e do caldo do sorgo sacarino (VERMERRIS et al., 2011).

Oliveira et al. (2013), avaliando o desempenho de 10 cultivares de sorgo sacarino em dois níveis de saturação por alumínio (0% e 40%) em condições de campo, observaram que houve a interação significativa entre os genótipos e os ambientes para as características de número de dias para atingir o florescimento, °Brix e a produção de massa verde. O alumínio

tóxico causou pequeno aumento nos valores de °Brix, porém reduziu drasticamente o porte e produção de massa verde, ampliando o ciclo dos cultivares estudados.

Seu caule é dividido em nós e entrenós, com folhas longas e por toda a planta. Sua inflorescência é uma panícula e seu fruto é uma cariopse ou grão seco. Em seu grão ocorre a presença de tanino, uma substância adstringente que confere resistência ao ataque de pássaros e problemas de digestibilidade aos animais (CASTRO et al., 2008). O sorgo do tipo sacarino é de porte alto, podendo atingir mais de 3 metros de comprimento, caracterizado por apresentar principalmente o colmo doce e suculento como o da cana-de-açúcar. Também apresenta vários caules (afilhamento) por planta, onde cada um apresenta uma inflorescência terminal do tipo paniculado. Sua panícula é aberta e produz poucos grãos (DINIZ, 2010).

Os colmos do sorgo sacarino são ricos em sacarose, glicose e frutose. Essa composição de monossacarídeos e dissacarídeos facilita o processo de fermentação, enquanto outras matérias-primas como milho, batata-doce, batata, mandioca e o grão de sorgo, por apresentarem maiores teores de polissacarídeos (amido), podem onerar os custos de produção do etanol. Isto se deve ao fato de que é necessária a quebra do amido em glicose para ocorrer o processo fermentativo, sendo que esta etapa adicional encarece o processo produtivo (ROSOLEM, 1979; ROSOLEM & MALAVOLTA, 1981; WU et al., 2010).

2.1.2. Fenologia do sorgo sacarino

Compreender a fenologia das plantas é importante para se determinar o quanto pode ser comprometido o rendimento de uma cultura caso sejam afetados seus processos fisiológicos, tanto por fatores bióticos ou abióticos (DINIZ, 2010).

A germinação, emergência e crescimento inicial da plântula, consistem numa das fases mais importantes e delicadas para o estabelecimento do sorgo sacarino, devido sua semente ser pequena e possuir pouca reserva. A ocorrência mais rápida possível destas etapas garantirá o sucesso do estande ideal de plantas e, conseqüentemente, um controle eficiente das plantas daninhas até a fase de indução floral, para que a produtividade não seja comprometida significativamente (DINIZ, 2010). No entanto, ainda são escassas informações a respeito de como os estádios iniciais podem afetar o rendimento desta cultura (JARDINE et al., 2009).

Após as plantas de sorgo sacarino passarem pelo estágio vegetativo, quando ainda são insensíveis ao fotoperíodo, inicia-se a fase indutiva ao florescimento. Neste momento,

ocorrendo fotoperíodos indutivos, as plantas de sorgo sofrem mudanças fisiológicas em seu meristema apical, caracterizada pela iniciação do meristema floral (KARANDE et al., 1996).

Sena et al. (2013) estudaram a distribuição e acumulação de açúcares nos entrenós e nas épocas de colheita para dois genótipos de sorgo sacarino (MN 1500 e IS 26833), considerados sensíveis ao fotoperiodismo. Os autores verificaram que, para as condições de Sete Lagoas (MG), os genótipos não apresentaram sensibilidade ao fotoperíodo e que o corte do sorgo deve ser efetuado o mais rente possível do solo, pois nos entrenós da base foi notada uma quantidade significativa de caldo. Foi observado que a indução floral do sorgo sacarino ocorre quando o comprimento do dia é menor que 12 h e 20 min.

Conforme relata a EMBRAPA (2011), o sorgo possui três estádios de crescimento (EC), em que EC1 vai do início da germinação até a iniciação das panículas, EC2 do final de EC1 até o florescimento, e EC3 da floração à maturação fisiológica da planta. Nas três fases, a fotossíntese, a repartição de fotoassimilados, a expansão e divisão celular não devem ser comprometidas, visando uma produtividade ideal para a cultura, que se dá em função da taxa de acumulação de matéria seca diária e da duração do período de armazenamento dos fotoassimilados no grão e ou colmo. A Figura 1 apresenta as fases fenológicas do sorgo sacarino em função dos dias após a emergência das plantas.

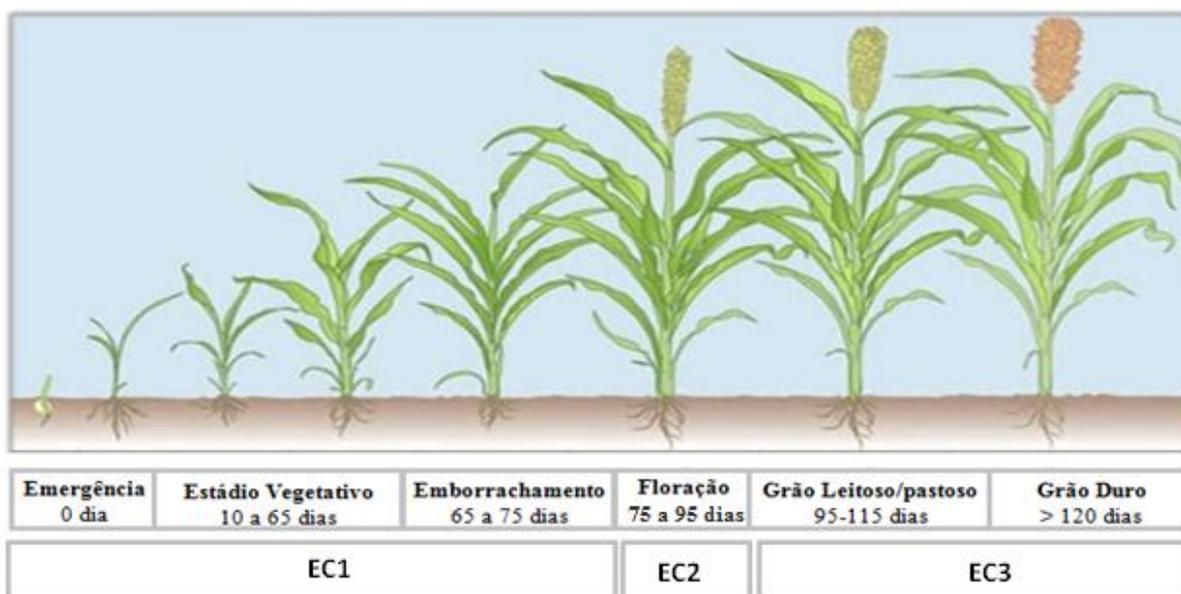


Figura 1. Fases fenológicas do sorgo sacarino.

Fonte: adaptado de Durán (2016).

A produção de grãos é um aspecto de menor importância para os tipos de sorgo sacarino e forrageiro. Os processos fisiológicos mais importantes são aqueles que

proporcionam maior produção de biomassa total e, no caso do sorgo sacarino, àqueles que resultem em maior acúmulo e armazenamento de açúcares nos colmos. Após atingir a floração completa, a planta inicia o processo de acúmulo de açúcares até o estágio de maturação, sendo observado que o estágio compreendido entre o final de grãos leitoso e o de grão maduro é o mais adequado à utilização dos colmos para o processamento industrial (BORGONOVÍ et al., 1982).

O manejo nutricional, sobretudo considerando a adubação com macronutrientes, influencia decisivamente no crescimento e desenvolvimento das culturas. Wamser & Mundstock (2007), estudando os estádios fenológicos mais críticos para a suplementação nitrogenada em cevada, em experimentos de campo nos anos agrícolas de 2000/2001 e considerando doses de N de 70 e 140 kg ha⁻¹, constataram que os estádios mais críticos corresponderam ao início e final do afilhamento, nos quais uma adubação inadequada de N pode comprometer a formação de espiguetas e, conseqüentemente, o rendimento dos grãos. A Figura 2 ilustra a absorção de NPK ao longo das fases fisiológicas do sorgo granífero.

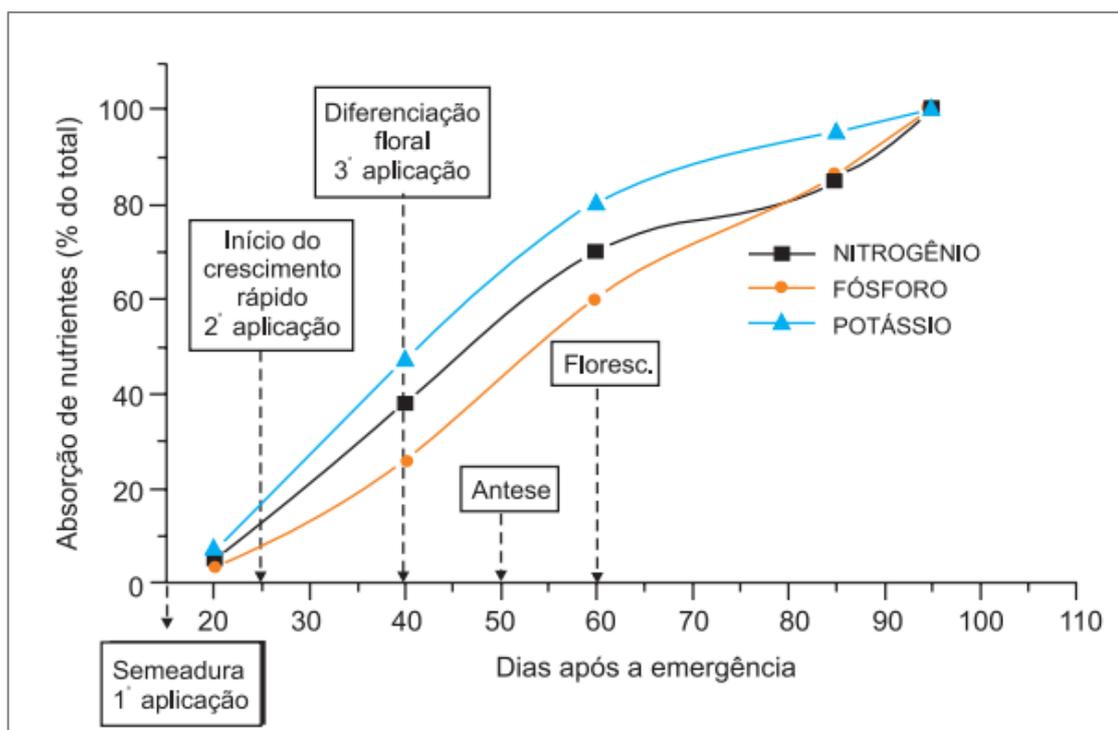


Figura 2. Absorção de NPK pelo sorgo em função de seu desenvolvimento fisiológico.

Fonte: Coelho et al. (2002)

Hammad et al. (2013), estudando os efeitos da aplicação de nitrogênio em diferentes épocas sobre a fenologia do milho, em condições de campo e de clima semiárido do Paquistão, observaram que o tratamento T2 (1/3 de N na fase V2, 1/3 de N no estágio V16 e 1/3 de N no estágio R1) na dose N4 (250 kg N ha⁻¹) proporcionaram maior rendimento (8,38 t ha⁻¹ de grãos), sendo que as plantas de milho acumularam 51 dias para atingirem a fase de pendramento e 102 dias para a fase de maturação.

2.2. Práticas agrícolas para cultivo do sorgo sacarino

O sucesso para o estabelecimento do sorgo sacarino está relacionado a várias práticas agrícolas importantes. Uma das vantagens desta cultura reside no fato de que permite a mecanização completa dos processos de cultivo e colheita. Um bom preparo de solo deve ser almejado, recomendando-se a realização de arações antecipadas, logo após a colheita da cultura antecessora e, antes do plantio do sorgo, eliminar os torrões e palhada de plantas infestantes, permitindo que a superfície do solo esteja o mais nivelado possível, para que a emergência da plântula ocorra de maneira rápida e uniforme, uma vez que a semente do sorgo exige uma boa aderência ao solo (MAY et al., 2013).

Em áreas de reforma de canaviais, deve-se eliminar as soqueiras por método químico, associando posteriormente a subsolagem, principalmente quando há presença de camada compactada subsuperficial. Além disso, o manejo conservacionista do solo é imprescindível em solos preparados convencionalmente, sobretudo em épocas chuvosas, evitando processos erosivos (MAY et al., 2013; TOMAZ & ASSIS, 2013).

A semeadura do sorgo sacarino pode ser realizada na entressafra da cana-de-açúcar e na safrinha após o cultivo da soja, sobretudo no Centro-Oeste. O semeio ocorre nos meses de outubro e novembro, quando realizado na entressafra da cana-de-açúcar, para atender a produção de etanol nos meses de dezembro a março, quando as usinas estão sem cana-de-açúcar para moagem. Na safrinha, o sorgo é semeado em sucessão da soja, entre os meses de janeiro e abril. O atraso na época de plantio pode acarretar perdas significativas na produtividade da cultura, por problemas em função da diminuição da pluviosidade e ou por limitações de radiação solar na fase final do seu ciclo (MAY et al., 2013).

A semente de sorgo tem poucas reservas para promover o desenvolvimento inicial da plântula, que é dependente do vigor do sistema radicular, principalmente para o suprimento

adequado de água e nutrientes do solo. Deste modo, é importante que a semente seja depositada em uma profundidade não superior a 2 cm, sendo comum a utilização de 8 kg de semente por hectare em média (MAY et al., 2013; TOMAZ & ASSIS, 2013).

Neste sentido, o estande de plantas por hectare deve se situar em torno de 100 a 120 mil plantas por hectare, levando-se em conta que o espaçamento entre linha pode variar em função do implemento que será utilizado na colheita. Quando se usa um espaçamento menor, haverá a tendência da produtividade de colmo por área aumentar. Contudo, deve-se atentar para um limite de espaçamento, pois cultivos muito adensados e vigorosos estão sujeitos a diversos problemas, como o aumento da competição intraespecífica e o acamamento, que pode ocorrer em épocas de chuvas intensas e com ventanias, comuns principalmente nos meses de janeiro a março (MAY et al., 2013; TOMAZ & ASSIS, 2013).

Albuquerque et al. (2012) avaliaram a produtividade e a qualidade do caldo de cultivares de sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas, em condições de campo em três localidades no Estado de Minas Gerais. Foram testados dois genótipos (BRS 506 e BRS 507), quatro densidades de plantas (100, 140, 180 e 220 mil plantas ha⁻¹) e quatro espaçamentos entre linhas (50, 70, 90 e 110 cm). Os autores verificaram que o aumento da população e a redução do espaçamento proporcionaram maiores produtividade de massa fresca e de massa do caldo para as duas cultivares.

Nos trabalhos de Uribe e Ticianeli (2014), que estudaram em campo o efeito de número de plantas por hectare (5 plantas m⁻¹ e 10 plantas m⁻¹) sobre as características biométricas e tecnológicas do sorgo sacarino, foi observado que o tratamento com 10 plantas m⁻¹ afetou positivamente os valores de °Brix (19,38%), Pol (15,10%), pureza (77,96%), PC (11,62%) e ATR (118,66 kg). Além disso, a quantidade de massa (TCH) e de açúcar produzida (TPH) também aumentou com o maior estande de plantas, sendo de 56,7 e 8,57 t ha⁻¹, respectivamente.

Além das questões inerentes ao estabelecimento inicial da cultura, pode-se considerar que uma das principais dificuldades enfrentadas pela a cultura do sorgo tem sido o controle de plantas daninhas. O desenvolvimento da cultura é prejudicado não somente pela competição por água e luz, mas também pelos nutrientes, principalmente o nitrogênio. No Brasil, apenas o ingrediente ativo atrazine possui registro para aplicação em pré e pós-emergência inicial na cultura do sorgo, sendo seu controle eficaz em um número modesto de gramíneas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011).

Reis (2014) estudou combinações de arranjos de plantas associados à aplicação ou não de herbicidas sobre a dinâmica das plantas daninhas e produtividade do sorgo sacarino. O experimento ocorreu em condições de campo, utilizando três arranjos de plantas (0,25 m; 0,45 m; 0,45-0,45-0,90 m) todos com populações finais de 120.000 plantas ha⁻¹, associando ou não herbicidas isolados ou em mistura. O autor concluiu que a redução no espaçamento entrelinhas aumentou a massa fresca do sorgo, enquanto a aplicação da mistura atrazine+s-metolachlor pode comprometer o crescimento e a produtividade da cultura quando aplicados em doses acima de 960 g ha⁻¹.

O sorgo sacarino tem-se mostrado muito suscetível ao ataque de insetos-pragas durante seu o ciclo de cultivo. As pragas que atacam folhas e colmos tem merecido maior atenção. A lagarta-do-cartucho [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)] tem sido apontada como uma das espécies mais problemáticas em lavouras de sorgo sacarino no Brasil, encontrada se alimentando do cartucho das plantas. A broca-da-cana [*Diatraea saccharalis* (Fabr.)] tem provocado danos ao sorgo similares aos que promove na cana-de-açúcar. Os danos diretos decorrentes do ataque desta praga consistem na abertura de galerias, morte da gema apical, tombamento, encurtamento do entrenó, enraizamento aéreo e crescimento das gemas laterais nas plantas. Os danos indiretos estão relacionados com a entrada de micro-organismos oportunistas pela abertura de galerias no colmo, como os fungos *Fusarium moniliforme* e *Colletotricum falcatum*, que promovem a inversão da sacarose e a diminuição da pureza do caldo, levando a menor rendimento de açúcar e a contaminações da fermentação alcoólica (MAY et al., 2013).

Cruz et al. (2014a) analisaram, em condições de campo, os efeitos da adubação nitrogenada e potássica de cobertura sobre a infestação de *Diatraea saccharalis* em sorgo sacarino. Os tratamentos utilizados para avaliação do ataque foram sem adubação de cobertura e com adubação de cobertura, considerando as doses de N e K₂O (210 kg ha⁻¹ e 180 kg ha⁻¹, respectivamente), sendo as principais características estudadas a intensidade de infestação, o tamanho de plantas e tamanho de galerias causadas por *D. saccharalis*. Os autores observaram que a maior intensidade de infestação ocorreu para os tratamentos com adubação nitrogenada e potássica em cobertura. No entanto, não notaram diferenças significativas na altura de plantas e no tamanho das galerias.

Dentre as doenças que afetam o sorgo sacarino, destacam-se a antracnose (*Colletotrichum sublineolum*), o míldio (*Peronosclerospora sorghi*), a helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*), a ferrugem (*Puccinia purpurea*), o Ergot ou doença açucarada

(*Claviceps africana*) e a podridão seca (*Macrophomina phaseolina*). Apresentam potenciais para causar danos à cultura o mosaico-da-cana-de-açúcar (SCMV) e os nematoides, principalmente *Pratylenchus* spp. e *Meloidogyne* spp., que podem ser comuns em áreas plantadas com cana-de-açúcar (MAY et al., 2013).

Para a cultura do sorgo sacarino o produtor pode lançar mão do uso de agroquímicos de controle hormonal como alternativa no aumento do vigor das plantas, redução do porte e inibição do lançamento floral. Essa técnica permite a redução da produção de sementes, que é indesejável pelo consumo de carboidratos da planta que poderiam ser processados na indústria, além de reduzir o porte da planta e evitar acamamento. Em cana-de-açúcar intensificou-se o uso do ethephon para impedir o florescimento e favorecer o acúmulo de sacarose no colmo (ARAÚJO et al., 2012).

Almodares et al. (2013) avaliaram os efeitos de diferentes doses de nitrogênio (0, 100, 200, 300 kg de ureia ha⁻¹) e concentrações de ethephon (0, 800, 1000, 1200 ppm) em parâmetros de crescimento, teor de carboidratos e produção de etanol de sorgo sacarino, em condições de campo no Irã. Os resultados mostraram que a altura e diâmetro da planta aumentaram com a aplicação de até 100 kg ha⁻¹ de ureia. Maiores rendimentos de biomassa foram obtidos com 300 kg ha⁻¹ de ureia e 1.200 ppm de ethephon. Os parâmetros tecnológicos como °Brix, teor de carboidratos totais e sacarose também foram maiores com a aplicação de 300 kg ha⁻¹ de ureia e 1.200 ppm ethephon.

2.3. Exigências nutricionais e adubação

É comum a afirmação de que o sorgo é uma planta pouco exigente quanto à fertilidade do solo. No entanto, o sorgo sacarino, por ser cultivado no verão com boa disponibilidade hídrica, maior radiação solar e temperatura adequada, pode expressar maior potencial produtivo, exigindo maior aporte nutricional (MAY et al., 2013).

Nas recomendações de adubação, deve-se levar em conta que existe uma variação considerável devido as diferentes condições edafoclimáticas e ao material genético utilizado entre as regiões produtoras. Conhecer essas condições é imprescindível para se buscar maiores produtividades e, conseqüentemente, maior lucratividade da atividade agrícola, uma vez que possibilitam o manejo racional da adubação (COELHO et al., 2002).

Os nutrientes mais exigidos pela maioria das culturas, não necessariamente nesta ordem, são o nitrogênio (N), o potássio (K) e o fósforo (P), sendo que a resposta das culturas à adubação é mais dependente da interação entre estes elementos do que de seus efeitos isolados (MALAVOLTA et al., 1997).

No que diz respeito à exportação dos nutrientes pela cultura do sorgo, o P e o N são quase totalmente translocados para os grãos, seguidos pelo magnésio (Mg), K e cálcio (Ca). Este fato é um indicativo de que a incorporação dos restos culturais do sorgo devolve ao solo parte dos nutrientes, principalmente K, Ca e Mg, contidos na palhada. No entanto, mesmo que a palhada seja mantida na área de produção e, em virtude das grandes quantidades que são exportadas pelos grãos, há a necessidade de reposição desses nutrientes para os cultivos posteriores (MAY et al., 2013).

Para a cultura do sorgo sacarino, Soares et al. (2014) estudaram o crescimento e o acúmulo de macronutrientes de quatro híbridos de sorgo sacarino (CVSW80007, CVSW80147, CVSW82028 e CVSW82158). O experimento foi conduzido em área de renovação de cana-de-açúcar no município de Uchoa-SP, coletando-se as plantas em intervalos de 15 dias a partir do décimo dia após a emergência (DAE). Os autores observaram que a sequência decrescente de exportação de nutrientes, considerando colmos e grãos, para as cultivares CVSW80007, CVSW80147 e CVSW82158 foi respectivamente $K > N > Ca > Mg > P > S$, enquanto para CVSW82028 foi $K > N > Mg > Ca > P > S$.

Pivetta (2014) também estabeleceu as curvas de acúmulo de matéria seca e nutrientes e verificou a qualidade tecnológica de híbridos de sorgo sacarino, na região de Selvíria-MS. Foram utilizados os híbridos Advanta 81981 e CV 147, sendo as amostragens realizadas a cada 15 dias após a emergência das plantas e separadas em folhas, colmos e ráquis. O autor constatou que estes dois cultivares acumularam matéria seca durante todo o ciclo, ocorrendo o máximo acúmulo de nutrientes no período de florescimento das plantas. A ordem decrescente de exportação de nutrientes foi $K > N > Mg > Ca > P > S > Fe > Mn > Zn > Cu$. Além disso, estes híbridos modernos de sorgo sacarino acumulam o dobro de P e de K na parte aérea, em relação às antigas variedades.

Estes e outros trabalhos corroboram o fato de que o sorgo sacarino acumula e exige K em maior quantidade, seguido pelo N e por menores quantidades de P. Santos et al. (2013) afirmaram que, para se atingir produtividades que viabilizem a produção de biocombustíveis a partir de biomassa vegetal, a cultura do sorgo sacarino necessitaria em torno de 280, 80 e 420 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O.

O K tem o papel fundamental na síntese de proteínas, carboidratos, açúcares, ácidos orgânicos, entre outras, estando todas essas características relacionadas com a qualidade dos produtos agrícolas (QUAGGIO, 1994). O K interage com quase todos os outros nutrientes essenciais à planta. Ele é importante para a ativação enzimática, uso eficiente da água, fotossíntese, transporte de açúcares, água e movimento de nutrientes, síntese de proteínas, formação de amido e qualidade da cultura. A qualidade de muitos produtos é influenciada pelo K, como o teor de açúcar na cana-de-açúcar, tamanho dos frutos cítricos, resistência ao transporte e ao armazenamento no caso de hortaliças e de outras culturas (POTAFOS, 1996).

O N é um macronutriente primário que tem o maior e mais rápido efeito sobre o crescimento vegetal, sendo exigido pelas culturas em geral em maior quantidade que qualquer outro macronutriente (MALAVOLTA et al., 1997). Suas funções básicas são favorecer o crescimento, promover o desenvolvimento do sistema radicular, melhorando a absorção dos outros nutrientes presentes na solução do solo, e participar da composição das proteínas de todas as plantas e animais (CAMPBELL et al., 2004).

O P desempenha função-chave na fotossíntese, no metabolismo de açúcares, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, no alargamento das células, na transferência da informação genética, na formação inicial e no desenvolvimento da raiz e no crescimento da planta. Além disso, acelera a cobertura do solo para a proteção contra a erosão, afeta a qualidade das frutas, dos vegetais e dos grãos e é vital para a formação da semente. É um macronutriente que aumenta a eficiência de utilização da água e de todos os outros nutrientes, sendo também responsável pela antecipação da maturação (POTAFOS, 1996).

Além de toda sua essencialidade para o desenvolvimento vegetal, o P exerce uma função muito importante no processo industrial da cana-de-açúcar. Cesar et al. (1987) explicaram que a composição do caldo da cana-de-açúcar é um dos fatores que afetam as diversas operações unitárias do processamento industrial, sobretudo na purificação do caldo e fermentação alcoólica. Dentre todas as análises físico-químicas, a análise quantitativa da concentração de P é de extrema importância, uma vez que este elemento influencia o processo de clarificação para a produção de açúcar, bem como na fermentação alcoólica, seja na multiplicação, crescimento celular, aumentando a eficiência e o rendimento do processo e na qualidade do produto final.

Deve-se considerar que ocorrem interações entre os nutrientes que podem favorecer ou desfavorecer sua absorção pelas culturas. O N, quando disponibilizado na forma amoniacal e

junto com o P na faixa de adubação, atua direta e indiretamente no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, uma vez que promove o aumento da eficiência da adubação fosfatada devido ao abaixamento do pH na superfície das raízes. Quando se associa ao K, na forma de cloreto de potássio, este efeito é potencializado, pelo fato do íon cloreto diminuir a taxa de nitrificação e manter o nitrogênio do solo na forma amoniacal, evitando-se perdas por lixiviação do NO_3^- . Além disso, o potássio está envolvido no transporte ascendente do nitrato das raízes para a parte aérea e descendente do malato para as raízes, assim como na síntese proteica (BLAIR et al, 1971; YAMADA,2002).

Melo et al. (2014) quantificaram, em casa-de-vegetação, o efeito de deficiências nutricionais nos parâmetros fisiológicos de plantas adultas de sorgo sacarino. Os tratamentos consistiram de soluções nutritivas com ausência de um dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mn, Fe, Cu e Zn), além de uma testemunha com solução nutritiva completa. Cinquenta dias após o transplante das plantas de sorgo nas soluções, foi avaliado o CO_2 consumido, a concentração de CO_2 no mesofilo foliar, a taxa de fotossíntese e aquecimento metabólico foliar (variação na pressão de vapor, transpiração, condutância estomática) e uso da água. A taxa fotossintética e a eficiência no uso da água foram afetadas pela deficiência de todos os nutrientes, exceto Zn e Mn. A transpiração não foi afetada pela ausência de Zn, Mn e S. A ausência dos demais nutrientes afetou o desempenho fisiológico das plantas adultas de sorgo sacarino.

Em relação aos micronutrientes, poucas pesquisas apontam doses e padrões de absorção destes elementos em sorgo sacarino (PIVETTA, 2014). Nos trabalhos de Coelho (2012), foi constatado que a cultura do sorgo possui alta sensibilidade à deficiência de Fe e Zn, sendo este último elemento o micronutriente mais limitante à produção do sorgo no Brasil.

Pivetta (2014) constatou que os híbridos Advanta 81981 e CV 147, cultivados em LATOSSOLO Vermelho distrófico textura argilosa, apresentaram acúmulo de micronutrientes na parte aérea na seguinte ordem: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$. Os valores foram mais expressivos no período compreendido entre o florescimento e início de formação dos grãos. O autor verificou que a ordem de acúmulo de micronutrientes foi semelhante à encontrada por Franco (2011) para o sorgo forrageiro, demonstrando que as características de requerimento nutricional foram iguais entre os morfotipos de sorgo, porém em quantidades diferentes.

Desta maneira, May et al. (2013) enfatizaram que o sorgo sacarino é uma cultura exigente em fertilidade do solo para atingir altas produtividades de biomassa para produção de

etanol. Com isso, conhecer a demanda nutricional e o potencial produtivo das cultivares disponíveis é essencial para realizar o manejo da adubação de forma mais eficiente do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido em área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos-UFSCar, localizado no Município de Araras-SP, nas coordenadas geográficas de 22°18'S e 47°23'O, altitude de 690 metros, no período compreendido entre dezembro de 2015 a maio de 2016. O clima local é do tipo Cwa (Köppen, 1948), mesotérmico com verões quentes e úmidos e invernos secos, com precipitação anual média de 1.430 mm e temperatura média anual de 21,45°C (GONÇALVES, 2005).

As informações climáticas registradas durante o período de condução do experimento (Figura 1) foram coletadas junto à Estação Meteorológica Automática-EMA do Centro de Ciências Agrárias-CCA-UFSCar.

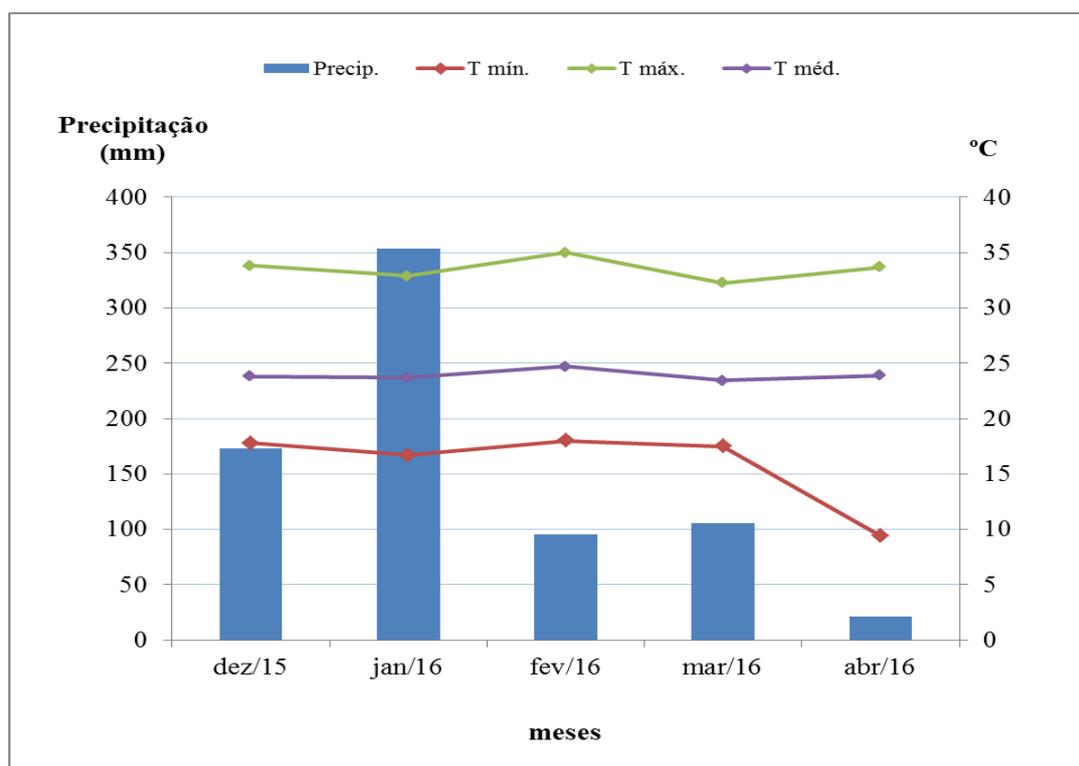


Figura 3. Informações climáticas mensais de precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) registradas durante o período de execução do experimento.

O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO Vermelho distrófico A moderado (EMBRAPA, 2013). As características químicas e a granulometria da camada arável deste solo, antes da implantação do experimento, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas e granulometria de amostras da camada de 0-20 cm de um LATOSSOLO Vermelho distrófico.

Prof.	pH	¹ MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	² SB	³ CTC _t
	Ca Cl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----						
	5,7	34,5	37,5	3,6	8,9	4,4	28,5	0,4	16,9	45,4
0-20 cm	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila
	%		-----mg dm ⁻³ -----					-----g kg ⁻¹ -----		
	37,2	29,0	0,1	14,0	49,4	234	3,5	150	190	660

¹MO=COx1,724; ²SB=Ca+Mg+K; ³CTC_t=SB+(H+Al); ⁴V=(SB/CTC_t)x100.

A compactação do solo (camada 0-60 cm) foi quantificada indiretamente através da resistência à penetração (Figura 3), utilizando o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar/Stolf (Stolf et al.,1983). As informações de campo foram obtidas em números de impactos dm⁻¹ (N) e transformadas em kgf cm⁻² através da equação $R_{(kgf/cm^2)} = 5,6 + 6,98 N$ (STOLF et al., 1983). Posteriormente, os resultados foram multiplicados por 0,098 para transformação em MPa.

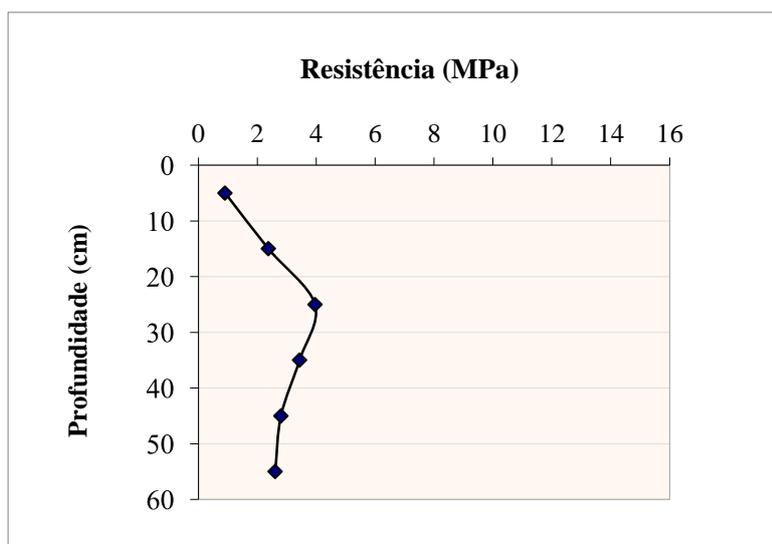


Figura 4. Resistência à penetração (MPa) do solo da área experimental.

3.2. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (Figura 4), constituído por quatro tipos de adubação, 0 %, 50%, 100 % e 150 % da dose recomendada pelo Boletim 200 do Instituto Agronômico de Campinas-IAC (BOLONHEZI et al., 2014). Cada parcela experimental constitui-se por 10 linhas de 7 m de comprimento, sendo a área útil formada pelas seis linhas centrais, desprezando-se 1 m do início e do final da linha, totalizando 17,5 m².

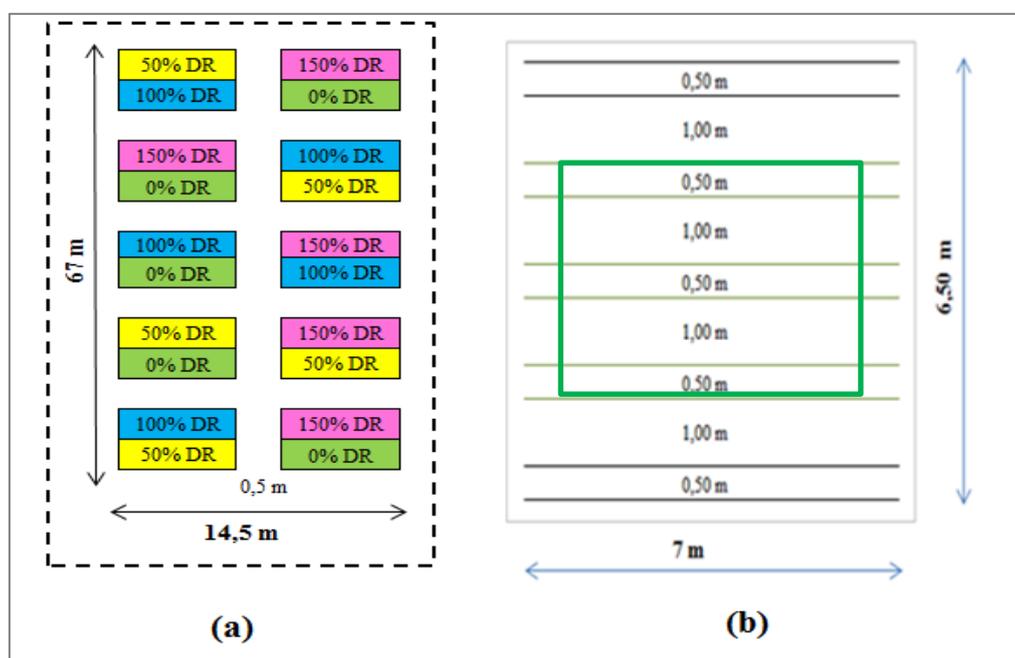


Figura 5. Esquema de distribuição das parcelas e subparcelas do experimento (a); detalhe de uma unidade experimental, quadro verde representa a área útil da parcela (b).

Os resultados médios das variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância (teste F) e quando significativos foram desdobrados para comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de significância e análise de regressão polinomial, empregando o software estatístico R (R CORE TEAM, 2016).

3.3. Instalação e condução do experimento

O preparo do solo iniciou-se aos 60 dias antes da semeadura, utilizando-se $1,7 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico (PRNT de 85,6%) para elevar a saturação por bases (V%) a 70 % (Bolonhezi et al., 2014). Posteriormente, realizou-se aração e gradagem da área experimental para incorporação do calcário aplicado. Vinte dias antes do plantio procedeu-se o controle de plantas daninhas com os herbicidas dessecantes glifosato e 2,4-D, na dosagem de 1 e 2 L ha^{-1} do produto comercial, respectivamente.

A semeadura manual ocorreu em 15/12/2015, em solo gradeado, destorroado e nivelado, sendo que os sulcos foram adotados com espaçamento em fileiras duplas de $1,00 \times 0,50 \times 0,50 \text{ m}$, adaptado para bitolas de colhedoras de cana-de-açúcar (Figura 5).

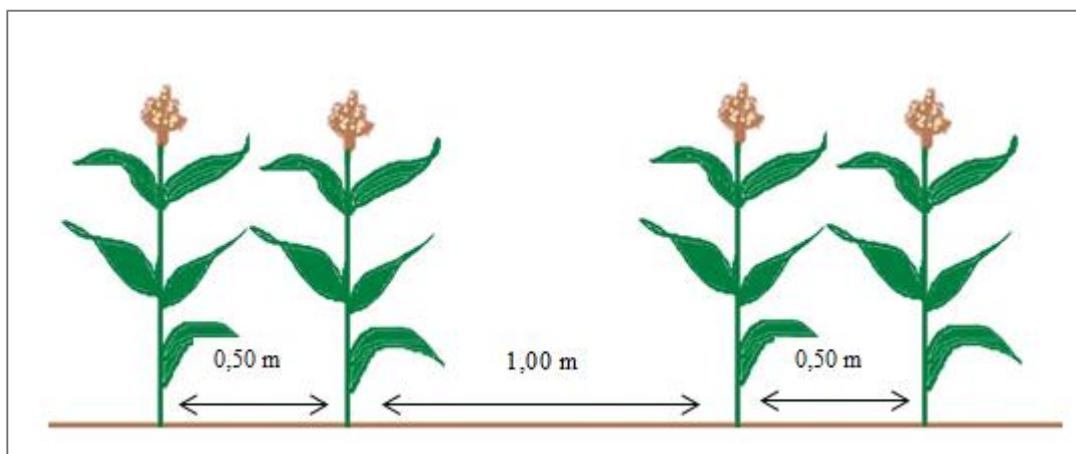


Figura 6. Esquema de espaçamento em fileiras duplas ($1,00 \times 0,50 \times 0,50 \text{ m}$), adotado na instalação da cultura.

O material genético utilizado foi o sorgo sacarino híbrido NS 105 da Nexsteppe Inc., insensível ao fotoperíodo. A semente foi depositada em profundidade de três centímetros e o fertilizante entre oito a dez centímetros de profundidade. A densidade de plantio foi de 8 sementes metro^{-1} , realizando-se, após emergência do sorgo sacarino, o desbaste para se atingir uma população final de cerca de $120.000 \text{ plantas ha}^{-1}$.

A dose recomendada (DR) de adubação baseou-se nas instruções de Bolonhezi et al. (2014) e de Rajj et al. (1997). Para o nitrogênio (N), considerou-se o nível de resposta do solo como médio, uma vez que a área se encontra em pousio por tempo não superior a um ano e a condição da semeadura não ser realizada sobre a palhada de cana-de-açúcar crua, adotando-se uma adubação de plantio de 20 kg ha^{-1} e de cobertura de 90 kg ha^{-1} , totalizando 110 kg ha^{-1} de

N. A fonte direta de nitrogênio utilizada foi o nitrato de amônio (30% de N) e a indireta o superfosfato simples (3% de N).

As DRs de fósforo (P) e de potássio (K) foram estabelecidas levando-se em conta o teor destes nutrientes no solo (Tabela 2) e os limites de interpretação sugeridos por Raij et al. (1997). Para o P, o teor encontrado no solo foi considerado médio, recomendando-se 80 kg ha⁻¹. Para o K, o teor foi considerado alto, recomendando-se 120 kg ha⁻¹, parcelando-se 50 kg ha⁻¹ de K na semeadura e o restante em cobertura (Bolonhezi et al., 2014). As fontes empregadas foram o superfosfato simples (17% de P₂O₅) e o cloreto de potássio (58% de K₂O).

Bolonhezi et al. (2014) recomendam, independentemente da fertilidade do solo, a aplicação de até 30 kg ha⁻¹ de enxofre (S). Este elemento também compõe o fertilizante superfosfato simples (11% de S). De acordo com os tratamentos estudados (Tabela 3), o aporte de enxofre proveniente da adubação fosfatada foi de 26 kg ha⁻¹ para tratamento de 50% da DR, 52 kg ha⁻¹ em 100% da DR e 78 kg ha⁻¹ em 150% da DR.

Para a adubação com micronutrientes, foi necessário o aporte de 2 kg ha⁻¹ de boro, uma vez que a análise do solo (Tabela 2) apontou baixa disponibilidade apenas deste micronutriente (Raij et al., 1997; Bolonhezi et al., 2014).

A Tabela 3 apresenta resumidamente as doses de fertilizantes aplicadas em seus respectivos tratamentos.

Tabela 3. Doses de nutrientes aplicadas em seus respectivos tratamentos, considerando DR 110-80-120 kg ha⁻¹ de NPK. Detalhes dos cálculos podem ser obtidos no Anexo II.

Trat.	Área experimental	Adubação de plantio				Adubação de cobertura		Adubação com micronutrientes	
		kg ha ⁻¹							
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	N	K ₂ O	B	Zn
0% DR	227,5 m ²	0	0	0	0	0	0	0	0
50% DR	227,5 m ²	10	40	25	26	45	35	2	0
100% DR	227,5 m ²	20	80	50	52	90	70	2	0
150% DR	227,5 m ²	30	120	75	78	135	105	2	0

Os fertilizantes foram homogeneizados através de uma betoneira com capacidade de 200 litros, sendo que a aplicação dos fertilizantes no plantio foi de 19,02 g m⁻¹ para o

tratamento com 50% DR, 38,04 g m⁻¹ para o tratamento de 100% DR e 57,07 g m⁻¹ para o tratamento de 150% DR.

A adubação de cobertura foi realizada aos 20 DAE, quando as plantas de sorgo sacarino apresentavam quatro folhas totalmente expandidas. A aplicação de fertilizantes em cobertura foi de 13,54 g m⁻¹ para o tratamento com 50% DR, 27,08 g m⁻¹ para o tratamento de 100% DR e 40,63 g m⁻¹ para o tratamento de 150% DR.

O controle de plantas infestantes foi realizado em pós-emergência com herbicida à base de atrazine na dosagem de 3 L ha⁻¹ do produto comercial. Procederam-se duas capinas manuais para controle de capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.). Para o controle de pragas, foram realizadas pulverizações com o inseticida lambda-cialotrina na dosagem de 300 mL ha⁻¹, para controle da lagarta-do-cartucho [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)] e da broca-da-cana-de-açúcar [*Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (Lepidoptera: Crambidae)]. Adicionalmente, devido à infestação por insetos sugadores, como o percevejo-barriga-verde (*Dichelops furcatus*), foi realizada uma aplicação com o inseticida clorotraniliprole na dosagem de 125 mL ha⁻¹.

Quando as plantas de sorgo sacarino alcançaram o estágio de pré-florescimento (folha bandeira visível, Figura 6) procedeu-se a aplicação do inibidor de florescimento Ethrel[®] 720, princípio ativo ethephon, na dosagem de 1,25 L ha⁻¹.



Figura 7. Detalhe de uma planta de sorgo sacarino apresentando folha bandeira visível (indicada pela seta).

3.4. Avaliações biométricas e da produtividade

Para as avaliações biométricas, foram colhidas 20 plantas aleatoriamente de cada uma das seis linhas da área útil da parcela, aos 105 dias após a emergência das plantas (DAE). Os procedimentos foram os seguintes:

- a) Altura da planta (m):** medição com régua graduada, partindo-se do entrenó basal do colmo até o ápice da panícula;
- b) Diâmetro do colmo (mm):** diâmetro no terço médio do colmo, empregando-se paquímetro analógico.
- c) Número de entrenós (nº nós planta⁻¹):** foi mensurada a quantidade de nós das plantas selecionadas.
- d) Produção de colmos por hectare (PC):** calculada pela massa do colmo de plantas contidas em um metro linear de cada uma das seis linhas da área útil da parcela, despalhadas e sem panículas, sendo os valores expressos em t ha⁻¹.
- e) Biomassa Verde (BV):** calculada pela massa do colmo de plantas contidas em um metro linear de cada uma das seis linhas da área útil da parcela, com folhas e panículas, sendo os valores expressos em t ha⁻¹.
- f) Biomassa Seca (BS):** determinada através da BV com desconto da umidade;
- g) Massa seca da parte aérea (g):** selecionaram-se 10 plantas de 6 metros lineares por parcela. O material foi desintegrado em forrageira, retirando-se uma subamostra e determinando-se sua massa fresca. Posteriormente, estas subamostras foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa de circulação e renovação de ar forçado a 65°C, até atingirem massa constante.
- h) Umidade:** obtida pela diferença entre massa fresca e massa seca da parte aérea, conforme procedimento realizado no item g.

3.5. Dose de Produtividade Máxima (PM) e Dose de Produtividade Máxima Econômica (PME)

A dose de produtividade máxima (PM) foi calculada derivando-se a equação de regressão entre produção de colmos por hectare (PC) e as doses de NPK (ALVAREZ, 1991).

A dose mais econômica de NPK para a produtividade do sorgo sacarino foi calculada conforme Rajj (2011). Considerou-se o preço pago pela tonelada de cana-de-açúcar no mês de dezembro de 2015, que foi de R\$ 56,39 t⁻¹ (IEA, 2016). O preço do nitrato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio utilizados neste estudo basearam-se nas informações disponíveis nos pontos de comercialização locais, tomando-se o mês de novembro de 2015 como referência, os quais somaram R\$4,60 kg⁻¹. Os preços foram deflacionados pelo Índice Geral de Preços - IGP-DI da Fundação Getúlio Vargas, com base no mês de abril de 2016. Desta forma, os preços ajustados foram de R\$58,21 para a tonelada de cana-de-açúcar e R\$4,80 por quilograma de fertilizante.

A partir destas informações, foi calculada a relação de equivalência: kg de NPK aplicado/kg de cana-de-açúcar comercializada = R\$ 0,0825. Assim, a dose mais econômica foi calculada com base na derivada da equação de regressão quadrática entre produção de colmos por hectare (PC) e as doses de NPK aplicadas, igualando-a a relação de equivalência:

$$\frac{dy}{dx} ax^2+bx+c = \frac{\text{R\$/kg NPK aplicado}}{\text{R\$/kg de cana comercializada}} \quad [\text{Eq.1}]$$

3.6. Análises Tecnológicas do caldo

Para a avaliação da qualidade tecnológica do caldo foram colhidas plantas contidas em um metro linear de cada uma das seis linhas da área útil da parcela, despalhadas e sem panículas, aos 105 dias após a emergência das plantas (DAE). Realizou-se a desintegração do material em aparelho tipo forrageira, com posterior homogeneização e seleção de amostra de 500 g para retirada do caldo em prensa hidráulica (250 kgf cm⁻²) durante um minuto.

O caldo extraído foi utilizado para as determinações químicas de qualidade e o bagaço para a avaliação da fibra pelo Laboratório de Análises e Simulação Tecnológica (LAST-UFSCar), utilizando a metodologia do Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose

(PCTS), desenvolvida pela CONSECANA (2006). Foram realizadas as seguintes determinações:

a) °Brix (%): a quantidade de sólidos solúveis presentes no caldo foi determinada por um refratômetro de bancada;

b) Pol do caldo (%): porcentagem aparente de sacarose no caldo, determinada pela polarização direta de solução de peso normal, utilizando um sacarímetro e calculada pela equação:

$$S = (1,00621 \times LAI + 0,05117) \times (0,2605 - 0,0009882 \times B) \quad [Eq.2]$$

Onde:

LAI: leitura sacarimétrica obtida com a mistura clarificante à base de alumínio

B: Brix do caldo (%).

c) Fibra (%): considerada a porcentagem em massa de matéria seca insolúvel presente na biomassa, determinada pelo método de Tanimoto (Norma N-143), calculada pela seguinte equação:

$$F = [(100 \times PBS) - (PBU \times B)] \div [5 \times (100 - B)] \quad [Eq.3]$$

Onde:

PBS: massa do bagaço seco (g);

PBU: massa do bagaço úmido (g);

B: Brix do caldo (%)

d) ATR (kg t⁻¹): açúcar total recuperável, variável que quantifica os açúcares redutores totais presentes na amostra.

$$ATR = 9,5263 \times PC + 9,05 \times ARC \quad [Eq.4]$$

Onde:

PC: Pol da cana: $PC = POL \times (1 - 0,01 \times F) \times C$

$C = 1,0313 - 0,00575 \times F$

ARC: Açúcares redutores da cana: $ARC = AR \times (1 - 0,01 \times F) \times C$

e) AR (%): açúcares redutores, estes determinam a quantidade de açúcar invertido, compreendendo glicose, frutose e demais substâncias redutoras presentes na amostra;

$$AR = 3,641 - 0,0343 \times \text{Pureza (\%)} \quad [Eq.5]$$

f) Pureza (%): relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contida em uma solução açucarada.

$$P = 100 \times \text{Pol} / \text{Brix} \quad [\text{Eq.6}]$$

3.7. Estimativa da fertilidade do solo de áreas de reforma de cana-de-açúcar

A estimativa da fertilidade do solo das camadas aráveis de áreas de reforma de cana-de-açúcar foi efetuada a partir de 178 amostras de solo analisadas pelo Laboratório de Análise Química de Solos e Planta da Universidade Federal de São Carlos, no período compreendido entre 2015/16. Este levantamento foi realizado para se ter ideia da fertilidade dessas áreas, aptas ao cultivo do sorgo sacarino.

Os parâmetros analisados foram o pH, matéria orgânica (M.O.), P resina e K^+ , determinados pela metodologia descrita por Raij et al. (2001). Os dados foram tabulados e inseridos no programa MS Excel[®] para classificá-los nas faixas de fertilidade indicadas pelo Boletim Técnico IAC 100 (Raij et al., 1997).

A interpretação da acidez considerou as faixas muito alta (até 4,3), alta (4,4 a 5,0), média (5,1 a 5,5), baixa (5,6 a 6,0) e muito baixa (maior que 6,0). A M.O., apesar de não ser um parâmetro adequado para prever a disponibilidade de nitrogênio em solos, nas condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo, é útil para dar ideia da textura do solo. As faixas de valores consideradas para a matéria orgânica foram de até de 15 g dm^{-3} para solos arenosos, entre 16 e 30 g dm^{-3} para solos de textura média e de 31 a 60 g dm^{-3} para solos argilosos. Valores acima de 60 g dm^{-3} indicam acúmulo de matéria orgânica no solo geralmente por condições de má drenagem ou acidez elevada (Raij et al., 1997).

A interpretação dos teores de P considerou as faixas para culturas anuais, sendo muito baixo (0 a 6 mg dm^{-3}), baixo (7 a 15 mg dm^{-3}), médio (16 a 40 mg dm^{-3}), alto (41 a 80 mg dm^{-3}) e muito alto (maior que 80 mg dm^{-3}). Para o K^+ , os limites de interpretação dos teores considerados foram muito baixo (0 a $0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), baixo ($0,8$ a $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), médio ($1,6$ a $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), alto ($3,1$ a $6,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e muito alto (maior que $6,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Raij et al., 1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características Biométricas e Produtividade

A Tabela 4 apresenta os valores médios e o resumo da ANOVA dos parâmetros biométricos e da produtividade de plantas de sorgo sacarino avaliadas aos 105 DAE. Observou-se em todas as variáveis que não ocorreram efeitos significativos ($p \leq 0,05$) entre as doses de NPK estudadas. Os coeficientes de variação situaram-se entre 3 e 19%, indicando boa precisão experimental.

Tabela 4. Valores médios de parâmetros biométricos e de umidade (%) de sorgo sacarino cultivar NS 105, cultivado em diferentes doses de adubação NPK.

Tratamento	PC	BV	BS	MSPA	Umidade (%)	Altura (m)	Diâmetro (mm)	n° entrenós	
	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	g planta ⁻¹	%	m	mm	entrenós planta ⁻¹	
Doses NPK	0% DR	58,60	85,29	28,68	139,65	66,80	2,99	14,77	11,01
	50% DR	67,70	96,76	30,52	164,96	68,40	2,97	13,30	10,94
	100% DR	67,76	93,80	28,04	135,37	70,00	2,90	14,56	10,54
	150% DR	72,14	101,97	31,14	150,08	69,20	3,00	13,39	10,78
DMS		20,38	26,30	10,49	50,51	5,13	0,44	2,65	2,21
Teste F	Bloco	0,62 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,52 ^{ns}	2,53 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,74 ^{ns}
	Doses	1,38 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,20 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,16 ^{ns}
CV (%)		16,30%	14,82%	18,87%	18,23%	3,98%	7,98%	10,08%	10,88%

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. ns: não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%.

PC: produção de colmos; BV: biomassa verde; BS: biomassa seca; MSPA: massa seca da parte aérea.

Considerando a produção de colmos (PC), uma das características mais importantes para se avaliar o rendimento da cultura, é válido afirmar que, independentemente de se aplicar ou não NPK ao genótipo de sorgo sacarino testado e nas condições experimentais em questão, a produtividade será estatisticamente equivalente. Os fatores que podem estar associados a este resultado podem estar ligados a ecofisiologia do sorgo sacarino e a própria fertilidade inicial do solo.

Fatores ambientais são fundamentais para a produção vegetal. Especialmente para o sorgo, altas intensidades luminosas, temperaturas médias em torno de 26°C e disponibilidade hídrica promovem acúmulo considerável de fitomassa (CASTRO et al., 2008). Com exceção do mês de abril (Figura 2), quando as plantas de sorgo sacarino se encontravam no estágio de maturação (EC3), todas as condições ambientais elencadas foram favoráveis, sendo determinantes para o bom desenvolvimento da cultura especialmente no tratamento 0% DR. Além disso, foi evidente a adaptabilidade do sorgo sacarino a uma condição menos favorável de fertilidade do solo.

A ausência de resposta de variáveis biométricas e de produtividade às doses crescentes de adubação NPK está intimamente relacionada à fertilidade do solo. Em solos deficientes, a adição de nutrientes promove incrementos consideráveis de produção, que atingem o ponto máximo com uma quantidade suficiente e decrescem com um fornecimento excessivo. No entanto, em solos de média a alta fertilidade, pode ocorrer ausência de resposta à adubação ou ainda efeitos depressivos sobre a produtividade (RAIJ, 2011).

Na Tabela 5 são apresentadas as quantidades teóricas de nutrientes aportados neste experimento, sem considerar as perdas sofridas durante o processo de aplicação.

Tabela 5. Quantidades teóricas de nutrientes fornecidos ao sorgo sacarino cultivar NS 105, nos diferentes tratamentos com doses de NPK.

Tratamento	Quantidade teórica de nutrientes aportados					
	kg ha ⁻¹					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	B	Zn
*0% DR	¹ 69	² 172	³ 340	58	0,2	7
50% DR	124	212	400	84	2,2	7
100% DR	179	252	460	110	2,2	7
150% DR	234	292	520	136	2,2	7

* considerando a fertilidade inicial do solo, conforme Tabela 2.

¹ N estimado pelo teor de M.O/20 e taxa de mineralização de 2% ao ano (Raij, 2011).

² K x 1,205 = K₂O; 1 mmol_c dm⁻³ = 39,102 mg dm⁻³

³ P x 2,293 = P₂O₅

Santos et al. (2013) comentaram que, pela quantidade de nutriente extraída por tonelada de matéria seca produzida, o sorgo sacarino necessitaria de 280 kg de N, 80 kg de P₂O₅ e 420 kg de K₂O para uma produtividade de biomassa de em média 35 t ha⁻¹, considerada adequada para produção de biocombustíveis. Em 0%DR, a produção de biomassa foi de 56,61 t ha⁻¹ e estaticamente igual aos demais tratamentos, com quantidades teóricas

inferiores de N e K às que propuseram Santos et al. (2013). Este fato revela a eficiência da utilização dos nutrientes e o alto potencial produtivo do sorgo sacarino cultivar NS 105.

Ensaio publicados sobre adubação do sorgo sacarino têm apontado efeitos significativos de doses crescentes de nutrientes, sobretudo quanto ao N e K, em diferentes regiões do mundo. Lara et al. (2015), avaliaram o desempenho agrônômico de dois cultivares de sorgo sacarino (BRS 506 e BRS 509) sob diferentes doses de N e K em cobertura. O experimento foi conduzido em condições de sequeiro em Sete Lagoas-MG, em um LATOSSOLO Vermelho distrófico, na safra de primavera-verão de 2014. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 2x4x4, sendo os fatores 2 cultivares, 4 doses de N (45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹) e 4 doses de K₂O (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). Os autores concluíram que a produção de massa verde de plantas de sorgo sacarino foi influenciada positivamente por doses crescentes de N e de K em cobertura. No entanto, parâmetros como a altura de plantas e diâmetro de colmo não sofreram influência do N e do K em cobertura.

Almodares et al. (2008) também avaliaram os efeitos da adubação nitrogenada e potássica em parâmetros biométricos e tecnológicos de dois cultivares de sorgo sacarino, em condições de campo no Irã. Os autores constaram que a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de ureia e 50 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio proporcionaram maiores médias de altura, diâmetro, massa fresca, °Brix, teor de sacarose e massa do caldo para os dois cultivares estudados.

Nos Estados Unidos, Mosali et al. (2010) estudaram os efeitos de doses crescentes de N e o tempo de produção de biomassa e de caldo de dois cultivares de sorgo sacarino. Após dois anos de estudos, os autores concluíram que, se houver nitrogênio residual no solo, taxas crescentes de aplicação de fertilizantes nitrogenados não terão efeitos significativos sobre a produção de biomassa e de caldo.

O aproveitamento residual de nutrientes por plantas sucessoras às culturas de verão, o que inclui o sorgo granífero, tem sido alvo de pesquisas, cujo principal questionamento reside na necessidade ou não de adubação, e no caso afirmativo, qual deveria ser a quantidade aplicada na semeadura e em cobertura. Alguns ensaios têm mostrado efeitos positivos da adubação sobre ganhos de produção, mesmo em anos com ocorrência de déficit hídrico para o sorgo safrinha (COELHO et al., 2002). Assim, a avaliação da fertilidade do solo, com intuito de se obter o máximo retorno dos nutrientes aplicados e evitar efeitos depressivos sobre a produtividade, é imprescindível nos sistemas intensivos de cultivo.

Nesta linha de pesquisa, Cruz et al. (1998) avaliaram o rendimento de doze cultivares de milho (3 variedades, 3 híbridos simples, 3 híbridos duplos e 3 híbridos triplos) cultivados com e sem adubação em uma área tradicionalmente destinada ao plantio de hortaliças, nos anos agrícolas de 1996/97 e 1997/98. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO Vermelho textura muito argilosa. As parcelas adubadas receberam 200 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 4-30-16 no plantio e 72 kg de N na forma de ureia, em cobertura. Os autores constataram que não ocorreu interação entre os efeitos de ano e adubação e, embora as parcelas adubadas apresentassem maiores produtividades médias (8.043 kg ha⁻¹), o rendimento médio das parcelas não adubadas foi de 6.932 kg ha⁻¹, comprovando o alto potencial para a produção de milho.

Neste experimento, foi possível constatar que a redução da dose recomendada ou até mesmo a não aplicação de macronutrientes primários não alterou os padrões biométricos e de produtividade, bem nos parâmetros tecnológicos do caldo do sorgo sacarino, como será visto mais adiante. Neste sentido, nas condições experimentais aqui relatadas, a opção de não adubar promove uma redução em torno de 40% do custo total de produção de etanol a partir do sorgo sacarino, baseando nas informações econômicas disponibilizadas por May et al. (2013).

O sorgo sacarino tem se mostrado apto para ser cultivado em áreas de reforma de canaviais, com intuito de fornecer matéria-prima para abastecer o mercado de etanol na entressafra da cana-de-açúcar (MAY et al., 2013). O Censo Varietal do Estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul disponibilizado pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro-RIDESA (OLIVEIRA et al., 2015) apontou que em 2015 a área plantada de cana-de-açúcar foi de 444.027 de ha, permitindo dimensionar o potencial de expansão do cultivo do sorgo sacarino.

A Figura 7 apresenta uma estimativa da fertilidade do solo constatada a partir de 178 amostras de solo de áreas destinadas a reforma de cana-de-açúcar, no período de 2015/16. Os teores de P mais frequentes em solos cultivados com cana-de-açúcar estão entre 7 a 15 mg dm⁻³ (41,81%) e 16 a 40 mg dm⁻³ (40,68%), classificados respectivamente como baixo e médio. As classes de médio e baixo teor de K também foram as mais frequentes, com 40,45% e 32,02 %, respectivamente. A acidez destes solos, representada pelo pH, esteve com mais frequência as faixas média (39,33%) e a de alta acidez (31,46%). Quanto a matéria orgânica, os teores mais frequentes foram de 16 a 30 mg dm⁻³ (55,06%) e 31 a 60 mg dm⁻³ (33,15%).

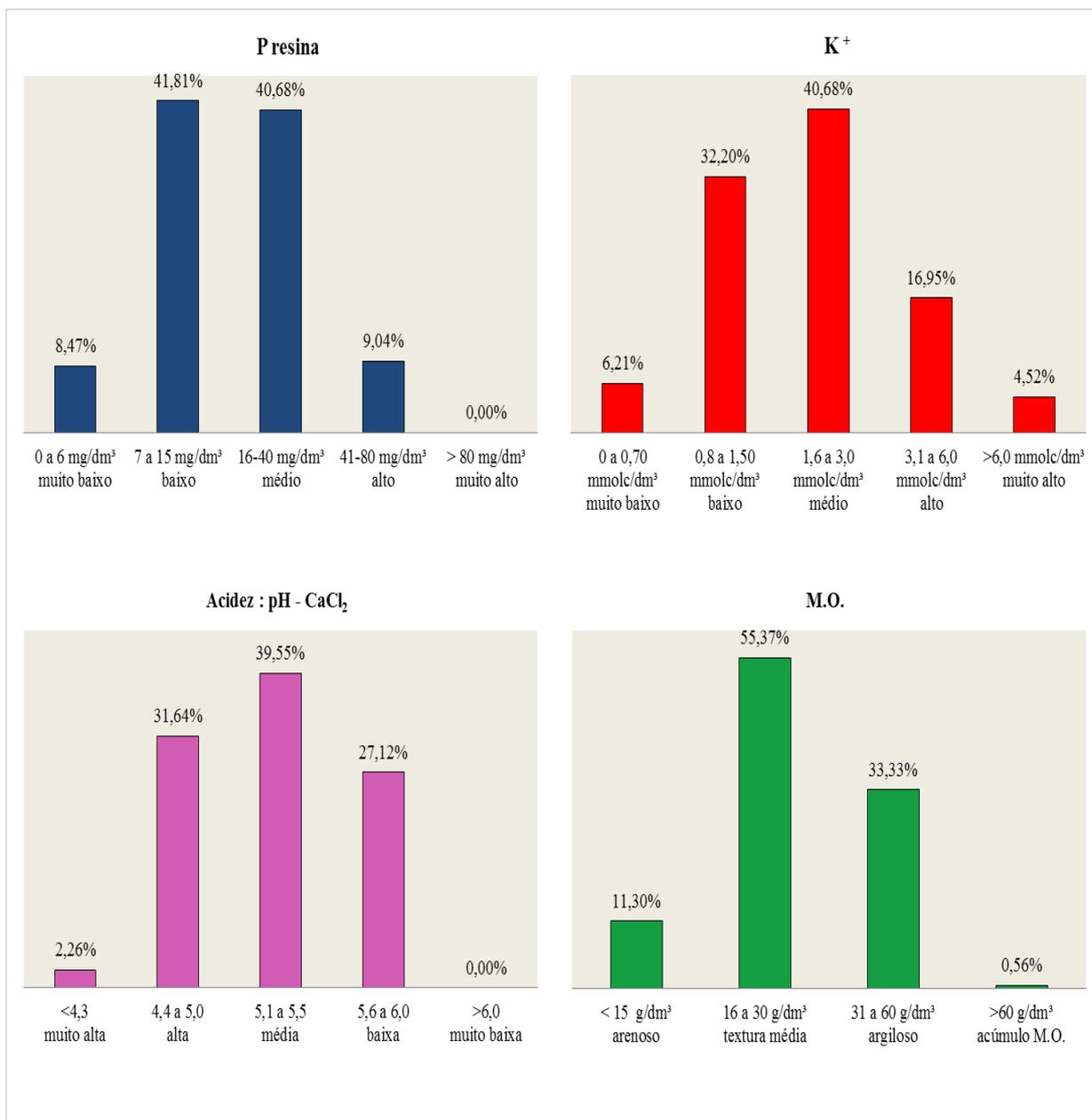


Figura 8. Estimativa da fertilidade do solo de áreas destinadas a reforma de cana-de-açúcar a partir dos parâmetros de P resina, K⁺, pH e M.O., período de 2015/16.

Os teores iniciais de P e K do solo em que se desenvolveu este estudo estão classificados como altos, além de apresentar baixa acidez (Tabela 2). Neste sentido, desenvolver estudos que avaliem a curva de resposta em função de aumento de doses de nutrientes, para cultivares modernos de sorgo sacarino em áreas de reforma de cana-de-açúcar, são importantes para a competitividade econômica da cultura.

4.2. Dose de Produtividade Máxima (PM) e Dose de Produtividade Máxima Econômica (PME)

A análise de variância-ANOVA da regressão polinomial da variável produção de colmos (PC) por hectare está apresentada na Tabela 6. Notou-se que tanto a regressão linear quanto a quadrática, essencial para a determinação da dose de produtividade máxima (PM) e dose de Produtividade Máxima Econômica (PME), não foram significativas ($p \leq 0,05$), permitindo inferir que, nas condições experimentais em análise, as doses crescentes de macronutrientes primários não promoveram incremento de produtividade, permanecendo esta constante.

Tabela 6. Análise de variância da regressão polinomial da variável produção de colmos (PC), considerando diferentes doses de adubação NPK (0%DR, 50%DR, 100% DR e 150%DR).

FV	gl	SQ	QM	F
Regressão linear	1	354,76	354,76	2,83 ^{ns}
Regressão quadrática	1	8,73	8,73	0,07 ^{ns}
Regressão cúbica	1	104,48	104,48	0,83 ^{ns}
Tratamentos	3	467,97	155,99	1,24 ^{ns}
Blocos	4	346,86	86,72	0,69 ^{ns}
Resíduo	12	1505,6	125,47	
Total	19	2320,44		

ns: não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%.

FV: Fonte de variação; gl: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: teste de Fischer

A Figura 9 representa o comportamento médio da PC caso houvesse tido resposta quadrática a doses crescentes de NPK. Derivando-se a equação $y = -0,0005x^2 + 0,1522x + 59,268$, a dose para produtividade máxima de colmos seria de 171-124-186 kg ha⁻¹ de NPK, respectivamente. Ainda pela análise da equação de regressão é possível observar que a PC, quando não há o aporte de nutrientes, seria teoricamente de 59,27 t ha⁻¹, bem próxima à obtida experimentalmente (Tabela 4).

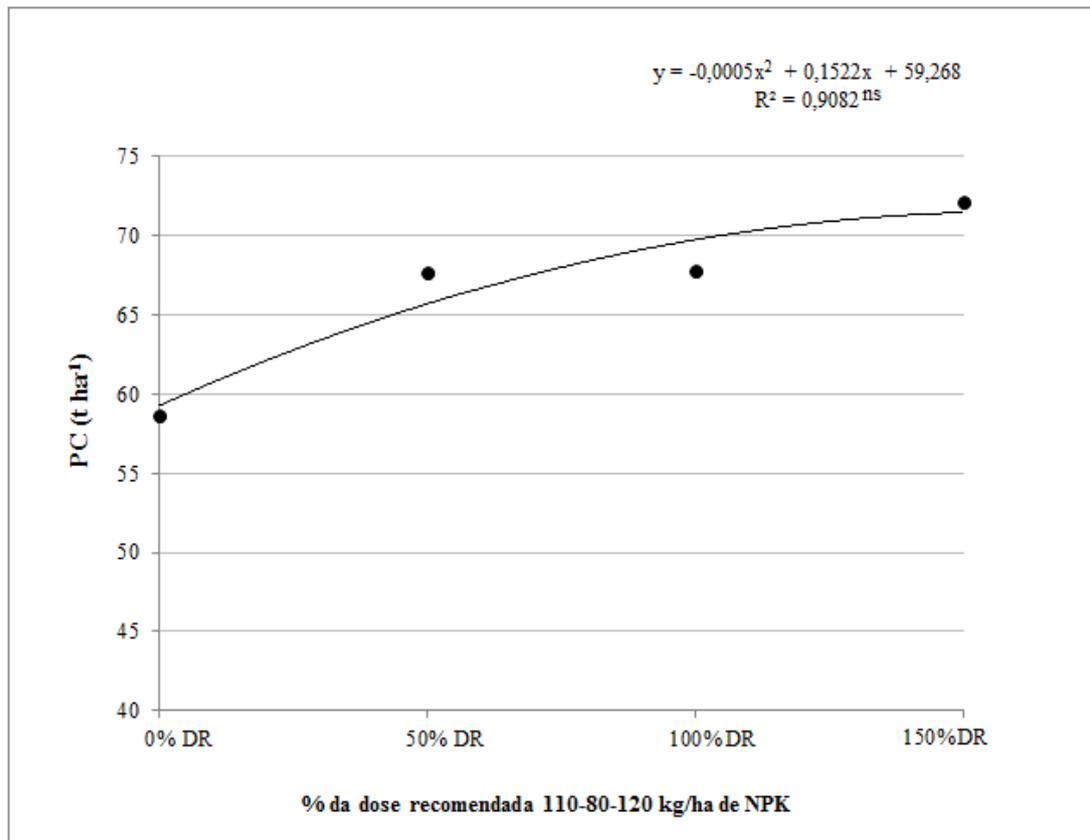


Figura 9. Produção de colmos (PC) por hectare em função de doses de macronutrientes primários (NPK) aplicados.

Considerando que a relação de equivalência entre kg de NPK aplicado e kg de cana-de-açúcar comercializada resulta em R\$ 0,0825, obtida conforme item o 3.5. deste trabalho. Desta forma, a dose de produtividade máxima econômica seria de 80-58-87 kg ha⁻¹ de NPK, respectivamente.

4.3. Análises tecnológicas do caldo

A Tabela 7 apresenta os valores médios e o resumo da ANOVA dos parâmetros tecnológicos do caldo de plantas de sorgo sacarino avaliados aos 105 DAE. Assim como nos parâmetros de biomassa e de produtividade, observou-se ausência de efeitos significativos ($p \leq 0,05$) entre as doses de NPK estudadas, em todas as variáveis.

Tabela 7. Valores médios de parâmetros tecnológicos do caldo do sorgo sacarino cultivar NS 105, cultivado em diferentes doses de adubação NPK.

Tratamento	° Brix	Pol do caldo	Fibra	Pureza	AR	ATR	
							%
Doses NPK	0% DR	9,58	3,00	12,20	30,75	2,59	43,80
	50% DR	9,54	3,06	12,84	32,73	2,52	43,35
	100% DR	11,30	4,39	10,88	38,15	2,33	54,09
	150% DR	9,00	3,16	11,53	34,87	2,44	44,63
DMS	2,90	2,00	4,57	14,67	0,50	13,56	
Teste F	Bloco	0,08 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,50 ^{ns}
	Doses	2,09 ^{ns}	1,93 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,82 ^{ns}	3,29 ^{ns}
CV (%)	15,66%	31,29%	20,52%	22,88%	10,79%	13,56%	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. ns: não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%.

AR: açúcares redutores

ATR: açúcares totais redutores

Pol: equivalente ao teor de sacarose do caldo

Os resultados foram discordantes daqueles encontrados por Cruz et al. (2014), que estudaram a influência da adubação NPK nos teores de sólidos solúveis (°Brix) e o teor de fibra do cultivar BRS506. O experimento foi instalado em Sete Lagoas-MG, em LATOSSOLO Vermelho distroférrico típico, muito argiloso. As características químicas do solo eram de $pH_{H_2O} = 5,8$, $Al = 0,25$; $Ca = 3,5$; $Mg = 0,6$; $T = 8,7$ ($cmol_c dm^{-3}$); $P = 7,9$; $K = 81,6$ ($mg dm^{-3}$); $V = 49,9\%$; teor de argila e matéria orgânica = 65,0 e 3,1 ($dag kg^{-1}$). O delineamento experimental foi o blocos ao acaso em esquema fatorial $3 \times 3 \times 3 + 1$, com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos por três doses de N e K_2O (80, 160 e 240 $kg ha^{-1}$), três doses de P_2O_5 (50, 100 e 150 $kg ha^{-1}$) e uma testemunha absoluta, sem aplicação dos fertilizantes. Os autores constataram que houve interação $N \times P \times K$ sobre a porcentagem de fibra e interação $N \times K$ sobre o Brix. Apesar disso, não foi possível o ajuste de equações de regressão por falta de padronização no comportamento destas variáveis em resposta aos fertilizantes, que podem ter sido influenciadas pelo material genético, manejo cultural, clima e época de colheita.

A falta de respostas de todas as variáveis tecnológicas pode estar relacionada também à fertilidade inicial do solo. Cruz et al. (2014b) constataram que para a variável produtividade do caldo não houve respostas a doses crescentes de N e P, devido ao teor médio de matéria orgânica e alto teor de P explícitos pela análise do solo. Kumar et al. (2008), avaliando dois cultivares de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e doses de N, em condições de

campo na Índia, concluíram que o teor de sólidos solúveis do caldo foi influenciado pela adubação ou fertilidade do solo conjuntamente com a melhor interceptação da radiação global líquida pelas plantas.

Com relação à qualidade do sargo sacarino como matéria-prima para o processamento industrial (Tabela 6), nota-se que apenas os açúcares redutores (AR) e % Fibra estão dentro dos limites desejados pela indústria (1 a 3% e de 12 a 20%, respectivamente). O teor de sólidos solúveis (°Brix) variou de 9 a 11,5 %, bem aquém ao esperado (15 a 19%), como também o percentual de sacarose do caldo, expressa em Pol (ideal de 8-13%). Como a variável pureza é uma calculada pela relação entre o teor de sacarose e o teor de sólidos solúveis, baixos índices de pureza foram obtidos, quase metade do que é considerado ideal pela indústria (60-75%) (PACHECO, 2012).

May et al. (2013) relataram que a extração de 80 kg de açúcar por tonelada de colmos pode produzir 2.000 a 2.200 litros de etanol por hectare. Neste sentido, analisando os açúcares redutores totais (ATR) obtidos no experimento (43 a 55 kg t⁻¹), nota-se que a produção de etanol por hectare teoricamente seria em torno de 1.400 L ha⁻¹.

O baixo rendimento da cultura pode ter ocorrido em função de condições climáticas desfavoráveis durante a fase de emborrachamento (Figura 1). Neste momento, com a emissão da folha bandeira, têm-se a necessidade de aplicação do inibidor de florescimento ethephon. Esta fase fenológica coincidiu com eventos de chuvas praticamente todos os dias (média de 9 mm dia⁻¹), provocando atraso na aplicação do inibidor de florescimento. Associado a este evento, durante a fase de floração (EC2), houve condições climáticas favoráveis (temperatura mínima de 19°C e umidade relativa entre 70 a 85%) para a proliferação do fungo que causa o *Ergot* ou doença açucarada (*Claviceps africana*). Este fungo transporta os açúcares contidos no colmo para a panícula, local onde serão formados os grãos (Figura 20, ANEXO I). Desta maneira, os açúcares não estarão no colmo, reduzindo a quantidade disponível para o processamento industrial (ROBERTO, 2013).

Bolonhezi et al. (2015) avaliaram características tecnológicas de genótipos de sorgo sacarino BRS 511, Blade Sacarino A, Blade Biomassa A e Blade Biomassa B, em ensaios de campo na região de Ribeirão Preto, safra 2014/15. O caldo também foi extraído pela metodologia Consecana. A alta incidência de *Ergot* no híbrido Blade Sacarino A impediu que este genótipo expressasse seu potencial sacarino, cujo acúmulo de açúcares foi semelhante aos genótipos de biomassa. Os autores explicaram que os esporos do fungo causador do *Ergot* (*Claviceps africana*) competem com os grãos de pólen para alcançar os estigmas das flores e,

para a variedade BRS 511, que apresenta fluxo de pólen mais longo e em maior quantidade, a severidade da doença foi baixa, garantindo o acúmulo de açúcares. No referido estudo, a variedade BRS 511 apresentou teor de sólidos solúveis (°Brix) de 17,9% e ATR de 120 kg de açúcar por tonelada de colmo. Os híbridos Blade tiveram comportamento semelhante aos observados neste experimento (Tabela 6), com média de 7,4% de °Brix e ATR de 38,8 kg t⁻¹.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações apresentadas neste trabalho de conclusão de curso são parciais de um experimento que teve por objetivo avaliar diferentes doses de adubação de macronutrientes primários (NPK) em função de quatro épocas de colheita distintas (90, 105, 120 e 135 DAE). As conclusões que serão apresentadas são pertinentes às variações ocorridas no período selecionado (105 DAE).

6. CONCLUSÃO

Os parâmetros biométricos, tecnológicos e de rendimento do sogo sacarino cultivar NS 105, avaliados aos 105 DAE, não foram influenciados por diferentes níveis de adubação NPK. As doses recomendadas pelo Boletim Técnico 200, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) foram suficientes para o desenvolvimento do cultivar NS 105. Contudo, os resultados permitiram concluir que o aumento de doses de macronutrientes não promoveu incremento de produtividade e nem melhorias nas características tecnológicas do caldo. A baixa qualidade industrial do caldo do sorgo sacarino foi influenciada por fatores climáticos que desencadearam alta infestação de *Ergot*, doença causada por *Claviceps africana*.

Devido à ausência de ajuste significativo da equação de regressão quadrática, não foi possível a determinação da dose de produtividade máxima e de produtividade máxima econômica.

A falta de respostas significativas em todos os parâmetros estudados pode estar associada à alta fertilidade inicial do solo. Áreas de reforma de cana-de-açúcar possuem tendência a possuírem média fertilidade, talvez possibilitando a instalação do sorgo sacarino

com doses reduzidas de nutrientes, sendo necessários mais estudos para comprovação desta hipótese.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C.J.B.; TARDIN, F.D. ; PARRELLA, R.A. da C.; GUIMARÃES, A. de S.; OLIVEIRA, R.M. de; SILVA, K.M. de J. Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 1, p. 69-85, 2012. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/933544/1/Sorgosacarino2.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

ALMODARES, A.; TAHERI, R.; CHUNG, M.; FATHI, M. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on growth parameters and carbohydrate content of sweet sorghum cultivars. **J. Environ. Biol., Pakistan**, v.29, p.849-852, 2008. Disponível em:< www.jeb.co.in/journal_issues/200811_nov08/paper_07.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2016.

ALMODARES, A; USOFZADEH, M; DANESHVAR, M. Effect of Nitrogen and Ethephon on Growth Parameters, Carbohydrate Contents and Bioethanol Production from Sweet Sorghum. **Sugar Tech**, 15(3), p.300-304, jul./set. 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12355-013-0246-5>>. Acesso em:< 03 mar. 2016.

ALVAREZ, V.V.H. **Avaliação da fertilidade do solo (superfícies de resposta - modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta)**. Viçosa: Imprensa Universitária - UFV, 1991. 75p.

ARAÚJO, D.K.; CAMARGO, M.E.A. de; MACEDO, W.R.; MENDES, A.C.C.M.; CASTRO, P.R.de C. e. Efeito de Agroquímicos no Desenvolvimento de Sorgo Sacarino. **XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Águas de Lindóia-SP. Anais do 29º Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2012. Disponível em:< http://www.abms.org.br/29cn_milho/02100.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2016.

ASSIS, R.T. de; MORAIS,C.G. de. Sorgo sacarino, a segunda safra do etanol no Brasil. Instituto de Ciências da Saúde, Agrárias e Humanas (ISAH). Araxá-MG, maio de 2014 (**Circular Técnica 11**). Disponível em:< <http://site.uniaraxa.edu.br/wp-content/uploads/2014/09/sorgo-sacarino-a-segunda-safra-do-etanol-no-brasil.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

BLAIR, G.J.; MAMARIL, C.P.; MILLER, M.H. Influence of nitrogen source on phosphorus uptake by corn from soils differing in pH. **Agronomy Journal**, v.63, p.235 238, 1971. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/63/2/AJ0630020235?access=0&view=pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

- BOLONHEZI, D; FREITAS, R.S.de; SAWAZAKI, E. Sorgo sacarino e sorgo biomassa. In: Aguiar et al. (Ed.) Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. p. 377-379. (**Boletim 200**).
- BOLONHEZI, D.; CARDOSO, B.M.V.; CARVALHO, E.V. de; SOUZA JR, T.G. de A.; GARCIA, J.C. Características tecnológicas de sorgo sacarino e biomassa em diferentes estádios fenológicos. **III Simpósio de Tecnologia Sucroenergética e de Biocombustíveis**. Ciência & Tecnologia: Fatec-JB, Jaboticabal, v. 7, 2015. Suplemento. Disponível em: < www.citec.fatecjab.edu.br/index.php/files/article/download/585/581>. Acesso em: 21 mai. 2016.
- BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho**. 2006. 168 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3187/2/TESE_Marcha%20de%20absor%C3%A7%C3%A3o%20de%20nutrientes%20e%20ac%C3%BAmulo%20de%20mat%C3%A9ria%20seca%20em%20milho.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- BORGONOVI, R.A.; GIACOMINI, F.S.; SANTOS, H.L.; FERREIRA, A.S.; WAQUIL, J.M.; SILVA, J.B.; CRUZ, I. Recomendações para o plantio de sorgo sacarino. Sete lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1982, 16p. (**Circular Técnica 08**). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/476086/1/Recomendacoesplatio.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- CAMPBELL, J.L.; HORNBECK, J.W.; MITCHELL, M.J.; ADAMS, M. B.; CASTRO, M.S.; DRISCOLL, C.T.; KAHL, J.S.; KOCHENDERFER, J.N.; LIKENS, G.E.; LYNCH, J.A.; MURDOCH, P.S.; NELSON, S.J.; SHANLEY, J.B. Input-Output Budgets Of Inorganic Nitrogen For 24 Forest Watersheds In The Northeastern United States: A Review. **Water, Air, and Soil Pollution**, n.151, p.373–396, 2004. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/other_publishers/OCR/ne_2004_campbell001.pdf>. Acesso em: 03 de mar. 2016.
- CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; SESTARI, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008. 864 p.
- CESAR, M.A.A; DELGADO, A.A.; CAMARGO, A.P.; BISSOLI, B.M.Z ; SILVE, F.C. Capacidade de fosfatos naturais e artificias em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana planta), visando o processo industrial. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v.5, n. 5/6, p.32-38, 1987.
- CIVARDI, E.A.; SILVEIRA NETO, A.N.; RAGAGNIN, V.A.; GODOY, E.R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.52-59, 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pat/v41n1/a12v41n1.pdf>>. Acesso em: 01 de mar. 2016.
- COELHO, A.M; WAQUIL, J.M.; KARA, D.; CASELA, C.R.; RIBAS, P.M. Seja o Doutor do seu sorgo. Piracicaba: POTAFOS, 2002. 24 p. (Arquivo do Agrônomo,14). **Encarte do Informações Agronômicas**, n.100, dez. 2002. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/sorgo/doutorsorgo.pdf>>. Acesso em: 03 de mar. 2016.

COELHO, A.M. Adubação. In: MAY, A.; DURÃES, F.O.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; SCHAFFERT, R.E.; PARRELLA, R.A.C. Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (**Embrapa Milho e Sorgo. Documentos-139**). p. 42-49.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Conjuntura mensal do Sorgo**, março de 2016. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_06_14_24_57_sorgomarco2016.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2016.

CONSECANA. Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**.5^a.ed. Piracicaba, 2006. 112 p.

COWLEY, W.R.; SIMTH, R.A. Sweet sorghum as a potential sugar crop in south Texas. **Proc. Int. Soc. Sug. Cane Technol.**, v.14, p.628-633, 1972. Disponível em:<<http://eprints.icrisat.ac.in/id/eprint/6046>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

CRUZ, J.C.; MONTEIRO, M.A.R.; OLIVEIRA, A.C. de; PEREIRA FILHO, I.A.; CHAVEZ, W.A.; RODRIGUES, J.M.U. **Avaliação de cultivares de milho sob efeito residual de adubação em áreas cultivadas com horticultura**. 1998. Disponível em:<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/.../Avaliacaocultivares3.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

CRUZ, S.C.B. da.; VILELA, M; MENDES, S.M.; SANTOS, F.C. dos.; CARVALHO, E.A.R. de; SANTOS, A.E. dos. Efeito da adubação nitrogenada e potássica de cobertura sobre a infestação de *Diatraea saccharalis* em sorgo sacarino. **XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: resumos expandidos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014a. Disponível em:<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/993141/1/Efeitoadubacao.pdf>>. Acesso em: 02. abr. 2016.

CRUZ, S.C.B. da; SANTOS, F.C. dos; RESENDE, A.V. de; OLIVEIRA, A.C.; MAY, A; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de. Aspectos produtivos do sorgo sacarino em resposta à adubação NPK. **XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: resumos expandidos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014b. Disponível em:<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/.../1/Aspectosprodutivos.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

DINIZ, G.M.M. **Produção de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) Aspectos Gerais**. 2010. 23f. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010. Disponível em:<<http://lira.pro.br/wordpress/wp-content/uploads/downloads/2010/11/revisao-Guilherme-Diniz.pdf>>. Acesso em: 02. abr. 2016.

DURÁN, M.A **Fenologia do sorgo**. Disponível em:

<<http://pt.slideshare.net/MarcosAntonioDurn/clipboards/fenologia-sorgo>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

EMBRAPA. **Sorgo sacarino a safrinha da cana-de-açúcar**. 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/36027/1/Sorgo-sacarino.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2013. 412 p.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **FAO Statistics Division 2012**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/P/PP/E>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

_____. Sweet Sorghum in China. Spotlight/2002 Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2002. <<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/gp/silage/HTML/7p3.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2016.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do sorgo**. Jaboticabal: Editora FUNEP, 2009. 202p.

FRANCO, A.A.N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2011. Disponível em: <http://www.producaovegetal.com.br/arquivos_upload/editor/file/dissertacao_antonio_franco.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2016.

GONÇALVES, A.O.; FAGNANI, M.A.; PERES, J.G. Efeitos da cobertura do solo com filme de polietileno azul no consumo de água da cultura da alface cultivada em estufa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.622-631, set./dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162005000300007>. Acesso em: 28 mar. 2016.

HAMMAD, H.M.; AHMAD, A; FARHAD, W.; QASIM, K; SAEED, S. Nitrogen stimulates phenological traits, growth and growing degree days of maize. **Pak. J. Agri. Sci.**, vol. 50(3), 337-344; 2013. Disponível em: <<http://pakjas.com.pk/papers%5C2161.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA-IEA. **Preços Médios Mensais Recebidos pelos Agricultores: cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precos_medios.aspx?cod_sis=2>. Acesso em: 01 abr. 2016.

JARDINE, J.G.; DISPATO, I.; PERES, M.R. **Indicações de aspecto tecnológico sobre o bioetanol de matéria-prima amilácea**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. Disponível em: <<http://www.cnptia.embrapa.br/content/09409-indicacoesde-aspectos-tecnologicos-sobre-bioetanol-de-materia-prima-amilacea.html>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

- KARANDE, B.I.; VARSHNEYA, M.C.; NAIDU, T.R.V. Photoperiodically sensitive time interval for panicle initiation of sorghum. **Indian Journal of Plant Physiology**, 1 (4): 258-261, 1996.
- KLINK, U. **Melhoramento genético do sorgo para a produção de etanol**. Pelotas-RS, 2010. Disponível em:
<http://www.cpact.embrapa.br/eventos/2010/simposio_agroenergia/palestras/11_quarta/Manha/Urubatan%20Klink>. Acesso em: 28 mar. 2016.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**. México, Buenos Aires: Ed. Fundo de Cultura Econômica, 1948.
- KUMAR, S.R.; SHROTRIA, P.K.; DESHMUKH, J.P. Characterizing Nutrient Management Effect on Yield of Sweet Sorghum Genotypes. **World Journal of Agricultural Sciences**, Pradesh, v. 4, n. 6, p. 787-789, 2008. Disponível em:<[www.idosi.org/wjas/wjas4\(6\)/19.pdf](http://www.idosi.org/wjas/wjas4(6)/19.pdf)>. Acesso em: 21 mai. 2016.
- LARA, J. de P.; BORGES, I.D.; RIBEIRO, C.E.S.; FERNANDES, A.S.; SANTOS, F.C. dos; TEIXEIRA, E.C. Desempenho agrônomo de cultivares de sorgo sacarino em diferentes doses de nitrogênio e potássio. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. O solo e suas múltiplas funções. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Disponível em:<ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/.../1/Desempenho-agronomico-3.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2016.
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; RODRIGUES, J.A.S. Fisiologia da planta de sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (**Comunicado Técnico 86**). Disponível em:
<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2003/comunicado/Com_86.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2016.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.
- MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial**. 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-05072007-114536/pt-br.php>>. Acesso em: 28 mar. 2016.
- MAY, A.; MENDES, S.M.; SILVA, D.D. da ; PARRELLA, R.A. da C.; MIRANDA, R.A. de; SILVA, A.F. da; PACHECO, T.F.; AQUINO, L.A. de; COTA, L.V.; COSTA, R.V. da; KARAM, D.; PARRELLA, N.N.L.D.; SCHAFFERT, R.E. Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 36p. (**Circular Técnica 186**). Disponível em:
<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/966886/1/circ186.pdf>> . Acesso em: 03 mar. 2016.
- MELO, T.S.; ALVES, M.E.S.; PALHARINI, W.G.; ALVES, J.S.R.; SILVA, M.S.; NEVES, R.P.; CONCENÇO, G.; LIMA FILHO, O.F. Comportamento fisiológico de plantas adultas de sorgo sacarino sob deficiências nutricionais. **Jornada de Iniciação à**

- Pesquisa da Embrapa**, 28 e 29 de julho de 2014. Disponível em:<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/.../1/16comportamentothais.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- MOSALI, J.; ROGERS, J.; HUHNE, R.; BELLMER, D.; COOK, B. Effect of nitrogen fertilization timing on juice and bagasse quality of sweet sorghum for biofuel production. **19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World**. Brisbane, Austrália, ago. 2010. Disponível em:<<http://iuss.org/19th%20WCSS/Symposium/pdf/1426.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2016.
- OLIVEIRA, M. Opção produtiva: Sorgo é plantado para produzir etanol na entressafra de cana. **Revista Pesquisa FAPESP**, edição 193, março de 2012. Disponível em:<<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/03/062-0651.pdf?eb9dda>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- OLIVEIRA, M.S.; PARRELLA, R.A. da C.; SOUZA, V.F. de; SCHAFFERT, S.M.M.; RIBEIRO, P.C. de O. ; MOURÃO, C.S.; MACHADO, P.H.B.; ANDRADE, L.C. de; FERREIRA, A.G. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em dois níveis de saturação por alumínio visando a produção de etanol. **Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**, 7., 2013, Uberlândia. Variedade melhorada: a força da nossa agricultura: anais. Viçosa, MG: SBMP, 2013. Disponível em:<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94614/1/Desempenho-cultivares-2.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- OLIVEIRA, R.A. de; DAROS, E.; HOFFMANN, H.P. **Liberção nacional de variedades RB de cana-de-açúcar**. Curitiba: Graciosa, 2015. 72 p.
- PACHECO, T.F. Tecnologia Industrial. In: MAY, A.; DURÃES, F.O.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; SCHAFFERT, R.E.; PARRELLA, R.A.C. (Ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. p. 92-106. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 139). Disponível em:<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/938275>>. Acesso em: 21 mai. 2016.
- PIVETTA, R.S. **Acúmulo de matéria seca e nutrientes de híbridos de sorgo sacarino em condições de safrinha em Selvíria-MS**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista (UNESP) campus de Ilha Solteira, SP. 2014. 52 p. Disponível em:<<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/111090>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- POTAFOS. Nutri-Fatos. Informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas. **Arquivo do agrônomo**, nº 10, março de 1996. Disponível em:<[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/AB7CA2719FEC206683257AA0003BE92A/\\$FILE/Nutrifatos.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/AB7CA2719FEC206683257AA0003BE92A/$FILE/Nutrifatos.pdf)>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- QUAGGIO, J. Adubação NPK e a qualidade de alguns frutos tropicais. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.166-194.

- QUEIRÓZ, M.V.B.M.de. **Balço energético da produção de sorgo sacarino em cultivo irrigado e sequeiro**. 2014. 49 f. (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD. Dourados, MS, 2014. Disponível em: <http://200.129.209.183/arquivos/arquivos/78/MESTRADOENGENHARIAAGRICOLA/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Marcos%20Vinnicius%20Braga%20Machado%20de%20Queir%C3%B3z.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- QUEIROZ, T.R.; BERALDO, M.A; ERNESTO, R.C.; YOSHIMURA, B.K. Análise da viabilidade econômica e as potencialidades de produção de biocombustível a partir do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench). **XXIV ENANGRAD**, Resumos. Florianópolis-SC. 2013. Disponível em: <www.xxivenangrad.enangrad.org.br/anais2013/_resources/artigos/gds/07.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- R CORE TEAM (2016). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em:<<http://www.R-project.org/>>.Acesso em: 03 mar. 2016.
- RAIJ, B.VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Boletim Técnico 100: Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas-SP, n.100, v.2, 1997.285 p.
- RAIJ, B. VAN. ; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (2001). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.420 p.
- REIS, R.M. **Produtividade e manejo de plantas daninhas no sorgo sacarino cultivado em diferentes arranjos de plantas**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa-MG, 2014. Disponível em:<<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4639/texto%20completo.pdf?sequence=1>> . Acesso e: 28 mar. 2016.
- ROBERTO, C. Dobradinha com o sorgo. **Revista Cana Mix**, Ribeirão Preto, n.62, ano 6, p. 32-42, ago. 2013.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. Editora UEL, Londrina, PR, 2011. 697p.
- ROSOLEM, C.A. **Contribuição ao estudo da nutrição mineral e adubação do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]**.1979, 136 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.
- ROSOLEM, C.A.; MALAVOLTA, E. **Acumulação de matéria seca e macronutrientes pelo sorgo sacarino**. Piracicaba: ESALQ, 1981.v. 38, p. 223-241.

- SANTOS, F.C.; FILHO, M.R.A.; RESENDE, A.V.; OLIVEIRA, A.C. **Efeito da adubação de cobertura com nitrogênio e potássio na cultura do sorgo biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 36 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 73).
- SANTOS, R.F. dos; PLACIDO, H.F.; GARCIA, E.B.; CANTÚ, C.; ALBRECHT, A.J.; FRIGO, K.D.A. Sorgo sacarino na produção de agroenergia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p. 01- 12, 2015. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/rber/article/view/39690>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- SENA, F.M.; MOURA, S.M.; SANTOS, C.V. dos; ABREU, A.L. de.; ANDRADE, L.C. de; FERREIRA, A.G.; SOUZA, V.F. de; PARRELA, R.A. da C.; MENEZES, C.B. de; SCHAFFERT, R.E. Distribuição e acumulação de açúcares nos entrenós de dois genótipos de sorgo sacarino sensíveis ao fotoperiodismo. **Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**, 7., 2013, Uberlândia. Variedade melhorada: a força da nossa agricultura: anais. Viçosa, MG: SBMP, 2013. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/974806/1/Distribuicaoacumulacao.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- SOARES, E.R.; COUTINHO, E.L.M.; RAMOS, S.B.; SILVA, M.S; BARBOSA, J.C. Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 3015-3030, nov./dez., 2014. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/16020>>. Acesso em: 28 mar. 2016.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983. 9p.
- TEIXEIRA, C.G.; JARDINE, J.G. e BEISMAN, D.A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.17, n.3, pp. 248-251, 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611997000300011>. Acesso em: 28 mar. 2016.
- TOMAZ, H.V.Q.; ASSIS, R.T. **Sorgo sacarino – Rendimento extra na entressafra da cana-de-açúcar**. In: Silva. J.C; Silva. A. A. S; Assis. R. T; Sustentabilidade e inovação no campo. Editora Composer: Uberlândia-MG-2013. Cap. 6, p.73-84
- URIBE, R.A.M.; TICIANELI, L.C.S. Influência do estande na produtividade de sorgo sacarino. **Diálogos & Ciência**, 34, 10-12, 2014. Disponível em: <<http://periodicos.ftc.br/index.php/dialogos/article/view/10>>. Acesso em: 28 mar. 2016.
- VERMERRIS, W. Survey of genomics approaches to improve bioenergy traits in maize, sorghum and sugarcane. **Journal of Integrative Plant Biology**, West Sussex, v.53, n.2, p.105-119, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21205186>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

WAMSER, A.F.; MUNDSTOCK, C.M. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar MN 698. **Ciência Rural**, vol.37 no.4 Santa Maria, jul/ago. 2007. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000400004>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

WU, X.R.; STAGGENBORG, S.; PROPHETER, J.L.; ROONEY, W.L.; YU, J.M.; WANG, H. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam ,v.31,n.1, p. 164–170, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669009001940>> Acesso em: 31 mar. 2016.

YAMADA T. Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre os nutrientes. Piracicaba: Potafos. 5 p., 2002. (**Informações Agronômicas 100**). Disponível em:<[http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/C0E0D4AF08303EC483257AA2005D5B8F/\\$FILE/Page1-5-100.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/C0E0D4AF08303EC483257AA2005D5B8F/$FILE/Page1-5-100.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2016.

8. ANEXOS

ANEXO I: HISTÓRICO EXPERIMENTAL



Figura 10. Preparo do solo e abertura dos sulcos de plantio, realizado em 15/12/2015.



Figura 11. Estaqueamento das parcelas experimentais, realizado em 15/12/2015.



Figura 12. Distribuição dos fertilizantes de acordo com as doses testadas, calculadas para aplicação em 6m lineares.



Figura 13. Capina seletiva e vista experimental aos 25 DAE.



Figura 14. Vista experimental aos 60 DAE.



Figura 15. Corte aleatório de plantas contidas em de 6 m por parcela (a) e despalhamento das plantas e seleção de plantas (b) para determinações biométricas, nutricionais e de rendimento.



Figura 16. Processamento das amostras em máquina forrageira para determinação de matéria seca, umidade e teores nutricionais da parte aérea.

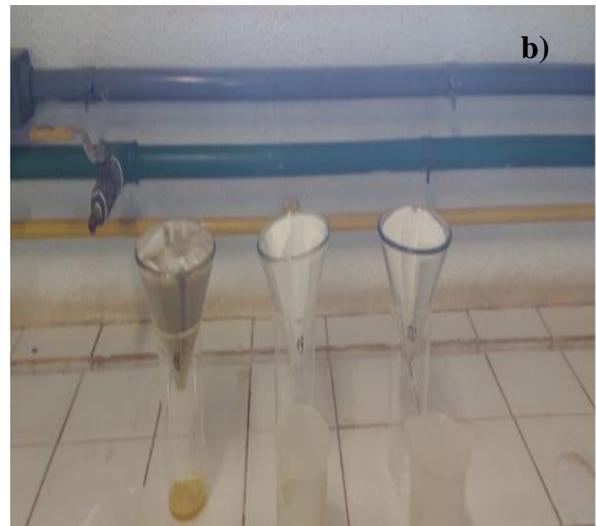


Figura 17. Prensagem hidráulica para extração do caldo (a); filtração e clarificação do caldo para determinação dos caracteres tecnológicos.



Figura 18. Leitura do °Brix em refratômetro de bancada (a); Leitura da Pol em sacarímetro digital.



Figura 19. Determinação do PBU (Peso do Bolo Úmido) (a); determinação do PBS (Peso do Bolo Seco) (b), para cálculo do teor de Fibra.



Figura 20. Doença açucarada do sorgo ou *Ergot*, causada por (*Claviceps africana*). (A) Exsudação de açúcares nas panículas, (B) desenvolvimento saprofítico sobre os açúcares, com aspecto de carvão sobre as panículas.

Fonte: May et al. (2013).

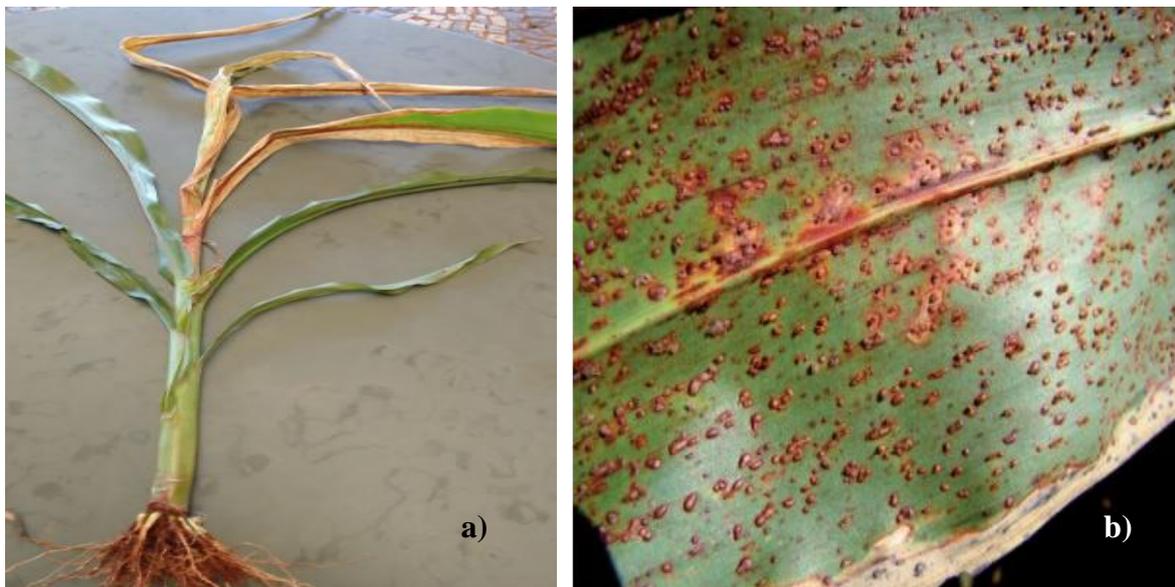


Figura 21. Sintomas do Vírus do Mosaico da Cana-de-açúcar (a) e ferrugem (*Puccinia purpurea*) (b) apresentadas pelas plantas de sorgo sacarino.

Figura 21. b) fonte: May et al. (2013).

ANEXO II – MEMÓRIAS DE CÁLCULO

DOSE RECOMENDADA (100% DR): a partir das Recomendações Boletim 100 (Raij et al., 1997) e Boletim 200 do IAC (Bolonhezi et al., 2014).

Plantio

N: classe de média resposta esperada (solo em pousio por um ano): 20 kg ha⁻¹ de N

P: teor médio (37,5 mg dm⁻³) : 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅

K: teor alto (3,6 mmol_c dm⁻³) : 120 kg ha⁻¹ de K₂O (parcelamento: 50 kg ha⁻¹ de K₂O no plantio)

B: teor baixo (0,07 mg dm⁻³) : 2 kg ha⁻¹ de B

Cobertura

90 kg ha⁻¹ de N e 70 kg ha⁻¹ de K₂O

Trat.	Área	Adubação de plantio				Adubação de cobertura	
		Kg					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	N	K ₂ O
100% DR	10.000 m ²	20	80	50	2	90	70
100% DR	227,5 m ²	0,46	1,82	1,14	0,05	2,05	1,59

Adubação de Plantio				
Dose (kg)		Fonte	% Adubo	Qtde. adubação (kg)
0,46	N	Nitrato de amônio	30% de N	0,45
1,82	P	Superfosfato Simples	3 % de N; 17 % P ₂ O ₅ ; 11% S	10,71
1,14	K	Cloreto de Potássio	60 % de K ₂ O	1,90
0,05	B	Ácido Bórico	17 % de B	0,27
Total de Nutrientes				13,32
227,5 m ² = 350 m lineares (espaçamento 1,00 x 0,50 x 0,50 m) → kg m ⁻¹				0,038
g m ⁻¹				38,044
gramas em 7 m lineares				266,31

Adubação de Cobertura				
Dose (kg)		Fonte	% Adubo	Qtde. adubo (kg)
2,05	N	Nitrato de amônio	30% de N	6,83
1,59	K	Cloreto de Potássio	60 % de K ₂ O	2,65
Total de Nutrientes				9,48
227,5 m ² = 350 m lineares (espaçamento 1,00 x 0,50 x 0,50 m) → kg m ⁻¹				0,027
g m ⁻¹				27,083
gramas em 7 m lineares				189,58