



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO
ENGENHARIA AGRONÔMICA

RENAN SILVA E SOUZA

CURVAS DE MATURAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO
(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Sete lagoas, MG

2014

RENAN SILVA E SOUZA

CURVAS DE MATURAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO
(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Agrônômica da Universidade Federal de
São João del-Rei como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Área de concentração: Genética e
Melhoramento

Orientador: Nádya Nardely Lacerda
Durães Parrella

Sete Lagoas

2014

RENAN SILVA E SOUZA

CURVAS DE MATURAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO
(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Agrônômica da Universidade Federal de
São João del-Rei como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Sete Lagoas, Dezembro 2014

Banca Examinadora:

Rafael Augusto da Costa Parrella - Doutor (Embrapa Milho e Sorgo)

Vander Fillipe de Souza - Doutorando (UFSJ)

Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella - Doutor (UFSJ)

Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela proteção e pela força durante os meus caminhos.

Aos meus pais, Geraldo e Reijane e meu irmão Eric que sempre me deram apoio em todos os momentos e estiveram ao meu lado neste desafio.

À Universidade Federal de São João del-Rei e todos os professores do curso de Engenharia Agrônômica pelos ensinamentos.

À Embrapa Milho e Sorgo, pela oportunidade de estágio.

À Dra. Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella, orientadora, pelas suas contribuições e apoio ao trabalho.

Ao Pesquisador da Embrapa Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella, pela co-orientação e demais contribuições necessárias ao trabalho.

Ao Doutorando Vander Fillipe de Souza pelo esclarecimento das dúvidas e contribuições ao longo de todo trabalho.

À toda equipe do Programa de Melhoramento de Sorgo da Embrapa Milho e Sorgo - CNPMS.

“Whenever you find yourself on the side of the majority, it is time to pause and reflect.”

Mark Twain

RESUMO

O Brasil possui condições ideais para desenvolvimento de biocombustíveis aplicáveis na substituição direta dos combustíveis derivados de petróleo. Dentre estes biocombustíveis, o etanol possui grande destaque por possuir uma cadeia produtiva consolidada e exibir grande potencial de crescimento. Para a sua produção, a cana-de-açúcar *Saccharum* spp. é considerada nacionalmente como a principal cultura, porém outras espécies também se apresentam viáveis nesse processo. Entre estas se destaca o sorgo sacarino *Sorghum bicolor* (L.) Moench, que assim como a cana-de-açúcar possui colmo suculento com presença de açúcares diretamente fermentescíveis. Nos últimos anos houve um aumento expressivo no interesse pelo sorgo sacarino como cultura complementar à cana-de-açúcar na obtenção de etanol como biocombustível. Devido a este fato, existe a necessidade de se analisar as propriedades do sorgo a fim de se atender às demandas da agroindústria. No presente trabalho buscou-se desenvolver e analisar as curvas de maturação de dez cultivares de sorgo sacarino em dez épocas de colheita. Os resultados mostram que houve diferença significativa para cultivares e épocas de colheita para todos os parâmetros ($p \leq 0,01$). Quanto aos teores de açúcares, as cultivares BRS508, XBWS80147 e CMSXS629 apresentaram as maiores médias para as variáveis ART e ATR. Em relação à produção de etanol por tonelada de biomassa, as cultivares BRS 508 e a CMSXS629 apresentaram os melhores resultados. As cultivares CMSXS647 e CMSXS646 apresentaram o menor período de utilização industrial e menores teores de açúcares redutores totais e açúcares totais recuperáveis.

Palavras-chave: Bioenergia, Etanol, Açúcares Redutores.

ABSTRACT

Brazil has optimum conditions for the development of biofuels as an alternative for fossil fuels. Among these biofuels, ethanol stands out due to its well-established supply chain and its great potential for expansion. Currently, the production of ethanol depends on sugarcane *Saccharum* spp., which is considered the main crop of the country. However, other plant species can be used in this process. One alternative is sweet sorghum *Sorghum bicolor* (L.) Moench, which similarly to sugarcane, has juicy stems with fermentable sugars. In the last years, there was an expressive growth in interest on sweet sorghum as a complementary crop to sugarcane for the production of ethanol. Due to this fact, there is a need for analysis of sorghum properties in order to meet the agro-industry demand. This work aimed to develop and analyse the maturation curves of ten sorghum cultivars in ten harvest dates. The results showed a significant difference between cultivars and harvest dates for all parameters analysed ($p \leq 0.01$). Regarding the sugar content, the cultivars BRS508, XBWS80147 and CMSX629 showed the highest average for ART and ATR. In the production of ethanol per tonne of biomass, the cultivars BRS508 and CMSX629 had the best results. The cultivars CMSX647 and CMSX646 had the lowest total reducing sugar content (ART) and the lowest total recoverable sugar (ATR), therefore the shortest period of industrial use (PIU).

Keywords: Bioenergy, Ethanol, Reducing sugars.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1. A CULTURA DO SORGO	10
2.1.1. O SORGO SACARINO	11
2.2. CARACTERES DE INTERESSE AGROINDUSTRIAL.....	12
2.2.2. AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS (ART)	12
2.2.3. AÇÚCARES TOTAIS RECUPERÁVEIS (ATR).....	13
2.2.4. PRODUÇÃO DE ETANOL (ELT).....	13
2.2.5. PERÍODO DE UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL (PUI)	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÕES.....	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia e a redução ao longo dos anos das reservas de combustíveis fósseis nos leva a uma profunda reflexão sobre a necessidade de diversificação da matriz energética mundial. De acordo com Tomaz & Assis (2013), incertezas sobre a disponibilidade de recursos não renováveis no futuro e tensões geopolíticas em regiões produtoras de petróleo têm despertado grande interesse no mundo pelos biocombustíveis, pois estes são os mais viáveis substitutos para o petróleo, em escala significativa. Além disso, em decorrência da conscientização da população e dos conhecimentos a respeito das mudanças climáticas, surge a necessidade de se encontrar fontes energéticas renováveis que não causem impactos negativos sobre o meio ambiente e apresentem um custo de produção reduzido (Zegada-Lizarazu & Monti, 2012).

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura bastante desenvolvida para a produção de biocombustível. Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) na safra 2014/2015 a área cultivada corresponde a aproximadamente 9,098 milhões hectares. A produção total de cana-de-açúcar foi estimada em 659,10 milhões de toneladas em uma produtividade média de 74,769 t ha⁻¹ (Conab, 2014). Apesar de apresentar altas produtividades, a cana-de-açúcar apresenta um período de entressafra que causa ociosidade nas usinas. Com o intuito de preencher essa janela, o sorgo sacarino *Sorghum bicolor* (L.) Moench surge como uma cultura complementar na cadeia produtiva do etanol (Parrella et al., 2010). Este tipo de sorgo apresenta colmos suculentos com açúcares diretamente fermentescíveis, possuindo a vantagem de ser utilizado nas mesmas estruturas de processamento da indústria da cana-de-açúcar (Torres et al., 2012).

O sorgo sacarino é um tipo de sorgo com colmos ricos em açúcares, de forma semelhante à cana-de-açúcar, apresentando um crescimento rápido e grande potencial para a produção de biomassa (Reddy et al., 2005). Sabendo que a disponibilidade de água tende a se tornar uma grande restrição para a produção agrícola nos próximos anos (Ryan and Spencer 2001), o cultivo da cana-de-açúcar pode se tornar mais difícil em algumas regiões, uma vez que esta cultura possui uma grande demanda hídrica (Dayakar Rao et al., 2004). Desta forma, o sorgo sacarino se tornaria uma opção lógica de complementação no sistema produtivo. A proposta de sua utilização consiste no plantio em áreas de canaviais em renovação, com plantio de outubro a dezembro e a colheita de fevereiro a

abril, cobrindo dessa forma, a entressafra da cana-de-açúcar e aumentando a produtividade das usinas (Ribeiro et al. 2013).

Comparado a outras culturas utilizadas para energia, o sorgo sacarino apresenta uma adaptabilidade mais ampla a diferentes ambientes e condições de solo. Em comparação ao milho, essa planta é mais resistente à seca e possui uma maior eficiência no uso de água e nutrientes. Quando comparado à cana-de-açúcar, o sorgo sacarino apresenta um ciclo de crescimento mais curto (120 a 150 dias), tem propagação por sementes e produz grande quantidade de amido nos grãos juntamente com açúcares solúveis no colmo (Guiying, 2000; Prasad, 2007). Uma importante característica do sorgo é que este pode ser cultivado em rotação com culturas destinadas a produção de alimentos, permitindo o uso de práticas de manejo e maquinário agrícola comum.

Mesmo que o sorgo apresente grande adaptabilidade, devemos nos lembrar que para se explorar o potencial máximo da cultura é necessário oferecer condições adequadas de desenvolvimento. Conforme May et al. (2012b), para obter um bom stand com uma elevada produção por hectare cultivado, o sorgo sacarino necessita de condições de desenvolvimento semelhantes a outras culturas, como o adequado preparo de solo, boa fertilização de base e cobertura, controle de pragas e plantas daninhas, entre outros fatores.

A utilização do sorgo tem apresentado um grande incremento ao longo dos últimos anos uma vez que esta planta tem se destacado por apresentar alta eficiência na utilização de água e nutrientes, facilidade na mecanização do plantio e colheita, boa resistência a pragas e doenças e alta produção de biomassa, produzindo de 54 a 70 t ha⁻¹ de colmos (Almodares et al., 2009) e um ciclo de cultivo de quatro meses. Contudo, mesmo que muitas variedades e híbridos tenham sido desenvolvidos e melhorados recentemente para a produção de açúcares e biomassa (Rooney, 2007), o desenvolvimento do sorgo como uma cultura energética está muito atrás de culturas como o milho e a cana-de-açúcar, devido ao menor conhecimento do manejo da cultura e do histórico de melhoramento ainda recente.

Diferentemente da cana-de-açúcar, o sorgo sacarino inicia o acúmulo de açúcares no colmo em sua fase reprodutiva, concentrando-se principalmente na maturação fisiológica dos grãos (Teixeira et al., 1999). A avaliação do perfil de acúmulo destes açúcares no colmo é um fator importante para determinar o potencial de uso de cada

variedade. Esta avaliação pode ser feita através do estudo do Período de Utilização Industrial (PUI) necessário para o planejamento de colheita e processamento de matéria-prima, que deve ser o maior possível, sendo o limite mínimo de 30 dias. Esta característica varia em função da cultivar, do manejo e do local (May et al., 2012a).

Neste contexto, o presente trabalho objetivou estabelecer as curvas de maturação de dez cultivares de sorgo sacarino, através da análise do perfil de acumulação de açúcares no colmo ao longo do tempo, para a determinação do Período de Utilização Industrial (PUI).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A CULTURA DO SORGO

O sorgo é uma planta C4 da família Poaceae considerada uma cultura ancestral. Mann et al (1983) indicaram que a origem e o início da domesticação do sorgo aconteceram na região nordeste da África, aproximadamente há 5.000 anos. Contudo, sementes carbonizadas e com datação por radiocarbono em 8.000 anos foram encontradas em escavações no sítio arqueológico pré-holocênico em Nabta Playa próximo à fronteira entre Egito e Sudão (Wendorf et al., 1992; Dahlberg and Wasylkova, 1996). Estas sementes são 3.000 anos mais velhas do que o relatado anteriormente e sugerem um interesse mais antigo de caçadores, coletores e agricultores pioneiros nesta espécie.

A domesticação do sorgo seguiu os caminhos das grandes rotas migratórias e mercantis dos povos africanos e asiáticos e à medida que a espécie se espalhou pela África e Ásia, plantas foram selecionadas e dispersadas em uma ampla gama de ambientes e para diferentes utilizações, dando origem a uma vasta diversidade genética que futuramente pôde ser explorada pela agricultura, criando o perfil da cultura que conhecemos atualmente (Dahlberg et al., 2011).

Nas Américas, as primeiras introduções ocorreram na região do Caribe, pela ação dos comerciantes de escravos africanos, onde alcançou os Estados Unidos por volta da metade do século XIX. No Brasil o sorgo possui uma história mais recente, com sua introdução comercial em meados da década de 1970 (Ribas, 2003).

O sorgo apresentou uma produção mundial estimada em 2011 de 60,2 milhões de toneladas, em uma área de 44,4 milhões de hectares. No Brasil, o sorgo tem despontado

como excelente cultura alternativa para as diversas regiões brasileiras. Algumas cultivares possuem tolerância a períodos de estiagem durante seu ciclo vital e produzem boas colheitas de grãos e massa verde. Segundo Neumann (2002), a cultura do sorgo no Brasil se adapta bem em várias regiões, como semeadura de verão no Sul e na região Central e também em condições de safrinha em sucessão a culturas como a soja.

2.1.1. O SORGO SACARINO

O sorgo sacarino é caracterizado pela alta eficiência fotossintética com capacidade de produção de energia similar à cana-de-açúcar, elevada produção de massa verde, porte alto e colmos suculentos com elevados teores de açúcares fermentescíveis no caldo (May et al. 2012 b). Devido a esta alta produção de açúcares, o sorgo sacarino é considerado uma cultura energética de particular importância para a produção de etanol (Gnansounou et al., 2005; Worley et al., 1992).

O sorgo sacarino encontra-se em uma fase de plena expansão e apresenta um grande potencial para crescer ainda mais. Um dos entraves para essa cultura é o fato de a cana-de-açúcar estabelecer um domínio sobre a cadeia produtiva do etanol. No Brasil, a cultura do sorgo avançou de modo significativo a partir da década de 1970. Desde então, a área cultivada tem apresentado variações, devido à política econômica para os biocombustíveis.

O sorgo sacarino é cultivado em 99 países, em aproximadamente 44 milhões de hectares, (Sakellariou-Makrantonaki et al., 2007). Em países como China, Índia, Estados Unidos, Brasil, Irã, Itália, Espanha, o sorgo sacarino é considerado matéria-prima promissora para produção de etanol, e diversos trabalhos de pesquisa vêm sendo desenvolvidos com essa cultura nesses países (Channappagoudar et al., 2007; Almodares et al., 2008; Wang et al., 2009; Wortmann et al., 2010).

No Brasil, a Embrapa Milho e Sorgo iniciou um programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino, na década de 1970. Inicialmente foram introduzidos 50 genótipos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), África e Índia, os quais foram caracterizados agronomicamente. Contudo, com o insatisfatório êxito do Proálcool e da política nacional direcionada para grandes destilarias, o foco das pesquisas

com sorgo sacarino foi redirecionado para a produção de cultivares forrageiras (Parrella, 2011).

A cultura do sorgo sacarino está sendo incluída no setor sucroenergético com a proposta de matéria-prima complementar à cana-de-açúcar, com objetivo principal de antecipar a safra, entrando nas moendas em março/abril, reduzindo a necessidade de matéria-prima vinda da cana-de-açúcar em época de baixa qualidade dos canaviais. Para tanto, o semeio do sorgo deve ocorrer, preferencialmente, entre novembro e dezembro do ano anterior, já que o ciclo dos cultivares atuais disponíveis no mercado é de 100-120 dias (Fernandes 2013).

2.2. CARACTERES DE INTERESSE AGROINDUSTRIAL

2.2.1. PRODUÇÃO DE MASSA VERDE (PMV)

A produção de massa verde é um fator determinante para a produção de etanol (May et al., 2012a) e existe uma grande associação entre produção de massa verde e a produtividade de etanol por hectare, pois o caldo rico em açúcares fermentescíveis é extraído em sua totalidade desta biomassa (Murray et al., 2008; Ritter et al., 2008). Assim, quanto maior o rendimento de massa verde, maior será a produtividade de caldo e açúcares por hectare e por consequência, maior volume de etanol produzido.

Em trabalho realizado por Bernardino et al. (2012), onde foram avaliadas 25 cultivares de sorgo sacarino para produção de etanol de primeira e segunda geração na região central de Minas Gerais, alcançou-se uma média de produção de massa verde de 50,981 t ha⁻¹. Também avaliando o potencial do sorgo sacarino para a produção de etanol, Souza et al. (2011) identificaram uma média de produção de massa verde de 51,13 t ha⁻¹ na região norte de Minas Gerais. Estes resultados mostram o potencial produtivo favorável do sorgo sacarino em diferentes regiões.

2.2.2. AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS (ART)

Os açúcares redutores são monossacarídeos capazes de se oxidarem na presença de agentes oxidantes em soluções alcalinas, pois possuem grupo carbonílico e cetônico livres (Silva, 2003). Neste trabalho, os açúcares redutores considerados foram a glicose e a frutose.

Os açúcares redutores totais representam a resultante da somatória dos açúcares redutores presentes nessa forma, contidos no caldo do sorgo, além da glicose e frutose que se originam da hidrólise da sacarose. São representados por todos os açúcares do material na forma de açúcar invertido e compõem totalidade dos açúcares (sacarose + glicose + frutose) no caldo, expressa em porcentagem (Fernandes, 2011).

Segundo o Consecana (2006), o teor de açúcares redutores (AR) pode ser quantificado analiticamente através do método de Lane e Eynon, ou ser estimado através de uma equação que o correlaciona com a pureza do caldo. Esta equação visa simplificar a determinação do AR, dispensando o método analítico. No caso da cana-de-açúcar, esta correlação baseia-se no fato de que brix, Pol, AR e pureza variam em função do estágio de maturação da planta (Leme Filho, 2005).

2.2.3. AÇÚCARES TOTAIS RECUPERÁVEIS (ATR)

Os Açúcares Totais Recuperáveis correspondem a quantidade de açúcares redutores totais recuperada do caldo do colmo (Fernandes, 2011; Consecana, 2006). Atualmente, o pagamento aos produtores é baseado, conforme estabelece o Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo – Consecana, em quilogramas de açúcar total recuperável (ATR). Dentre as vantagens desta forma de pagamento destaca-se a qualidade da cana-de-açúcar produzida, recompensando os produtores quando entregam material de melhor qualidade, buscando assim a produção de matérias-primas nobres, não privilegiando somente a produtividade de colmos por hectare (Leme Filho, 2005; Consecana, 2006).

2.2.4. PRODUÇÃO DE ETANOL (ELT)

Os principais açúcares livres no caldo do sorgo sacarino são: a glicose, a frutose e a sacarose. Ressalta-se que o sorgo sacarino tem maior quantidade de açúcares redutores quando comparado a cana-de-açúcar, porém, não há diferença entre as quantidades totais de açúcares solúveis. Assim, os parâmetros tecnológicos e métodos analíticos para controle de qualidade do sorgo sacarino podem ser os mesmos utilizados na cana-de-açúcar (Gomes et al., 2011).

Todo processo industrial sofre alteração de rendimento em função da composição da matéria-prima. Neste caso, uma boa produção de etanol é dependente da quantidade e

da composição de açúcares no caldo. Os teores de açúcar encontrados no sorgo sacarino encontram-se em torno de 15 a 21%, valores bem próximos aos encontrados na cana-de-açúcar, contudo, uma diferença significativa está na composição destes açúcares no caldo. Na cana-de-açúcar, destaca-se a sacarose e no sorgo sacarino, uma concentração mais elevada de açúcares redutores, glicose e frutose. Esta diferença afeta o processo de produção de etanol, podendo haver maiores riscos de contaminação, levando em consideração o processo fermentativo, onde as bactérias contaminantes do meio priorizam a glicose (Machado, 2011).

Vários autores obtiveram resultados interessantes ao avaliarem o potencial de utilização do sorgo sacarino para a produção de etanol. Borges et al. (2010) caracterizaram o caldo extraído dos colmos do cultivar de sorgo sacarino BRS 506 e concluíram que é possível produzir entre 50 e 65 litros de etanol por tonelada de colmos e, estimaram produção de etanol entre 4.544 L ha⁻¹ e 6.636 L ha⁻¹. Parrella et al. (2010) avaliando o desempenho de 25 cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes, visando a produção de etanol defenderam que é possível produzir entre 40 e 70 litros do biocombustível por tonelada de biomassa. Emygdio et al. (2011) estimaram, para o cultivar de sorgo sacarino BR 506, uma produção de biomassa entre 48 e 70 t ha⁻¹ e uma média de 55 litros de etanol por tonelada de colmos, o que permitiria produzir, entre 2.640 L ha⁻¹ e 3.850 L ha⁻¹ de etanol.

2.2.5. PERÍODO DE UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL (PUI)

O período de utilização industrial (PUI) é o número de dias em que uma cultivar apresenta ART acima de 12,5% e extração de açúcar superior a 80 kg t⁻¹ com base na extração de açúcar a partir de uma amostra de 500 gramas, utilizando uma prensa hidráulica (245 kg. cm⁻² durante 60 segundos).

De acordo com Schaffert (2013), variedades de sorgo sacarino apresentam consistentemente PUI melhores e mais longos quando comparadas aos híbridos. A razão disso é que a maioria ou todos os híbridos são derivados de linhagens fêmeas com colmos suculentos sem açúcar, encontradas nas coleções das linhagens fêmeas de sorgo desenvolvidas para a produção de híbridos graníferos e forrageiros. Além de possuírem colmo sem açúcar, essas linhagens foram desenvolvidas para máxima produção de grãos, o que é indesejável para o sorgo sacarino. Alta produção de grãos em sorgo sacarino

aumenta as chances de acamamento, bem como um possível dreno da produção de açúcar, via fotossíntese, para a produção de amido.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No ano agrícola de 2013/14 foram conduzidos ensaios de comparação de cultivares de sorgo sacarino em área experimental da Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas – MG, 19°28' latitude sul, 44°15'08" longitude oeste e altitude de 732m. O clima característico da região é Aw (Köppen), ou seja, típico de regiões de savana, com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18°C. O solo da área é classificado como latossolo vermelho distrófico, cujas características são apresentadas na tabela 1.

Pode-se observar que as condições de fertilidade do solo da área se encontram bastante favoráveis, como pH = 6, teor de Carbono e Matéria Orgânica bons, acidez trocável (Al) em valores satisfatórios e teores de Potássio e Fósforo adequados. Na adubação de plantio foram aplicados 400 kg.ha⁻¹ do formulado 8-28-16 (NPK), e 200 kg.ha⁻¹ de ureia foram utilizados na adubação de cobertura 20 dias pós-semeadura. Após 15 dias de emergência, realizou-se o desbaste, onde foram mantidas na área oito plantas por metro linear, totalizando 40 plantas por linhas de cinco metros.

Tabela 1. Análise de solo da área experimental - EMBRAPA Milho e Sorgo – CNPMS em Sete Lagoas/MG. pH em água destilada. Extrator de P, K e micronutrientes, Mehlich-1. M.O Matéria Orgânica, Capacidade de troca de cátions, S + H+ Al. V - Porcentagem de saturação de bases, V=100 S/T.

Table 1. Soil analysis of the experimental area – EMBRAPA Maize and Sorghum – CNPMS Sete Lagoas/MG. pH in distilled water. Extractor of P, K and micronutrients, Mehlich-1. M.O - Organic Matter. Cation-exchange capacity - S+H+Al. V – Percent Base Saturation – V=100 S/T.

Amostra	pH	M. O.	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	C	V	Sat. Al
	H ₂ O	(dag/kg)	(mg/dm ³)		(cmolc/dm ³)						(%)		
00-20cm	6	5.3	15.0	246.7	9.1	0.8	0.04	7.4	10.6	17.9	3.0	59	0.38
20-40cm	6.1	4.6	14.2	206.9	8.9	0.8	0.05	7.4	10.3	17.7	2.7	58	0.48

O controle de plantas daninhas foi efetuado pós-semeadura com a utilização de Atrazina, na dosagem de 1,5 Kg do ingrediente ativo ou 3 litros do produto comercial por hectare, sendo complementado pela capina manual. Irrigação suplementar foi aplicada durante o estabelecimento da cultura a fim de evitar estresses hídricos neste período. Os genótipos avaliados foram: XBWS80147 e XBWS80007 (Híbridos comerciais da Monsanto), Sugargraze (Híbrido comercial da Advanta), BRS 508 and BRS 511

(variedades comerciais da Embrapa) e cinco genótipos experimentais da Embrapa (CMSXS647, CMSXS629, CMSXS643, CMSXS630, CMSXS646).

Os dez genótipos foram avaliados em dez épocas de colheita, sendo os experimentos delineados em blocos casualizados com três repetições, com semeadura realizada no dia 15 de outubro de 2013. As parcelas experimentais foram compostas por três linhas de 5 m de comprimento e 0,70 m de espaçamento com população de 125.000 plantas.ha⁻¹. Para efeito de avaliação, foi considerada a fileira central. Os experimentos foram colhidos sequencialmente a partir do florescimento, 93 dias após semeadura, totalizando dez cortes com intervalo de 7 dias entre colheitas. Foram avaliadas ao longo das épocas, peso de massa verde (PMV), em t.ha⁻¹; porcentagem de açúcares redutores totais (ART), em % de caldo; açúcares totais recuperáveis (ATR), em kg de açúcar por tonelada de biomassa e a produção de etanol em litros por tonelada de biomassa (ELT).

O peso da massa verde foi calculado por parcela e transformado em tonelada por hectares. Foram cortadas as plantas da área útil da parcela a 5,0 cm da superfície do solo. Após a remoção das panículas, foi feita a pesagem dos colmos com folhas utilizando-se uma balança digital de suspensão. Amostras de oito colmos sem folhas de cada parcela foram coletadas, desfibradas e homogeneizadas em equipamento apropriado. Após a extração do caldo, sub-amostras foram utilizadas para as análises tecnológicas no sacarímetro para determinação da sacarose e no Redutec®, para determinação dos açúcares redutores. Para o cálculo das variáveis analisadas neste trabalho, foram utilizadas as seguintes fórmulas adaptadas do Consecana (2006):

I) Açúcares redutores totais - ART (% de açúcares redutores totais no caldo):

$$ART = AR + Pol / 0,95$$

Onde:

AR = Açúcares redutores (%);

Pol = Teor de sacarose aparente

II) Açúcares totais recuperáveis – ATR (kg de açúcares recuperáveis por tonelada de biomassa):

$$ATR = 10 \times PC \times 1,05263 \times 0,905 + 10 \times ARC \times 0,905$$

Onde:

10 x PC = pol por tonelada de sorgo

1,05263 = coeficiente estequiométrico de conversão da sacarose em açúcares redutores

0,905 = coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 9,5%.

10 x ARC = açúcares redutores por tonelada de biomassa

III) Estimativa de Produção de Etanol Hidratado - ELT (litros de etanol por tonelada de biomassa):

Etanol (ELT) = ART (% caldo) x 10 x 0,6475

Considerando um processo fermentativo de 85% de eficiência

Os dados coletados foram submetidos a uma análise de variância conjunta em esquema fatorial, sendo dez genótipos x dez épocas de avaliação, utilizando o Programa Genes (Cruz, 2006). Além disso, foram geradas regressões para os genótipos analisados.

Foram construídas curvas de maturação para avaliar a sequência de mudanças físico-químicas que ocorreram durante a maturação, como também monitorar a formação de açúcares nos colmos do sorgo sacarino buscando encontrar o melhor ponto para a colheita. Na construção das curvas, avaliou-se a produção de massa verde (PMV), os açúcares redutores totais (ART), açúcares totais recuperáveis (ATR) e a estimativa da produção de álcool em litros por tonelada de biomassa (ELT).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos das análises de variância para produção de massa verde (PMV), açúcares redutores totais (ART), açúcares totais recuperáveis (ATR) e produção de etanol em litros por tonelada (ELT) estão apresentados na tabela 2. Foi observada diferença significativa para cultivares e épocas de colheita para todas as variáveis analisadas ($p \leq 0,01$). Isto demonstra as diferenças genéticas entre as cultivares e alterações devido aos diferentes estágios de desenvolvimento fisiológico das plantas ao longo das avaliações. Nas interações entre cultivares e épocas de colheitas, não foram observadas diferenças significativas para PMV, o que constitui incoerência de alteração do desempenho das cultivares no decorrer das avaliações para esta característica.

Em relação à interação CxE, houve diferença significativa a 5% de probabilidade para o ATR e a 1% de probabilidade para ART e ELT. Isto demonstra o comportamento diferencial das cultivares em diferentes ambientes. O coeficiente de variação dos dados,

para todas as características (PMV – 13,84%, ART – 9,41%, ATR – 9,013% e ELT – 9,41%) foram menores que os observados por Martins (2014) (PMV – 23,53%, ART – 17,12%, ATR – 16,20% e ELT – 17,12%), evidenciando que o experimento gerou erros aceitáveis para o estudo destas características.

Tabela 2. Análise de variância conjunta para produção de massa verde (PMV), em t.ha⁻¹, açúcares redutores totais (ART), em %, açúcares totais recuperáveis (ATR), em kg.t⁻¹, produção de etanol em litros por tonelada (ELT) de 10 cultivares de sorgo sacarino em 10 épocas de corte após o florescimento, 93 dias após semeadura.

Table 2. Combined analysis of variance for Fresh Mass Production (PMV) in t ha⁻¹, total reducing sugars (ART), in %, total recoverable sugars (ATR) in kg .t⁻¹, and ethanol production (ELT), in liters per tonne of ten cultivars of sweet sorghum in ten harvest dates after flowering, 93 days after sowing.

FV	GL	QM							
		PMV		ART		ATR		ELT	
Bloco/Épocas	20	111.49		1.69		118.09		51.38	
Cultivares (C)	9	1846.05	**	47.64	**	2203.13	**	1442.71	**
Épocas (E)	9	2431.72	**	121.51	**	6349.91	**	3681.04	**
C x E	81	93.45	NS	1.42	**	77.32	*	42.89	**
Resíduo	180	94.85		.92		51.63		27.93	
Média		70.37		10.20		79.72		56.15	
CV(%)		13.84		9.41		9.013		9.41	

*, ** significativo pelo teste F a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

As curvas de regressão correspondentes à produção de massa verde dos genótipos (Figura 1) mostram valores iniciais entre 70 e 100 t. ha⁻¹, destacando-se os genótipos CMSXS647, XBWS80147, CMSXS646, XBWS80007, CMSXS643 com produção média de 88.74 t. ha⁻¹, 75.18 t. ha⁻¹, 71,47 t. ha⁻¹, 70,51 t. ha⁻¹ e 70,50 t. ha⁻¹, respectivamente. Os demais genótipos apresentaram uma produção média entre 60 t. ha⁻¹ e 70 t. ha⁻¹. Estes resultados mostram o potencial de produção de biomassa do sorgo sacarino em comparação com a cana-de-açúcar que apresenta produtividade média de 74,769 t. ha⁻¹ (Conab, 2014).

Apesar de ser um indicador importante do potencial do sorgo sacarino, a alta produtividade de biomassa isoladamente não fornece os requisitos necessários para a qualificação das cultivares quando se objetiva a produção de etanol. Dessa forma, torna-se necessário avaliar as curvas de acúmulo de açúcares durante o desenvolvimento da planta. Além disso, o setor sucroalcooleiro atualmente paga os fornecedores com parâmetro baseado na qualidade da matéria prima, em açúcares totais recuperáveis, e não apenas no peso do carregamento (Consecana, 2006).

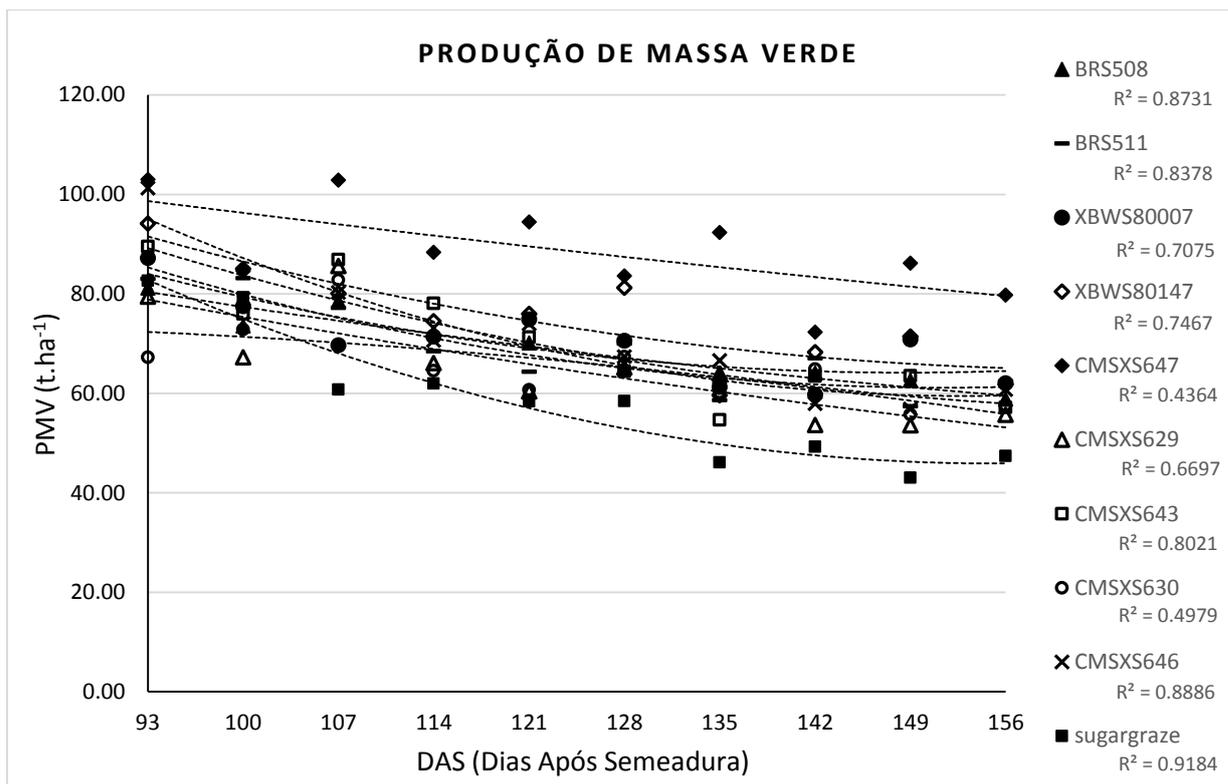


Figura 1. Curvas de produção de massa verde (PMV), em $t \cdot ha^{-1}$ de 10 cultivares de sorgo sacarino em 10 épocas de corte a partir do florescimento.

Figure 1 Curves of Fresh Mass Production (PMV) in $t \cdot ha^{-1}$ of 10 cultivars of sweet sorghum in 10 harvest dates.

O período de utilização industrial (PUI) compreende o período em que a cultivar consegue permanecer no campo, mantendo a produtividade e a qualidade em níveis ideais, de acordo com os padrões mínimos estabelecidos, visando à viabilização do cultivo até que seja colhida e processada pela usina. Para isso tomam-se como base teores mínimos de açúcares correspondentes a 12,5% para ART e de 80 $kg \cdot t^{-1}$ de biomassa para ATR (Schaffert & Parrella, 2013; May et al., 2012a).

A Figura 2 apresenta o desempenho das dez cultivares avaliadas quanto ao acúmulo de açúcares redutores totais (ART). A cultivar BRS508 apresentou as maiores médias de açúcares redutores totais em todas as épocas avaliadas, com valor superior ao mínimo estabelecido a partir de 114 dias após a sementeira e mantendo-se com teor elevado até a conclusão das avaliações, totalizando 42 dias.

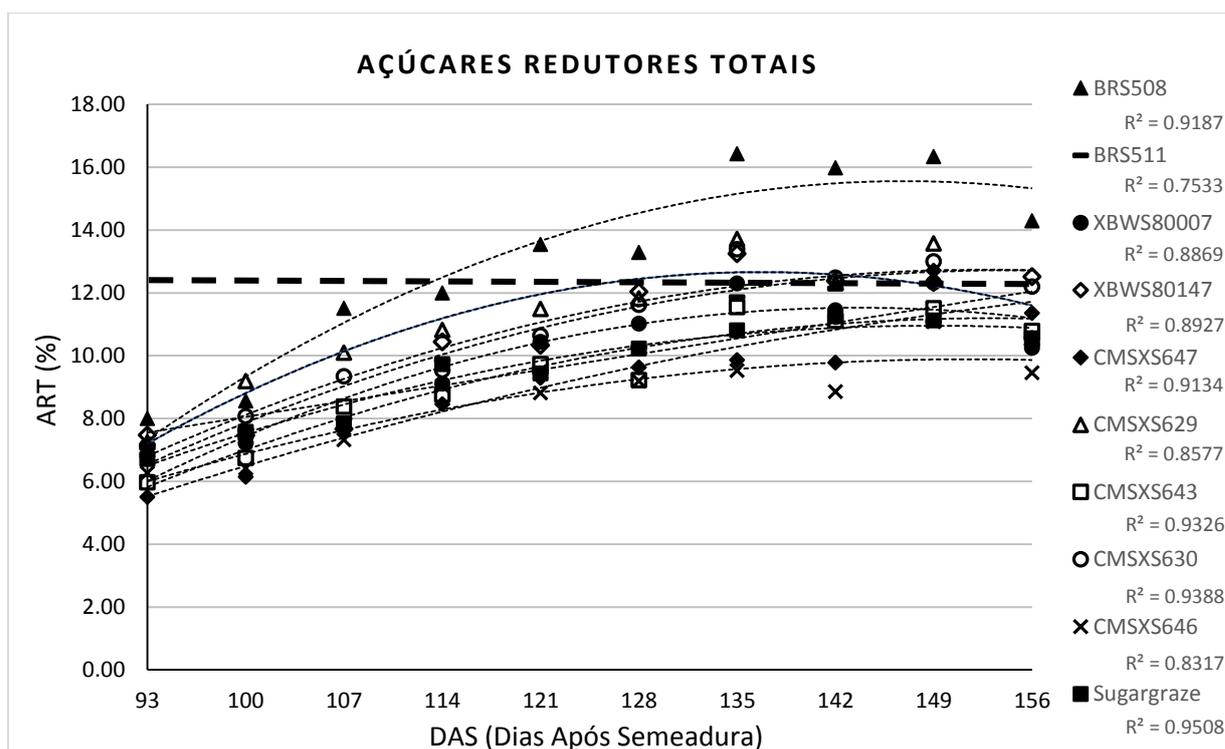


Figura 2. Curvas de açúcares redutores totais (ART), em % de 10 cultivares de sorgo sacarino em 10 épocas de corte a partir do florescimento.

Figure 2. Curves of total reducing sugars (ART), in % of 10 cultivars of sweet sorghum in 10 harvest dates.

A cultivar XBSW80147 alcançou teor superior ao mínimo estabelecido após 128 dias e manteve um PUI de 28 dias. A cultivar CMSXS629 alcançou o valor mínimo de ART após 128 dias, porém apresentou um PUI próximo de 20 dias. A cultivar CMSXS630 obteve o valor mínimo 135 dias após o plantio e apresentou PUI de apenas 14 dias. As demais cultivares avaliadas não atingiram o valor mínimo de ART estabelecido. Este fato pode estar relacionado à grande ocorrência da broca da cana-de-açúcar *Diatrea saccharalis* e a consequente podridão vermelha do colmo, causada pelos fungos *Colletotrichum falcatum* e *Fusarium moniliforme*, que penetram pelos orifícios feitos pelo inseto.

Como pode ser observado na Figura 3 as curvas de maturação de açúcares totais recuperáveis (ATR) se assemelham às do ART. Em relação ao ATR as cultivares BRS508 e CMSXS629 apresentaram-se acima do mínimo estabelecido a partir da terceira avaliação, totalizando aproximadamente 50 dias de PUI. As cultivares XBSW80147 e XBWS80007 alcançaram o valor mínimo 114 e 121 dias após sementeira, totalizando aproximadamente 42 e 35 dias, respectivamente. A cultivar CMSXS630 atingiu o valor mínimo 121 dias após o plantio, apresentando um PUI de 35 dias.

As cultivares BRS511 e Sugargraze alcançaram o valor mínimo após 128 dias, mantendo um PUI de 28 dias. A cultivar CMSXS643 obteve o valor mínimo apenas aos 135 dias após o plantio, apresentando um PUI de 21 dias. As cultivares CMSXS647 e CMSXS646 alcançaram o valor mínimo 149 dias após o plantio, apresentando portanto o menor PUI. Estes resultados mostram um PUI maior do que os encontrados em avaliações realizadas por Martins (2014) considerando a safra 2011/2012, quando o BRS 508 apresentou PUI de 38 dias, o XBSW80147 de 20 dias e Sugargraze não apresentou o ATR mínimo. Na safra 2012/2013, apenas o BRS 508 apresentou-se acima do ATR mínimo durante 49 dias.

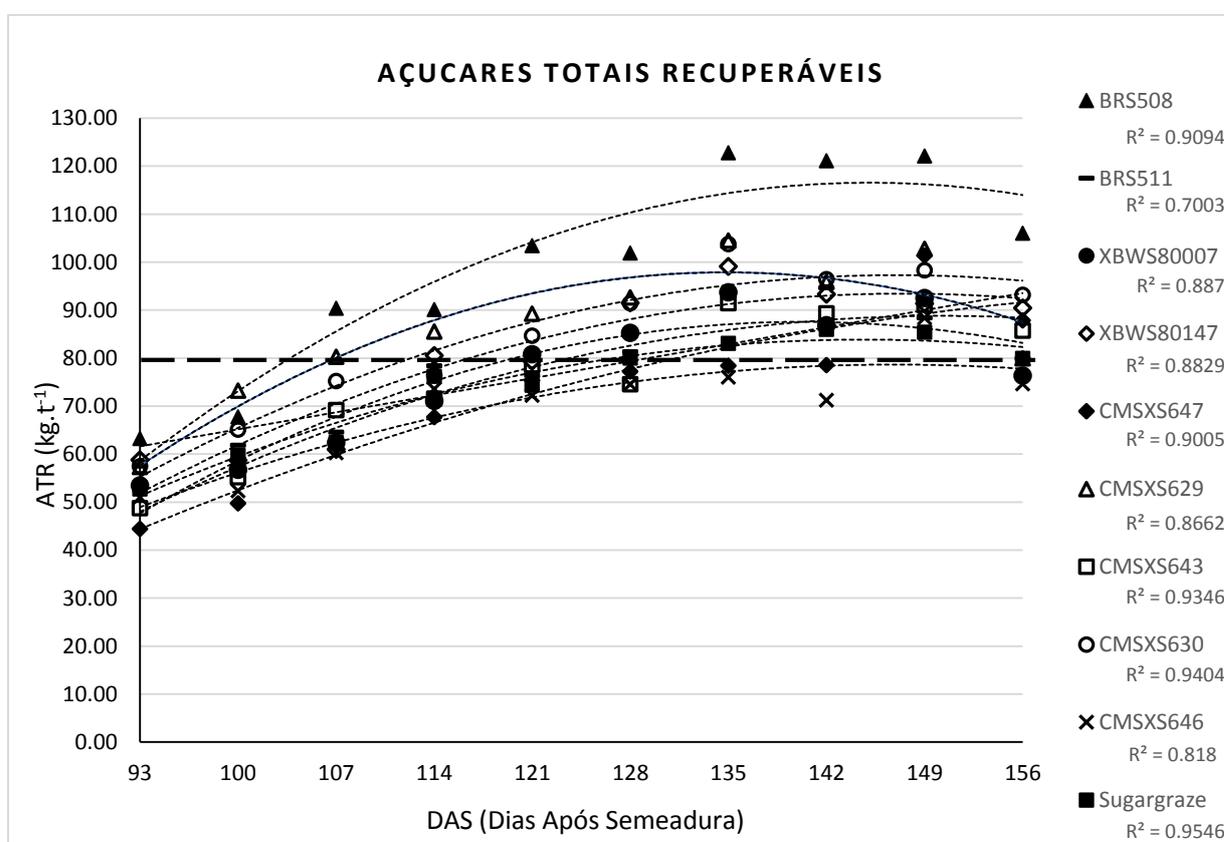


Figura 3. Curvas de açúcares totais recuperáveis (ATR), em kg.t^{-1} de 10 cultivares de sorgo sacarino em 10 épocas de corte a partir do florescimento.

Figure 3. Curves of total recoverable sugars (ATR), in kg.t^{-1} of 10 cultivars of sweet sorghum in 10 harvest dates.

Na Figura 4 estão presentes as curvas referentes à produção de etanol em litros por tonelada. Assim como nas curvas de ART e ATR, podemos ver que existe um acréscimo na produção ao longo do tempo. De acordo com Schaffert (2013), os valores ideais de produção de etanol para cultivares de sorgo sacarino no Brasil devem ser superiores a 60 L.t^{-1} . A cultivar BRS508 se destacou na produção, superando o valor mínimo aos 107 DAS com $63,35 \text{ L.t}^{-1}$, alcançando um valor máximo de $90,4 \text{ L.t}^{-1}$ aos

135 DAS e finalizando com 78,6 L. t⁻¹ aos 156 DAS, mantendo uma boa produção por 49 dias.

O genótipo CMSXS629 alcançou 63,24 L. t⁻¹ aos 121 DAS com um pico de produção de 75,5 L. t⁻¹ aos 135 DAS mantendo uma produção satisfatória por 35 dias. Outros destaques foram, CMSXS630, XBWS80147 e XBWS80007 que mantiveram um período de produção satisfatória por 28 dias, alcançando 63,93 L. t⁻¹, 66,23 L. t⁻¹ e 60,67 L. t⁻¹ aos 128 DAS, respectivamente. Os genótipos BRS511 e CMSXS643 alcançaram o limite mínimo aos 135 DAS com 65,29 L. t⁻¹ e 63,59 L. t⁻¹, respectivamente, mantendo o período de produção por 21 dias. O Sugargraze alcançou 61,9 L. t⁻¹ aos 142 DAS e manteve uma média de produção próxima deste valor até o final das avaliações, totalizando 14 dias. Os genótipos CMSXS647 e CMSXS646 alcançaram o limite mínimo apenas aos 149 DAS, com 69,97 L. t⁻¹ e 60,98 L. t⁻¹ respectivamente.

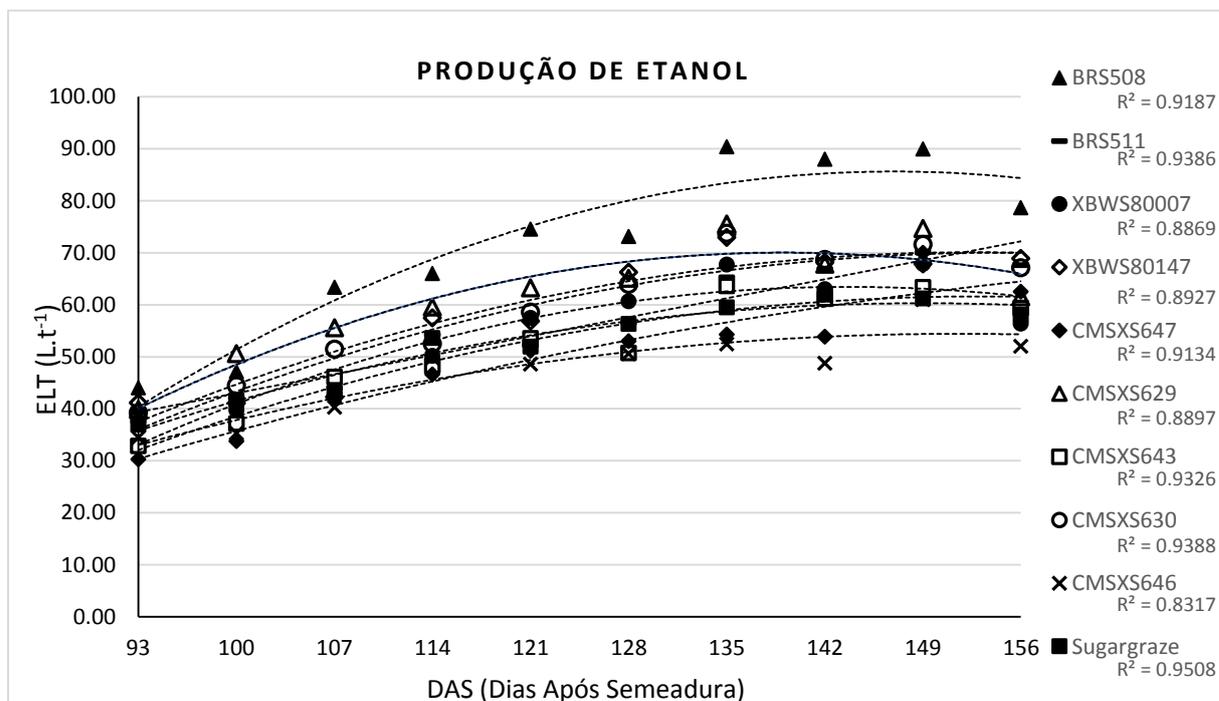


Figura 4. Curvas de produção de Etanol em Litros por Tonelada (ELT) de 10 cultivares de sorgo sacarino em 10 épocas de corte a partir do florescimento.

Figure 4. Curves of ethanol production in liters per tonne (ELT) of 10 cultivars of sweet sorghum in 10 harvest dates.

Na figura 5 estão presentes os perfis de produção de massa verde, acumulação de açúcares e produção de etanol de todas as cultivares, desta forma é possível analisar a relação entre as variáveis em cada caso. O ajuste dos dados à equação de regressão quadrática medido pelo coeficiente de determinação foi satisfatório para todos os genótipos analisados.

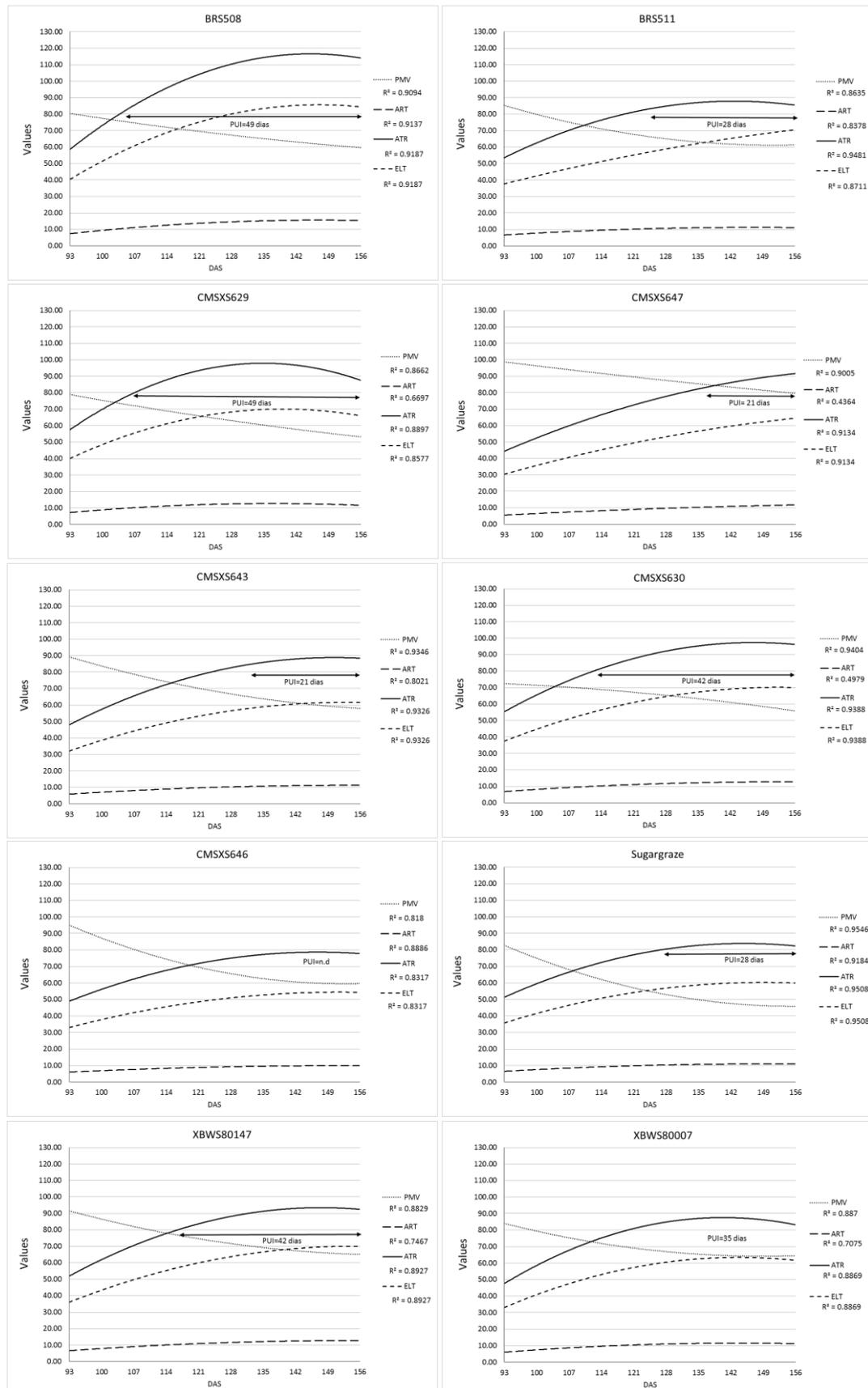


Figura 5. Curvas de maturação de 10 cultivares de sorgo sacarino em 10 épocas de corte a partir do florescimento. PUI correspondente ao período em que a cultivar manteve ATR acima de 80 kg t^{-1} PMV (kg por tonelada); ART (%), ATR (kg de açúcar por tonelada de biomassa) e ELT (Litros de etanol por tonelada de biomassa).
 Figure 5. Maturation Curves of 10 cultivars of sweet sorghum in 10 harvest dates. PUI corresponding to ATR above 80 kg t^{-1} . PMV (kilograms per tonne of biomass), ART - Total reducing sugars (%), ATR - Total recoverable sugars (kilograms per tonne of biomass) and ELT - ethanol production (liters per tonne of biomass).

5. CONCLUSÕES

Houve resposta diferencial entre os genótipos em todos os parâmetros relacionados à produção de açúcares e a época de colheita teve influência nos caracteres agroindustriais avaliados.

A respeito dos açúcares redutores totais (ART), a cultivar BRS508 apresentou os maiores valores em todas as épocas avaliadas, com valor superior ao mínimo estabelecido (12,5%) a partir de 114 dias após a semeadura e mantendo-se com teor elevado até a conclusão das avaliações, totalizando 42 dias. As demais cultivares não conseguiram atender os requisitos mínimos (12,5% por 30 dias).

Em relação aos açúcares totais recuperáveis (ATR), apenas quatro cultivares (BRS 508, CMSXS629, XBSW80147 e XBWS80007) conseguiram manter o valor mínimo de 80 kg. t⁻¹ de biomassa por um período superior a 30 dias. Dentre estas, vale ressaltar o desempenho das cultivares BRS 508 e CMSXS629 que atingiram o valor mínimo necessário na terceira avaliação (107 DAS).

No caso da produção de etanol por tonelada de biomassa (ELT), as cultivares BRS 508 e a CMSXS629 apresentaram os melhores resultados, mantendo uma boa produção por 49 e 35 dias e uma produção média de 71.51L.t⁻¹ e 61.33L.t⁻¹, respectivamente.

Apesar de as curvas serem bastante variáveis em relação a cada genótipo, foi possível observar a partir da análise do PMV, ART, ATR e ELT, que o ponto de colheita com maiores rendimentos dos genótipos avaliados está entre os 114 DAS e 135 DAS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almodares A, Hadi MR and Ahmadpour H (2008) Sorghum stem yield and soluble carbohydrates under phonological stages and salinity levels. *African Journal of Biotechnology*. 7:4051-4055.

Almodares A and Hadi MR (2009) Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (9):772-780.

Bernardino KC, Souza VF, Junior GAC, Mourão CS, Silva KJ, Santos CV, Costa RK, Parrella RAC and Schaffert RE (2012) Caracterização de Cultivares de Sorgo Sacarino Visando a Produção de Etanol de Primeira e Segunda Geração. XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo p. 3169-3175.

Borges ID, Mendes AA, Viana EJ, Gusmão CAG, Rodrigues HFF and Carlos LA (2010) Caracterização do caldo extraído dos colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 (*Sorghum bicolor* L.). XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo p. 1010-1017.

Channappagoudar BB, Biradar NR, Patil, JB and Hiremath SM (2007). Assessment of sweet sorghum genotypes for cane yield, juice characters and sugar levels. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 20 (2):294-296.

Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2014) Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-açúcar, v.1 – Safra 2014/15, n.2 – Segundo Levantamento, Brasília, p. 1-20, ago. 2014.

Consecana. Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (2006) Manual de Instruções. Piracicaba-SP, 112p.

Cruz CD (2006) Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p.

Dahlberg JA and Wasylkova K (1996) Image and statistical analyses of early sorghum remains (8000 B. P.) from the Nabta Playa archaeological site in the Western Desert, southern Egypt. *Vegetation History and Archaeobotany* 5: 293-299.

Dahlberg JA, Berenji J, Sikora V and Latković D (2011) Assessing sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. *Maydica* 56-1750.

Dayakar RB, Ratnavathi CV, Karthikeyan K, Biswas PK, Rao SS, Vijay Kumar BS and Seetharama N (2004) “Sweet Sorghum cane for bio-fuel production: A SWOT analysis in Indian context”, National Research Center for Sorghum, Rajendranagar, Hyderabad, Andhra Pradesh 500 030, India. 20pp.

Emygdio BM (2011) Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento Embrapa Clima Temperado*. Pelotas, RS. 22p.

Fernandes PG (2013) Avaliação agrônômica de dois cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em Sete Lagoas – MG. Tese de doutorado. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Fernandes AC (2011) Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar. 3º ed. Piracicaba: STAB,.416p.

Gomes A, Rodrigues D, Oliveira P (2011) Caracterização do sorgo para a produção de etanol. *Agroenergia em Revista*, ano II, nº3, p.24.

Gnansounou E, Dauriat A and Wyman CE (2005) Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresour. Technol.* 96, 985–1002.

Guiying L, Weibin G, Hicks A and Chapman KR (2000) A training manual for sweet sorghum. Bangkok, Thailand: FAO.

Leme Filho JRA (2005) Estudo comparativo dos métodos de determinação e de estimativa dos teores de fibra e de açúcares redutores em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). 151p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola de Agricultura Luiz de Queiroz. São Paulo.

Machado CMM (2011) Produção de etanol de sorgo sacarino. *Agroenergia em Revista*, ano II, nº3, p.25-26.

Mann JA, Kimber CT, Miller FR (1983) The origin and early cultivation of sorghums in Africa. *Texas Agricultural Experiment Station Bulletin* 1454.

Martins AM (2014) Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol na região central de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas-MG.

May A, Campanha MM, Silva AF, Coelho MAO, Parrella RAC, Schaffert RE and Filho IAP (2012a) Variedades de Sorgo Sacarino em Diferentes Espaçamentos e População de Plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.11, n.3, p.278-290.

May A, Durães FOM, Vasconcellos JH, Parrella RAC and Miranda RA (2012b) Seminário Temático sobre Sorgo Sacarino. *Anais do I Seminário Temático sobre Sorgo Sacarino*, Sete Lagoas, 20 a 21 de setembro de 2011. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 83 p. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 137).

Murray SC, Rooney WL, Mitchell SE, Sharma A, Klein PE, Mullet JE and Kresovich S (2008) Genetic Improvement of Sorghum as a Biofuel Feedstock: II. QTL for Stem and Leaf Structural Carbohydrates. *Crop Science*, v.48, p.2180-2193.

Neumann M, Restle J, Alves Filho DC, Brondani IL, Pellegrini LG and Freitas AK (2002) Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). *Revista Brasileira de Zootecnia* 31:293-301.

Parrella RAC (2011) Melhoramento genético do sorgo sacarino. *Agroenergia em Revista – Sorgo sacarino: Tecnologia Agrônômica e Industrial para Alimentos e Energia*. Brasília, 3:8-9.

Parrella RAC, Meneguchi JLP, Ribeiro A, Silva AR., Parrella NNLD, Rodrigues JAS, Tardin FD and Schaffert RE (2010) Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diversos ambientes visando produção de etanol. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo; Simpósio Brasileiro sobre Lagarta do Cartucho, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 256-263.

Prasad S, Singh A, Jain N and Joshi HC (2007) Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. *Energ Fuels*; 21:2415e20.

Reddy BVS, Ramesh S, Sanjama, RP, Ramaih B, Salimath PM and Kachapur R (2005) Sweet sorghum – A potential alternative raw material for bio-ethanol and bio-energy. *International Sorghum and Millets Newsletter* 46:79–86.

Ribas PM (2003) Sorgo: Introdução e Importância Econômica. Documento 23. Embrapa. Sete Lagoas, MG.

Ribeiro PCO, Parrella RAC, Ribeiro AMP, Santos CV (2013) Caracterização de Cultivares de Sorgo Sacarino Visando a Produção de Etanol no Triângulo Mineiro. VII Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas.

Ritter KB, Jordan DR, Chapman SC, Godwin ID, Mace ES and McIntyre CL(2008) Identification of QTL for sugar-related traits in a sweet × grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) recombinant inbred population. *Molecular Breeding*. V.22. p.367–384.

Rooney WL, Blumenthal J, Bean B, Mullet JE (2007) Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. *Biofuels Bioprod Bior*; 1:147e57.

Ryan JG and Spencer DC (2001) Future challenges and opportunities for agricultural R&D in the semi-arid tropics. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 83 pp.

Schaffert RE (2013) Minimum Concepts for Ethanol Production from Sweet Sorghum in Brazil. Sweet Sorghum Ethanol Association. Annual Conference. Apresentação de trabalho. January 24-25, 2013 Orlando, Florida.

Schaffert RE and Parrella RAC (2013) Planejamento Industrial. Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa.

Silva RN (2003) Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. Ciênc. Tecnol. Aliment. [online]. v. 23, n. 3, pp. 337-341.

Souza VF, Parrella RAC, Portugal AF, Tardin FD, Parrella NNLD and Schaffert RE (2011) Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino em Duas Épocas de Plantio no Norte de Minas Gerais Visando a Produção de Etanol. In: VI Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas. Búzios, RJ.

Teixeira CG, Jardine JG, Nicolela G and Zaroni MH (1999) Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, n.9, p.1601-1606.

Tomaz HVQ and Assis RT (2013) 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. Cap. 6, P.73-84.

Torres TBCF, Parrella RAC, Parrella NNLD, Portugal AF, Souza VF and Schaffert RE (2012) Caracterização de cultivares de Sorgo sacarino no norte de Minas Gerais visando a produção de Etanol. XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo – Águas de Lindóia, ago 2012.

Wang LJ, Xu XD, Jiang Y, Dong HY, Li LK, Luan SY (2009) Control technology for major sorghum pests. Bull. Agr. Sci. Technol. Sin. 12:159-160.

Wendorf F, Close AE, Schild R, Wasylikowa K, Housley RA, Harlan JR, Królik H (1992) Saharan exploitation of plants 8,000 years bp. Nature 359: 721–724

Worley JW, Vaughan DH and Cundiff, JS (1992) Energy analysis of ethanol production from sweet sorghum. *Bioresour. Technol.* 40, 263–273.

Wortmann CS, Liska AJ, Ferguson RB, Lyon DJ, Klein RM and Dweikat, I (2010) Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel. *Agronomy Journal*. 102:319-326.

Zegada-Lizarazu W and Monti A. (2012) Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. *Biomass and Bioenergy* 40 (2012) 1-12.