



ALEXANDRE DE MATOS MARTINS

**PERÍODO DE UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL DE CULTIVARES DE
SORGO SACARINO VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL NA
REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS**

Sete Lagoas/MG

2014



ALEXANDRE DE MATOS MARTINS

**PERÍODO DE UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL DE CULTIVARES DE
SORGO SACARINO VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL NA
REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS**

Sete Lagoas/MG

2014

ALEXANDRE DE MATOS MARTINS

**PERÍODO DE UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL DE CULTIVARES DE
SORGO SACARINO VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL NA
REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Profa. Dra. Daniela de Carvalho Lopes

Coorientador: Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella

**Sete Lagoas/MG
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Divisão de Bibliotecas da UFSJ- MG, Brasil.

M379p 2013 Martins, Alexandre de Matos, 1977-
Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol na região central de Minas Gerais / Alexandre de Matos Martins. -- 2013.
69 p.

Orientador: Daniela de Carvalho Lopes
Coorientador: Rafael Augusto da Costa Parrella
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São João Del-Rei,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.
Inclui bibliografia.

1. Sorghum bicolor L. Moench - teses. 2. Biocombustíveis - Teses. 3. Agroindústria - Teses. I. Lopes, Daniela de Carvalho. II. Parrella, Rafael Augusto da Costa. III. Universidade Federal de São João Del-Rei. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 63

ALEXANDRE DE MATOS MARTINS

**PERÍODO DE UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL DE CULTIVARES DE SORGO
SACARINO VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL NA REGIÃO CENTRAL DE
MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Profa. Dra. Daniela de Carvalho Lopes

Coorientador: Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella

Sete Lagoas, 12 de Fevereiro de 2014.

Banca Examinadora:

Dr. Robert Eugene Schaffert – Embrapa-CNPMS

Dr. Carlos Juliano Brant Albuquerque – EPAMIG

Prof. Dr. Silvino Moreira Guimarães – UFSJ

Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella – Embrapa-CNPMS

Profa. Dra. Daniela de Carvalho Lopes – UFSJ

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Davi e minha esposa Fernanda, fontes de amor.
Aos meus pais Geraldo e Eliete pelo carinho, amor e atenção.
Aos meus irmãos Geraldo Júnior e Alex pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela proteção saúde e luz que sempre brilha clareando e orientando os meus caminhos.

Aos meus amados pais, Geraldo e Eliete, meus irmãos Geraldo Júnior e Alex, a Selça, minhas tias Elcy e Elenice e meu afilhado Hugo, que sempre estiveram ao meu lado neste desafio.

A minha saudosa irmã, Alessandra (*in memorian*), fonte de inspiração, na certeza de que assim como todos está muito feliz com esta conquista.

A Universidade Federal de São João Del Rey, pela oportunidade.

A Embrapa Milho e Sorgo, pela parceria total para a realização deste trabalho.

A Dra. Daniela Lopes, orientadora, pelas suas cobranças, contribuições, confiança e apoio ao trabalho.

Ao Pesquisador da Embrapa e amigo Dr. Rafael Parrella, pela co-orientação, atenção, orientação teórica e prática, além de todas as demais contribuições necessárias ao trabalho.

A toda equipe do Programa de Melhoramento de Sorgo da Embrapa Milho e Sorgo - CNPMS, em especial aos estagiários e funcionários pela amizade e troca de experiências.

Aos membros da banca, Dra. Daniela Lopes, Dr. Rafael Parrella, Dr. Robert Schaffert, Dr. Carlos Juliano Albuquerque, Dr. Silvino Moreira, pelas suas contribuições na melhoria deste trabalho.

A professora Ana Paula, pelas orientações e ensinamentos em estatística.

A todos os colegas de Mestrado, em especial a Crísia, Denize, Tamara, Mayara, Deniete e Nayara.

Aos colegas e amigos Vagner Figueiredo e Walfrido Albernaz, da EMATER-MG, pelo incentivo total e amizade.

Ao colega da EMATER-MG, Fernando Tinoco, companheiro fiel nos estudos e pela amizade.

A pesquisadora e amiga Dra. Wânia Neves, chefe de pesquisa da Unidade Regional EPAMIG Centro Oeste pelo apoio e auxílio no trabalho.

Aos amigos Dr. Douglas Ferreira, Vander Souza e Tales Teixeira, Lúcia Alcântara, Camila Campos, Mariane Freitas, Juliana Bhering, Josué Souza e Leila Marques, pela amizade e auxílio nos trabalhos.

A Prefeitura Municipal de Funilândia, através da Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente, por acreditar no trabalho.

Agradecimento especial a EMATER-MG, através de sua diretoria e gerência regional pelo apoio, por acreditar no potencial de seus engenheiros e pela liberação do tempo necessário para a execução do mestrado.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Caracterização da espécie.....	2
2.2 Histórico	5
2.3 Cultivares de sorgo sacarino.....	6
2.4 Épocas de semeadura e colheita do sorgo sacarino	8
2.5 Período de utilização industrial	9
2.6 Parâmetros tecnológicos de qualidade da matéria prima	10
2.6.1 Teor de sacarose aparente – Pol	10
2.6.2 Sólidos solúveis totais – SST	11
2.6.3 Pureza aparente ou pureza total	12
2.6.4 Fibra	12
2.6.5 Extração de caldo	14
2.6.6 Açúcares redutores – AR	14
2.6.7 Açúcares redutores totais – ART	15
2.6.8 Açúcares totais recuperáveis – ATR	15
2.6.9 Produção de massa verde	16
2.6.10 Florescimento	17
2.6.11 Produção de etanol de sorgo sacarino	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Ambiente de condução do experimento	19
3.2 Genótipos.....	21

3.3 Características avaliadas.....	22
3.3.1 Características morfoagronômicas	22
3.3.2 Características industriais	22
3.3.3 Estimativa de Produção de Etanol 1 Hidratado:.....	26
3.3.4 Estimativa de Produção de Etanol 2 Hidratado:.....	26
3.3.5 Período de utilização industrial	27
3.4 Delineamento experimental e análise estatística	27
3.4.1 Modelo estatístico.....	27
3.4.2 Análise de regressão	28
3.4.2.1 Modelo de regressão.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5. CONCLUSÕES	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

PERÍODO DE UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL DE CULTIVARES DE SORGO SACARINO VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL NA REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS

RESUMO – A demanda mundial por combustíveis obtidos de fontes renováveis tem se expandido nos últimos anos devido à preocupação com as emissões de gases causadores do efeito estufa. Dentre as diversas matérias-primas renováveis e sustentáveis disponíveis atualmente para auxiliar a produção do etanol, destaca-se o sorgo sacarino que possui colmo suculento e caldo semelhante ao da cana-de-açúcar, podendo utilizar as mesmas instalações já trabalhadas para essa cultura. Uma característica muito importante do sorgo sacarino é o Período de Utilização Industrial (PUI), necessário para o planejamento de colheita e o processamento de. O PUI deve ser o maior possível e ter o mínimo de 30 dias. Devido à importância desse fator, o objetivo do presente trabalho foi estabelecer o PUI de cinco cultivares comerciais de sorgo sacarino visando à produção de etanol na região Central de Minas Gerais. O experimento foi realizado na Embrapa Milho e Sorgo – Sete Lagoas/MG nas safras agrícolas 2011/2012 e 2012/2013, com as cultivares BRS 508, BRS 509, BRS 511, XBWS80147 e o Sugargraze. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições, num esquema em parcelas subdivididas. As características avaliadas foram: florescimento, produção de massa verde, extração de caldo, sólidos solúveis totais, açúcares redutores totais, açúcares redutores e não-redutores, teor de sacarose aparente, pureza aparente do caldo, fibra da cana, açúcares totais recuperáveis, produção e produtividade de etanol e PUI. Foram verificadas diferenças estatísticas entre as duas safras agrícolas para todos os caracteres, o que demonstra a influência dos fatores ambientais para os parâmetros avaliados. Com os resultados obtidos foi possível verificar no primeiro ano de semeadura que as variedades BRS 511, BRS 508 e BRS 509 apresentaram melhor desempenho agroindustrial visando à produção de etanol quando comparadas com os híbridos XBSW80147 e Sugargraze. As cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509 apresentaram-se dentro dos limites mínimo de qualidade e produtividade estabelecidos na safra 2011/2012. Já na safra 2012/2013 apenas o BRS 508 apresentou-se dentro de todos os padrões estipulados. A cultivar XBSW80147 apresentou-se dentro dos limites mínimos de qualidade, entretanto com um PUI menor de 20 dias e a cultivar Sugargraze não atingiu os limites mínimos de qualidade nas duas safras avaliadas. Baseado nos resultados obtidos dentre os cinco materiais avaliados o

Comitê Orientador: Daniela de Carvalho Lopes – UFSJ (Orientadora); Rafael Augusto da Costa Parrella – Embrapa-CNPMS (Coorientador).

único que se destaca nas duas safras é o BRS 508 para a produção de etanol. As condições climáticas da safra agrícola afetam os caracteres agronômicos e industriais do sorgo sacarino. As cultivares de sorgo sacarino BRS 511, BRS 508 e BRS 509 apresentam melhor desempenho agroindustrial visando à produção de etanol quando comparadas com as cultivares XBSW80147 e Sugargraze. O melhor período de colheita considerando as características agroindustriais foi dos 100 aos 130 dias, apresentando pico aos 113 dias após o semeio. As cultivares avaliadas apresentaram períodos de utilização industrial diferentes, com as variedades apresentando PUI superior a 30 dias e os híbridos com PUI inferior a 20 dias. O acamamento das plantas de sorgo sacarino afetou os caracteres agroindustriais, reduzindo a produtividade e qualidade da matéria prima.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* L. Moench, biocombustíveis, agroindústria.

PERIOD OF INDUSTRIAL USE OF SWEET SORGHUM VARIETIES AIMING ETHANOL PRODUCTION IN CENTRAL REGION OF MINAS GERAIS

ABSTRACT – The worldwide demand for fuels from renewable sources has been increased in last years due to the concern about gases emissions, which cause greenhouse effects. Among the several renewable and sustainable raw materials actually available for ethanol production, the sweet sorghum stands out due to its succulent stem and sap similar to sugarcane. Also, it should use the same facilities of this crop production unit. A very important feature of sweet sorghum is the Period for Industrial Use (PIU), required for the harvest planning and the raw material processing. The PIU should be as larger as possible and has a minimum of 30 days. Due to the importance of this factor, the objective of this work was to establish the PIU of five commercial genotypes of sweet sorghum in central region for Minas Gerais State. The experiment was carried out at Embrapa Maize and Sorghum - Sete Lagoas / MG on the 2011/2012 and 2012/2013 harvests, with the cultivars BRS 508, BRS 509, BRS 511, XBWS80147 and Sugargraze. The experimental design was a randomized block with three replications in a split plot layout. The evaluated features were: flourishing, green mass production, juice extraction, total soluble solids, total reducing sugars, reducing and nonreducing sugars, apparent sucrose content, apparent purity of the juice, stalk fiber, total recoverable sugars, ethanol production, ethanol productivity and PIU. There were statistical differences between the two growing seasons for all characters, which demonstrates the influence of environmental factors on these parameters. From the observed results at the first planting, the genotypes BRS 511, BRS 508 and BRS 509 showed better performance to produce ethanol when compared with XBSW80147 and Sugargraze. The genotypes BRS 511, BRS 508 and BRS 509 were within the minimum limits of quality and productivity set in the 2011/2012 harvest. In the 2012/2013 harvest only the BRS 508 was within all the specified standards. The cultivar XBSW80147 was within the minimum limits of quality, however presented a PIU smaller than 20 days and the cultivar Sugargraze did not reach the minimum limits of quality at the two evaluations. Based on the obtained results, among the five evaluated materials, the BRS 508 is the only one which stands out for ethanol production at the two harvests. The climatic conditions of the agricultural harvest affect the agronomic and

Guidance Committee: Daniela de Carvalho Lopes – UFSJ (Advisor); Rafael Augusto da Costa Parrella – Embrapa-CNPMS (Coadvisor).

industrial characters of sweet sorghum. The sweet sorghum cultivars BRS 511, BRS 508 and BRS 509 presented better agroindustrial performance for ethanol production when compared with the cultivars XBSW80147 e Sugargraze. The best harvest period was from 100 to 130 days, with pick in 113 days after sow, when considering the studied agroindustrial features. The evaluated cultivars presented different period of industrial use, with the varieties presenting PIU greater than 30 days and the hybrids presenting PIU smaller than 20 days. The plants lodging affected the agroindustrial characters, reducing the productivity and quality of the raw material.

Keywords: *Sorghum bicolor* L. Moench, biofuels, agribusiness

1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial por combustíveis obtidos a partir de fontes renováveis tem se expandido rapidamente nos últimos anos devido à preocupação com a redução do volume de emissões de gases causadores do efeito estufa como determina a RIO + 20 (UNCSD, 2012). O Brasil é um dos países pioneiros na substituição de combustíveis de origem fóssil, como gasolina, óleo diesel, gás natural e carvão mineral, por biocombustíveis. Assim, tornou-se referência internacional na geração, bem como junto à utilização aplicada de fontes renováveis de energia. O biocombustível é biodegradável, com baixa toxidez, emitindo um baixo nível de monóxido de carbono (CO₂) para a atmosfera (Krawczyk, 1996).

O bioetanol é o biocombustível que é produzido em maior quantidade no mundo. Ele é produzido a partir de culturas agrícolas ricas em açúcar (por exemplo, no Brasil, a cana-de-açúcar) ou culturas ricas em amido (por exemplo, nos Estados Unidos, o milho) (Santos et al., 2008).

No Brasil, a utilização e produção de etanol em escala comercial tiveram destaque na década de 70, em função do Proálcool (Programa Nacional do Álcool). Atualmente é possível perceber um aumento significativo na utilização do etanol em diversos países, o que demonstra ser uma opção promissora para obtenção de energia alternativa (Alencar, 2012).

Com a abertura deste cenário, o setor sucroalcooleiro do Brasil tornou-se o mais competitivo do mundo, apresentando os maiores níveis de produtividades e de rendimento industrial, quando comparado aos seus principais concorrentes. Além disso, apresenta menores custos de produção, proporcionados pela adoção de tecnologias modernas de origem brasileira na produção agrícola, processamento efetivo e ênfase em gestão (Vidal et al., 2006). Entretanto, a cana-de-açúcar no Brasil vem enfrentando problemas para a produção de etanol, pois as condições climáticas estão influenciando na produção.

Dentre as diversas matérias-primas renováveis e sustentáveis disponíveis atualmente, para auxiliar o complexo produtivo do etanol, destaca-se o sorgo sacarino, que possui colmo succulento e caldo semelhante ao da cana, apresenta açúcares fermentescíveis e pode servir para a produção de etanol utilizando as mesmas instalações já trabalhadas pela cana-de-açúcar. Neste atual cenário da agricultura brasileira, a produção de bioenergia, numa visão sustentável, passa, obrigatoriamente, pela diversificação de matérias primas (Macedo, 2013).

Ressalta-se entre as vantagens do sorgo sacarino, a sua propagação, feita via sementes, produção de massa verde de fácil mecanização desde a semeadura até a colheita, alto potencial forrageiro, além do porte alto em um rápido ciclo produtivo de aproximadamente quatro meses. Apresenta aptidão para cultivo em áreas tropicais, subtropicais e temperadas (Parrella et al., 2010).

Uma característica muito importante na cultura do sorgo sacarino que deve ser estudada é o Período de Utilização Industrial (PUI), necessário para planejamento de colheita e processamento de matéria-prima, que deve ser o maior possível e ter mínimo de 30 dias. Esta característica varia em função da cultivar, do manejo e do local (Parrella et al., 2012).

O aumento dos preços do etanol na entressafra da cana, ou na renovação do canavial, faz com que o processo agroindustrial de produção de etanol do sorgo sacarino esteja intimamente associado ao setor sucroalcooleiro, pois utiliza os equipamentos já instalados desde a moagem até a destilação. Isso diminui a ociosidade das destilarias e amplia o ciclo de moagem das usinas no período da entressafra. As pequenas destilarias podem ser trabalhadas, utilizando o sorgo sacarino, para a produção de etanol, ou aguardente de qualidade e que atenda aos padrões da legislação vigente no Brasil, baseados, no cooperativismo ou associativismo de grupos de agricultores (Ribeiro Filho et al. 2008). Os grãos, quando utilizados para produção de etanol, por via enzimática, e a biomassa excedente podem ser utilizados na co-geração de energia, e também na segunda geração de biocombustíveis.

Análises que avaliam épocas de colheita, características morfoagronômicas da cultura e bioquímicas do caldo se fazem necessárias para caracterizar o PUI das variedades de sorgo sacarino, auxiliando no melhor aproveitamento da cultura. Assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estabelecer o período de utilização industrial de cinco cultivares comerciais de sorgo sacarino visando à produção de etanol na região Central de Minas Gerais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização da espécie

O sorgo teve sua origem a Noroeste da África onde se encontra, atualmente, sua maior variabilidade em espécies silvestres e cultivadas. Acredita-se que o sorgo foi domesticado na

Etiópia há 7.000 anos, pela seleção de espécies silvestres (*Sorghum arundinaceum* ou *Sorghum verticilliflorum*) e distribuído por rotas de comércio por toda África e do Oriente Médio à Índia há cerca de 3000 anos. Da Índia, o sorgo alcançou a China pela rota da seda no século III d.C. (Santos et al., 2005). Nas Américas, as primeiras introduções ocorreram na região do Caribe, pela ação dos comerciantes de escravos africanos, onde alcançou os EUA 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 70 (Ribas, 2003).

Amplamente difundido em muitas áreas no mundo, o sorgo é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países. Somente arroz, trigo, milho e batata o superam em termos de quantidade de alimento consumido. Entretanto, a cultura de sorgo produz muito menos do que seu potencial oferece (Ribas, 2003). É esperado que tal produção venha alcançar 64 milhões de toneladas no fim de 2014 (FAO, 2012).

O sorgo apresentou uma produção mundial estimada em 2011 de 60,2 milhões de toneladas, em uma área de 44,4 milhões de hectares. É esperado que a produção mundial de sorgo venha alcançar 64 milhões de toneladas no fim de 2014 (FAO, 2012). No Brasil, o sorgo tem despontado como excelente alternativa para as diversas regiões brasileiras. Algumas cultivares possui tolerância a períodos de estiagem durante seu ciclo vital e produz colheitas de grãos e massa verdes (Magnavaca et al., 1987). Segundo Neumann (2002), a cultura do sorgo no Brasil se adapta bem em várias regiões como semeadura de verão, como no Sul e na região Central, em sucessão a semeaduras de inverno e de verão, respectivamente, e no Nordeste, em condições do semi-árido com alta temperatura e precipitação inferior a 600 mm anuais.

Conforme May (2011), para ter um bom desenvolvimento da lavoura com uma elevada produção por hectare cultivado, o sorgo sacarino necessita das mesmas condições de qualquer outra espécie como: adequado preparo de solo, boa fertilização de base e cobertura, controle de pragas e plantas daninhas, entre outros fatores, contrapondo ao mito de que apesar do sorgo ser tolerante a estresse hídrico, ele pode se adequar aos solos degradados e de baixa fertilidade.

Um processo de produção lucrativa envolve diversas ações, associando uma adubação equilibrada, com diagnose da fertilidade do solo, requerimento nutricional do sorgo de acordo com a fertilidade e os padrões de absorção e acumulação dos nutrientes, principalmente N, P e

K (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), fontes dos nutrientes e manejo da adubação (Coelho, 2011).

Possuindo uma alta eficiência fotossintética, devido às características C4, o sorgo suporta elevados níveis de radiação solar, respondendo com altas taxas fotossintéticas, minimizando a abertura dos estômatos e consequente perda d'água. Ressalta-se que o aumento da intensidade luminosa implica em maior produtividade, sempre que as demais condições sejam favoráveis (Landau, 2008).

Gramínea de grande versatilidade de uso apresenta cultivares apropriadas para diferentes fins. Agronomicamente, o sorgo pode ser classificado em grupos. O principal produto do sorgo granífero são os grãos, que podem ser utilizados na fabricação de rações. A biomassa do sorgo forrageiro é utilizada na produção de forragem (silagem) ou para cobertura do solo. O sorgo vassoura é mais utilizado na produção de vassouras e artesanatos. Já o sorgo pastejo, cruzamento entre *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*, é utilizado para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta (Sawazaki, 1998). Finalmente, o sorgo sacarino e o sorgo lignocelulose são utilizados para produção de etanol de primeira e segunda geração, respectivamente (IEA, 1988).

A cultura do sorgo sacarino deve se expandir em função dos avanços na sua utilização como matéria-prima para produção de etanol. Esse segmento apresenta potencial de concretização, em curto prazo, como um importante fornecedor no mercado de energia renovável. Outros países também veem no sorgo sacarino uma alternativa plausível para o domínio completo da produção e uso do etanol. Países tais como China, Índia, União Européia, EUA e vários países da África também veem no sorgo sacarino uma alternativa plausível para o domínio completo da produção e uso do etanol (Maccoccia, 2007).

Conforme Nan et al. (1994) genótipos de sorgo que apresentam alto teor de umidade no colmo na maturidade e apresentam acima de oito °Brix no caldo são chamados de sorgo sacarino. O sorgo sacarino é uma gramínea com capacidade de produção de energia similar à cana-de-açúcar, que converte com grande eficácia a energia solar em energia química, apresenta elevada produção de massa verde, porte alto e colmos suculentos com elevados teores de açúcares fermentáveis no caldo (May et al. 2012 a).

Um grande potencial para o sorgo sacarino é atender sistemas de produção voltados para agricultura familiar e para cooperativas de produtores baseados em micro e mini destilarias de etanol ou produção de aguardente (Ribeiro Filho et al., 2008). Visto que, além

do etanol, o sorgo sacarino pode ser utilizado para a produção de aguardente de qualidade (Teixeira et al., 1997), o que demonstra a versatilidade desta gramínea possibilitando alternativas de renda para os produtores.

2.2 Histórico

Na atualidade os programas de melhoramentos surgem em função de demandas específicas, neste cenário, a Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS) iniciou um projeto de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino, logo após a implantação do programa Proálcool, inserido na década de 70, levando em consideração uma possível crise energética que poderia vir de encontro ao programa. Para as pesquisas, houve aporte de recursos junto ao governo federal para implantação de micro e mini destilarias com capacidade de 100 a 1000 l.hr⁻¹, desde que tivessem como fonte de matéria-prima o sorgo sacarino. Para composição da base genética do sorgo sacarino, inicialmente foram introduzidos 50 genótipos oriundos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), África e Índia, estes foram caracterizados e detalhados agronomicamente, enfatizando o estabelecimento do seu período de utilização industrial (Parrella, 2011).

Nos anos 80, o programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo - CNPMS selecionou seis variedades de sorgo sacarino: BR500, BR501, BR502, BR503, BR504 e BR505, todas apresentando produtividades de colmos superiores a 40 t.ha⁻¹ e valores médios de teor de sólidos solúveis totais (SST) entre 18 e 20 °Brix. Destaca-se a base genética de origem destes materiais que são as variedades Rio, Brandes, Roma, Theis, Dale e Wray. Surge ainda no ano de 1987 as primeiras variedades brasileiras, sendo estas desenvolvidas para a produção de etanol, a BRS506, BRS507 e o híbrido BRS601. As tecnologias de validação para produção de etanol foram realizadas em cidades específicas que tinham projetos pilotos implantados e estruturas para processamento, como Sete Lagoas/MG, Brasília/DF e outras. Devido ao fato que o Programa Proálcool não obteve êxito, todo o foco das pesquisas com cultivares de sorgo sacarino foi direcionado para potencial forrageiro e inserido no mercado com esta finalidade, promovendo uma paralização no desenvolvimento tecnológico de materiais para a produção de etanol. O Programa foi reiniciado em 2008, devido ao potencial de geração de energia renovável e a grande demanda por matérias-primas alternativas para produção de etanol nas grandes destilarias. Em função do desenvolvimento

de variedades voltadas para este setor, foram estabelecidos pelo Programa de melhoramento genético da Embrapa, valores mínimos como metas de produtividade e qualidade, sendo estas assim definidas: Produtividade mínima de biomassa verde 60 t.ha^{-1} ; extração mínima de açúcar, 120 t.ha^{-1} de biomassa levando em consideração uma extração de 90 a 95%; quantidade mínima de açúcar total do caldo em torno de 14%; produção mínima de etanol 60 L.t^{-1} de biomassa; PUI mínimo de 30 dias com extração mínima de 100 kg.ha^{-1} de biomassa. Associado a estas características o programa de melhoramento leva ainda em consideração a resistência a principais doenças, como a antracnose, helmintosporiose, ferrugem, cercosporiose e míldio, além das principais pragas que causam danos à cultura, como a lagarta do cartucho e brocada cana. Outro ponto a se destacar é o acamamento, característica de grande importância, pois cultivares de sorgo sacarino apresentam porte alto, entre 3 e 5 metros de altura aproximadamente, além da presença da panícula no alto da planta que contribui para a propensão ao acamamento, promovendo perdas quando não manejadas corretamente (Parrella, 2011).

O trabalho do melhoramento busca atualmente a obtenção de linhagens fêmeas sacarinas a acertos genéticos de capacidade de combinação com as linhagens machos, para a formação de híbridos sacarinos uniformes, com maiores produtividades de biomassa e caldo, além de açúcares solúveis de qualidade, diferindo dos híbridos atuais, que são oriundos de fêmeas forrageiras e não sacarinas, formando materiais de dupla aptidão, tanto sacarina quanto forrageira, porém ressalta-se a procura do mercado a materiais de qualidades específicas (Durães et al., 2012).

2.3 Cultivares de sorgo sacarino

A acentuada demanda mundial por matérias-primas para produção de biocombustíveis trouxe à tona o interesse pelo cultivo de sorgo sacarino, que apresenta uma opção para produção de etanol em regiões com cana-de-açúcar no Brasil. De acordo com Goff et al. (2010), uma demanda de 900 milhões de toneladas de biomassa será apresentada para os próximos 20 anos visando suprir as metas do governo norte-americano.

O sorgo sacarino destaca-se como uma cultura promissora para a produção de etanol, apresentando características agronômicas e industriais favoráveis. A produtividade de etanol está sempre associada a características industriais exigidas pelo mercado, como o °Brix do

caldo, percentagens de extração de caldo, fibra dos colmos, Pol do caldo, açúcares redutores, entre outros. Quanto maior o rendimento de colmos, maior será a produtividade de caldo por hectare e conseqüente aumento do volume de etanol (Parrella & Schaffert, 2012).

O sorgo sacarino é uma interessante alternativa na geração da agroenergia, principalmente em locais onde as condições edafoclimáticas limitam a exploração de uma cultura energética, como nas regiões áridas e semiáridas do norte e nordeste de Minas Gerais, fornecendo bases renováveis de produção de energia nestas regiões (Schaffert & Gourley, 1981).

Segundo Parrella & Schaffert (2012), o sorgo sacarino drena parte de seus fotoassimilados para os grãos, assim o melhoramento sempre trabalha com cultivares de panículas menores. Evita-se acamamento pelo excesso de grãos nas panículas nos ápices das plantas e diminui o dreno dos fotoassimilados para os grãos, carreando para os colmos, havendo maior produção de sólidos solúveis totais e conseqüente aumento nos teores de açúcares totais. Associada a esta característica, o sorgo sacarino apresenta porte alto (>3,0 m), necessitando de cuidados especiais para evitar altas concentrações de impurezas na colheita pelo acamamento e garantindo a qualidade da matéria-prima.

O uso de cultivares adaptadas ao sistema de produção e às condições de ambiente encontradas nas regiões de plantio pode contribuir para elevar o rendimento, expandir a cultura e estabilizar a produção (Rodrigues, 2007). Pesquisas realizadas com diferentes híbridos e variedades mostraram que eles apresentaram características distintas, destacando o grande potencial do sorgo sacarino como matéria prima para a produção de etanol (Parrella & Schaffert, 2012).

Podem ser associadas ao sorgo sacarino vantagens tais como: o ciclo (quatro meses); mecanização da cultura; cultivo na entressafra da cana, colmos suculentos com açúcares diretamente fermentáveis (produção de 40 a 60 t.ha⁻¹); utilização do bagaço como fonte de energia para industrialização, cogeração de eletricidade, etanol de segunda geração ou forragem para animais, contribuindo para um balanço energético favorável (May et al., 2011).

Outros pontos podem ser considerados quando comparados à cana-de-açúcar, como a qualidade do açúcar (açúcares misturados), tipo de plantio (propagação por sementes), a produção de açúcar (8-13 % fw), requerimento de matéria-prima (50% água, 60% nitrogênio), tempo de ampliação de escala (propagação por semente), cultivo em áreas marginais,

rebrotar/flexibilidade (podendo chegar de 2-3 cortes por ano, campos mais limpos/sujeira reduzida) (CERES, 2010).

Neste contexto, o sorgo sacarino surge como uma cultura energética, que apresenta potencialidades expressivas, haja vista que possui na sua constituição três grupos de materiais possíveis de serem fermentados em bioetanol: os açúcares (na região do caule), o amido (dos grãos), e os materiais ligno-celulósicos (bagaço resultante após extração do açúcar) (Quilho, 2011).

2.4 Épocas de semeadura e colheita do sorgo sacarino

A época de semeadura não tem efeito expressivo no custo de produção, porém influencia diretamente no rendimento e no lucro do produtor. A tomada de decisão quanto à época de semeadura deve considerar fatores de riscos e objetivos propostos pelo agricultor, incluindo o planejamento das atividades relacionadas à produção.

A semeadura é determinada em função das condições ambientais, como temperatura, fotoperíodo, distribuição das chuvas e disponibilidade de água do solo, assim como da cultivar, pelo ciclo, fases da cultura e necessidades térmicas das cultivares. No caso do clima, ressalta-se a radiação solar, além da intensidade e frequência do veranico nas diferentes fases fenológicas da cultura (Mantovani, 2006).

Segundo Bandeira et al. (2012), trabalhando com parâmetros tecnológicos para sorgo sacarino com a cultivar BRS506, mostra que as épocas de semeadura não apresentaram diferença significativa entre si. Sendo que os meses de semeadura apresentaram em média para fibra no colmo e teor de brix no caldo 15,60% e 16,58%, respectivamente.

Levando em consideração os fatores climáticos, podemos ressaltar que a temperatura ótima para o desenvolvimento da semeadura está intimamente interligada a cultivar. De uma forma geral, temperaturas superiores a 38 °C ou inferiores a 16 °C limitam o desenvolvimento da maioria das cultivares, sendo que um aumento de 5 °C na temperatura ótima noturna pode reduzir a produtividade em até 33% devido ao aumento da taxa de respiração noturna. Cada 1 °C de aumento da temperatura noturna causa um excedente de 14% na respiração da planta (Embrapa, 2010).

O ciclo do sorgo sacarino gira em torno de 120 dias, possibilitando o cultivo de mais de uma safra por ano com uma média por ciclo de aproximadamente 50 t.ha⁻¹. Assim,

verifica-se que o sorgo é uma cultura de grande eficiência na produção de biomassa para produção de etanol (Parrella et al., 2010).

O ponto ideal para a colheita do sorgo sacarino, assim como o PUI, são determinados com a utilização de valores de sólidos solúveis totais, açúcares redutores e totais e a percentagem de caldo, na caracterização das curvas de maturação de cada cultivar em função do seu ciclo ao longo do tempo (May et al., 2012b).

Segundo Schaffert et al. (1980), logo após atingir o seu florescimento, o sorgo sacarino inicia seu processo de acúmulo acentuado como expresso em suas taxas, indo até a maturação fisiológica dos grãos, esta época coincide com o máximo de produção de açúcares redutores e totais no caldo além da percentagem de caldo extraível. Estes dois fatores observados são utilizados como métodos aproximados de determinação do ponto ótimo de colheita, que sofre variações de acordo com o material associado às condições ambientais.

2.5 Período de utilização industrial

O Período de Utilização Industrial (PUI) é essencial para o planejamento de colheita e o processamento da matéria-prima, devendo ser o maior possível, com período mínimo de 30 dias. O PUI compreende o período em que a cultivar consegue permanecer no campo, mantendo a produtividade e a qualidade em níveis ideais, com manutenção dos padrões mínimos estabelecidos, visando à viabilização do cultivo até que seja colhida e processada pela usina (Parrella & Schaffert, 2012).

Para isso toma-se como base que os teores de açúcares mínimos de qualidade para composição do caldo de sorgo sacarino no PUI correspondem a 15% para teores de sólidos solúveis totais – SST; 12,5% para açúcares redutores totais – ART; e 80 Kg.ton⁻¹ biomassa para açúcares totais recuperáveis extraídos do caldo (May et al., 2012b).

A determinação do PUI de cada cultivar, fornece informações suficientes para determinar a data ou as datas de semeadura das cultivares a serem utilizadas, visando uma programação para que se produza matéria-prima de sorgo sacarino diariamente durante o período desejado com o máximo de qualidade (Parrella & Schaffert, 2012).

Para determinação do PUI, faz-se necessário a caracterização da cultura considerando diferentes variáveis como produção de colmos, extração de caldo, teor de açúcares no caldo, etc. Assim, curvas de maturação são de extrema importância para o planejamento

agroindustrial e para subsidiar corretas tomadas de decisão de colheita (Ratnavathi et al., 2010).

A determinação do PUI para sorgo sacarino vem ganhando importância atualmente devido ao seu potencial para a produção de etanol. Alguns trabalhos semelhantes já foram desenvolvidos para a cana-de-açúcar (Marques & Silva 2008). Segundo Zambom & Daros (2009), o conhecimento adequado dos potenciais de industrialização de cada genótipo é fator de maior importância para se determinar as quantidades a serem plantadas de cada um deles. O planejamento se faz necessário quando se pretende escalonar a colheita e proporcionar, por um tempo maior, matéria-prima suficiente para o pleno funcionamento da indústria.

2.6 Parâmetros tecnológicos de qualidade da matéria-prima

Cada vez mais o setor sucroalcooleiro nos últimos anos tem voltado seu foco para o melhoramento genético, visando o desenvolvimento de tecnologias agrônomicas baseadas em três aspectos: o melhoramento, genética e desenvolvimento de cultivares (variedades e híbridos); boas práticas agrícolas e sistemas de produção; descritores de plantas com viés biológicos visando à demanda alternativa de fontes energéticas, visando atingir melhorias de padrões mínimos de qualidade para fins agroindustriais e energéticos (Durães, 2011).

Na área comercial o foco principal tem sido o aumento do rendimento industrial, ou seja, maior quantidade de açúcar ou de álcool produzido por tonelada de matéria verde, que diretamente está relacionado com a qualidade da matéria-prima. Nos últimos anos, entretanto, houve um direcionamento da conscientização pelo aumento da eficiência industrial e melhoria da qualidade dos produtos finais (Fernandes, 2011).

2.6.1 Teor de sacarose aparente – Pol

Representando a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares (por exemplo, caldo de cana), a Pol é determinada por métodos sacarimétricos - polarímetros ou sacarímetros (Fernandes, 2011; Consecana, 2006; May et al., 2012b).

Avaliando a composição químico-bromatológica, fracionamento de carboidratos e cinética da degradação *in vitro* da fibra de três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), Azevêdo et al. (2003) obteve valores compreendidos entre 16,1% e 21,1%. Miranda et

al. (2012), estudando a influência da infestação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) em cana-de-açúcar, encontrou valores de Pol no intervalo entre 15,70% e 17,66% na ausência de entrenós brocados afirmando que o aumento da intensidade de infestação resultou em queda dos valores de Pol. Tacianeli & Uribe (2010), avaliando a influência do estande de plantas de sorgo sacarino sobre as características tecnológicas do caldo, na cultivar BRS 506, sob dois tipos de espaçamento, encontrou valores médios de Pol de 17,42% e 16,98% para seus respectivos tratamentos.

2.6.2 Sólidos solúveis totais – SST

É o parâmetro de maior utilização na indústria de açúcar e álcool, e expressa a porcentagem (peso/peso) dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose, ou seja, representa o teor de sólidos solúveis na solução. Por consenso, admite-se o brix como a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada impura, como por exemplo, o caldo de cana-de-açúcar (Fernandes, 2011; Consecana, 2006; May et al., 2012b).

Como o próprio nome indica, os sólidos solúveis (SS) referem-se a todas as substâncias que se encontram dissolvidas em um determinado solvente. São constituídos, principalmente, por açúcares, considerando que outros compostos, embora em reduzidas proporções, fazem parte, como, por exemplo, alguns ácidos orgânicos, vitaminas, aminoácidos e algumas pectinas, fenólicos (Chitarra & Chitarra, 2005). Emygdio et al. (2012), avaliando 22 cultivares de sorgo sacarino no município de Pelotas/RS na safra agrícola 2011/2012, mostrou que os materiais genéticos testados não diferiram estatisticamente entre si, mostrando valores compreendidos entre 13,5% e 20,6%.

Níveis de sólidos solúveis totais são indicativos de estágio ideal de colheita, atingindo valores entre 15,5 e 16 °Brix, sendo este estágio importante para obtenção de um caldo de qualidade de fermentação, promovendo ganhos em produção de etanol $l.há^{-1}$, como afirma Prasad et al. (2007).

Parrella et al. (2010), obteve valores de médias que variaram entre 15,44 e 18,56 °Brix, de teores de sólidos solúveis totais dos ensaios, avaliando o desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes visando à produção de etanol de 25 cultivares de

sorgo sacarino, em conformidade com os valores compreendidos entre 18 e 23 °Brix encontrados para cana-de-açúcar por Azevêdo et al. (2003).

Avaliações sobre o desempenho de 25 cultivares de sorgo sacarino na cidade de Sinop/MT descreveram relativa superioridade das variedades sacarinas CMSXS 630, CMSXS 634 e CMSXS 647 em relação aos híbridos levando em consideração os parâmetros de teor de sólidos solúveis e produção de caldo (Tardin et al., 2012). Tacianeli & Uribe (2010), avaliando a influência do estande de plantas de sorgo sacarino sobre as características tecnológicas do caldo, na cultivar BRS 506, sob dois tipos de espaçamento, encontrou valores médios de SST de 19,38 e 18,89 °Brix, para seus respectivos tratamentos.

2.6.3 Pureza aparente ou pureza total

Representa a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis, sendo denominada pureza total. Quando se utilizam Pol e Brix, diz-se pureza aparente. Quando a planta está madura, a pureza é maior do que quando a planta está verde, justamente porque este parâmetro reflete a relação entre o teor de sacarose e todos os demais sólidos solúveis (Fernandes, 2011).

Este parâmetro mede a quantidade de açúcares contidos no caldo, quanto mais elevado for seu valor, implicará numa menor quantidade de impurezas do caldo, e conseqüentemente o produto terá maior valor econômico (Assis, 2004).

Avaliações realizadas sobre a influência do estande de plantas de sorgo sacarino sobre as características tecnológicas do caldo, na cultivar BRS 506, sob dois tipos de espaçamentos, mostrou valores médios de pureza de 77,96% e 75,92% para seus respectivos tratamentos (Tacianeli & Uribe, 2010). Miranda et al. (2012), estudando a influência da infestação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) em cana-de-açúcar, encontrou valores de pureza no intervalo entre 89,97% e 93,36% não apresentando diferença significativa entre os tratamentos na ausência de entrenós brocados.

2.6.4 Fibra

Representa uma característica varietal, representa a matéria insolúvel em água contida na planta, sendo que fibra botânica é aquela determinada quando a análise é realizada em

colmos limpos e fibra industrial, quando o valor se refere ao resultado da avaliação da matéria-prima (Fernandes, 2011; Consecana, 2006).

O teor de fibra é parâmetro fundamental no cálculo do ATR devido a sua importância na transformação da Pol e do AR do caldo extraído em Pol e AR da cana (PC e ARC). Associado a estes fatores, essa determinação é importante para as usinas possuírem informações sobre a quantidade de bagaço de que dispõem. O bagaço é utilizado como fonte de calor para alimentar as caldeiras visando produzir vapor, utilizado em vários processos industriais, como por exemplo, aquecimento e concentração do caldo por evaporação, pode ainda ser empregado para geração de energia elétrica, com potencial de disponibilização em quantidade superior à demandada pela própria indústria. Isso possibilita a “cogeração”, ou seja, a comercialização de energia elétrica como subproduto próprio. Atualmente no Brasil existem várias usinas que trabalham com esta tecnologia, mostrando um mercado de crescente potencial no decorrer dos anos, ressaltando a importância da fibra da cana e sua utilização (Leme Filho, 2005).

Avaliando variações nos teores de fibra, na fase de extração, o aumento no teor de fibra de cana resulta na dificuldade da moenda em extrair a sacarose. Este fato é notório devido à fração do caldo, uma vez extraída, em parte ser reabsorvida pela fibra da cana. A quantidade reabsorvida sofre variações de forma proporcional ao teor de fibra na matéria-prima, resultando em maiores perdas de sacarose no bagaço, ou seja, menor eficiência nas moendas (Marques et al., 2001). Oliveira et al. (2009), afirma que como o teor de fibra aumenta a resistência à extração de caldo, recomenda-se valores médios nos intervalos entre 10,5% a 12% visando à manutenção energética das indústrias que processam efetivamente a cana-de-açúcar.

A avaliação agroindustrial e parâmetros genéticos de clones UFRPE de cana-de-açúcar no litoral norte de Pernambuco, mostrou valores de fibra que variaram entre 13,22% a 15,17%, (Lima Neto et al., 2013).

O potencial de produção de bagaço foi avaliado testando três genótipos de sorgo sacarino, sob dois sistemas de colheita, obtendo resultados para teores de fibra com valores médios que variaram entre 11,25% a 11,47%, (Roviero et al., 2013), valores compatíveis com os encontrados no processamento da cana-de-açúcar foram verificados por Ripoli & Ripoli, (2009).

Um estudo que avaliou a influência da infestação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) em cana-de-açúcar, apresentou valores de fibra no intervalo entre 11,25% e 11,43% na ausência de entrenós brocados, não observado diferenças significativas com o percentual de entrenós brocados (Miranda et al., 2012).

2.6.5 Extração de caldo

Processo de moagem dos colmos em moendas comuns ou específicas com pré-filtragem em filtros de peneira plástica comum de malha fina, para trabalhar o caldo (Ribeiro Filho et al., 2008; Consecana, 2006; Fernandes, 2011).

Em Nível industrial, o processo de extração de caldo caracteriza-se em dois meios diferentes: a moagem e a difusão, ressaltando a eficiência dos dois equipamentos e sua competitividade de preço no mercado (May et al., 2012b).

A fermentação alcoólica do caldo de sorgo sacarino apresentou valores de produção de caldo % entre 27,2 para colmos com folhas e 32,91 para colmos sem folhas em estudo realizado por Santos et al. (2010), no município de Lagoa Seca/PB.

Estudos sobre a variação genotípica para a produção de etanol a partir do caldo de sorgo sacarino mostrou valores entre 39,7% e 47,6 % para extração de caldo (Ratnavathi, et al., 2010).

2.6.6 Açúcares redutores – AR

São os açúcares, glicose e frutose, que reduzem o cobre do estado cúprico a cuproso. Os teores de açúcares redutores no caldo são mais elevados quanto menos madura estiver a planta (Fernandes, 2011).

Representam parte significativa, porém, pequena quando comparada a sacarose dos açúcares recuperáveis. Segundo o Consecana (2003), o teor de AR a ser empregado no cálculo do ATR, pode ser feito quando utilizado analiticamente o método de Lane e Eynon, ou ser estimado através de uma fórmula que o correlaciona com a pureza do caldo. Esta equação visa simplificar a determinação do AR, dispensando o método analítico. Esta correlação baseia-se no fato de que brix, Pol, AR e pureza variam em função do estágio de maturação da planta (quanto mais madura a planta, maiores serão o brix, a Pol e a pureza, e menores os AR) (Leme Filho, 2005).

Trabalhos realizados com qualidade tecnológica de cana-de-açúcar em função de aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça mostrou teores de AR % cana em níveis entre 0,07 e 0,10 C6 Junior et al. (2008), sendo esse indicativo de que a cana poderia ser considerada apta à industrialização, ressaltando-se que, no início de safra, tais valores podem ser de até 1,5%, não devendo superar 1% no transcorrer da safra, como afirma Marques et al. (2001).

2.6.7 Açúcares redutores totais – ART

Representam a resultante da somatória dos açúcares redutores presentes nessa forma, contidos no caldo da cana além da glicose e frutose que se originaram da hidrólise da sacarose. São representados por todos os açúcares do material na forma de açúcar invertido e representa a concentração da totalidade dos açúcares (sacarose + glicose + frutose) no caldo, expressa em porcentagem (Fernandes, 2011).

Avaliando o potencial de variedades de sorgo sacarino e forrageiro para a produção de etanol, Lourenço et al. (2013), nos dois anos de ensaio, verificou que o rendimento de açúcares totais variou entre 3,4 e 6,6 t.ha⁻¹, dentro do intervalo de 4 a 7 t.ha⁻¹ descritos por Ratnavathi et al. (2010), estudando a variação genotípica para a produção de etanol a partir do caldo de sorgo sacarino. Santos et al. (2010), avaliando a fermentação alcoólica do caldo de sorgo sacarino no município de Lagoa Seca/PB, encontrou valores de ART % entre 9,81 para colmos com folhas e 9,66 para colmos sem folhas. Henrique et al. (2011), obteve valores de ART que variaram com mínimo de 11,49 % para a cultivar IACSP 93-6606 e máximo de 12,8% para a cultivar IACSP 93-3046, colhidas no mês de maio, avaliando qualidade tecnológica e épocas de colheita de nove variedades de cana-de-açúcar.

2.6.8 Açúcares totais recuperáveis – ATR

Correspondem a quantidade de açúcares redutores totais recuperada da cana/sorgo (Fernandes, 2011; Consecana, 2006). Atualmente, o pagamento 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). Somente o Brasil trabalha com este tipo de modelo de pagamento, é, evidentemente, mais racional do que os

anteriores, já que os açúcares redutores servem para a produção de álcool. Dente 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/ha (Leme Filho, 2005; Consecana, 2006).

Produtividades de cana-de-açúcar foram avaliadas com diferentes doses de N e K em sistema irrigado, mostrando valores que comprovam não haver diferenças significativas em valores de ATR quando em sistema irrigado e sequeiro para o experimento, com valores que variavam de 24,65 a 24,74 kg.há⁻¹, no tratamento NK 150 (Dalri & Cruz, 2008).

Estudos sobre a avaliação agroindustrial e parâmetros genéticos de clones UFRPE de cana-de-açúcar no litoral norte de Pernambuco, obtiveram valores que variaram entre 132,03 a 147,89 kg.t⁻¹ (Lima Neto et al., 2013). Bolonhezi et al. (2013), avaliando características agrônomicas e tecnológicas de genótipos de sorgo sacarino cultivados em Ribeirão Preto/SP, obteve valores de ATR que variaram entre 34,2 a 62,7 kg.t⁻¹.

2.6.9 Produção de massa verde

Para cultivares de sorgo sacarino está diretamente relacionado a características específicas, como altura de plantas e diâmetro do colmo, que, por sua vez, são caracteres altamente influenciáveis pelas condições ambientais e pelas práticas de manejo adotadas, especialmente arranjo de plantas, época de semeadura e adubação. Esta produção de massa verde é um componente essencial para a produção de etanol e indicadora de eficiência industrial (May et al., 2012).

A divergência genética foi avaliada entre 45 genótipos de sorgo sacarino baseado em caracteres agroindustriais, mostrando que os parâmetros de produção de massa verde (colmos) são influenciados pelas linhagens, assim como nos quantitativos dos caracteres avaliados, ressaltando que quando os valores de produção de colmo são elevados os parâmetros tecnológicos tem a mesma tendência na linhagem apresentada (Fagundes et al., 2013).

Estudos com cultivares de sorgo sacarino em diferentes semeaduras para a produção de etanol testou os materiais BRS 506 e BRS 505 que produziram 86,0 t.ha⁻¹ e 78,7 t.ha⁻¹, (Pereira Filho et al., 2013) compatibilizando com os resultados obtidos por Marchezan & Silva (1984). Valores de rendimentos de massa verde são destacados por Almodares et al.

(2009) de 27,9 a 124 t.ha⁻¹, dentre 36 materiais estudados de sorgo sacarino, compreendidos entre variedades, híbridos e linhagens.

Avaliação de produção de massa verde foi realizada com variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas, que encontrou maiores produtividades, de 76,93 t.ha⁻¹, 80,61 t.ha⁻¹ e 75,24 t.ha⁻¹, em estandes de 100 mil, 120 mil e 140 mil plantas ha⁻¹, respectivamente (May et al., 2012).

Estudos avaliando 102 genótipos de sorgo quanto ao teor de lignina e análise molecular de rotas metabólicas visando à produção de etanol de segunda geração, encontrou valores para a produção de massa verde que variaram entre 2,8 a 80,5 t.ha⁻¹, com média de 19,3 t.ha⁻¹ (Damasceno et al., 2010).

Parrella et al. (2010), obteve valores de 46,36 t.ha⁻¹, de produtividade média dos ensaios avaliando Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes visando à produção de etanol de 25 cultivares de sorgo sacarino.

A competição por luz é um dos fatores de interferência que provoca maior impacto sobre o crescimento nas plantas, devido à restrição da fonte predominante de energia aos processos básicos de recrutamento de elementos e de elaboração de todas as substâncias necessárias no desenvolvimento e crescimento do vegetal (May et al., 2012).

2.6.10 Florescimento

O florescimento corresponde à polinização, fertilização, desenvolvimento e maturação do grão. Toda a diferenciação floral do sorgo é afetada principalmente pelo fotoperíodo e pela temperatura do ar. Durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta, este é o período mais crítico, onde ela não pode sofrer qualquer tipo de estresse biótico ou abiótico, o qual vai da diferenciação da panícula a diferenciação das espiguetas (2 a 3 semanas de duração). Levando em consideração características de normalidade de campo, a diferenciação da gema floral inicia-se 30 a 40 dias após a germinação (pode variar de 19 a mais de 70 dias). Em climas quentes o florescimento em geral ocorre com 55 a 70 dias após a germinação, podendo variar de 30 a mais de 100 dias. Normalmente a formação da gema floral ocorre 15 a 30 cm acima do nível do solo, este fato é verificado quando as plantas têm cerca de 50 a 75 cm de altura. A diferenciação da gema floral tem o papel de bloquear a atividade meristemática (divisão celular). A partir daí, todo crescimento é devido ao alongamento das células já existentes. Em

torno de 6 a 10 dias antes do aparecimento da inflorescência ela pode ser vista como algo semelhante a um "torpedo" dentro da bainha da folha bandeira. As flores na panícula desenvolvem-se sucessivamente na direção do topo para a base (com tempo aproximado de 4 a 5 dias). Como nem todas as plantas em um campo de sorgo florescem ao mesmo tempo (padronizadas), a duração do florescimento no campo pode variar de 6 a 15 dias. No sorgo em torno de 1500 a 7000 espiguetas são encontradas por panícula. Os híbridos e as variedades apresentam mais de 5000 grãos de pólen por antera, correspondendo a 20 milhões de grãos de pólen por panícula (Magalhães et al., 2013).

Avaliando a caracterização bioquímica de 102 genótipos de sorgo quanto ao teor de lignina e análise molecular de rotas metabólicas visando à produção de etanol de segunda geração, foram obtidos valores para florescimento apresentando grande variabilidade entre os genótipos, que floresceram entre 59 e 140 dias após o plantio, sendo a média de aproximadamente 86 dias (Damasceno et al., 2010).

2.6.11 Produção de etanol de sorgo sacarino.

No processamento industrial, o sorgo sacarino não sofre muita diferenciação da cana-de-açúcar, o aproveitamento de toda a matéria-prima, como o caldo, o bagaço e as folhas, é um fator que viabiliza a produção de etanol. Os principais açúcares livres no caldo do sorgo sacarino são: glicose, a sacarose e a frutose. 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 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 para a produção de etanol, neste caso, é a característica mais importante a ser considerada junto a quantidade e composição de açúcares no caldo. Destaca-se teores de açúcar encontrados em torno de 15 a 21% no sorgo sacarino, 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 alta 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).

Segundo Ratnavathi, et al. (2010) e Audilakshmi, et al. (2010), para que se obtenha um bom processo fermentativo é importante identificar genótipos superiores de sorgo para produção de etanol em termos de graus brix, extratibilidade do suco, açúcares fermentáveis totais, rendimento de etanol e eficiência da fermentação.

A caracterização do caldo extraído dos colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 foi fonte de estudo e mostrou-se que é possível produzir entre 50 e 65 litros de etanol por tonelada de colmos estimando uma produção de etanol entre 4.544 l.ha⁻¹ e 6.636 l.ha⁻¹ (Borges et al., 2010). Ressalta-se que Emygdio et al. (2011) estimaram, para o cultivar de sorgo sacarino BRS 506, levando em consideração as produtividades médias de colmos obtidas na cidade de Pelotas/RS, valores entre 48 e 70 t.ha⁻¹, em média 55 litros de etanol por tonelada de colmos, convertendo em valores expressos entre 2.640 l.ha⁻¹ e 3.850 l.ha⁻¹ de etanol.

Estudo avaliando três épocas de corte em cinco cultivares de sorgo sacarino no norte da China, após o florescimento (0, 20 e 40 Dias após florescimento) obtiveram rendimentos entre 1.281 l.ha⁻¹ e 5.414 l.ha⁻¹ de etanol (Zhao et al., 2009).

Lavando-se em consideração uma produção em torno de 50 t.ha⁻¹ de biomassa e um rendimento de 60 litros de etanol por tonelada de biomassa, obtém-se em torno de 3000 l.ha⁻¹ de etanol, sendo esta uma produção viável de sorgo sacarino (May et al., 2012a). Contudo, o melhoramento genético busca materiais com potencial de produção de 80 t.ha⁻¹ de biomassa, sendo possível no futuro, obter mais de 5.500 l.ha⁻¹ de etanol de 1ª geração, mostrando previsões otimistas para o processamento industrial (Miranda et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Ambiente de condução do experimento

O trabalho foi realizado no campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo – Sete Lagoas/MG (latitude 19°28'S, longitude 44°15'W e altitude de 732m), em um Latossolo vermelho distrófico, cuja caracterização química é apresentada na tabela 1. O clima característico 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.

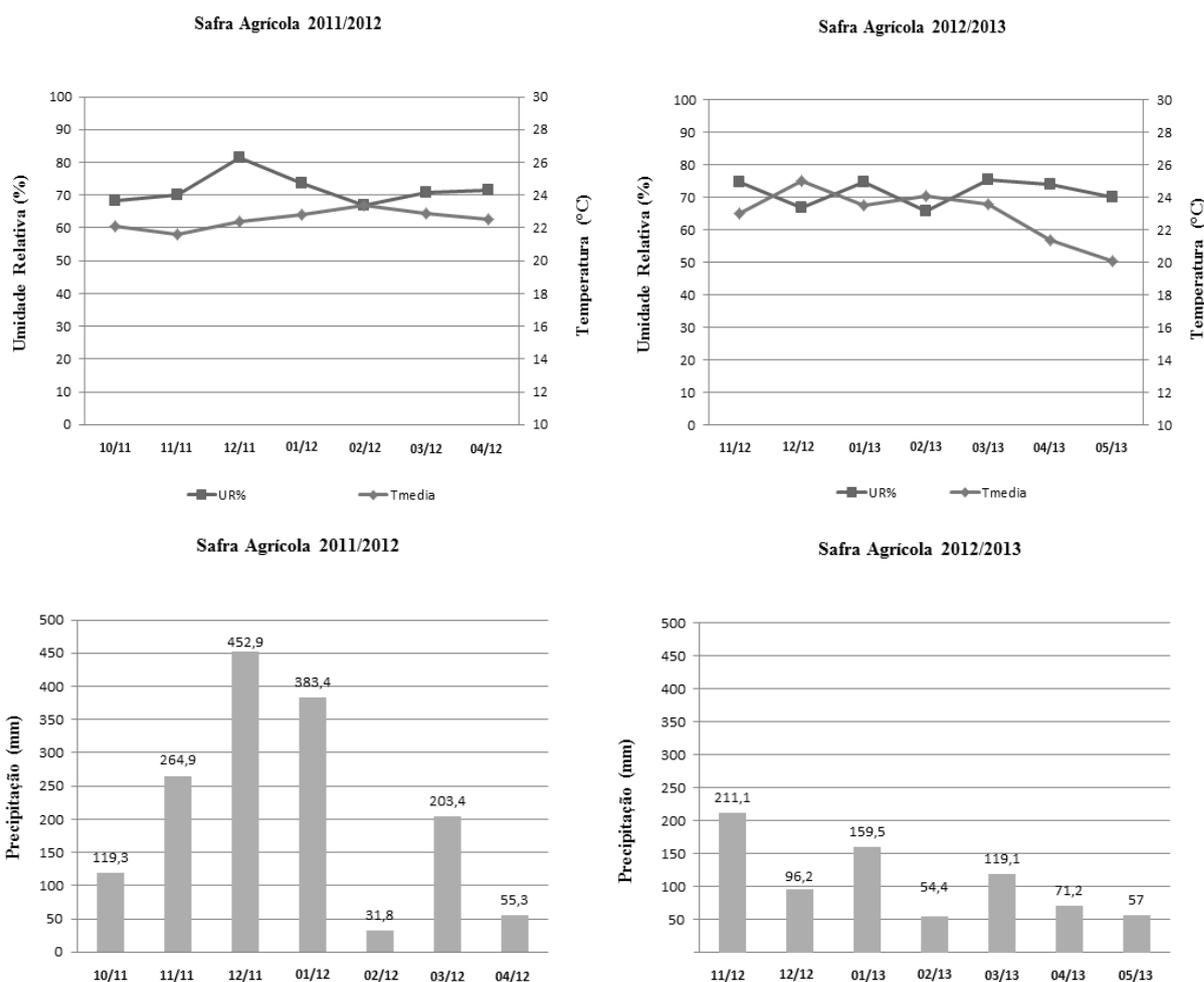


Figura 1. Médias mensais de temperatura (°C), umidade relativa em (%) e precipitação em (mm) nos meses de outubro de 2011 a janeiro de 2012 e novembro de 2012 a maio de 2013, correspondendo aos períodos de implantação e condução dos experimentos. Dados obtidos da estação meteorológica da EMBRAPA Milho e Sorgo.

Tabela 1 – Resultados analíticos de amostra de solo das áreas experimentais da EMBRAPA Milho e Sorgo – CNPMS em Sete Lagoas/MG.

ÁREA EXPERIMENTAL 01																
Identif.	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	m	Cu	Fe	Mn	Zn
		dag/Kg	...mg/dm3...			cmolc/dm3.....				... % mg/dm3			
00-20	5,60	2,10	27,60	171	3,50	0,70	0,00	3,50	4,80	8,30	57	0,00	1,30	22,60	20,60	4,40
ÁREA EXPERIMENTAL 02																
Identif.	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	m	Cu	Fe	Mn	Zn
		dag/Kg	...mg/dm3...			cmolc/dm3.....				... % mg/dm3			
00-20	5,50	2,94	7,22	101	3,41	0,49	0,04	5,05	4,00	9,05	44	0,99	1,38	39,96	7,21	1,94

SB, Soma de Bases; T, CTC a pH 7; V, Saturação por bases; m, Saturação por alumínio.

No preparo do solo das áreas experimentais foram realizados os trabalhos de aração e gradagem dois dias antes da semeadura, procedendo a marcação das linhas de semeadura e adubação. As semeaduras foram feitas de forma mecanizada utilizando semeadora adubadora convencional.

Foi realizada adubação de semeadura com 350 Kg.ha⁻¹ do formulado 08-28-16 + boro; 50 Kg.ha⁻¹ de FTE BR12 e 200 Kg.ha⁻¹ de ureia em cobertura 20 dias pós-semeadura. Após 15 dias de emergência, realizou-se o desbaste, em que foram mantidas na área oito plantas por metro linear, totalizando 40 plantas por linhas de cinco metros. 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. Foi realizada irrigação suplementar no período de estabelecimento da cultura e nos períodos de veranicos sempre que necessário.

As colheitas foram realizadas semanalmente a partir de 87 dias após o semeio. Os ensaios foram implantados nas safras agrícolas 2011/2012 e 2012/2013, coincidindo com o período chuvoso característico da região. As semeaduras foram feitas em 21/11/2011 e 04/12/2012, respectivamente.

As avaliações foram realizadas na linha central, que compreendia a área útil da parcela, mantendo sempre duas linhas de bordadura num total de oito épocas.

Todos os procedimentos citados acima foram realizados nas duas áreas experimentais igualmente, nas safras 2011/2012 e 2012/2013.

3.2 Genótipos

Foram avaliadas cinco cultivares comerciais de sorgo sacarino, sendo a BRS 508, BRS 509 e BRS 511, variedades desenvolvidas pelo programa de melhoramento da EMBRAPA Milho e Sorgo, a XBWS80147 desenvolvido pela Monsanto e a Sugargraze desenvolvido pela Advanta Sementes, sendo esses últimos, híbridos comerciais.

3.3 Características avaliadas

Foram avaliados dois grupos de características específicas: características morfoagronômicas estudadas nas plantas da parcela útil e características industriais, relacionadas ao caldo e a planta.

3.3.1 Características morfoagronômicas

a) Florescimento (dias)

O florescimento foi avaliado considerando o número de dias ocorridos entre a semeadura e a data em que 50% das plantas, na parcela, apresentaram antese.

b) Peso de massa verde total – PMV ($t.ha^{-1}$)

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 (Kg) dos colmos com folhas utilizando-se uma balança digital de suspensão (capacidade 50 Kg).

A produção de massa verde foi determinada através da pesagem de todas as plantas em cada parcela, retirando as panículas, e o valor em Kg por parcela foi transformado para tonelada por hectare.

3.3.2 Características industriais

a) Extração de caldo

Para a extração de caldo foram amostradas aleatoriamente oito plantas inteiras retirando-se as folhas e as panículas – colmos limpos, colhidas na parcela útil, e moídas em moendas específicas utilizadas para extração de caldo de cana. Foi utilizada a metodologia recomendada pelo CONSECAN (2006), em que as plantas são desintegradas em desfibrador e homogeneizadas em betoneiras adaptadas. Uma quantidade de amostra já homogeneizada com cerca de 2 Kg foi conduzida ao laboratório da Embrapa Milho e Sorgo, onde uma subamostra final de 500g foi novamente pesada e utilizada para análises tecnológicas.

A subamostra de 500g foi utilizada para extração do caldo em prensa hidráulica, com pressão mínima e constante de 250 Kgf/cm² sobre a amostra, durante 1 minuto, anotando-se o peso (g) e volume (ml) de caldo extraído.

$$E = \frac{PC}{500} \times 100$$

Onde:

E = Extração de Caldo (%);

PC = Peso do Caldo (g).

b) Sólidos solúveis totais do caldo – SST (°Brix)

Após extração do caldo foram realizadas as análises de sólidos solúveis totais, expressos em °Brix e determinado em caldo filtrado em papel de filtro qualitativo, a partir da 6ª gota do filtrado, em refratômetro digital de leitura automática, com correção automática de temperatura e resolução máxima de 0,1°Brix, de acordo com método proposto pela AOAC (1990).

c) Açúcares redutores totais extraídos do caldo (ART ou AT)

Também denominados de Açúcares Totais, representa a somatória dos açúcares redutores e da sacarose invertida por hidrólise ácida ou enzimática pela invertase, determinados na solução açucarada por oxiredutimetria na relação peso/peso. Além da glicose, frutose e sacarose invertida, outras substâncias reductoras presentes no caldo de sorgo sacarino são incluídas na análise. Podem ser calculados pela equação apresentada a seguir, a qual foi adaptada de CONSECAN (2006):

$$AT = \text{açúcares redutores} + Pol / 0,95$$

Onde:

AT = Açúcares totais (%);

Pol = Teor de sacarose aparente.

d) Açúcares redutores – AR (% em peso de caldo)

O teor de açúcares redutores (AR) por cento, em peso, de caldo será calculado pela equação adaptada de CONSECANA (2006):

$$AR \% \text{ caldo} = 3,641 - 0,0343 \times Q$$

Onde:

Q = pureza aparente do caldo, expressa em porcentagem.

e) Teor de Sacarose Aparente – Pol (% em peso de caldo)

O pol do caldo, ou teor de sacarose aparente no caldo, foi determinado em todo o caldo clarificado com mistura clarificante à base de alumínio, em sacarímetro digital, automático, com resolução de 0,01 °Z (um centésimo de grau de açúcar) e calibrado a 20 °C, em comprimento de onda de 587 e 589,4 nm. A pol do caldo foi calculada pela Equação 01, adaptada de CONSECANA (2006):

$$S = LPb (0,2605 - 0,0009882 \times B) \quad (1)$$

A transformação da leitura sacarimétrica com a mistura clarificante, à base de alumínio, para a leitura equivalente em subacetato de chumbo, foi realizada pela equação Equação 02, adaptada de CONSECANA (2006):

$$LPb = 1,00621 \times Lal + 0,05117 \quad (2)$$

Onde:

LPb = leitura sacarimétrica equivalente a de subacetato de chumbo;

Lal = leitura sacarimétrica obtida com a mistura clarificante à base de alumínio.

Assim sendo, a equação completa para o cálculo da pol da cana (S) passa a ser Equação 03, adaptada de CONSECANA (2006):

$$S = (1,00621 \times Lal + 0,05117) \times (0,2605 - 0,0009882 \times B) \quad (3)$$

Onde:

S = pol no caldo extraído (%)

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

B = brix do caldo (°Brix).

f) Pureza Aparente do Caldo (Q)

A pureza aparente do caldo é definida como a porcentagem de Pol em relação ao teor de sólidos solúveis totais (°Brix), sendo calculada pela equação, adaptada de CONSECAN (2006):

$$Q = 100 \times S / B$$

Onde:

Q = Pureza aparente do caldo (%)

S = Pol do caldo;

B = Brix do caldo.

g) Fibra do sorgo sacarino F (%)

A fibra da cana do sorgo sacarino (% cana) foi determinada de acordo com Tanimoto (1964) por meio de secagem do bolo úmido proveniente da prensa hidráulica, após a extração do caldo, em estufa com circulação forçada de ar a 105 °C até massa constante. Para o cálculo de F foi utilizada a Equação 02, adaptada de CONSECAN (2006).

O peso do bagaço ou bolo úmido extraído da prensa hidráulica foi utilizado para cálculo da Fibra do sorgo sacarino (F), sendo obtido através do uso de balança digital com valores expressos em Kg (CONSECAN, 2006):

$$F = [(100 \times \text{PBS}) - (\text{PBU} \times B)] / [5 \times (100 - B)] \quad (02)$$

Onde:

F = Fibra do sorgo sacarino (%)

PBS = peso do bagaço seco (Kg);

PBU = peso do bagaço úmido (Kg);

B = brix do caldo (°Brix).

h) Açúcares totais recuperáveis – ATR (Kg de açúcares recuperáveis ton⁻¹ de biomassa)

Representa todos os açúcares contidos no sorgo na forma reduzida ou açúcar invertido. O ATR é calculado pela Equação, adaptada de CONSECANA (2006):

$$\text{ATR} = 10 \times \text{PC} \times 1,05263 \times 0,905 + 10 \times \text{ARC} \times 0,905 \text{ ou,}$$
$$\text{ATR} = 9,5263 \times \text{PC} + 9,05 \times \text{ARC}$$

Onde:

ATR = Kg de açúcares recuperáveis ton⁻¹ de biomassa

10 x PC = pol por tonelada de sorgo

1,05263 = coeficiente estequiométrico para a 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 cana

3.3.3 Estimativa de Produção de Etanol 1 Hidratado:

A produção de álcool hidratado⁻¹ foi estimada pelo cálculo, adaptado de CONSECANA (2006):

$$\text{ART\% caldo} \times 10 \times 0,6475 = 100\% \text{ de álcool}$$

Considerando um processo fermentativo de 85% de eficiência, com valores expressos em (litros de etanol ton⁻¹).

3.3.4 Estimativa de Produção de Etanol 2 Hidratado:

A produção de álcool hidratado-2 foi estimada pelo cálculo:

$$\text{Quantidade de álcool hidratado (litros ton}^{-1}\text{)} \times \text{PMV (Ton.ha}^{-1}\text{)}$$

Valores expressos em (litros de etanol ha⁻¹).

3.3.5 Período de utilização industrial

O período de utilização industrial (PUI) foi avaliado relacionando-se os dias após a semeadura com os teores de açúcares observados. Além da observação de todas as características necessárias para a manutenção dos padrões mínimos, foram relacionados dentre as características agroindustriais avaliadas, o teor de sólidos solúveis totais – SST (15 °B), açúcares totais recuperáveis – ATR (80 kg de açúcar por tonelada de biomassa) e açúcares redutores totais – ART (12,5%). Assim, o PUI foi o período no qual o sorgo atingiu teores mínimos de açúcares, possibilitando a extração e ou a transformação em produtos industriais foi determinado a partir dos dados das curvas de maturação destas características.

3.4 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, num esquema em parcelas subdivididas. As parcelas experimentais foram constituídas de 27 linhas de 5m, espaçadas 0,70m, com população de 120 mil plantas ha⁻¹, cada subparcela foi constituída de uma linha de cinco metros, avaliadas aleatoriamente em oito épocas de colheita, expressas em dias após o semeio (DAS), numa área experimental de 1.417,50 m². Foram realizadas análises de variância conjunta, ou seja, considerando as safras agrícolas 2011/2012 e 2012/2013 para todas as características.

As análises estatísticas foram realizadas com o programa computacional Sisvar[®] (Ferreira, 2010) onde foi utilizado o teste F, a 5% de probabilidade. Verificado o efeito significativo dos tratamentos em estudo, prosseguiu-se com um teste de médias ou análise de regressão em função da natureza dos dados. As médias dos dados foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade e análise de regressão.

3.4.1 Modelo Estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + b_{j(k)} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ij(k)} + \rho_l + (\gamma\rho)_{kl} + (\alpha\rho)_{il} + (\alpha\gamma\rho)_{ikl} + \xi_{ijk}$$

Onde:

Y_{ijkl} : é o valor observado para a variável em estudo;

μ : média geral de todas as unidades experimentais;

α_i : efeito do i-ésimo nível do fator Cultivar ($i = 1...5$);

γ_k : efeito do k-ésimo nível do fator Safra ($k = 1,2$);

$b_{j(k)}$: efeito do j-ésimo Bloco na k-ésima Safra ($j = 1...3, k = 1,2$);

$(\alpha\gamma)_{ik}$: efeito da interação do i-ésimo nível do fator Cultivar com o k-ésimo nível do fator Safra;

$\varepsilon_{ij(k)}$: erro associado à parcela;

ρ_l : efeito do l-ésimo nível do fator Época ($l = 1...8$);

$(\gamma\rho)_{kl}$: efeito da interação do k-ésimo nível do fator Safra com o l-ésimo nível do fator Época;

$(\alpha\rho)_{il}$: efeito da interação do i-ésimo nível do fator Cultivar com o l-ésimo nível do fator época;

$(\alpha\gamma\rho)_{ikl}$: efeito da interação do i-ésimo nível do fator Cultivar com o k-ésimo nível do fator Safra e o l-ésimo nível do fator Época;

ξ_{ijk} : erro associado à subparcela.

3.4.2 Análise de regressão

Visando estabelecer uma equação matemática que descreva o relacionamento entre duas variáveis, foi realizada análise de regressão, considerando os caracteres avaliados como variável dependente e épocas de avaliação como variável independente, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste t dos coeficientes de regressão.

A análise de variância, da forma como é realizada, parte do princípio da pressuposição da independência de diversos tratamentos utilizados. Quando esta hipótese não se verifica, a análise de variância deve refletir a dependência entre os tratamentos sob a pena de não ser válida. O mesmo acontece em casos onde os tratamentos são quantitativos, (como doses de fertilizantes, ou datas de semeaduras ou colheitas), mostra-se a necessidade da existência de uma correspondência funcional, que faça o ligamento dos valores dos tratamentos aos dados analisados (Gomes, 2009).

Constitui-se de uma técnica estatística que tem como objetivo principal a descrição da relação entre uma variável resposta e um conjunto de variáveis explicativas através de um modelo que apresente bom ajuste (Siemsen et al., 2010).

O estudo da associação entre determinados fatores é estabelecido frequentemente quando existe uma relação linear ou quadrática. Nestes casos, mostra-se a necessidade de

verificar se os coeficientes de regressão entre as variáveis diferem entre si ou não. Este fato se dá em função de que, em algumas situações, as variáveis com maior coeficiente de regressão apresentam melhor resposta a determinado tratamento (Ilayeruma et al., 2011).

3.4.2.1 Modelo de regressão

De acordo com Draper e Smith (2008), pode-se classificar os modelos de regressão, em relação aos seus parâmetros, em lineares, linearizáveis e não lineares. Neste trabalho, utilizaremos os modelos lineares, com enfoque aos modelos de regressão linear e de regressão quadrática.

Segundo Draper e Smith (2008) e Hoffmann e Vieira (2009), um modelo de regressão linear, pode ser expresso como:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

Onde:

y_i : i-ésimo valor da variável resposta, $i = 1, 2, \dots, N$ observações;

x_{ki} : i-ésimo valor da k-ésima variável explicativa, $k=1, 2, \dots, K$ variáveis;

β_k : parâmetros do modelo;

ε_i : erros aleatórios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das análises de variância para florescimento (FLOR), em dias, produção de massa verde (PMV), em $t.ha^{-1}$, extração de caldo, em %, sólidos solúveis totais - SST, em °B, açúcares redutores totais (ART), em %, açúcares redutores (AR), em %, teor de sacarose aparente (POL), em %, teor de pureza, em %, teor de fibra, em %, açúcares totais recuperáveis (ATR), em $Kg.t^{-1}$, produtividade de etanol, em $l.t^{-1}$ de biomassa e produção de etanol, em $l.ha^{-1}$, estão apresentadas nas tabelas 2 e 3. Foram verificadas diferenças significativas ($P \leq 0,05$) entre as safras agrícolas avaliadas para todos os caracteres. Isso mostra que os efeitos ambientais influenciaram de maneira diferente os resultados obtidos nas safras 2011/2012 e 2012/2013. Foram observadas diferenças significativas ($P \leq 0,01$) entre as cultivares avaliadas para todos os caracteres, evidenciando diferenças genéticas entre os cultivares para os caracteres avaliados. Verificou-se interação cultivares x safras significativa ($P \leq 0,05$) para quase todos os caracteres

avaliados, exceto para SST, mostrando um comportamento diferente das cultivares nas safras avaliadas. Considerando os SST, houve desempenho coincidente dos cultivares nas safras avaliadas. Pode-se observar diferenças significativa ($P \leq 0,01$) entre as épocas de colheita para todos os caracteres, mostrando haver diferença entre colheitas em diferentes períodos fenológicos da planta de sorgo sacarino. A interação safras x épocas de colheita foi significativa ($P \leq 0,01$) para todos os caracteres, mostrando um comportamento não coincidente nas safras e épocas avaliadas. A interação cultivares x épocas de colheita mostrou-se significativa ($P \leq 0,01$) para quase todos os caracteres, exceto PMV, mostrando um comportamento diferencial das cultivares nas épocas avaliadas.

Houve interação safras x cultivares x épocas de colheita significativa ($P \leq 0,01$) para SST, ART, AR, POL, teor de pureza, ATR, e produtividade de etanol, mostrando um comportamento diferencial das cultivares nas safras e épocas avaliadas. Já para os caracteres PMV, extração de caldo, teor de fibra, e produção de etanol, não houve interação anos x cultivares x épocas de colheita, mostrando um comportamento coincidente das cultivares nas safras e épocas de colheita avaliadas.

Tabela 2. Resumo das análises de variância para florescimento – FLOR, em (dias), produção de massa verde – PMV, em (t.ha⁻¹), Extração de caldo, em (%), sólidos solúveis totais – SST, em (°B), açúcares redutores totais – ART, em (%), açúcares redutores (AR), em %, avaliados em cultivares de sorgo sacarino em diferentes épocas de colheita, nas safras agrícolas 2011/2012 e 2012/13, Sete Lagoas-MG.

FV	GL	Floresc.	PMV	Extração	SST	ART	AR
Safras	1	264,03 **	32178,04 **	2970,46 **	362,11 **	52,45 **	0,70 *
Blocos (safras)	4	1,63	545,53	33,61	8,71	8,22	0,24
Cultivares	4	57,87 **	1273,46 **	259,46 **	212,47 **	164,15 **	2,79 **
Cultivares*Safras	4	35,47 **	432,67 *	36,03 *	8,51 NS	16,24 **	0,74 **
<i>Erro 1</i>	16	21,47	115,74	8,38	3,05	2,74	0,12
Épocas	7	-	2093,47 **	88,84 **	33,25 **	19,25 **	0,56 **
Safras*Épocas	7	-	2664,65 **	52,74 **	73,65 **	47,20 **	1,04 **
Cultivares*Épocas	28	-	122,60 NS	10,23 **	8,57 **	4,52 **	0,09 **
Safras*Cultivares*Épocas	28	-	80,14 NS	7,55 NS	2,63 **	1,84 **	0,10 **
<i>Erro 2</i>	140,0	-	83,85	5,43	1,37	0,93	0,05
CV 1 (%) =		1,41	23,53	4,29	13,04	17,12	19,5
CV 2 (%) =		-	20,02	3,46	8,73	9,97	12,2
<i>Media geral:</i>		82,43	45,72	67,39	13,38	9,66	1,78

** , * e NS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

Tabela 3 - Resumo das análises de variância para teor de sacarose aparente (POL), em %, pureza, em %, teor de fibra, em %, açúcares totais recuperáveis (ATR), em Kg.t⁻¹, produtividade de etanol (Etanol 1), em l.t⁻¹ de biomassa e produção de etanol (Etanol 2), em l.ha⁻¹, avaliados em cultivares de sorgo sacarino em diferentes épocas de colheita nas safras agrícolas 2011/2012 e 2012/13, Sete Lagoas-MG.

FV	GL	POL	Pureza	Fibra	ATR	Etanol 1	Etanol 2
Safras	1	37,00 **	596,96 *	478,78 **	698,37 *	1588,62 **	292990,53 **
Blocos (safras)	4	10,07	201,12	10,14	318,96	248,91	985098,60
Cultivares	4	188,39 **	2367,94 **	53,57 **	8262,62 **	4972,07 **	365206,32 **
Cultivares*Safras	4	20,74 **	626,91 **	4,14 *	928,51 **	491,69 **	912808,24 **
<i>Erro 1</i>	16	3,51	102,20	1,11	142,12	82,86	639195,06
Épocas	7	22,36 **	479,01 **	61,76 **	906,26 **	582,93 **	464043,64 **
Safras*Épocas	7	55,77 **	889,27 **	22,89 **	2516,46 **	1430,73 **	109237,16 **
Cultivares*Épocas	28	5,13 **	79,22 **	0,84 NS	237,04 **	136,97 **	632487,07 **
Safras*Cultivares*Épocas	28	2,24 **	81,67 **	0,49 NS	96,46 **	55,53 **	316177,49 NS
<i>Erro 2</i>	140,0	1,17	40,30	0,61	51,14	28,10	239658,70
CV 1 (%) =		25,02	18,66	8,77	16,20	17,12	32,77
CV 2 (%) =		14,48	11,72	6,51	9,72	9,97	20,07
<i>Media geral:</i>		7,48	54,16	12,03	73,60	53,18	2439,39

** , * e NOS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

De modo geral, os dias para florescimento não variaram com as cultivares nas duas safras agrícolas 2011 e 2012 (tabela 4). No sorgo sacarino, ao contrário da cana de açúcar, o acúmulo de açúcares ocorre após o florescimento (Parrella, 2011) e desta forma, a maior precocidade das cultivares é bastante desejável para o setor sucroalcooleiro, pois o sorgo sacarino está sendo recomendado para o cultivo em áreas de canaviais em renovação com semeadura nos meses de novembro e dezembro e colheita nos meses de março e abril. Assim, com a utilização de cultivares mais precoces disponibiliza-se mais cedo a área para novo plantio de cana. Foi possível observar pouca variação no número de dias para o florescimento entre as cultivares avaliadas, mas o BRS 511 foi mais precoce nas duas safras avaliadas.

Tabela 4 – Médias para florescimento, em dias, em função das safras 2011/2012 e 2012/2013 em Sete Lagoas-MG.

Cultivares	Florescimento	
	Safras	
	2011/2012	2012/2013
BRS 511	81 b	78 a
BRS 508	85 a	79 a
BRS 509	87 a	79 a
Sugargraze	87 a	80 a
XBSW80147	87 a	80 a

As médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott para $p \leq 0,05$.

A produtividade de massa verde das diferentes cultivares de sorgo sacarino é apresentada na tabela 5. Na safra 2011/2012, o cultivar XBSW80147 apresentou maior média, $44,56 \text{ t.ha}^{-1}$, diferenciando dos demais. Na safra 2012/2013, os cultivares BRS 511 e XBSW80147 apresentaram maiores médias com $63,14$ e $62,42 \text{ t.ha}^{-1}$, respectivamente. Verifica-se que todos os cultivares apresentaram maior produtividade de massa verde na safra 2012/2013, mostrando um forte efeito da safra na produção de biomassa. Na figura 1, estão apresentados os dados climáticos das duas safras avaliadas e pode-se verificar uma precipitação excessiva ($452,9 \text{ mm}$) no mês de dezembro de 2011. Como o experimento foi implantado no final de novembro, a precipitação excessiva no mês de dezembro pode ter contribuído para a lixiviação do N aplicado em cobertura e do K presente no solo. Além disso, a redução de luminosidade devido à presença constante de nuvens reduz a eficiência

fotossintética de plantas C4 como o sorgo, repercutindo em menor crescimento e produtividade.

Tabela 5 – Desdobramento da interação cultivares x safras para produção de massa verde (PMV), em t.ha⁻¹, avaliados em genótipos de sorgo sacarino durante as safras agrícolas 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas-MG.

Cultivares	PMV ¹	
	Safras	
	2011/2012	2012/2013
BRS 511	29,67 b	63,14 a
BRS 508	34,27 b	56,59 b
BRS 509	33,76 b	51,49 b
Sugargraze	28,48 b	49,89 b
XBSW80147	44,56 a	62,42 a

As médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott para $p \leq 0,05$.

Avaliando o rendimento de massa verde da cultivar BR505, com população de plantas de 120.000 plantas por hectare e espaçamentos entrelinhas de 0,7 m, observaram 46,8 t.ha⁻¹ em Santa Maria/RS, com semeio em novembro de 1982 (Marchezan & Silva, 1984). Teixeira et al. (1999), estudando a mesma cultivar por três safras consecutivas, a partir do ano de 1984, em Jundiaí/SP, encontraram 20,8 38,9 e 52,7 t.ha⁻¹, respectivamente, para cada ano, sendo menores com semeio tardio (janeiro). Souza et al. (2013) avaliando produção de massa verde de 25 cultivares de sorgo sacarino em cinco localidades no Brasil observaram produtividades variando de 32 a 57 t.ha⁻¹, 28 a 54 t.ha⁻¹ e 25 a 52 t.ha⁻¹, para o BRS 511, BRS 508 e BRS 509, respectivamente. Albuquerque et al. (2012), estudando diferenças de espaçamento na produção de massa verde nas cultivares BR 506 e BR 507 de sorgo sacarino em três locais no Norte de Minas, encontraram pouca ou nenhuma diferença significativa na produção de massa verde das cultivares em função do espaçamento, sendo que todas as produtividades foram menores do que aquelas encontradas em Sete Lagoas, na safra 2012/2013. Na avaliação da produção de massa verde em função de diferentes populações de plantas no cultivar BR 505, May et al. (2012) observaram produtividades de 76 t.ha⁻¹, 80 t.ha⁻¹ e 75 t.ha⁻¹ para populações de plantas de 100, 120 e 140 mil plantas por hectare, respectivamente. Desta forma, as diferenças nas produções de massa verde se devem a fatores ambientais (manejo, local, época de semeio, entre outros), genético (diferentes cultivares) e a interação destes dois.

Já foi verificada forte associação entre produção de massa verde e a produtividade de etanol por hectare (Murray et al., 2008; Ritter et al., 2008), pois o caldo rico em açúcares fermentescíveis é extraído em sua totalidade desta biomassa. Assim, quanto maior o rendimento de biomassa verde maior será a produtividade de caldo e açúcares por hectare e por consequência, maior volume de etanol produzido. Os valores médios para produção de massa verde obtidos neste trabalho estão de acordo aos encontrados por Souza et al. (2013) e Albuquerque et al. (2012). Vale destacar que os maiores valores médios obtidos na safra 2012/2013 para todos os cultivares avaliados, são inferiores aos obtidos por May et al. (2012b), que demonstra o potencial desta cultura na produção de biomassa em curto espaço de tempo.

As produtividades médias de massa verde variaram com as épocas de colheita, nas duas safras agrícolas figura 2. O melhor ajuste das médias observadas em cada época de avaliação foi expresso através da regressão quadrática. As estimativas dos coeficientes deste modelo de regressão polinomial quadrático estão apresentadas na tabela 6 e a linha de tendência descrita. Na safra 2011/2012 ocorreu aumento da PMV de $3,5 \text{ t.ha}^{-1}$, a cada sete dias de 87 a 108 DAS e em seguida, ocorreu pequena redução de $0,45 \text{ t.ha}^{-1}$, a cada sete dias, até a última avaliação aos 136 DAS. Na safra 2012/2013 ocorreu redução da PMV de 14 t.ha^{-1} , a cada sete dias de 87 a 122 DAS e em seguida ocorreu pequeno aumento de $1,0 \text{ t.ha}^{-1}$, até a última avaliação aos 136 DAS. O ajustamento dos dados da equação de regressão, medidos pelo coeficiente de determinação (R^2) foi médio. É importante destacar a ocorrência de acamamento de plantas nas parcelas experimentais a partir da terceira época de colheita na safra 2012/2013 devido forte vento, bastante atípico. Este fato pode ter contribuído para forte redução na PMV nesta safra. A variação da PMV observada na safra 2011/2012 condiz com um desempenho normal dos materiais, com pequeno aumento no início das colheitas e em seguida pequena redução devido à perda de umidade comum no fim do ciclo das gramíneas. As colheitas realizadas dos 101 a 122 DAS foram realizadas no mês de março de 2013, quando ocorreram precipitações significativas. Assim, os desvios verificados nas últimas épocas de avaliação podem ser explicados pela ocorrência de chuva na semana anterior à colheita, refletindo no aumento da PMV.

Tabela 6. Estimativas de parâmetros de regressão quadrática para safras agrícolas de sorgo sacarino em função de épocas de colheita para produção de massa verde, em t.ha⁻¹, avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas-MG.

Caracteres	Safras	Parâmetros			R ²
		B ₀	B ₁	B ₂	
PMV	2011/2012	30,00	3,510*	-0,457*	51,73
	2012/2013	93,32	-14,033**	1,063**	48,28

** , * e NS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de t, respectivamente

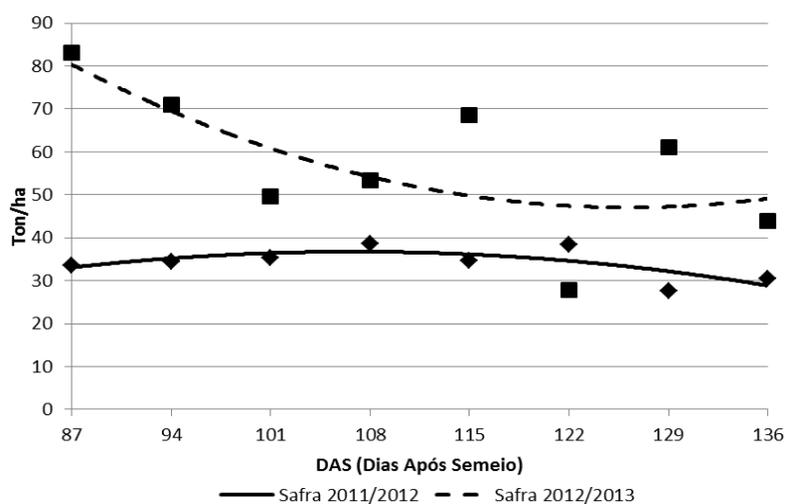


Figura 2. Produção de massa verde (PMV), em t.ha⁻¹, de cultivares de sorgo sacarino, em função de épocas de colheita, avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

A percentagem de extração de caldo de forma geral não variou entre as cultivares de sorgo sacarino, com exceção da cultivar BRS 508 que apresentou a menor percentagem nas duas safras tabela 7. Foi verificado que todas as cultivares apresentaram maior percentagem de extração de caldo na safra 2012/2013, mostrando efeito de safra nesta característica também.

O estudo do desdobramento da interação safras dentro de cada época de avaliação sofreu influência significativa da interação destes fatores para percentagem de extração de caldo. O melhor ajuste das médias observadas em cada época de avaliação foi expresso através da regressão quadrática. As estimativas dos coeficientes deste modelo de regressão polinomial quadrático estão apresentadas na tabela 7 e a linha de tendência descrita na figura 3. A percentagem de extração de caldo variou com a época de colheita apenas na safra 2011/2012, ocorrendo redução de 1,71% de umidade de 87 a 108 DAS e em seguida, pequeno aumento de 0,12% de umidade até a última avaliação aos 136 DAS. Observando-se os dados

climáticos (figura 1), verifica-se a ocorrência de precipitação no mês de março que influenciou na quarta (108 DAS) e sexta (122 DAS) época de avaliação na safra 2011/2012 e na quinta (115 DAS) e sétima (129 DAS) época de avaliação na safra 2012/2013, causando aumento da extração. Este fator pode ter contribuído para o não ajustamento dos dados a nenhuma equação de regressão linear e não significância dos coeficientes de regressão.

Tabela 7 – Percentagem de extração de caldo em função de diferentes cultivares de sorgo sacarino avaliados nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas-/MG.

Cultivares	Extração ¹	
	Safras	
	2011/2012	2012/2013
BRS 511	64,64 a	73,04 a
BRS 508	61,34 b	65,43 b
BRS 509	64,12 a	72,29 a
Sugargraze	65,30 a	72,81 a
XBSW80147	63,99 a	71,01 a

¹As médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott para $p \leq 0,05$.

Tabela 7. Estimativas de parâmetros de regressão quadrática para safras agrícolas de sorgo sacarino em função de épocas de colheita para porcentagem de extração de caldo, em %, avaliados nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

Caracteres	Safras	Parâmetros			
		B ₀	B ₁	B ₂	R ²
Extração	2011/2012	68,61	-1,708**	0,115*	0,4981
	2012/2013	71,44	-0,797 ns	0,120 ns	0,2386

** , * e NS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de t, respectivamente

Comparando os valores médios para extração de caldo, foi observado valores em torno de 67% e 71%, na primeira época de avaliação e valores em torno de 62% a 73% para última época de avaliação para as safras 2011/2012 e 2012/13, respectivamente. Pode-se verificar uma tendência na redução da extração a partir da primeira época de avaliação na safra 2011/2012, no entanto, a variação percentual observada foi pequena considerando o longo período de colheita (oito semanas), mostrando que esta característica apesar de sofrer influências ambientais, é pouco variável.

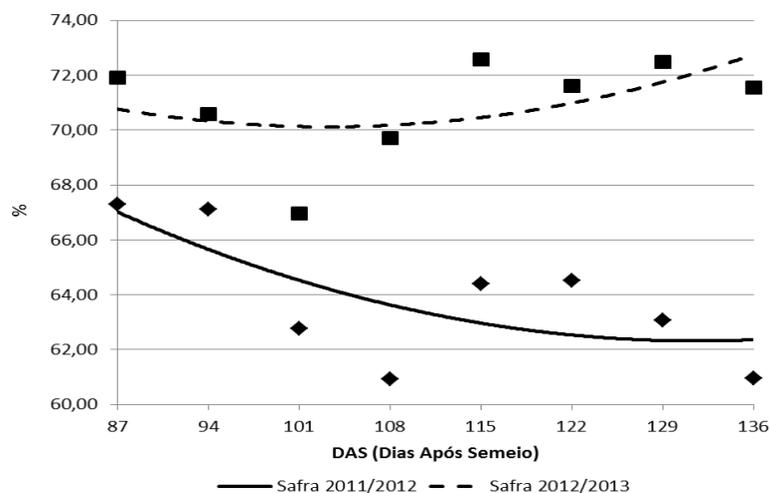


Figura 3. Extração de caldo em %, avaliados em cultivares de sorgo sacarino, em função de épocas de colheita, nas safras 2011/2012 e 2012/2013, em Sete Lagoas/MG.

Na avaliação de métodos de colheita e extração de caldo em cultivares de sorgo sacarino, Emygdio et al. (2012) observaram valores percentuais de extração de caldo variando de 62,7%, 54,3 % e 47,2% para amostras com colmos limpos (sem folhas e sem panículas), massa verde (colmos + folhas) e biomassa total (colmo + folha + panícula), respectivamente. Estes valores são inferiores aos obtidos neste trabalho utilizando o mesmo equipamento para extração do caldo. Vale lembrar que neste trabalho foram utilizadas amostras de colmos limpos, que refletem maior extração. E ainda, estas diferenças podem ocorrer de acordo com a época de colheita e ocorrência de precipitação no período que antecede a colheita.

A porcentagem de extração de caldo de cada uma das cultivares em função das épocas de colheita é apresentada na figura 4. As estimativas dos coeficientes deste modelo de regressão polinomial quadrático estão apresentadas na tabela 8 e a linha de tendência descrita na figura 4. Para as cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509 ocorreu redução de 1,93%, 2,03% e 1,85%, respectivamente de 87 a 108 DAS e em seguida, pequeno aumento de 0,19%, 0,14% e 0,016%, respectivamente, até a última avaliação aos 136 DAS. O ajustamento dos dados à equação de regressão medidos pelo coeficiente de determinação foi baixo. Novamente, a influência de precipitação foi responsável por causar aumento dos valores de extração nas épocas de avaliação citadas. Para os cultivares Sugargraze e XBSW80147 os coeficientes do modelo de regressão não foram significativos. Comparando os valores médios

das diferentes cultivares pôde ser observada pouca variação da primeira até a última avaliação, com exceção do BRS 508, que apresentou maior redução 67% para 62%.

Tabela 8. Estimativas de parâmetros de regressão quadrática para cultivares de sorgo sacarino em função de épocas de colheita para extração de caldo, em %, avaliados nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

Características	Cultivares	Parâmetros			
		B ₀	B ₁	B ₂	R ²
Extração de Caldo	BRS 511	72,48	-1,934**	0,198*	0,3940
	BRS 508	68,73	-2,027**	0,148*	0,3688
	BRS 509	72,26	-1,85**	0,167*	0,3685
	Sugargraze	68,11	0,375 ns	0,029 ns	0,0441
	XBSW80147	68,53	-0,825 ns	0,104 ns	0,0930

** , * e NS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de t, respectivamente.

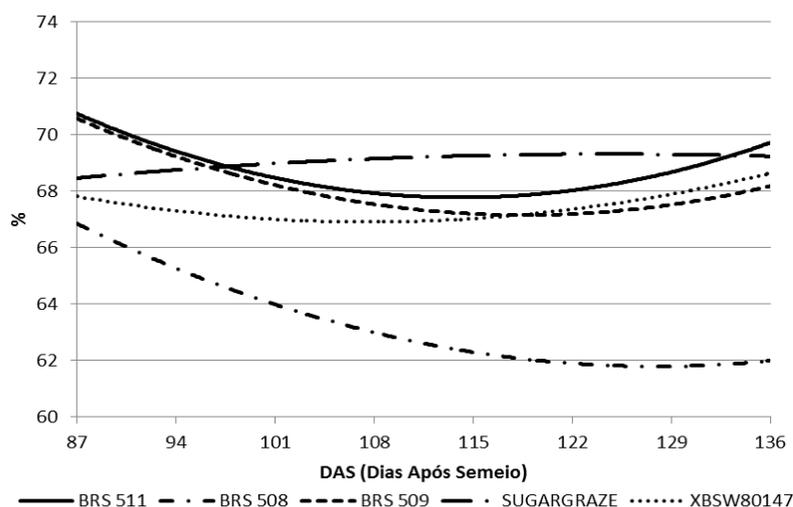


Figura 4. Extração de caldo em %, de cultivares de sorgo sacarino, em função de épocas de colheita, avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013, em Sete Lagoas/MG.

Os Sólidos Solúveis Totais (SST), açúcares redutores totais (ART), açúcares redutores (AR) e teor de sacarose aparente (POL), em função das diferentes épocas de colheita nas safras agrícolas 2011/2012 e 2012/2013 mostram estimativas dos coeficientes deste modelo de regressão polinomial quadrático apresentadas na tabela 9 e as linhas de tendência descritas nas figuras 5A e 5B. O melhor ajuste das médias observadas em cada época de avaliação foi expresso através da regressão quadrática.

Tabela 9. Estimativas de parâmetros de regressão quadrática para cultivares de sorgo sacarino em função de épocas de colheita para sólidos solúveis totais – SST, em (°B), açúcares redutores totais – ART, em (%), açúcares redutores – AR, em (%) e teor de sacarose aparente – POL, em (%), avaliados nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

Características	Safra	Cultivares	Parâmetros			
			B ₀	B ₁	B ₂	R ²
SST	2011/2012	BRS 511	7,23	2,708**	-0,174**	0,7948
		BRS 508	8,08	3,275**	-0,233**	0,7261
		BRS 509	7,30	3,289**	-0,259**	0,8844
		Sugargraze	9,70	1,347**	-0,164**	0,2573
		XBSW80147	10,28	1,381**	-0,092*	0,4409
	2012/2013	BRS 511 ¹	14,04	-0,334**	-	0,7167
		BRS 508 ¹	14,46	0,265*	-	0,3385
		BRS 509 ¹	13,03	-0,217*	-	0,2421
		Sugargraze ¹	12,53	-0,708**	-	0,7844
		XBSW80147 ¹	14,75	-0,792**	-	0,9578
ART	2011/2012	BRS 511	4,76	2,264**	-0,170**	0,7540
		BRS 508	4,83	2,924**	-0,241**	0,7903
		BRS 509	4,23	2,424**	-0,180**	0,8159
		Sugargraze	5,85	1,360*	-0,158**	0,3020
		XBSW80147	6,09	1,392**	0,102**	0,5188
	2012/2013	BRS 511 ¹	10,97	-0,298**	-	0,7603
		BRS 508 ¹	12,30	0,131 ns	-	0,1039
		BRS 509 ¹	9,38	-0,166 ns	-	0,2395
		Sugargraze ¹	9,31	-0,590**	-	0,8081
		XBSW80147 ¹	11,55	-0,754**	-	0,9306
AR	2011/2012	BRS 511	2,48	-0,361**	0,034**	0,5431
		BRS 508	2,40	-0,358**	0,035**	0,5955
		BRS 509	2,74	-0,345**	0,026**	0,7672
		Sugargraze	2,64	-0,346**	0,036**	0,4562
		XBSW80147	2,52	-0,292**	0,024**	0,4768
	2012/2013	BRS 511 ¹	1,43	0,025 ns	-	0,3580
		BRS 508 ¹	1,14	0,016 ns	-	0,1172
		BRS 509 ¹	1,73	0,020 ns	-	0,1302
		Sugargraze ¹	1,55	0,137**	-	0,6841
		XBSW80147 ¹	1,21	0,149**	-	0,8375
POL	2011/2012	BRS 511	2,16	2,492**	-0,194**	0,7400
		BRS 508	2,30	3,118**	-0,263**	0,7907
		BRS 509	1,41	2,632**	-0,197**	0,8122
		Sugargraze	3,04	1,621**	-0,185**	0,3197
		XBSW80147	3,38	1,604**	-0,121**	0,5272
	2012/2013	BRS 511 ¹	9,06	-0,307**	-	0,7450
		BRS 508 ¹	10,60	0,109 ns	-	0,6970
		BRS 509 ¹	7,26	-0,177 ns	-	0,2368
		Sugargraze ¹	7,37	-0,692**	-	0,8007
		XBSW80147 ¹	9,82	-0,857**	-	0,9206

** , * e NS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de t, respectivamente. ¹ Estimativas de parâmetros de regressão linear.

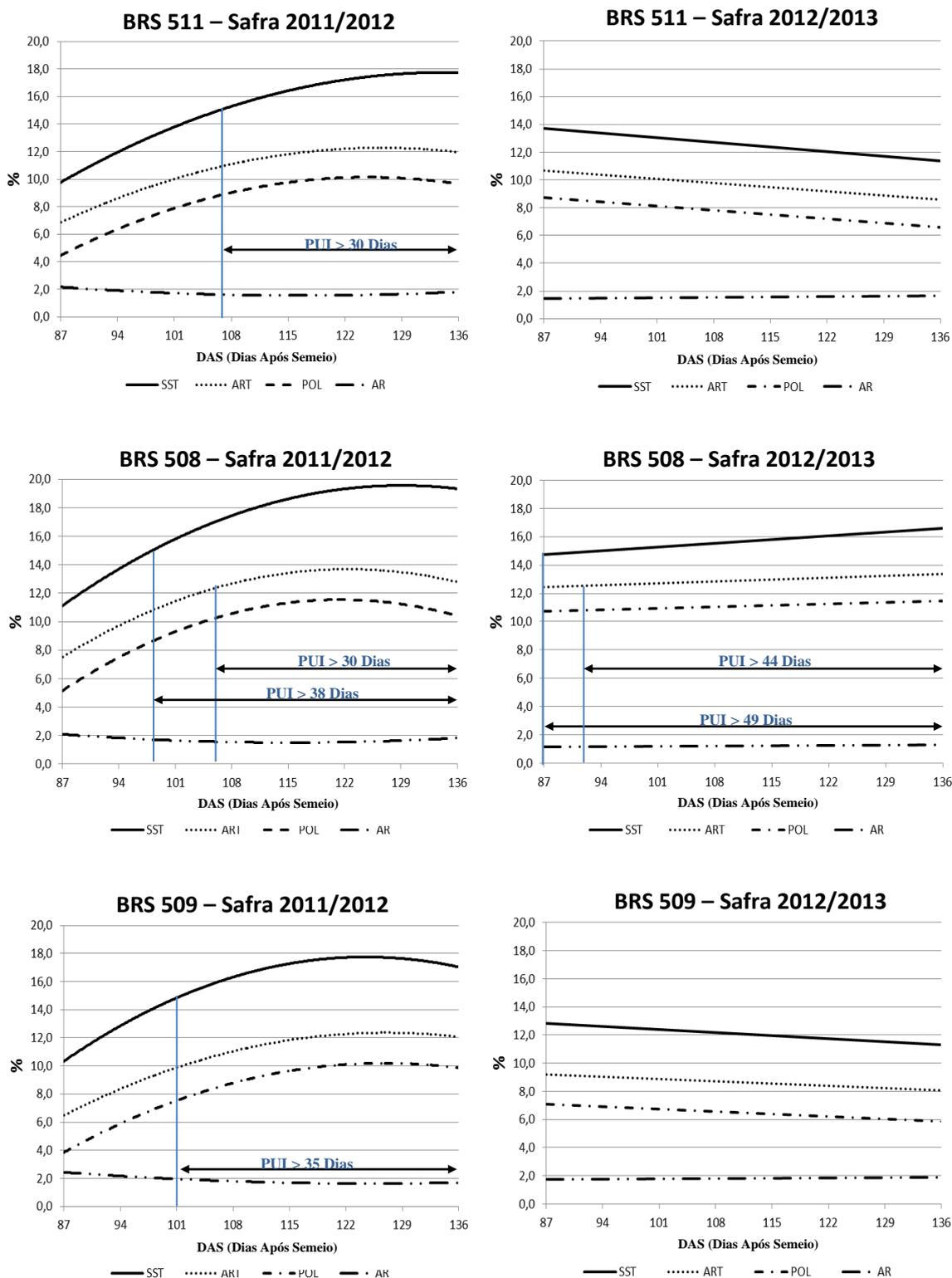


Figura 5A. Sólidos solúveis totais – SST, em (°B), açúcares redutores totais – ART, em (%), teor de sacarose aparente – POL, em (%) e açúcares redutores – AR, em (%), avaliados em cultivares de sorgo sacarino BRS511, BRS508 e BRS509, em função de épocas de colheita, avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

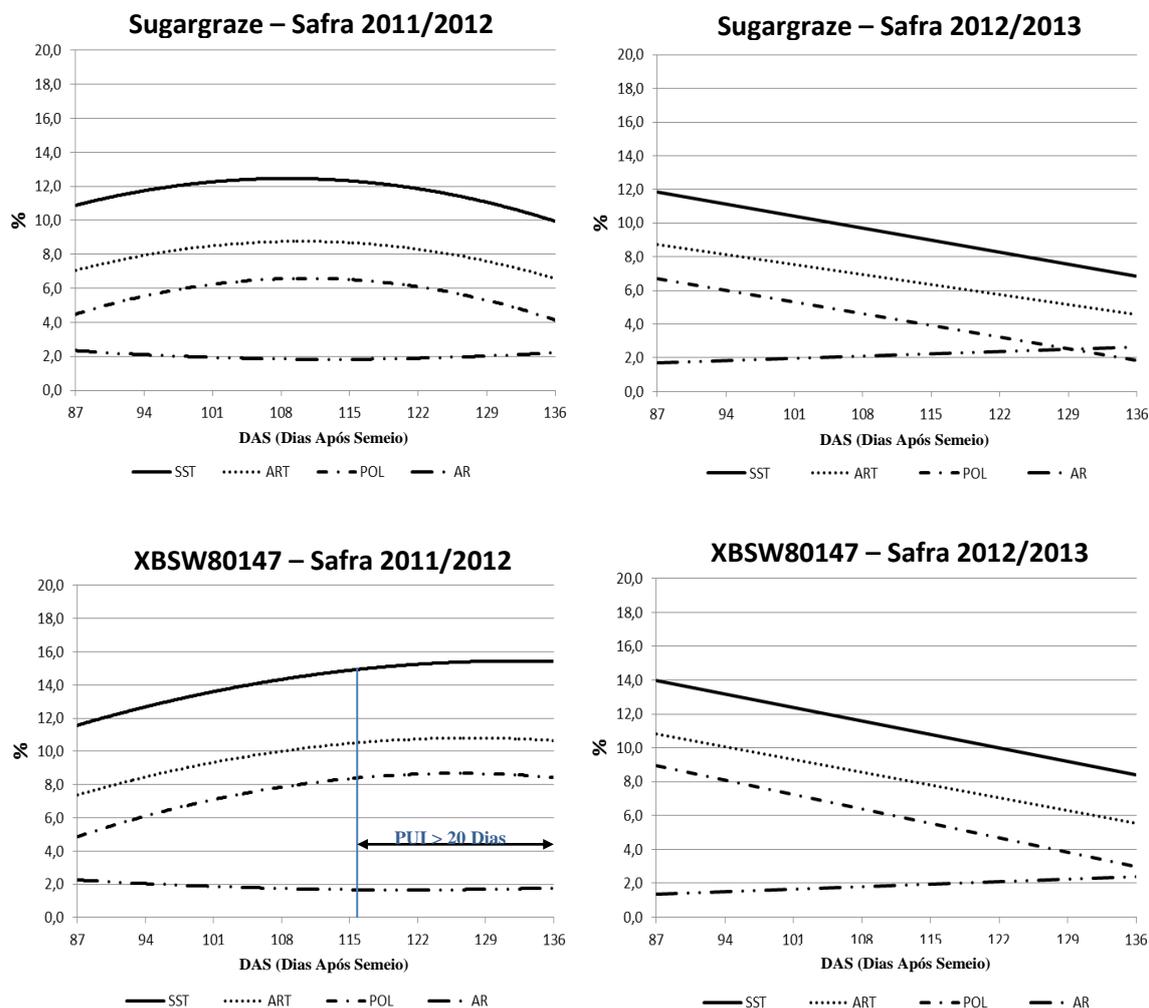


Figura 5B. Sólidos solúveis totais – SST, em (°B), açúcares redutores totais – ART, em (%), teor de sacarose aparente – POL, em (%) e açúcares redutores – AR, em (%), avaliados nas cultivares de sorgo sacarino Sugargraze e XBSW80147, em função de épocas de colheita, avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

Na safra 2011/2012, ocorreu aumento no teor de sólidos solúveis totais de 2,70 °B, 3,27 °B, 3,28 °B, 1,34 °B e 1,38 °B a cada sete dias, de 87 a 108 DAS para as cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509, Sugargraze e XBSW80147, respectivamente, e em seguida, pequena redução de 0,17 °B, 0,23 °B, 0,26 °B, 0,16 °B e 0,09 °B a cada sete dias, respectivamente, até a última época de avaliação aos 136 DAS. Observam-se mais que o dobro de aumento percentual por semana em graus brix nas variedades em detrimento aos híbridos. O ajustamento dos dados da equação de regressão quadrática, medidos pelo coeficiente de determinação foi alto, superior a 72% para as variedades, mostrando um ótimo

ajuste dos dados. Para os híbridos o ajuste dos dados da equação de regressão foi baixo, inferior a 44%.

Na safra 2012/2013, para as cultivares BRS 511, BRS 509, Sugargraze e XBSW80147 ocorreu redução no teor de sólidos solúveis totais de 0,33 °B, 0,21 °B, 1,91 °B e 0,79 °B a cada sete dias, respectivamente, a partir dos 87 DAS até a última época de avaliação aos 136 DAS. Verificam-se maior percentual de redução semanal para os híbridos em detrimento as variedades. O ajuste dos dados à equação de regressão linear medidos pelo coeficiente de determinação foi alto, superior a 71%, exceção foi o BRS 509. Para BRS 508 ocorreu aumento de 0,26 °B a cada sete dias, a partir dos 87 DAS até a última época de avaliação aos 136 DAS, porém o ajuste dos dados à equação de regressão linear, medidos pelo coeficiente de determinação, foi baixo, inferior a 34%. A ocorrência de acamamento das plantas a partir da terceira época de colheita pode explicar a queda na qualidade para a maioria das cultivares. Contudo, vale destacar a variedade BRS 508, que mesmo nestas condições manteve a qualidade mínima (15 °B) por mais de 30 dias.

O teor de sólidos solúveis totais no caldo – SST, é uma característica que possui alta correlação positiva com o teor de açúcares totais no caldo e teor de sacarose (Teer et al., 2011; Murray et al., 2008; Ritter et al., 2008), os quais são utilizados como alimentos das leveduras na produção de etanol, sendo desejável em maior teor possível.

Avaliando o sólidos solúveis totais da cultivar BR 505, Marchezan & Silva (1984) observaram 18,2 °B no caldo em Santa Maria/RS. Albuquerque et al. (2012), estudando diferenças de espaçamento (0,50, 0,70, 0,9 e 1,0 m) no sólidos solúveis totais do caldo nas cultivares BR 506 e BR 507 de sorgo sacarino em três locais no Norte de Minas, encontraram relação linear desta característica em função do espaçamento, observando valores de 18 a 18,5 °B. Na avaliação dos sólidos solúveis totais em função de diferentes populações (100, 120 e 140 mil plantas por hectare) de plantas nos cultivares BR 505 e CMSXS647, May et al. (2012b) verificaram redução nos valores com o aumento das populações de plantas apenas para a BR 505. Foram observados valores de 16,05 e 16,55 °B para as cultivares BR 505 e CMSXS647, respectivamente. Souza et al. (2013) avaliando sólidos solúveis totais de 25 cultivares de sorgo sacarino em cinco localidades no Brasil, obtiveram valores variando de 16,8 a 21,5 °B, 17,4 a 21,7 °B, e 17,8 a 21,2 °B, para o BRS 511, BRS 508 e BRS 509, respectivamente. Os valores de sólidos solúveis totais para as variedades de sorgo sacarino encontrados neste trabalho na safra 2011/2012, estão de acordo com os trabalhos encontrados

na literatura, que variam de 16 a 21,5 °B. Esses valores também são equivalentes àqueles observados para cana-de-açúcar na sua maturação (Leite et al., 2009). Os híbridos avaliados apresentaram menores valores médios, 12,2 °B para o Sugargraze e 15,5 °B para o XBSW80147, mostrando menor potencial na produção de açúcares e conseqüentemente, na produção de etanol. Os valores médios para sólidos solúveis totais na safra 2012/2013 começaram maiores na primeira época de avaliação quando comparado com a safra 2011/2012, contudo, a ocorrência de acamamento das plantas a partir da terceira época de avaliação pode ter causado a redução dos valores, em maior intensidade para os híbridos, limitando o potencial na produção de etanol. Nesta safra apenas o BRS 508 obteve mais de 15 °B.

O caldo extraído do sorgo sacarino deve apresentar um teor de sólidos solúveis totais mínimo de 15 °B, equivalente a um teor de açúcares redutores totais em torno de 12,5%, para uma fermentação com alta eficiência e qualidade visando maximizar a produção de etanol (Prasad et al., 2007). Considerando a safra 2011/2012, o BRS 511 apresentou 30 dias acima deste mínimo, o BRS 508 com 38 dias, o BRS 509 com 35 dias, o XBSW80147 com 20 dias e o sugargraze não apresentou o mínimo. Na safra 2012/2013, apenas o BRS 508 apresentou-se acima do mínimo com 49 dias.

As mesmas variações observadas no teor de sólidos solúveis totais foram verificadas para açúcares redutores totais (ART) e no teor aparente de sacarose confirmando a forte correlação entre estes caracteres (Teor et al., 2011; Murray et al., 2008; Ritter et al., 2008).

Para o teor de açúcares redutores totais, na safra 2011/2012, ocorreu aumento de 2,26%, 2,92%, 2,42%, 1,36% e 1,39% a cada sete dias, de 87 a 108 DAS para as cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509, Sugargraze e XBSW80147, respectivamente, e em seguida, pequena redução de 0,17%, 0,24%, 0,18%, 0,15% e 0,10% a cada sete dias, respectivamente, até a última época de avaliação aos 136 DAS. Maior aumento semanal foi verificado para as variedades em detrimento aos híbridos. O ajuste dos dados à equação de regressão quadrática medidos pelo coeficiente de determinação foi alto, superior a 75% para as variedades, mostrando um ótimo ajuste dos dados. Para os híbridos os ajustamentos dos dados à equação de regressão foi baixo, inferior a 51%. Na safra 2012/2013, para as cultivares BRS 511, Sugargraze e XBSW80147 ocorreu redução no teor de açúcares redutores totais de 0,29%, 1,45% e 0,75% a cada sete dias, respectivamente, a partir dos 87 DAS até a última época de avaliação aos 136 DAS. Verificou-se maior percentual de redução semanal para os híbridos

em detrimento a variedade. O ajuste dos dados à equação de regressão linear medido pelo coeficiente de determinação foi alto, superior a 76%, mostrando um ótimo ajuste dos dados. Para o BRS 509 e BRS 508 o coeficiente de regressão não foi significativo, mas o BRS 508 destaca-se por apresentar média em torno de 12,5% ou seja, dentro do mínimo exigido, mesmo com a ocorrência de acamamento das plantas.

Os valores estimados de ART, observados neste trabalho parecem estar subestimados quando comparados aos valores de sólidos solúveis totais, uma vez que a diferença no valor do ART é em torno de 1,5 a 2% (Kawahigashi et al., 2013). Neste trabalho, as estimativas foram obtidas de acordo com o Consecana (2006), que padronizou a forma de análises e estimativas para pagamento de cana com base no teor de sacarose. Isso mostra a necessidade de ajuste de tais estimadores para aplicação em sorgo sacarino.

Para o teor de açúcares redutores, na safra 2011/2012, ocorreu redução de 0,36%, 0,35%, 0,24%, 0,34% e 0,29% a cada sete dias, de 87 a 108 DAS para as cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509, Sugargraze e XBSW80147, respectivamente, e em seguida, aumento de 0,03%, 0,03%, 0,02%, 0,03% e 0,02% a cada sete dias, respectivamente, até a última época de avaliação aos 136 DAS. Verificou-se percentual de redução semanal semelhante para os cultivares avaliados. O ajuste dos dados à equação de regressão quadrática medidos pelo coeficiente de determinação foi maior para as variedades, de 54 a 76%. Na safra 2012/2013, o coeficiente de regressão linear não foi significativo para as variedades e para os híbridos ocorreu aumento de 0,13% e 0,14% para o Sugargraze e XBSW80147, respectivamente, a partir dos 87 DAS até a última época de avaliação aos 136 DAS. O ajuste dos dados à equação de regressão linear medido pelo coeficiente de determinação foi alto, superior a 68%, mostrando um bom ajustamento dos dados. Os valores observados neste trabalho para açúcares redutores (1 a 2%) são acima dos valores encontrados para cana-de-açúcar, que em geral, são inferiores a 1% (Henrique et al., 2011).

Para o teor aparente de sacarose, na safra 2011/2012, ocorreu aumento de 2,49%, 3,11%, 2,63%, 1,62% e 1,60% a cada sete dias, de 87 a 108 DAS para as cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509, Sugargraze e XBSW80147, respectivamente, e em seguida, pequena redução de 0,19%, 0,26%, 0,19%, 0,18% e 0,12% a cada sete dias, respectivamente, até a última época de avaliação aos 136 DAS. Verificou-se maior percentual de aumento semanal para as variedades em detrimento aos híbridos. O ajuste dos dados à equação de regressão quadrática medidos pelo coeficiente de determinação foi alto, superior a 74% para as

variedades, mostrando um ótimo ajuste dos dados. Para os híbridos o ajuste dos dados à equação de regressão foi baixo, inferior a 52%. Na safra 2012/2013, para as cultivares BRS 511, Sugargraze e XBSW80147 ocorreu redução no teor aparente de sacarose de 0,30%, 0,69% e 0,85% a cada sete dias, respectivamente, a partir dos 87 DAS até a última época de avaliação aos 136 DAS.

Verificou-se maior percentual de redução semanal para os híbridos em detrimento a variedade. O ajuste dos dados à equação de regressão linear medido pelo coeficiente de determinação foi alto, superior a 76%. Para o BRS 509 e BRS 508 o coeficiente de regressão não foi significativo, mas o BRS 508 destacou-se por apresentar maior média, mesmo com a ocorrência de acamamento das plantas. Os valores observados neste trabalho para teor aparente de sacarose estão abaixo dos valores encontrados para cana-de-açúcar (Henrique et al., 2011), mas eles podem ter sido influenciados pela forma que foram estimados.

O estudo do desdobramento da interação safras x cultivares dentro de cada época de avaliação sofreu influência significativa da interação destes fatores para pureza no caldo, em %, açúcares totais recuperáveis (ATR), em Kg.t^{-1} de biomassa, produtividade de etanol, em l.t^{-1} de biomassa. O melhor ajuste das médias observadas em cada época de avaliação foi expresso através da regressão quadrática na safra 2011/2012 e linear na safra 2012/2013 para esses caracteres. As estimativas dos coeficientes deste modelo de regressão polinomial quadrático estão apresentadas na tabela 10 e nas linhas de tendências descritas nas figuras 6A e 6B. Para a pureza no caldo, na safra 2011/2012, ocorreu aumento de 10,54%, 10,47%, 10,11%, 10,07% e 8,54% a cada sete dias, de 87 a 108 DAS para as cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509, Sugargraze e XBSW80147, respectivamente, e em seguida, pequena redução de 1,00%, 1,04%, 0,78%, 1,06% e 0,72% a cada sete dias, respectivamente, até a última época de avaliação aos 136 DAS. Verifica-se um percentual de aumento semanal semelhante entre as cultivares. O ajuste dos dados à equação de regressão quadrática medido pelo coeficiente de determinação foi maior para as variedades. Para os híbridos o ajuste dos dados à equação de regressão foi baixo, inferior a 47%. Na safra 2012/2013, para as cultivares Sugargraze e XBSW80147 ocorreu redução na pureza do caldo de 4,02% 4,34% a cada sete dias, respectivamente, a partir dos 87 DAS até a última época de avaliação aos 136 DAS. O ajuste dos dados à equação de regressão linear medido pelo coeficiente de determinação foi alto, superior a 68%. Para o BRS 511, BRS 508 e BRS 509 o coeficiente de regressão não foi

significativo, mas o BRS 508 destaca-se por apresentar maior média na primeira safra e estabilidade na segunda.

Tabela 10. Estimativas de parâmetros de regressão quadrática para cultivares de sorgo sacarino em função de épocas de colheita para pureza, em %, açúcares totais recuperáveis (ATR), Kg.t⁻¹, produtividade de etanol (Etanol 1), em l.t⁻¹ de biomassa, avaliados nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

Características	Safra	Cultivares	Parâmetros			
			B ₀	B ₁	B ₂	R ²
Pureza	2011/2012	BRS 511	33,55	10,544**	-1,008**	0,5430
		BRS 508	35,87	10,477**	-1,042**	0,5982
		BRS 509	26,00	10,118**	-0,783**	0,7696
		Sugargraze	29,01	10,074**	-1,064	0,4575
		XBSW80147	32,54	8,542**	-0,726**	0,4772
	2012/2013	BRS 511 ¹	64,50	-0,753 ns	-	0,3586
		BRS 508	66,52	3,332 ns	-0,424 ns	0,4971
		BRS 509	50,99	2,110 ns	-0,300 ns	0,2696
		Sugargraze ¹	61,02	-4,024 **	-	0,6834
		XBSW80147 ¹	70,70	-4,340**	-	0,8383
ATR	2011/2012	BRS 511	34,84	19,033**	-1,600**	0,8185
		BRS 508	35,93	22,420**	-1,995**	0,8254
		BRS 509	31,24	20,031**	-1,629**	0,8302
		Sugargraze	43,83	11,063**	-1,348**	0,4270
		XBSW80147	44,82	11,843**	-1,028**	0,4774
	2012/2013	BRS 511 ¹	88,65	-2,654**	-	0,7968
		BRS 508 ¹	96,76	0,126 ns	-	0,0250
		BRS 509 ¹	75,55	-1,569**	-	0,3493
		Sugargraze	74,85	-4,921**	-	0,8200
		XBSW80147 ¹	91,83	-6,132**	-	0,9342
Etanol 1	2011/2012	BRS 511	26,21	12,458 **	-0,938**	0,7539
		BRS 508	26,64	16,093**	-1,328**	0,7905
		BRS 509	23,29	13,344 **	-0,994**	0,8160
		Sugargraze	32,18	7,493**	-0,873**	0,3020
		XBSW80147	33,51	7,674**	-0,566**	0,5194
	2012/2013	BRS 511	60,38	1,640**	-	0,7612
		BRS 508	67,72	0,723 ns	-	0,1039
		BRS 509	51,64	-0,916 ns	-	0,2402
		Sugargraze	51,26	-3,254**	-	0,8088
		XBSW80147	63,60	-4,151**	-	0,9306

** , * e NS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de t, respectivamente.¹ Estimativas de parâmetros de regressão linear.

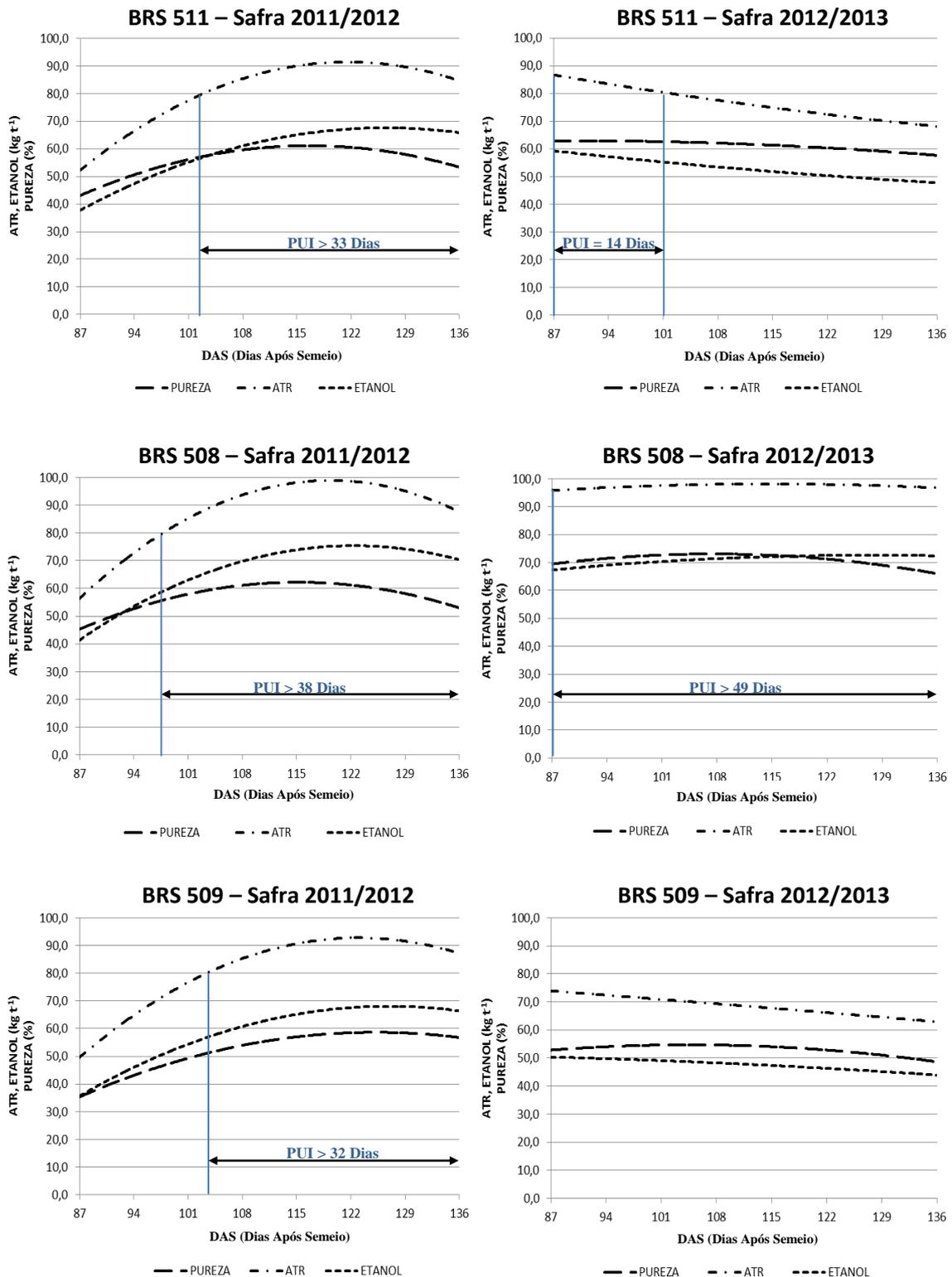


Figura 6A. Pureza, em (%), açúcares totais recuperáveis (ATR), em t de açúcares t^{-1} , produtividade de etanol (Etanol 1), em l de etanol t^{-1} , avaliados nas cultivares de sorgo sacarino BRS511, BRS508 e BRS509, em função de épocas de colheita, avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

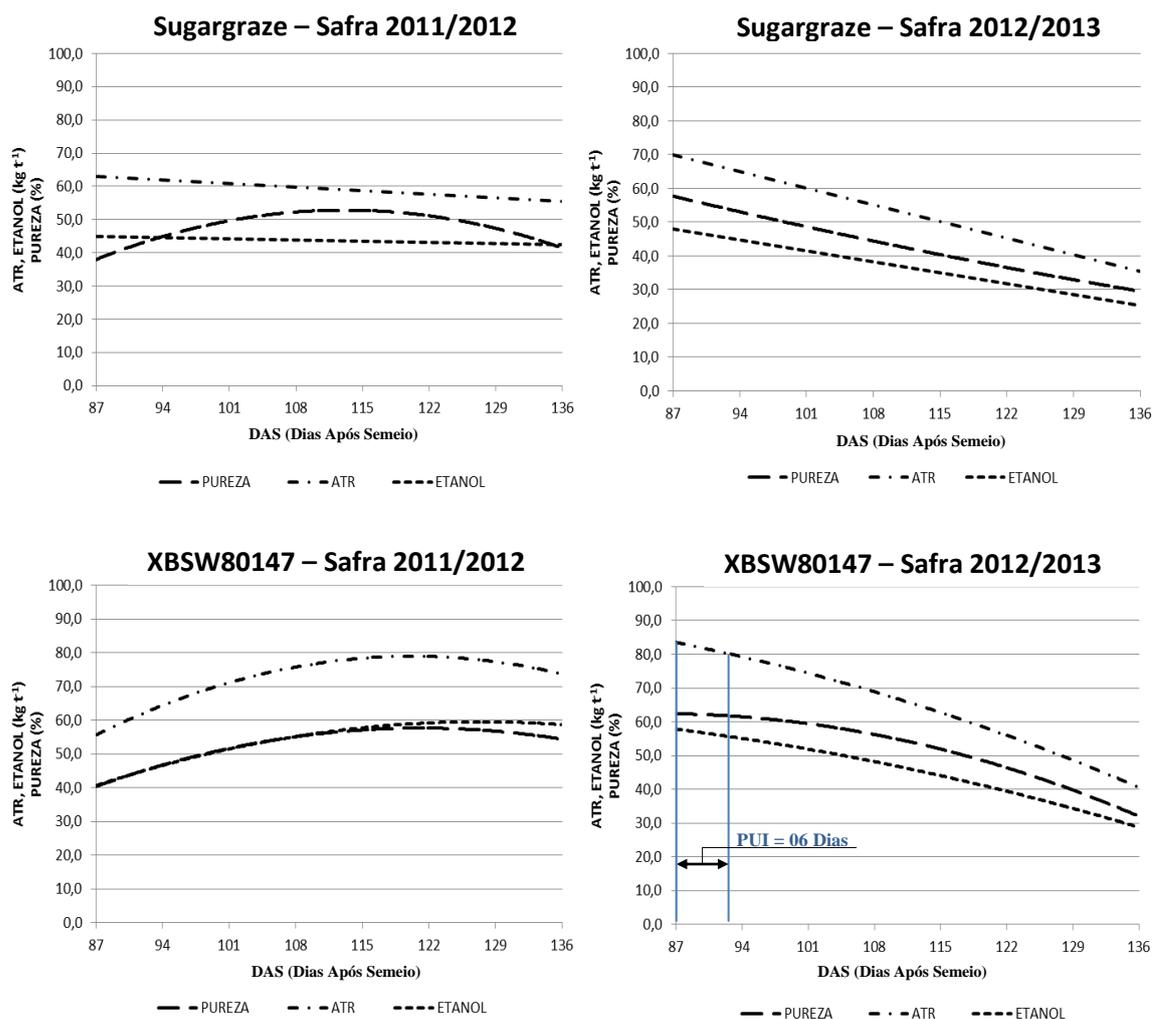


Figura 6B. Pureza, em (%), açúcares totais recuperáveis (ATR), em t de açúcares t⁻¹, produtividade de etanol (Etanol 1), em l de etanol t⁻¹, avaliados nas cultivares de sorgo sacarino Sugargraze e XBSW80147, em função de épocas de colheita, avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

O teor de pureza avalia a proporção de sacarose em relação ao total de açúcares no caldo e em cana-de-açúcar os teores de pureza são altos (Henrique et al., 2011), pois o caldo de cana é utilizado para produção de etanol e açúcar e, neste caso, é preciso altos teores de sacarose para cristalização do açúcar. Mas para produção de etanol todos os açúcares (glicose, frutose e sacarose) são utilizados.

Para os açúcares totais recuperáveis por tonelada de biomassa, na safra 2011/2012, ocorreu aumento de 19,03 Kg.t⁻¹, 22,43 Kg.t⁻¹, 20,03 Kg.t⁻¹, 11,63 Kg.t⁻¹ e 11,84 Kg.t⁻¹ a cada sete dias, de 87 a 108 DAS para as cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509, Sugargraze e XBSW80147, respectivamente, e em seguida, pequena redução de 1,60 Kg.t⁻¹, 1,99 Kg.t⁻¹,

1,62 Kg.t⁻¹, 1,34% e 1,02 Kg.t⁻¹ a cada sete dias, respectivamente, até a última época de avaliação aos 136 DAS. Verificou-se um percentual de aumento semanal superior para as variedades. O ajuste dos dados à equação de regressão quadrática medido pelo coeficiente de determinação foi maior para as variedades. Para os híbridos o ajuste dos dados à equação de regressão foi baixo, inferior a 47%. Na safra 2012/2013, para as cultivares BRS 511, BRS 509, Sugargraze e XBSW80147 ocorreu redução no ATR de 2,65 Kg.t⁻¹, 1,56 Kg.t⁻¹, 11,94 Kg.t⁻¹ e 6,13 Kg.t⁻¹ a cada sete dias, respectivamente, a partir dos 87 DAS até a última época de avaliação aos 136 DAS. O ajuste dos dados à equação de regressão linear medido pelo coeficiente de determinação foi alto, exceto o BRS 509. Para o BRS 508 o coeficiente de regressão não foi significativo, mas o BRS 508 destaca-se por apresentar maior média na primeira safra e estabilidade na segunda.

Os açúcares totais recuperáveis (ATR) por tonelada de biomassa deve apresentar uma extração mínima de 80 Kg.t⁻¹ de biomassa visando uma produção eficiente de etanol (Schaffert & Parrella, 2012). Considerando a safra 2011/2012 o BRS 511 apresentou 33 dias acima desse mínimo, o BRS 508 com 38 dias, o BRS 509 com 32 dias e o XBSW80147 com menos de sete dias e o sugargraze não apresentou o mínimo. Na safra 2012/2013, apenas o BRS 508 apresentou-se acima do mínimo por um período de 49 dias. Em cana-de-açúcar, os valores de ATR variam em função do genótipo, ambiente e época de colheita (Santos, 2011). Contudo, os valores variam em torno de 100 a 150 Kg.t⁻¹ (Conab, 2013b), mas num período de 12 a 18 meses. As variedades (BRS 511, BRS 508 e BRS 509) avaliadas neste trabalho apresentaram ATR com maiores valores médios de 90 a 100 Kg.t⁻¹, num período de quatro meses apenas, o que possibilita visualizar o potencial destas cultivares.

Para a produtividade de etanol por tonelada de biomassa, na safra 2011/2012, ocorreu aumento de 12,45 l.t⁻¹, 16,09 l.t⁻¹, 13,34 l.t⁻¹, 7,49 l.t⁻¹ e 7,67 l.t⁻¹ a cada sete dias, de 87 a 108 DAS para as cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509, Sugargraze e XBSW80147, respectivamente, e em seguida, pequena redução de 0,93 l.t⁻¹, 1,32 l.t⁻¹, 0,99 l.t⁻¹, 0,87% e 0,56 l.t⁻¹ a cada sete dias, respectivamente, até a última época de avaliação aos 136 DAS. Verificou-se um percentual de aumento semanal superior para as variedades. O ajuste dos dados à equação de regressão quadrática medido pelo coeficiente de determinação foi maior para as variedades. Para os híbridos o ajuste dos dados à equação de regressão foi baixo, inferior a 47%. Na safra 2012/2013, ocorreu aumento de 1,64 l.t⁻¹ para a cultivar BRS 511 e redução para os híbridos Sugargraze e XBSW80147 de 8,03 l.t⁻¹ e 4,15 l.t⁻¹, a cada sete dias,

respectivamente, a partir dos 87 DAS até a última época de avaliação aos 136 DAS. O ajuste dos dados à equação de regressão linear medido pelo coeficiente de determinação foi alto. Para o BRS 508 e BRS 509 o coeficiente de regressão não foi significativo, mas o BRS 508 destaca-se por apresentar maiores médias e estabilidade de produção.

Analisando a produtividade de etanol por tonelada de biomassa entre os cultivares, verificou-se na safra 2011/2012 que o BRS 511 apresentou em torno de 70 l.t^{-1} , o BRS 508 com 75 l.t^{-1} , o BRS 509 com 70 l.t^{-1} , o XBSW80147 com menos 60 l.t^{-1} e o sugargraze apresentou menos 45 l.t^{-1} . Na safra 2012/2013, apenas o BRS 508 apresentou-se acima do mínimo por um período de 49 dias. Em cana de açúcar, os valores de ATR variam em função do genótipo, ambiente e época de colheita (Fernandes, 2013). Contudo, os valores variam em torno de 100 a 150 Kg.t^{-1} (Conab, 2013b), mas num período de 12 a 18 meses. As variedades (BRS 511, BRS 508 e BRS 509) avaliadas neste trabalho apresentaram ATR com maiores valores médios de 90 a 100 Kg.t^{-1} , mas num período de 4 meses apenas, sendo possível visualizar o potencial destas cultivares.

O desdobramento da interação safras x cultivares para porcentagem de fibra (Fibra), está apresentado na tabela 11. Na safra 2011/2012, houve a formação de quatro grupos com o BRS 508 apresentando maior média, $14,76\%$, seguido pelo XBSW80147 com $13,95\%$, Sugargraze com $13,38\%$, BRS 511 com $12,78$ e o BRS 509 com $12,38\%$. Na safra 2012/2013, o BRS 508 apresentou maior média novamente $12,77\%$, diferente das demais cultivares, que foram semelhantes entre si. Os valores médios obtidos para porcentagem de fibra observados neste trabalho para as cultivares de sorgo sacarino são ligeiramente superiores aos observados para cana de açúcar, que variam de 11 a 15% (Conab, 2013b; Henrique et al., 2011; Lima Neto et al., 2013; Roviero et al., 2013; Ripoli & Ripoli, 2009). O maior teor de fibra na biomassa é interessante para as usinas que co-geram energia através da queima do bagaço. Verificou-se para todas as cultivares maiores valores médios na safra 2011/2012, e o BRS 508 apresentou maior média nas duas safras. O maior teor de fibra no BRS 508 explica a menor porcentagem de extração de caldo observado para este cultivar, uma vez que o teor de fibra é inversamente proporcional à porcentagem de extração de caldo (Henrique et al., 2011).

Tabela 11. Percentagem de fibra (%) em diferentes cultivares de sorgo sacarino, avaliados nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

Cultivar	Fibra ¹	
	Safras	
	2011/2012	2012/2013
BRS 511	12,78 d	9,79 b
BRS 508	14,76 a	12,77 a
BRS 509	12,38 d	9,89 b
Sugargraze	13,38 c	10,17 b
XBSW80147	13,95 b	10,50 b

¹As médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott para $p \leq 0,05$.

O estudo do desdobramento da interação safras dentro de cada época de avaliação sofreu influência significativa da interação destes fatores para teor de fibra. O melhor ajuste das médias observadas em cada época de avaliação foi expresso através da regressão linear. As estimativas dos coeficientes deste modelo de regressão linear estão apresentadas na tabela 12 e a linha de tendência descrita na Figura 7. Pode-se observar aumento de 0,66% e 0,27% no teor de fibra, a cada sete dias, a partir de 87 DAS, nas safras 2011/2012 e 2012/2013, respectivamente. O ajuste dos dados à equação de regressão medido pelo coeficiente de determinação (R^2) foi de 53% na primeira safra e 71% na segunda.

Tabela 12. Estimativas de parâmetros de regressão linear para safras agrícolas de sorgo sacarino em função de épocas de colheita para porcentagem de fibra, em %, avaliados nas safras 2011/2012 e 2012/2013, em Sete Lagoas/MG.

Caracteres	Safras	Parâmetros			R^2
		B_0	B_1	B_2	
Fibra	2011/2012	10,44	0,667**	-	0,5335
	2012/2013	9,39	0,273**	-	0,7106

** , * e NS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de t, respectivamente

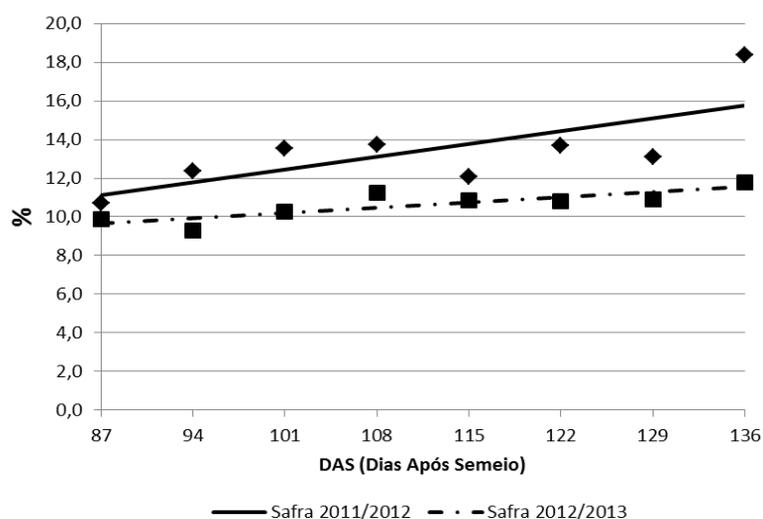


Figura 7. Porcentagem de fibra, em (%), avaliados em cultivares de sorgo sacarino em função de épocas de colheita, nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

O desdobramento da interação safras x cultivares para produção de etanol, em $l.ha^{-1}$, está apresentado na tabela 13. Na safra 2011/2012, os cultivares XBSW80147, BRS 508 e BRS 509 apresentaram maiores valores médios, $2368 l.ha^{-1}$, $2263 l.ha^{-1}$ e $1968 l.ha^{-1}$, respectivamente, seguido pelo BRS 511 com $1751 l.ha^{-1}$ e o Sugargraze com $1256 l.ha^{-1}$, que apresentou menor produção por hectare. Na safra 2012/2013 o BRS 508 apresentou maior média, $3994 l.ha^{-1}$, seguido pelo BRS 511 com $3333 l.ha^{-1}$, XBSW80147 com $2918 l.ha^{-1}$, BRS 509 com $2628 l.ha^{-1}$, e o Sugargraze com $1909 l.ha^{-1}$, que apresentou menor produção por hectare novamente. Os valores médios de produção de etanol estimados neste trabalho são inferiores aos encontrados para cana-de-açúcar, que apresentam média nacional de aproximadamente $7.000 l.ha^{-1}$ (Conab, 2013b). Vale destacar novamente, que o ciclo do sorgo sacarino é de apenas quatro meses e as colheitas em cana-de-açúcar variam de 12 a 18 meses.

Diante dos dados observados, é possível verificar o grande potencial do sorgo sacarino para produção de etanol no Brasil, mas de forma complementar a cana-de-açúcar.

Tabela 13. Produção estimada de álcool (Etanol 2), em l.ha⁻¹, por diferentes cultivares de sorgo sacarino avaliados em Sete Lagoas/MG nas safras 2011/2012 e 2012/2013.

Cultivares	Etanol 2	
	Safras	
	2011/2012	2012/2013
BRS 511	1.751,41 b	3.333,19 b
BRS 508	2.263,61 a	3.994,26 a
BRS 509	1.968,88 a	2.628,63 c
Sugargraze	1.256,77 c	1.909,86 d
XBSW80147	2.368,39 a	2.918,82 c

¹As médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott para $p \leq 0,05$

O estudo do desdobramento da interação safras dentro de cada época de avaliação sofreu influência significativa da interação destes fatores para produção de etanol, em l.ha⁻¹. O melhor ajuste das médias observadas em cada época de avaliação foi expresso através da regressão quadrática. As estimativas dos coeficientes deste modelo de regressão linear estão apresentadas na tabela 14 e a linha de tendência descrita na Figura 8. Pode-se observar aumento de 600 l.ha⁻¹, a cada sete dias, a partir de 87 DAS aos 115 DAS e em seguida, uma redução de 59 l.ha⁻¹ a cada sete dias, até os 136 DAS na safra 2011/2012. Na safra 2012/2013, ocorreu redução de 927 l.ha⁻¹, a cada sete dias, a partir de 87 DAS até aos 115 DAS e em seguida, um aumento de 67 l.ha⁻¹ a cada sete dias, até os 136 DAS. O ajustamento dos dados a equação de regressão medidos pelo coeficiente de determinação (R^2) foi de 68% na primeira safra e 72% na segunda. Pode-se observar que as maiores produtividades de etanol coincidem com os períodos de maior produção de biomassa associados a maiores teores de açúcares, que vão de 101 a 122 DAS na safra 2011/2012 (Figura 8).

Tabela 14. Estimativas de parâmetros de regressão quadrática para safras agrícolas de sorgo sacarino em função de épocas de colheita para produção de etanol (Etanol 2), em l.ha⁻¹, avaliados nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

Caracteres	Safras	Parâmetros			
		B ₀	B ₁	B ₂	R ²
Etanol2	2011/2012	747,64	600,52**	-59,929**	68,13
	2012/2013	5414,10	-927,325**	67,28**	72,10

** , * e NS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de t, respectivamente

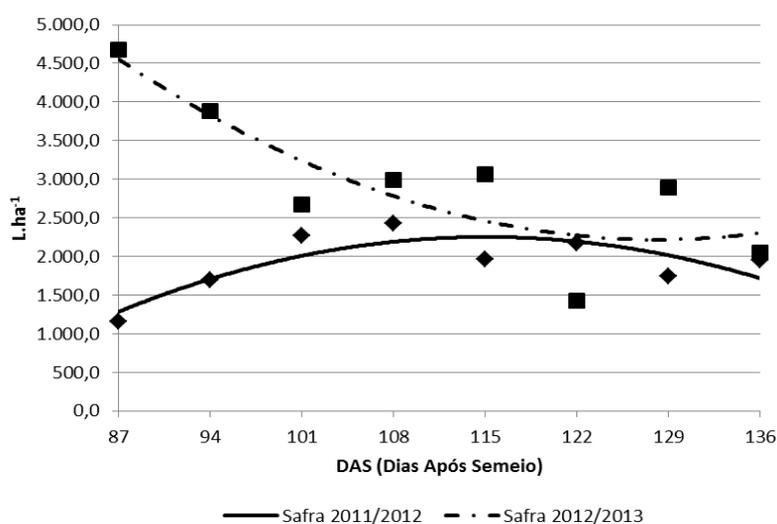


Figura 8. Produção de etanol (Etanol 2), em l.ha⁻¹, de cultivares de sorgo sacarino em função de épocas de colheita, avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013, em Sete Lagoas/MG

O estudo do desdobramento da interação das cultivares dentro de cada época de avaliação sofreu influência significativa da interação destes fatores para produção de etanol, em l.ha⁻¹. O melhor ajuste das médias observadas em cada época de avaliação foi expresso através da regressão quadrática. As estimativas dos coeficientes deste modelo de regressão polinomial quadrático estão apresentadas na tabela 15 e a linha de tendência descrita na Figura 9. Com exceção do BRS 508, os demais genótipos apresentaram tendência de redução na produção de etanol por hectare. Para as cultivares BRS 511, BRS 508 e BRS 509 os coeficientes de regressão não foram significativos, mostrando que a variação observada não é significativa. Para o Sugargraze, ocorreu forte redução de 570 l.ha⁻¹ a cada sete dias, até 129 DAS, e em seguida pequeno aumento de 35 l.ha⁻¹. O ajustamento dos dados a equação de regressão medido pelo coeficiente de determinação foi alto, 94%. Para o XBSW80147, ocorreu redução de 155 l.ha⁻¹ a cada sete dias, até 122 DAS. O ajustamento dos dados à equação de regressão medido pelo coeficiente de determinação foi alto, 82%. Chama a atenção novamente, o desempenho do cultivar BRS 508, que na média dos dois anos, apresentou produtividade de etanol estimada superior a 3.000 l.ha⁻¹ por um período aproximado de 40 dias.

Tabela 15. Estimativas de parâmetros de regressão quadrática para safras agrícolas de sorgo sacarino em função de épocas de colheita para produção de etanol (Etanol 2), em l.ha⁻¹, avaliados nas safras 2011/2012 e 2012/2013, Sete Lagoas/MG.

Características	Cultivares	Parâmetros			
		B ₀	B ₁	B ₂	R ²
Produção de etanol	BRS 511	3158.06	-239.397 ns	18.098 ns	0,4306
	BRS 508	2999.60	173.860 ns	-25.609 ns	0,2939
	BRS 509	2443.66	-24.977 ns	-1.275 ns	0,659
	Sugargraze	3243.10	-570.846 **	35.647 *	0,9413
	XBSW80147	3686,98	-231,85 ns	-	0,8176

** , * e NS: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de t, respectivamente

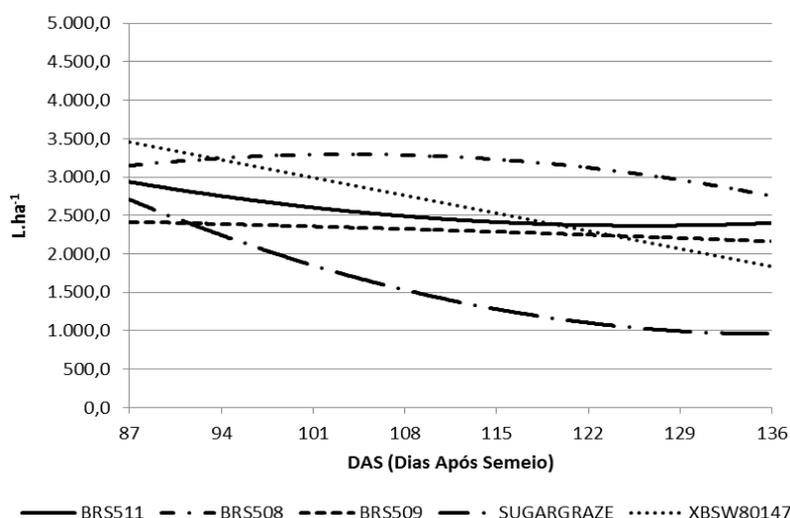


Figura 9. Produção de etanol, em l.ha⁻¹, de cinco cultivares de sorgo sacarino em função de épocas de colheita, avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013, em Sete Lagoas/MG.

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). Recomenda-se um período mínimo de 30 dias dentro desses limites inferiores, para cada cultivar, visando fornecer maior flexibilidade no planejamento da colheita (Schaffert & Parrella, 2012). As variedades de sorgo sacarino BRS 511, BRS 508 e BRS 509 apresentaram-se dentro dos limites mínimo de qualidade e produtividade estabelecidos na safra 2011/2012 e na safra 2012/2013 apenas o BRS 508 apresentou-se dentro destes limites mínimos. O híbrido XBSW80147 apresentou-se dentro dos limites mínimos de qualidade, mas com um PUI curto, principalmente em relação às

variedades. Desta forma, a utilização desta cultivar por usina traz maior risco uma vez que os atrasos na colheita em usinas são muito comuns e, com isso perde-se qualidade e produtividade rapidamente, tornando a cultura inviável economicamente. O híbrido Sugargraze não atingiu o mínimo estabelecido nos dois anos de avaliação, mostrando-se como um material inadequado para produção de etanol.

5. CONCLUSÕES

- As condições climáticas da safra agrícola afetam os caracteres agrônômicos e industriais do sorgo sacarino.
- As cultivares de sorgo sacarino BRS 511, BRS 508 e BRS 509 apresentam melhor desempenho agroindustrial visando à produção de etanol quando comparadas com as cultivares XBSW80147 e Sugargraze.
- O melhor período de colheita considerando as características agroindustriais foi dos 100 aos 130 dias, apresentando pico aos 113 dias após o semeio.
- As cultivares avaliadas apresentaram período de utilização industrial diferentes, com as variedades apresentando PUI superior a 30 dias e os híbridos com PUI inferior a 20 dias.
- O acamamento das plantas de sorgo sacarino afetam os caracteres agroindustriais, reduzindo a produtividade e qualidade da matéria-prima.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C.J.B.; TARDIN, F.D.; PARRELA, R.A.C.; GUIMARÃES, A.S.; OLIVEIRA, R.M.; SILVA, K.M.J. Sorgo Sacarino em Diferentes Arranjos de Plantas e Localidades de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.1, p. 69-85, 2012.

ALENCAR, K. **Análise do Balanço entre Demanda por Etanol e Oferta de Cana de Açúcar no Brasil**. 2012. 49p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Escola de Agricultura Luiz de Queiroz. São Paulo.

ALMODARES, A., JAFARINIA M., & HADI, M. R. The Effects of Nitrogen Fertilizer on Chemical Compositions in Corn and Sweet Sorghum. **American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.**, 6 (4): 441-446. 2009.

AOAC, **Official Methods of Analysis. 15th Edn., Association of Official Agricultural Chemists** Official Methods of Analysis. Washington, 123 p, 1990.

CERES - Sementes do Brasil (2010). **Vantagens do Sorgo Sacarino**. Disponível em: <<http://www.ceres.net/ceressementes/Etanol/Etanol-Vantagens.html>>. Acesso em: 02 de ago. de 2012.

ASSIS, P.C.de O.; LACERDA, R.D.; AZEVEDO, H.M.; NETO, J.D.; FARIAS, C.H.de A. **Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação**. Revista de Biologia e Ciências da Terra. ISSN 15-19-5228. V. 4. n. 2. 2004. Disponível em: <http://eduep.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/tecnocana.pdf> Acesso em: 20 dez. 2013.

AUDILAKSHMI, S.; MALL, A.K.; SWARNALATHA, M.; SEETHARAMA, N. **Biomass and Bioenergy** vol. 34 issue 6 June, p. 813-820. 2010.

AZEVEDO, J.A.G.; PEREIRA, J.C.; QUEIROZ, A.C.; CARNEIRO, P.C. .; LANA, R. de P.; BARBOSA, M H.P.; FERNANDES, A.M.; RENNÓ, F.P. Composição químicobromatológica, fracionamento de carboidratos e cinética da degradação *in vitro* da fibra de três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 1443-1453, 2003.

BANDEIRA, A. H.; MÜLLER, L.; MEDEIROS, S. L. P.; LEAL, L. T.; SILVA, N. G. da; EMYGDIO, B. M.; BIONDO, J. C. **Parâmetros tecnológicos de sorgo sacarino BRS 506, cultivado em distintas épocas de semeaduras e espaçamento de entrelinhas**. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA, 4.; REUNIÃO TÉCNICA DE AGROENERGIA, 4., 2012, AMRIGS: Porto Alegre. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2012.

BOLONHEZI, D.; CAMILO, E.H.; GARCIA, J.C. Características agrônômicas e tecnológicas de genótipos de sorgo sacarino cultivados em Ribeirão Preto/SP. VII Workshop Agroenergia. 2013. Disponível em: http://www.infobibos.com/agroenergia/cd/Resumos/ResumoAgroenergia_2013_068.pdf. Acesso em: 23 de ago. 2013.

BORGES, I. D.; MENDES, A. A.; VIANA, E. J.; GUSMÃO, C. A. G.; RODRIGUES, H. F. F.; CARLOS, L. A. **Caracterização do caldo extraído dos colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 (*Sorghum bicolor* L.)**. Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo p. 1010-1017. 2010.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: Ed. UFLA, 2005. 783 p.

COELHO, A. M. Fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, ano II, nº3, p.18-19. 2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sexto levantamento, março de 2013, Safra 2011/2012**. Brasília: Conab, 2013a. 26p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: **cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro de 2013, Safra 2013/2014**. Brasília: Conab, 20p, 2013b.

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

CÓ JÚNIOR, C.; MARQUES, M.O.; TASSO JÚNIOR, L.C. **Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**. Engenharia Agrícola, v.28, p.196-203, 2008.

CUNHA, S.P. da.; SEVERO FILHO, W.A. avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 2, p. 69-75. 2010.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. **Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com n e k via gotejamento subsuperficial**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.3, p.516-524. 2008.

DAMASCENO, C.M.B. PARRELLA, R.A. da C. SIMEONE, M.L.F. SCHAFFERT, R.E. MAGALHAES, J.V. de. **Caracterização bioquímica de genótipos de sorgo quanto ao teor de lignina e análise molecular de rotas metabólicas visando à produção de etanol de segunda geração**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. Potencialidades, desafios e sustentabilidade: resumos expandidos... Goiânia: ABMS, 2010.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 2008. 709p.

DURÃES, F.O.M. Sorgo Sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica. **Agroenergia em Revista**. Brasília, Ano II, n. 3, 47p, Agosto 2011.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R.E.; GARCIA, C.G.; DIAS, J.M.C. de S.; PACHECO, T.F.; VIRMOND, E. **Sistema agroindustrial do sorgo sacarino no Brasil e a participação público privada: Oportunidades, perspectivas e desafios**. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 76 p. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 138). 2012.

EMYGDIO, B.M.; AFONSO, A.P.S.; OLIVEIRA, A.C.B.; PARRELLA, R. A. da C.; Schaffert, R.E.; May, A. **Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas**. Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 22 p. 2011.

EMYGDIO, B.M.; PARRELLA, R.A.C.; ROSA, A.P.S.; BARROS, L.M.; FACCHINELLO, P.H.K.; OLIVEIRA, L.N. **Desempenho de Variedades de Sorgo Sacarino BRS, Série 500, em Condições de Solos Hidromórficos no RS**. In: Simpósio Estadual de Agroenergia e IV Reunião Técnica de Agroenergia, 2012, Porto Alegre. Anais do Simpósio Estadual de Agroenergia e IV Reunião Técnica de Agroenergia. Pelotas: Embrapa, v. 1, 2012.

EMYGDIO, B.M.; PARRELLA, R.A. da C.; OLIVEIRA, A.C.B. de FACCHINELLO, P.H.; OLIVEIRA, L. N. de.; BARROS, L. **Avaliação de cultivares de sorgo sacarino no município de Pelotas, rs, na safra 2011/12.** In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA, 4.; REUNIÃO TÉCNICA DE AGROENERGIA, 4., 2012, Porto Alegre, RS. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1 CD-ROM. 2012.

EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO. **Cultivo do sorgo.** 2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/index.htm>. Acesso em: 12 dez. 2013.

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Coarse Grains.** Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/010/ai466e/ai466e04.htm>>. Acesso em: 09 fev. 2012.

FAGUNDES, T. G.; NUNES, J. A. R.; PARRELLA, R. A. da C.; BRUZI, A. T.; DURAES, N. N. L.; LOMBARDI, G. M. R. **Divergência genética entre genótipos de sorgo sacarino baseado em caracteres agroindustriais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2013, Uberlândia. Variedade melhorada: a força da nossa agricultura: anais. Viçosa, MG: SBMP, p. 3171-3174. 2013.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar.** 3º ed. Piracicaba: STAB, 2011.416p.

FERNANDES, O.W.B. **Avaliação da composição físico-química de cachaça de alambique de cinco cultivares de cana-de-açúcar colhidas em três épocas de maturação.** 2013. 132p. Tese de doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. Minas Gerais

FERREIRA, D. F. **Sisvar – Sistema de Análise de Variância:** versão 5.3, DEX/UFLA, Lavras: UFLA, 2010.

GOFF, B.M.; MOORE, K.J.; STEVEN, L.F.; HEATON, E.A. Double-cropping sorghum for biomass. **Agronomy journal**, v.102, n.6. 2010.

GOMES, A.; RODRIGUES, D.; OLIVEIRA, P. Caracterização do sorgo para a produção de etanol. **Agroenergia em Revista**, ano II, nº3, p.24. 2011.

PIMENTEL GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental.** 15ª Ed., Livraria Nobel S.A., São Paulo. 451p. 2009.

HAMMER, G. L.; BROAD, I. J. Genotype and environment effects on dynamics of harvest index during grain filling in sorghum. **Agronomy Journal**, v.95, p.199-206, 2003.

HENRIQUE, C.M.; CAMARGO, M.S.; FOLTRAN, D.E.; WYLER, P. Qualidade tecnológica e épocas de colheita de nove variedades de cana-de-açúcar para Tietê/ SP. **Colloquium Agrariae**, v. 7, n.1. p. 01-08, 2011.

HOFFMANN, R.; VIEIRA S. **Análise de regressão: uma introdução à econometria.** 5. ed. São Paulo: HUCITEC, 2009. 379p.

IEA. International Energy Agency. **Sustainable Production of Second-generation Biofuels**. OECD/IEA, Paris, p. 221, 2010.

ILAYPERUMA, I; GANANANDA, N.; NANAYAKKARA, N. A model for the estimation of personal stature from the length of forearm. **Int. J. Morphol.** 24(4): 1081-1086, 2011.

KAWAHIGASHI, H.; Kasuga, S.; Okuizumi, H.; Hiradate, S.; Yonemaru, J. Evaluation of Brix and sugar content in stem juice from sorghum varieties. **Grassland Science**. v.59, p.11-19, 2013.

KRAWCZYK, T. Biodiesel - Alternative fuel makes inroads but hurdles remain. **Revista Inform**, n.7, p.801-829. 1996.

LANDAU, E.C.; SANS, L.M.A. **Cultivo do Sorgo: Clima**. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/clima.htm. Versão Eletrônica. Sistemas de Produção, 2. EMBRAPA Milho e Sorgo. 4ª edição. 2008. Acesso em: 13 de Nov. 2013.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M.A.; VENTURINI, W.G. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p. 527-534, 2009

LEME FILHO, J.R.A. **Estudo comparativo dos métodos de determinação e de estimativa dos teores de fibra e de açúcares redutores em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2005. 151p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola de Agricultura Luiz de Queiroz. São Paulo.

LIMA NETO, J.F.; FILHO, J.A.D.; SIMÕES NETO, D.J.; SILVA, A.E.P.; SILVA, L.J.; FERREIRA, G.E. **Avaliação agroindustrial e parâmetros genéticos de clones UFRPE de cana-de-açúcar no litoral norte de Pernambuco**. *Pesq. agropec. Pernambuco, Recife*, v. 18, n. 1, p. 8-13. 2013.

LOSEKANN, L. **Etanol, de promessa a problema**. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2011/05/etanol-de-promessa-a-problema/11445/>. Acesso em: 13 de Out. 2012.

LOURENÇO, M.E.V; ERMELINDA V.; JANUARIO, M.I.N; MASSA, V.M.L. Avaliação do potencial de variedades de sorgo sacarino e forrageiro para a produção de bioetanol. **Rev. de Ciências Agrárias** [online]. vol.36, n.1, 2013. Disponível em: http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2013000100012&lng=pt&nrm=iso. ISSN 0871-018X. Acesso em 21 de dez. 2013.

MARCHEZAN, E.; SILVA, M.I. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino em Santa Maria, RS. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.14, p.161-172, 1984.

MARQUES, T.A.; SILVA, W.H. Crescimento vegetativo e maturação em três cultivares de cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 8, n. 1. P. 54-60, 2008.

MACEDO, I. C. **Situação atual e perspectivas do etanol**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/cana2_000g7quvbee02wx5ok0wtedt39a3i85k.pdf. Acesso em 12 de Out. 2013.

MACHADO, C. M. M. Produção de etanol de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, ano II, nº3, p.25-26. 2011.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa- CNPMS, (Embrapa- CNPMS. Comunicado técnico, 87). P. 4, 2003.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do Sorgo: florescimento**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo/florescimento.htm> . Versão Eletrônica. Sistemas de Produção, 2. Embrapa Milho e Sorgo. Acesso em: 22 dez. 2013.

MAGNAVACA, R.; GARDNER, C. O. E.; CLARK, R. B. **Inheritance of aluminum tolerance in maize**. In: Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition, edited by Gabelman, H. W. and B. C. Loughman. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, p.201-212, 1987.

MANTOVANI, E. C. Plantio: semeadura. In: RODRIGUES, J. A. S.; VERSIANI, R. P.; FERREIRA, M. T. R. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2). 2000. Disponível em <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27484/1/Plantio-semeadura.pdf>. Acesso em: 05 de fev. 2014.

MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial**. Dissertação (Mestrado) EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007. 95p.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JÚNIOR, L.C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.

MAY, A.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; RODRIGUES, J. A. S.; LANDAU, E. C.; PARRELLA, R. A. da C.; MASSAFERA, R. **Cultivares de sorgo para o mercado brasileiro na safra 2011/2012**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 28 p. (Documentos / EMBRAPA Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 117). 2011.

MAY, A.; DURAES, F. O. M.; VASCONCELLOS, J. H.; PARRELLA, R. A. da C.; MIRANDA, R. A. **Seminário Temático sobre Sorgo Sacarino** (1.: 2012: Sete Lagoas). Anais [do] I Seminário Temático sobre Sorgo Sacarino, Sete Lagoas, 20 a 21 de setembro de 2011 / editores técnicos André May... [o.]. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 83 p. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 137). 2012a.

MAY, A.; DURAES, F. O. M.; FILHO, I.A.P; SCHAFFERT, R.E.; PARRELLA, R. A. da C.; **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol sistema BRS1G – Tecnologia qualidade.** Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 120 p. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 139). 2012b.

MAY, A.; CAMPANHA, M.M.; SILVA, A.F.; COELHO, M.A.O; PARRELLA, R.A.C.; SCHAFFERT, R.E.; FILHO, I.A.P. Variedades de Sorgo Sacarino em Diferentes Espaçamentos e População de Plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.3, p.278-290. 2012.

MAY, A. Boas práticas agrícolas para o cultivo de sorgo sacarino. **Agroenergia**, ano II, nº3, p.16-17. 2011

MIRANDA, L.L.D.; FRACASSO, J.V.; DOS ANJOS, I.A.; GARCIA, J.; DA COSTA, V.P.; **Influencia da infestação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) sobre parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar.** Bragantia. Campinas, v. 71. N. 3. p. 342-345. 2012.

MIRANDA, R.A.; KAUPERT, A.; PRINCE, F.; PIMENTEL, F.; GARCIA, J.C. **Agronegócio do Sorgo Sacarino no Brasil: Aspectos econômicos** (2012) In: May, A.; Durães, F. O. M.; Vasconcellos, J.H.; Parrella, R.A.C; Miranda, R.A. Anais [do] I Seminário Temático sobre Sorgo Sacarino, Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, p. 71-78.

MURRAY, S.C.; ROONEY, W.L.; MITCHELL, S.E.; SHARMA, A.; KLEIN, P.E.; MULLET, J.E & KRESOVICH, S. Genetic Improvement of Sorghum as a Biofuel Feedstock: II. QTL for Stem and Leaf Structural Carbohydrates. **Crop Science**, v.48, p.2180-2193. 2008.

NAN, L.; BEST, G.; CARVALHO NETO, C. C. Integrated energy systems in China - The cold Northeastern region experience. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Ed. Board, UNUP, Rome, 1994, 475p.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; FILHO, Dari C.A. et al. Produção de forragem e custo de produção da pastagem de sorgo (*Sorghum bicolor*, L.), fertilizada com dois tipos de adubo, sob pastejo contínuo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n. 2, p. 215-220, jun. 2005.

NEUMANN, M., RESTLE, J., SOUZA, A.N.M. et al. **Potencial produtivo de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) para corte e pastejo.** In: 14 Congresso nacional de milho e sorgo, 2002, Florianópolis. Anais... Florianópolis : Sociedade Brasileira de Milho e Sorgo, 2002.

OLIVEIRA, E.L. de; ANDRADE, L.A. de B.; FARIA, M.A. de; EVANGELISTA, A.W.P.; MORAIS, A.R. de. **Uso da vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, p.1398-1403, 2009.

PARRELLA, R. A. C.; MENEGUCI, J. L. P.; RIBEIRO, A.; SILVA, A. R.; PARRELLA, N. N. L. D.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. **Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino em Diferentes Ambientes Visando a Produção de etanol.** Resumo: XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia, set. 2010.

PARRELLA, R.A.C. Melhoramento genético do sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**. Ano II, nº 3, pag.8-9, 2011.

PARRELLA, R. A. C. & SCHAFFERT, R. E. Cultivares. 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. Documentos, 139. p.14–22. 2012.

PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELLA, R. A. C.; MOREIRA, J.A.A.; MAY, A.; SOUZA, V.F.; CRUZ, J.C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.2, p. 118-127, 2013.

PRASAD, S.; SINGH, A.; JOSHI, H.C. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. **Resources Conservation and Recycling**. V.50, p.1-39. 2007

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N.P. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo, 1985. 262p.

QUILHO, Luís Filipe Trindade Levita. **Produção de Bioetanol a partir de Materiais Lenho-celulósicos de Sorgo Sacarino**: Revisão Bibliográfica. Lisboa, 2011. 88f. Tese (Mestrado em Educação) - Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa, 2011.

RATNAVATHI, C.V., SURESH, K.; KUMAR, B.S.V.; PALLAVI, M.; KOMALA, V.V.; SEETHARAMA, N. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Biomass and Bioenergy**, p. 947-952. 2010.

RIBAS, P. M. **Sorgo: Introdução e Importância Econômica**. Documento 23. Embrapa. Sete Lagoas, MG. 2003.

RITTER, K.B.; JORDAN, D.R.; CHAPMAN, S.C.; GODWIN, I.D.; MACE, E.S.; & MCINTYRE, C.L. **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. 2008.

RIBEIRO FILHO, N. M.; FLORENCIO, I. M.; ROCHA, A. S.; DANTAS, J. P.; FLORENTINO, E. R.; SILVA, F. L. H. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16, 2008.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba: Ed. dos Autores, p. 333. 2009.

RODRIGUES, J. A. S.; FERREIRA, A. da S.; CASELA, C. R.; KARAM, D.; DURAES, F. O. M.; SANTOS, F. G. dos; PITTA, G. V. E.; CRUZ, I.; DUARTE, J. de O.; WAQUIL, J. M.; PAES, J. M. V.; VIANA, P. A.; MAGALHAES, P. C.; ALVARENGA, R. C. **Sorgo (Sorghum bicolor L.)**. In: PAULA JÚNIOR, T. J. de; VERZON, M. (Coord.) 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. p. 721-728.

ROVIERO, J.P.; COSTA, G.H.G.; MUTTON, M.A.; MONTIJO, N.A.; SILVA, A.F.; FERREIRA, O.E. Potencial de produção de bagaço de três genótipos de sorgo sacarino em dois sistemas de colheita. VII Workshop Agroenergia. Ribeirão Preto. 2013. Disponível em: http://www.infobibos.com/agroenergia/cd/Resumos/ResumoAgroenergia_2013_040.pdf. Acesso em: 25 de Ago. 2013.

SANTOS, F.; BOREM, A.; CALDAS, C. **Cana de açúcar: bioenergia, açúcar e etanol – tecnologias e perspectivas**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa – UFV. 2011. 637p.
SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. In: BOREM, A. Melhoramento de espécies cultivadas, 2ª Ed. 2005.

SANTOS, R.C.; RIBEIRO FILHO, N.M.; SOUZA, W.F.B de.; ALMEIRA, K.V. de.; FLORENTINO, E.R Estudo de fermentação alcoólica do caldo do sorgo sacarino. I Congresso Químico do Brasil. IFPB. João Pessoa. 2010.

SAWAZAKI, E. **Sorgo forrageiro ou misto, sorgo granífero, sorgo vassoura Sorghum bicolor L. Moench**. In: FALH, J. L. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 6. ed. Campinas: IAC, 1998. p. 44-49.

SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C.; MAY, A.; DURAES, F. O. M. **Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino**. In: I Seminário Temático sobre Sorgo Sacarino – Anais. 2012. p.25. (Embrapa Milho e Sorgo Documentos 137).

SCHAFFERT, R.E.; SANTOS, F.G.; SILVA, J.B.da. **Aprenda a plantar o sorgo sacarino**. Agroquímica, São Paulo, v. 13, p. 10-14, 1980. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47257/1/Aprenda-plantar.pdf>>. Acesso em 09 fev. 2014.

SCHAFFERT, R. E.; GOURLEY, L. M. **Sorghum as energy source**. In: Sorghum in the eighties proceedings of the international symposium on sorghum, ICRISAT, Patancheru, A. P., Índia, Nov. 1981. p. 605-623.

SIEMSEN, E.; ROTH, A.; OLIVEIRA, P. Common method bias in regression models with linear, quadratic, and interaction effects. **Organizational Research Methods**. 13 (3): p. 456-476. 2010.

SOUZA, V.F.; PARRELLA, R.A.C; TARDIN, S.D; COSTA, M.R; JUNIOR, G.A.C; SCHAFFERT, R.E. ADAStability and stability of sweet sorghum cultivars. Crop Breeding and Applied. **Biotechnology**, v.13, n.2, 2013 .

TANIMOTO, T. **The press method of cane analysis**. Hawaiian Planters Record, v.51, p.133-150, 1964.

TACIANELI, L.C.S.; URIBE, R.A.M. **Influencia do estande de plantas de sorgo sacarino sobre as características tecnológicas do caldo.** VII Workshop de Agroenergia. Ribeirão Preto. 2010.

TARDIN, F.D.; CASASANTA, E.C.; PARRELLA, R.A. da C.; SILVA, A.F.; BALDONI, A.B.; SOUZA, M.C.; BOTIN, A.A.; ZANATTO, I.B.; RAMOS, E.U.; SCHAFFERT, R.E. **Desempenho Agrônômico de Genótipos de Sorgo Sacarino Cultivados em Sinop-MT na Safra 2011/12.** *Congresso Nacional de Milho e Sorgo*, 29, Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 2389-2395. 2012.

TEIXEIRA, C.G.; JARDINE, J.G.; NICOLELA, G.; ZARONI, M.H. 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, 1999.

TEIXEIRA, C.G.; JARDINE, J.G.; BEISMAN, D.A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v.17, n.3, dez 1997.

VIDAL, M. F., SANTOS, J. A. N.; SANTOS, M. A. **Setor Sucroalcooleiro no Nordeste Brasileiro: Estruturação da Cadeia Produtiva, Produção e Mercado.** XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural – SOBER. Fortaleza-CE. Julho de 2006.

United Nations Conference on Sustainable Development (UNCSD). The future we want. 2012. Disponível em: http://www.rio20.gov.br/documentos/documentos-da-conferencia/o-futuro-que-queremos/at_download/the-future-we-want.pdf. Acesso em: 25 de Ago. 2013.

WEBSTER, J.E.; BENEFIELD, D.; DAVIES, F. Yield and composition of sorghum juice in relation to time of harvest in Oklahoma. **Agronomy Journal**, v.46, p.157-160, 1984.

ZAMBON, J. L. C.; DAROS, E. **Manual de experimentação para a condução de experimentos** 5ª aprox., Curitiba: UFPR, 2005. 54 p.

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