

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE SORGO
SACARINO EM CULTIVO IRRIGADO E SEQUEIRO**

MARCOS VINNICIUS BRAGA MACHADO DE QUEIRÓZ

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2014

BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE SORGO SACARINO EM CULTIVO IRRIGADO E SEQUEIRO

MARCOS VINNICIUS BRAGA MACHADO DE QUEIRÓZ
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. RODRIGO APARECIDO JORDAN

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Q385b	Queiróz, Marcos Vinnicius Braga Machado de. Balço energético da produção de Sorgo Sacarino em cultivo irrigado e sequeiro/Marcos Vinnicius Braga Machado de Queiróz. – Dourados, MS: UFGD, 2014. 49 f. Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan. Dissertação (Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola). – Universidade Federal da Grande Dourados. 1. Sorghum. 2. Estresse hídrico. 3. Balço de energia. I. Título. CDD – 633.62
-------	---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

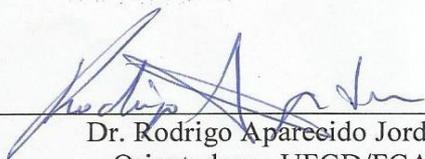
**BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE SORGO SACARINO EM
CULTIVO IRRIGADO E SEQUEIRO**

POR

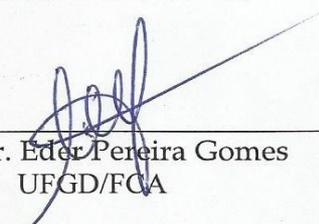
MARCOS VINNICIUS BRAGA MACHADO DE QUEIRÓZ

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

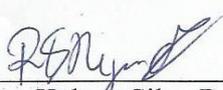
Aprovada em: 14/07/2014



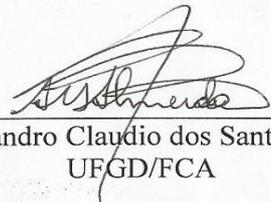
Dr. Rodrigo Aparecido Jordan
Orientadora –UFGD/FCA



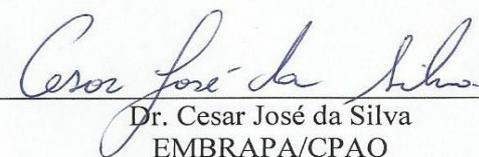
Prof. Dr. Eder Pereira Gomes
UFGD/FCA



Dr. Rodrigo Kelson Silva Rezende
UFGD/FCA



Dr. Alexandro Claudio dos Santos Almeida
UFGD/FCA



Dr. Cesar José da Silva
EMBRAPA/CPAO

Á Deus, a minha família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Á Deus, pela vida, saúde, força, sabedoria e todos os outros instrumentos para que eu conseguisse realizar este trabalho.

Á Universidade Federal da Grande Dourados e pela oportunidade concedida.

Ao Professor Rodrigo Aparecido Jordan, pela amizade, orientação, sugestão, correção do trabalho e principalmente pela confiança.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida.

As empresas Embrapa, Ceres Sementes do Brasil e Canavialis pela doação das sementes utilizadas no trabalho.

Aos professores Eder Pereira Gomes, Rodrigo Kelson Silva Rezende e Alexsandro Cláudio dos Santos Almeida, pelas sugestões feitas no trabalho.

Ao Sr. Jesus, Sasa e toda a equipe de campo da UFGD, que sempre me ajudaram, não somente no trabalho pesado, mas também na sabedoria de quem tem prática, e na amizade que ficará.

A Usina Bunge S.A., nas pessoas do Eng. Agr. Higino e Marcelo e Davi, que tornaram possível este trabalho.

A minha namorada Eveline, por sempre acreditar no meu potencial e me apoiar, a minha mãe Ilizabete, meus Tios, Fábio, Izabel e Ivanor, meus avós, Aracy e Abadio (*In memorian*), meus primos, Raquel, Regiane, Davi, Lorena, Ana Clara, Juliano, minha irmã Carla, enfim a todos meus familiares que muitas vezes me ajudaram, me apoiando e pelo carinho e união, apoio, amizade e valorização do meu trabalho.

Aos meus amigos Everton Rossi Rigoni, Jackeline Matos do Nascimento, Priscila Silva Souza, Moacir Marreiro da Silva, João Antonio Alves de Carvalho, pelo convívio, amizade e incentivo em todos os momentos, e aos demais colegas de curso, pelo bom convívio e por terem me proporcionado os bons anos que tive.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!!!

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Importância econômica do sorgo.....	3
2.2 Origem do sorgo	3
2.3 Tipos de Sorgo.....	4
2.4 Sorgo sacarino	4
2.4.1 Características	4
2.4.2 Características em geral	5
2.4.3 Potencialidades do sorgo sacarino	6
2.5 Balanço energético	8
2.5.1 Definição	8
2.5.2 O balanço energético na agricultura.....	9
2.6 Produção de biocombustíveis	10
2.7 Produção de etanol	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Local do experimento	13
3.2 Delineamento experimental e análise estatística	13
3.3 Preparo do solo	14
3.4 Tratamentos	14
3.5 Manejo da Irrigação - fita gotejadora	16
3.6 Colheita.....	17
3.7 Balanço de energia	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Produtividade Agrícola.....	22
4.2 Balanço energético	26
5. CONCLUSÕES	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Rotas tecnológicas para a produção de etanol.	11
Figura 2	Produtividade média de etanol por área para diferentes culturas.	12
Figura 3	Produção mundial de etanol.	12
Figura 4	Croqui da área experimental.	14
Figura 5	Valores de precipitação (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%) do dia 06/11/2012 a 06/03/2013, em Dourados-MS.	15
Figura 6	Posição dos tensiômetros na área irrigada.	16
Figura 7	Lâminas de irrigação aplicadas de acordo com as médias de tensão do solo.	17
Figura 8	Entradas de energia por insumo para a produção do sorgo sacarino – irrigado e sequeiro.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise química do solo experimento com sorgo sacarino.	13
Tabela 2	Energia dos insumos utilizados na cultura do sorgo sacarino.	19
Tabela 3	Dados dos equipamentos empregados.	19
Tabela 4	Altura de diferentes genótipos de sorgo sacarino.	22
Tabela 5	Diâmetro de diferentes genótipos de sorgo sacarino.	23
Tabela 6	Produtividade de diferentes genótipos de sorgo sacarino.	24
Tabela 7	Dados referentes ao AR Caldo (%) a BRIX (%) nos diferentes genótipos de sorgo sacarino.	25
Tabela 8	Produção de fibra (FIB) dos diferentes genótipos de sorgo sacarino.	26
Tabela 9	Produção de açúcar (ATR) nos diferentes genótipos de sorgo sacarino.	26
Tabela 10	Energia demandada pelo uso dos insumos utilizados na cultura do sorgo sacarino.	27
Tabela 11	Depreciação energética em função do tempo de uso das máquinas e equipamentos agrícolas utilizados no cultivo do sorgo sacarino.	27
Tabela 12	Insumos energéticos por fase (irrigado e sequeiro).	28
Tabela 13	Balanço de energia na produção de álcool hidratado e fibra – fase agrícola irrigado.	30
Tabela 14	Balanço de energia na produção de álcool hidratado e fibra – fase agrícola sequeiro.	30

RESUMO

Objetivou-se avaliar a produtividade e o balanço energético de quatro genótipos de sorgo sacarino cultivados em condição de irrigado e sequeiro. O experimento foi conduzido na área de irrigação e drenagem da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) localizada no município de Dourados Mato Grosso do Sul. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, com e sem irrigação (parcelas), com quatro genótipos - BRS 506, CV 007, CV 147 e EJ 7281 (subparcelas) e quatro repetições, compondo 32 parcelas. A irrigação propiciou aumento de produtividade dos quatro genótipos, sendo que a melhor resposta foi observada para a variedade BRS 506. A irrigação aumentou o custo operacional de produção da cultura do sorgo sacarino, porém isto não inviabilizou a atividade, tendo um incremento de produtividade de 85,89%, 71,82%, 64,28% e 63,36% para os genótipos EJ 7281, BRS 506, CV 147 e CV 007 respectivamente. O balanço energético da cultura do sorgo sacarino foi menor na ausência de irrigação, igual a 3,07; 2,49; 2,96; 2,28; enquanto sob irrigação o valor foi de 3,89; 3,29; 3,44; 3,39 para os genótipos BRS 506, CV 007, CV 147 e EJ 7281 respectivamente.

Palavras-Chaves: Sorghum, Estresse hídrico, Balanço de energia.

ABSTRACT

Aimed to evaluate the productivity and the energy balance of four sorghum genotypes grown in irrigated and rainfed condition. The experiment was conducted in the irrigation and drainage of the Federal University of Grande Dourados (UFGD) area located in the city of Dourados Mato Grosso do Sul. Experimental design was a randomized complete block in a split-plot, with and without irrigation (plots) with four genotypes - BRS 506, CV 007, CV 147 and EJ 7281 (subplots) and four replications, composing 32 plots. Irrigation resulted in an increase in productivity of the four genotypes, and the best response was observed for the 506 variety BRS. Irrigation increased the operating cost of crop production of sweet sorghum, but this does not disqualify the activity, and an increase in productivity of 85.89%, 71.82%, 64.28% and 63.36% for EJ 7281, BRS 506, CV 147 and CV 007 genotypes respectively. The energy balance of the crop of sweet sorghum was lower in the absence of irrigation, equal to 3.07; 2.49; 2.96; 2.28; under irrigation while the value was 3.89; 3.29; 3.44; 3.39 to BRS 506, RC 007, RC 147 and 7281 respectively EJ genotypes.

Key Words: Sorghum, water stress, balance energy.

1. INTRODUÇÃO

Os biocombustíveis (bioetanol e biodiesel), produzidos a partir de fontes renováveis de energia, estão ganhando cada vez mais importância em função do aumento dos preços dos combustíveis fósseis, esgotamento das reservas petrolíferas e a preocupação em relação ao efeito estufa (MOREIRA, 2010). Assim vários países têm dado prioridades a políticas que favorecem a produção e utilização de biocombustíveis, sendo o etanol o principal (REDDY et al., 2007).

Hoje a maior parte do etanol produzido no Brasil é extraída da cultura da cana-de-açúcar (KOHLHEPP, 2010), porém existem outras matérias-primas renováveis para produção desse biocombustível, como por exemplo, beterraba, sorgo sacarino (matérias açucaradas), milho, trigo, mandioca, batata-doce (materiais amiláceos), entre outros (LEAL et al., 2010).

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) tem se mostrado como uma opção de cultivo para a produção de bioenergia, pois apresenta fácil extração do açúcar para a fermentação, tal como ocorre com a cana-de-açúcar (ALMEIDA e FÁVARO, 2011), e utilizando das mesmas instalações para a extração do caldo (DURÃES, 2011).

O sorgo é uma espécie bem adaptada a ambientes extremos de estresses abióticos, especialmente, de temperatura do ar e umidade do solo, sendo este comportamento de rusticidade uma vantagem em relação a outras espécies comerciais (PURCINO, 2011). Apesar do sorgo se adaptar a ambientes extremos, estratégias para aumentar sua produção, juntamente com os recursos hídricos são necessários (UNGER e HOWELL, 1999).

São vários os atrativos que fazem do sorgo sacarino uma cultura promissora, e o balanço energético é o parâmetro mais adequado para definir a viabilidade técnica dessa cultura (BOODEY et al., 2005). O balanço pode ser obtido pelo valor energético da produtividade sobre todos os gastos energéticos advindos da implantação da cultura (ALBUQUERQUE et al., 2007), constituindo importante instrumento de escolha tecnológica (ASSENHEIMER et al., 2009).

Na produção agrícola moderna, caracterizada por um alto consumo de energia fóssil e recursos naturais (entrada), a produtividade (saída) normalmente

precisa ser elevada para se ter um balanço de energia favorável (HÜLSBERGEN et al., 2001).

Assim a irrigação está entre as tecnologias que mais contribui para o aumento da produtividade (SATURNINO et al., 2010), no entanto, incrementa também a entrada (consumo) de energia no sistema agrícola.

Assim, neste trabalho objetivou-se avaliar o impacto da irrigação suplementar na produtividade e no balanço energético de quatro genótipos do sorgo sacarino submetidas com e sem irrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica do sorgo

Em termos globais, o sorgo é o quinto cereal mais cultivado em todo o mundo, base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países. Os grãos são amplamente utilizados na alimentação humana em países da África e Ásia, sendo no Ocidente utilizado na alimentação animal e na elaboração de xarope, álcool e açúcar, sendo no Brasil destinado, principalmente, à produção de ração animal (GUIMARÃES, 1996).

No ano de 2009, a produção mundial do cereal foi de 59 milhões de toneladas, com uma área total cultivada de aproximadamente 40 milhões de hectares, o que nos conduz a uma produção de 1,4 ton ha⁻¹. Os maiores produtores mundiais são EUA, Índia, México, Nigéria, Sudão, Etiópia, Austrália e Brasil (FAO, 2011).

No Brasil a safra 2011/2012, foram 2,221 milhões de toneladas de grãos em 786,9 mil hectares de área plantada, com produtividade em média de 2,82 t ha⁻¹. É cultivado, principalmente na região Centro-Oeste, que detém 61,38% da colheita nacional, seguidas pela região Sudeste (19,1%), Nordeste (12,94%), Sul (3,83%) e Norte (2,73%) (CONAB, 2013a).

Para Bahia Filho et al. (2008), a cultura do sorgo deve sofrer grande expansão devido aos avanços na utilização do sorgo sacarino como matéria prima para a produção de etanol. Esse segmento pode se concretizar, em pouco tempo, como um importante fornecedor no mercado de energia renovável. Outros países também veem no sorgo sacarino uma alternativa real para o domínio completo da produção e uso do etanol. China, Índia, UE, EUA, e vários países da África são exemplos (MARCOCCIA, 2007).

2.2 Origem do sorgo

O sorgo originou-se no quadrante Noroeste da África onde se encontra, atualmente, sua maior variabilidade em espécies silvestres e cultivadas. Possivelmente o sorgo foi domesticado na Etiópia há 7.000 anos, pela seleção das espécies silvestres (*Sorghum arundinaceum* ou *Sorghum verticilliflorum*) e

distribuídas por rotas de comércio em toda a 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 no Caribe, pelos comerciantes de escravos africanos, e alcançou os EUA por volta da metade do século XIX. No Brasil, o sorgo foi recentemente introduzido, chegando ao Brasil da mesma forma como chegou à América do Norte e Central: através dos escravos africanos. Nomes como “Milho d’Angola” ou “Milho da Guiné”, encontrados na literatura e até hoje no vocabulário do nordestino do sertão, sinalizam que possivelmente as primeiras sementes de sorgo trazidas ao Brasil entraram pelo Nordeste, no período de intenso tráfico de escravos para trabalhar na atividade açucareira (RIBAS, 2003).

2.3 Tipos de Sorgo

Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma gramínea que apresenta ampla versatilidade de uso, e cultivares apropriada para diferentes produtos. Basicamente pode ser dividido em quatro tipos: granífero; forrageiro para silagem e/ou sacarino; forrageiro para pastejo/corte/verde/fenação/cobertura morta e vassoura (SAWAZAKI, 1998).

O primeiro grupo inclui tipos de porte baixo que são adaptados à colheita mecânica. O segundo grupo inclui tipos de porte alto apropriados para silagem e/ou produção de açúcar e álcool. O terceiro grupo inclui sorgos utilizados para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta. O quarto grupo inclui tipos cujas panículas são confeccionadas vassouras. Dos quatro grupos, o sorgo granífero é o que tem maior expressão econômica em todo o mundo, ficando atrás do arroz, trigo, milho e cevada (EMBRAPA 2009).

2.4 Sorgo sacarino

2.4.1 Características

O sorgo é uma planta C4 da família Poaceae, do gênero *Sorghum*, e da espécie *Sorghum bicolor* L. Moench. Sua estrutura radicular é composta por raízes

que por possuir sílica na endoderme, grande quantidade de pelos absorventes e altos índices de lignificação de periciclo, conferem à cultura maior tolerância à seca do que as demais. O caule por sua vez é dividido em nós e entrenós e folhas ao longo de toda a planta, Sua inflorescência é uma panícula e seu fruto é uma cariopse ou grão seco. A presença de tanino no grão confere a ele resistência ao ataque de pássaros, entretanto esta substância é adstringente, acarretando ao grão problemas de digestibilidade (VON PINHO E VASCONCELOS, 2002).

Apresenta também uma elevada produção de massa verde, porte alto, acima de 2 m e colmos suculentos com elevados teores de açúcares fermentáveis no caldo. (MAGALHÃES e DURÃES, 2003).

2.4.2 Características em geral

O sorgo é uma planta com altas taxas fotossintéticas e na grande maioria dos materiais genéticos de sorgo requerem temperaturas superiores a 21 °C para um bom crescimento e desenvolvimento (EMBRAPA, 2009). Em comparação com a cultura da cana-de-açúcar para a produção de etanol apresenta várias vantagens: o seu cultivo é realizado a partir de sementes, apresenta ciclo vegetativo menor, com duração que pode variar de 90 a 130 dias (MAGALHÃES e DURÃES, 2003), seu manejo é totalmente mecanizado e apresenta eficiência no uso da água superior a cana (FAO, 2006).

A cultura do sorgo sacarino é dividida em três fases: EC1 que vai da germinação até a iniciação da panícula; EC2 que compreende a iniciação da panícula até o florescimento e EC3 que vai da floração a maturação fisiológica (EMBRAPA, 2009). A reduzida disponibilidade de água associada a reduzidos valores de temperatura e/ou fotoperíodos indutivos durante a fase de florescimento e enchimento de grãos (EC3) são considerados fatores limitantes ao desenvolvimento do sorgo (SILVA, 2003).

Segundo Magalhães e Durães (2003), o sorgo necessita de 330 kg de água para produzir 1kg de matéria seca, quanto a milho e o trigo, por exemplo, necessitam de 370 kg e 500 kg de água por kg de matéria seca, respectivamente. Apesar de apresentar uma grande eficiência no uso da água e possuir características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as atividades metabólicas durante o estresse hídrico, o sorgo acumulando reservas metabólicas e

reinicia o crescimento quando a água torna-se disponível (PENG & KRIEG, 1992). Essas reservas, que são pouco utilizadas durante a seca, ficam disponíveis para estimular o crescimento quando a água se torna novamente disponível (DONATELLI et al., 1992).

Além de possuir tolerância a fatores bióticos como doenças e pragas, e abióticos como a seca, baixa fertilidade, acidez no solo e tolerância ao alumínio, o sorgo apresenta uma alta produtividade de biomassa, associada à baixa exigência edafoclimática (MAGALHÃES et al., 2000). Portanto, o metabolismo do sorgo se torna amplamente adaptativo a condições diversas, gerando grandes possibilidades desta cultura para a agricultura familiar das regiões áridas e semi-áridas do Brasil, ou seja onde as condições edafoclimáticas limitam a exploração de uma cultura energética. Entretanto a ausência de água no solo pode ser um fator limitante quando se falamos em produtividade.

2.4.3 Potencialidades do sorgo sacarino

A via fermentativa é o método utilizado na obtenção de etanol no Brasil e na maior parte dos países do mundo. Por esse processo, qualquer produto que contenha uma quantidade considerável de carboidratos constitui-se em matéria-prima potencial para obtenção de etanol.

O sorgo sacarino se assemelha à cana-de-açúcar, uma vez que armazena de açúcares simples em colmos, gerando após a extração um bagaço que pode ser usado na geração de energia térmica ou elétrica ou na produção de etanol de celulose, ou seja, álcool de 2ª geração, quando esse processo for viabilizado. Deste modo, o processamento industrial do sorgo sacarino para produção de etanol seria o mesmo já amplamente utilizado nas usinas do país, possivelmente com pequenos ajustes de processo (MACHADO, 2011).

As tecnologias de produção de etanol a partir de materiais ricos em açúcar ou amido são chamados 1ª geração, sua produção é a partir da fermentação alcoólica da sacarose. Apesar da grande variedade de matérias-primas possíveis para a produção de etanol de primeira geração, mais de 90% da produção mundial atual é a partir de milho e cana-de-açúcar (CRISPIM, et al., 2004; LEAL, et al., 2010).

Já a produção de etanol e outros biocombustíveis, a partir de matérias lignocelulósicas, ou seja, etanol celulósico produzido a partir dos polissacarídeos da parede celular passou a ser chamados de 2ª geração (BUCKRIDGE, et al., 2010).

O Brasil concentra um grande número de pequenos, médios e grandes produtores, apresentando uma diversidade de condições ambientais que permite explorar o potencial de matérias primas renováveis com aptidão regional. Por outro lado, a postura conservadora em relação à cultura empregada na produção de etanol, caso do milho nos Estados Unidos, tornou a cana-de-açúcar a única cultura explorada comercialmente no Brasil, canalizando todos os esforços e investimentos, o que resultou num aumento de rendimento ($L\ ha^{-1}$ de etanol) de mais de 100% entre 1985 e 2005. Tal postura fez com que outras culturas promissoras não prosperassem pela falta de investimento e a não familiaridade dos possíveis produtores. Dentre estas, o sorgo sacarino, que de acordo com Leal et al. (2010), está incluído entre as culturas que merecem mais atenção, por poderem ser importantes opções para áreas não aptas à cana-de-açúcar.

Além de ser uma cultura totalmente mecanizável e com rápido ciclo de cultivo, ela se apresenta como uma cultura potencial, ou alternativa na entressafra da cana-de-açúcar, ampliando o período de moagem das usinas e cobrindo a ociosidade de instalações e equipamentos (RIBEIRO FILHO et al., 2008). Isso porque seu beneficiamento pode empregar os mesmos equipamentos da produção de álcool da cana-de-açúcar, da moagem à destilação.

2.4.4 Irrigação do sorgo sacarino

A finalidade básica da irrigação é proporcionar água às culturas de maneira a atender às exigências hídricas durante todo seu ciclo, possibilitando altas produtividades e produtos de boa qualidade. Sendo que a quantidade de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, da produtividade desejada, do local de cultivo, do estágio de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e da época de plantio.

A cultura do sorgo sacarino apresenta uma capacidade de adaptação, tolerância a temperaturas elevadas, sendo esse diferencial importante em sistemas de produção em regiões sujeitas a seca e que não disponham de irrigação (OLIVEIRA et al., 2002), entretanto estratégias para aumentar a produção do sorgo sacarino

juntamente com a irrigação são necessárias (UNGER e HOWELL, 1999) pois este cereal apresenta grande eficiência no uso da água (KINDAMBI et al., 1990).

Segundo Nascimento (2008) ao avaliar o sorgo sobre diferentes disponibilidades de água no solo, observou uma influência negativa no crescimento das plantas de acordo com a diminuição de água disponível no solo, afetando de forma significativa no desenvolvimento da planta, interferindo na produtividade. Processos vitais das plantas também podem ser alterados por limitações hídricas, tais como a fotossíntese, condutância estomática, potencial de água na folha e murchamento da folha.

Apesar do sorgo ter despertado como alternativa para diversas regiões, por ser uma cultura que se adapta a ambientes variados, principalmente com deficiência hídrica e altas temperaturas (SANTOS et al., 2005). As amplitudes do efeito do déficit hídrico nas plantas vai depender, portanto, da sua duração e intensidade, bem como da capacidade genética das espécies ou cultivares em responder a mudança de ambiente (CHAVES et al., 2002). E entre as cultivares de sorgo são grandes as diferenças em relação a reação e ao desempenho sob condições de estresse hídrico (TARDIN et al., 2008).

2.5 Balanço energético

2.5.1 Definição

Define-se balanço de energia como atividade ou instrumento destinado a contabilizar a energia disponível e a energia consumida em determinado sistema de produção. Voltando ao balanço energético das fontes de energia, apresenta que os estudos de balanços energéticos visam determinar os pontos de estrangulamento energético fundamentando a busca por tecnologias poupadoras de energia, especialmente aquelas de origem fóssil (combustível, fertilizante, agrotóxico, energia despendida no processo de fabricação das máquinas e implementos, etc). (CAMPOS e CAMPOS, 2004).

Com estas afirmações, nota-se que mecanismo de cálculo do balanço energético é complexo em virtude da quantidade de considerações a serem estudadas e das informações a serem levantadas, já que este estudo prevê diversos pontos de verificações. E para a energia consumida no sistema de produção de uma cultura não

é de fácil determinação, pois depende de muitos fatores. É necessário estimar a energia consumida em todo o processo produtivo, desde a fabricação de máquinas e implementos, a produção de insumos, o plantio, o manejo e a colheita, até mesmo o transporte do produto agrícola ao local de processamento (GAZZONI et al., 2006).

No entanto, tais estudos são de suma importância já que o “balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando a demanda total e eficiência, refletida pelo ganho líquido e pela relação saída/entrada” (CAMPOS e CAMPOS, 2004) e esta relação é que determina o quão os processos de obtenção de energias são viáveis nos diversos modos de obtenção. Os estudos de balanço energético, portanto é uma ferramenta que auxilia na determinação de decisões voltadas para a área econômica. Conforme relata Salla et al. (2009) estudos energéticos diferenciam-se das análises econômicas, pois permitem estimar a energia diretamente consumida e/ou indiretamente utilizada em um processo produtivo. Portanto, possibilitam determinar a dependência ou não de fontes de energia não renováveis que podem constituir-se como fatores limitantes no processo de produção agrícola.

2.5.2 O balanço energético na agricultura

Nos sistemas de produção agrícola, o conceito de balanço energético tem como função principal apresentar a relação de entrada e saída de energia. Assim a relação entre a energia acumulada nos alimentos produzidos e a energia fóssil acumulada nos insumos gastos para a produção constitui um instrumento para avaliar o grau de sustentabilidade da agricultura, ou seja, a energia obtida tem que ser maior do que a consumida. (SANTOS et al., 2001).

A importância na agricultura de se efetuar estes estudos do balanço de energia em diversos sistemas de produção se deve ao fato de que, é através desta estimativa elaborada pelo balanço energético e pela eficiência energética, que se quantificam todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia. Segundo Santos et al, (2007) a análise energética de agrossistemas tem por objetivo descrever os fluxos de energia e seu funcionamento e determinar o grau de eficiência energética a partir de medidas parciais, relacionada apenas, como terra, trabalho ou capital. É através destes fluxos de energia, que se

consegue estabelecer todos os parâmetros necessários na obtenção do balanço energético.

Sabe-se que a agricultura é caracterizada pela produção (alimentos, fibras, combustíveis, resíduos orgânicos) e pelo consumo de energia, além de apresentar energia adicionada pelas forças humanas e animal (fertilizantes e óleo diesel), conforme afirma Campos e Campos (2004).

O cálculo do balanço energético torna-se um dado estimativo podendo ser utilizado como um importante instrumento para tomada de decisões relativas à adoção de novas técnicas e manejos agropecuários, com potencial para economizar energia e aumentar a eficiência dos insumos (SANTOS et al, 2007).

Existem ainda vários fatores a serem considerados no processo de obtenção do balanço energético. Para o rateio da energia consumida, pode se levar em conta ainda a energia consumida pelo trabalho humano, energia relativa a fertilizantes e agrotóxicos (CAMPOS e CAMPOS, 2004).

2.6 Produção de biocombustíveis

A crescente necessidade de ampliar de modo mais sustentável o uso de fontes renováveis de energia, a fim de proporcionar maiores possibilidades energéticas bem como redução dos impactos ambientais intimamente ligados ao consumo de combustíveis fósseis, tem feito com que haja uma busca por alternativas viáveis tanto economicamente, quanto tecnologicamente, e uma dessas alternativas que têm surgido com significativo potencial de expansão é o etanol (BNDES, 2008).

O etanol pode ser produzido com base em qualquer biomassa que contenha quantidades significativas de amido ou açúcares. Dentre as diversas culturas disponíveis para extração dos biocombustíveis, destacam-se a cana-de-açúcar, milho e trigo. Já para a produção de biodiesel, óleos de sementes de canola, girassol, soja entre outros (BNDES, 2008).

2.7 Produção de etanol

O etanol é uma substância orgânica obtida por meio da fermentação de açúcares, hidratação do etileno (hidrocarboneto alceno) ou redução ao acetaldeído.

Possui como fórmula química C_2H_5OH , e também pode ser chamado de álcool etílico.

Os modos de produção do etanol, temos duas maneiras distintas, em virtude das características de cada uma das principais fontes, os processos estão descritos de forma básica na Figura 1 (BNDES, 2008).

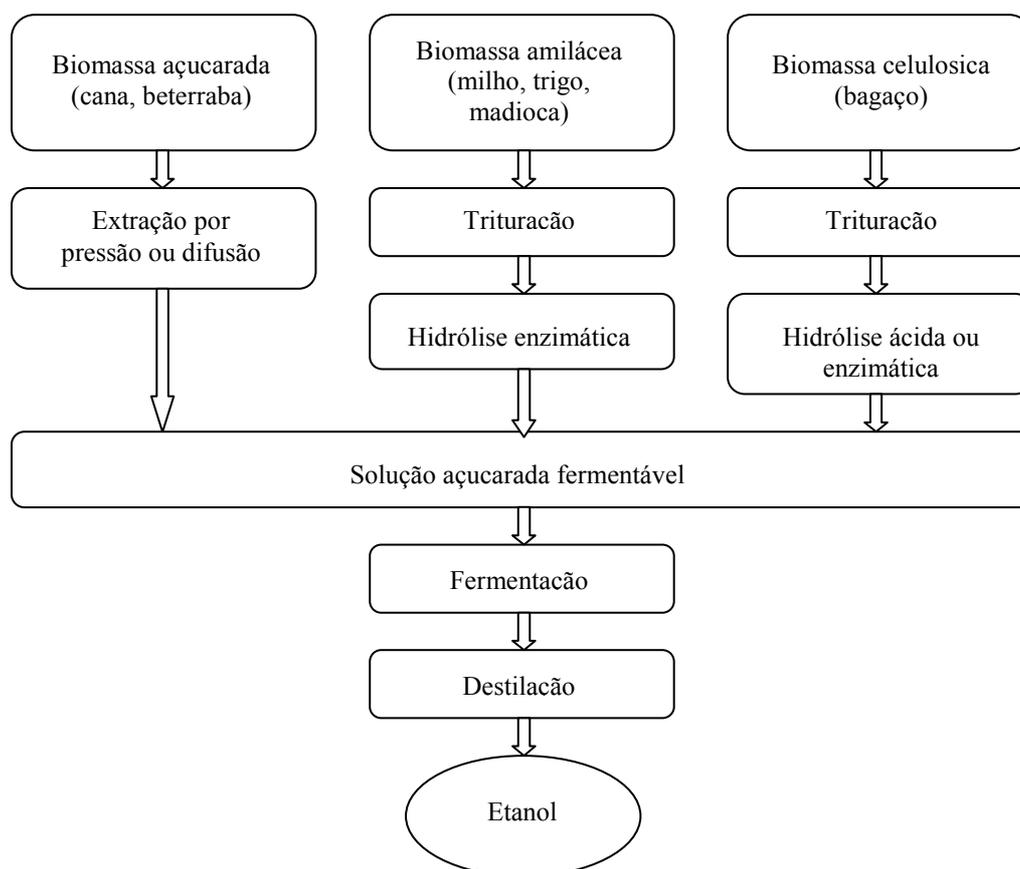


Figura 1. Rotas tecnológicas para a produção de etanol.

Outro dado que se tem de considerar, antes de se chegar a alguma conclusão é o rendimento da produção por unidade de área cultivada. Estes dados estão ilustrados na figura 2 (BNDES, 2008).

Produtividade média de etanol

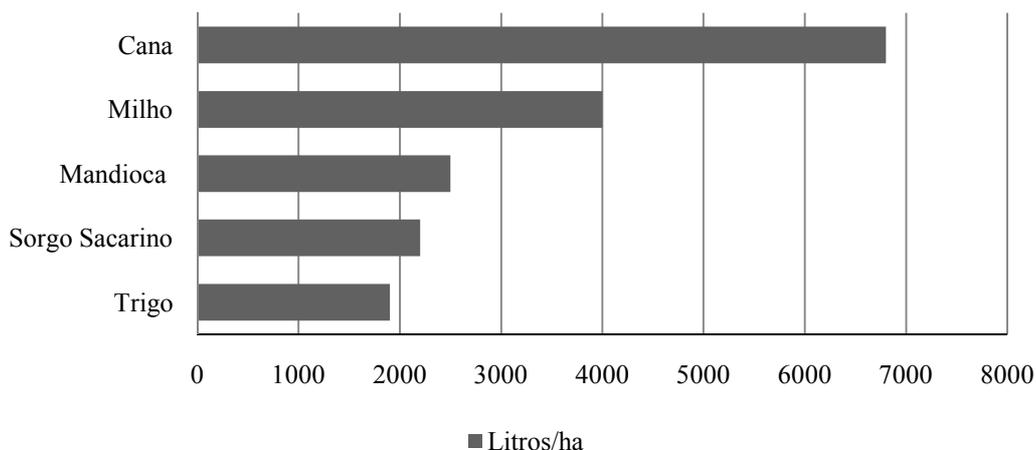


Figura 2. Produtividade média de etanol por área para diferentes culturas.

Com relação aos maiores produtores mundial de etanol, o Brasil e Estados Unidos são os países que mais se destacam. Sendo os Estados Unidos produzindo a partir do milho e o Brasil a partir da cana-de-açúcar. Segundo BNDES (2008), foram produzidos 51 bilhões de litros de etanol, conforme a distribuição apresentada no gráfico abaixo.

Produção Mundial

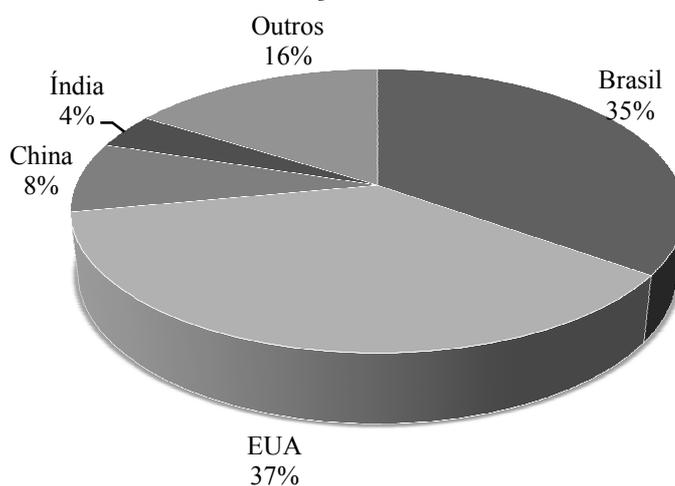


Figura 3. Produção mundial de etanol.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido durante o período de 06/11/2012 à 06/03/2013 na área experimental de Irrigação e Drenagem localizada no campus II da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), na cidade de Dourados, estado do Mato Grosso do Sul, coordenadas 22° 11' 53,9" S de latitude e 54° 56' 18,9" W de longitude e altitude média de 452 m.

O clima da região é classificado por Köppen como Cwa (mesotérmico úmido com verão chuvoso). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2006). Os valores da análise química do solo se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo.

Análise*	PH (CaCl ₂)	P	V	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
		mg dm ⁻³	%	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
2012/2013	5	11,2	64,5	4,9	0,05	6,59	2,25	0,37

*Camada, 0-20 cm.

3.2 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, onde as parcelas são os tratamentos com e sem irrigação, e as subparcelas quatro genótipos de sorgo sacarino, com 4 repetições, totalizando 32 parcelas (Figura 4).

Cada parcela foi constituída de 4 linhas com 5 m de comprimento e espaçamento entrelinhas de 0,7 m. Para as avaliações, foram consideradas as 2 linhas centrais da parcela.

Os quatro genótipos de sorgo utilizados foram, um cultivar da Embrapa (BRS 506), dois híbridos da Canavialis (CV 007 e CV 147) e um híbrido da Ceres Sementes do Brasil (EJ 7281).

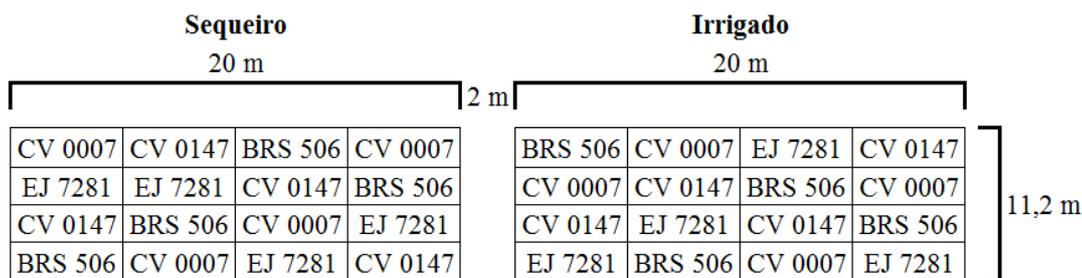


Figura 4. Croqui da área experimental.

3.3 Preparo do solo

Foi realizado o preparo convencional do solo com um arado de disco e uma grade niveladora. Após o revolvimento do solo com o arado, foram feitas duas gradagens, logo após a medição e estaquia da área útil que seria utilizada.

A abertura dos sulcos foi realizada manualmente com auxílio de uma enxada e uma linha de nylon branca fixada com o objetivo de orientar a sulcação.

A correção do solo com calcário foi feita de acordo com as recomendações da análise do solo presente aplicando-se $1,6 \text{ ton ha}^{-1}$. Já a adubação foi realizada segundo as recomendações da Embrapa (2012), aplicando-se 350 kg ha^{-1} de adubo (8-20-20), e após 30 dias uma adubação de cobertura utilizando-se 50 kg ha^{-1} de ureia.

A semeadura foi realizada manualmente, utilizando-se 9 sementes por metro linear a 3 cm de profundidade, mantendo-se um estande de aproximadamente $129.000 \text{ plantas ha}^{-1}$.

3.4 Tratamentos

A área experimental foi dividida em duas partes, irrigada e em sequeiro. Nos primeiros 30 dias do desenvolvimento na cultura foi realizada uma suplementação de água nos dois tratamentos através 4 aspersores convencionais. As irrigações foram feitas a cada 5 dias com a finalidade de proporcionar melhores condições de desenvolvimento e emergência da cultura em seu período inicial.

O aspersores que foram utilizados são da marca Agropolo NY 30 ER (longo verde). De acordo com o catálogo do fabricante apresenta em condições normais de funcionamento uma vazão que vai de $2,17$ a $3,26 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ com pressão de serviço variando de 20 a 45 m.c.a.

Para a determinação da lâmina aplicada no experimento neste período inicial, foi realizada uma avaliação com o auxílio de coletores posicionados em pontos ao redor dos aspersores de acordo com o raio de alcance de cada emissor, posicionado a uma altura de 1,2 m com auxílio de hastes de alumínio.

Após a distribuição uniforme dos 48 coletores na área (24 unidades no irrigado e 24 unidades no sequeiro), foi realizada uma irrigação teste por um período de 30 minutos. Após a irrigação determinou-se que o volume total de água aplicada no período de ½ hora, foi de 2,7534 mm. Como no período de 30 dias foram realizadas 6 irrigações de 1h 10 min mais a irrigação teste de 30 minutos (totalizando-se 7,5 h), foi determinado que a lâmina total aplicada nesse período inicial com a aspersão convencional foi de 41,3 mm.

Após este período, a irrigação convencional inicial via aspersão foi suspensa. Com isto, foram implantados nas parcelas irrigadas do experimento fitas gotejadoras (espaçamento entre gotejadores de 0,20 m), ao lado de cada linha de plantio. A intensidade de aplicação (IA) foi determinada segundo o fabricante, obtendo-se o valor de 10,71 mm h⁻¹ a 10 mca de pressão.

Já nas parcelas de sequeiro, após o período de suplementação de água através da irrigação com aspersores, foram mantidas em condições naturais de campo (Figura 5).

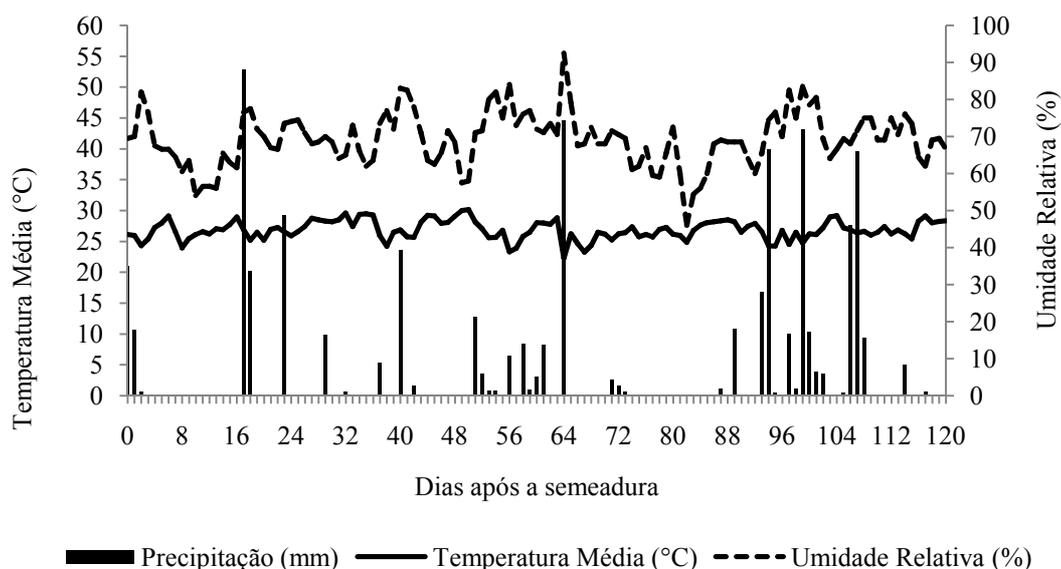


Figura 5. Valores de precipitação (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar(%) do dia 06/11/2012 a 06/03/2013, em Dourados-MS.

3.5 Manejo da Irrigação - fita gotejadora

O controle da irrigação foi realizado por meio de tensiometria com o monitoramento do potencial de água no solo por meio de tensiômetros instalados a 0,20 m de profundidade e a 0,20 m da linha de plantio. Foram instalados 3 tensiômetros na área irrigada, sendo a leitura de tensão realizadas 3 vezes por semana, nas segundas, quartas e sextas feiras. (Figura 6).

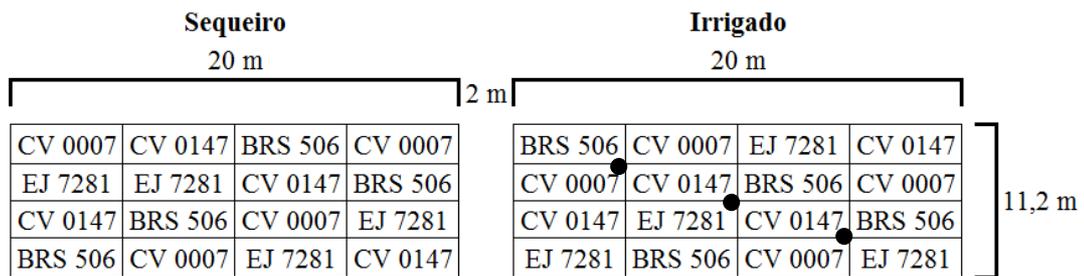


Figura 6. Posição dos tensiômetros na área irrigada.

A lâmina total de irrigação de 499 mm (irrigação por gotejamento) aplicada durante o experimento (Figura 7) foi determinada pela diferença entre umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{cc}) e a umidade volumétrica atual (θ_a) multiplicada pela profundidade efetiva da raiz (Z), igual a 400 mm.

Foi considerado como tensão de água no solo na capacidade de campo o valor de 6 kPa conforme Andrade & Stone (2011). O tempo de irrigação em cada evento foi obtido pela razão da lâmina de irrigação pela intensidade de aplicação. Os valores de θ_a foram estimadas por meio da curva de retenção de água no solo ajustada pela equação de Van Genuchten (1980):

$$\theta_a = 0,200 + \left[\frac{(0,589 - 0,200)}{[1 + (0,5485\sigma_a)^{19,3221}]^{0,0260}} \right]; (R^2 = 1,00 \text{ e } P < 0,01) \quad (1)$$

Onde:

θ_a = umidade volumétrica atual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

σ_a = tensão atual de água no solo (kPa).

Foi realizado 22 eventos de irrigação durante o desenvolvimento da cultura, sendo a irrigação realizada de acordo com as médias das tensões dos 3 tensiômetros (Figura 7).

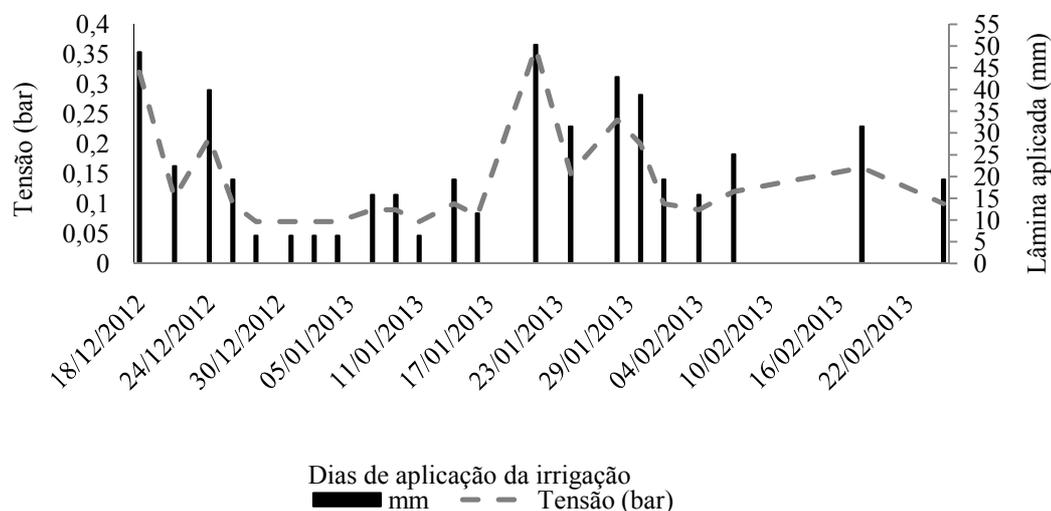


Figura 7. Lâminas de irrigação aplicadas de acordo com as médias de tensão do solo.

3.6 Colheita

Foram retiradas 3 amostras de cada parcela com 15 colmos cada, onde foram avaliados: diâmetro de colmo (mm), realizado com auxílio de um paquímetro digital; altura de planta (cm), com auxílio de uma trena, medindo-se o comprimento da base da planta até o começo da panícula; e, o peso (kg) de cada feixe, realizado com auxílio de uma balança digital.

As avaliações referentes à produtividade de sorgo, como, FIB (fibra), ATR (açúcar total recuperável), AR do caldo (%) e BRIX, foram realizadas pelo laboratório da Usina Monte Verde Bunge, localizada na rodovia BR 463, Km 35, zona rural de Ponta Porã/MS. Os dados de produtividade foram submetidos à análise de variância e teste Tukey a 5 % de probabilidade.

3.7 Balanço de energia

Para a realização do balanço de energia a fase agrícola do sorgo sacarino foi dividida em 5 etapas: pré-semeadura, semeadura, gestão, irrigação e colheita. Na

fase de pré-semeadura as atividades compreendidas foram à preparação da área, o que correspondeu à calagem, aração e gradagem. A fase de semeadura correspondeu apenas à operação de semeadora convencional e adubação. A fase de gestão composta por atividades como controle de ervas daninha, controle de pragas e adubação de cobertura (ureia). Já a fase de irrigação, foi composta pela suplementação de água com auxílio da fita gotejadora, sendo finalizada com fase de colheita composta somente pela colheita mecanizada. Foi utilizado também os gastos referentes ao transporte pós-colheita até a usina de processamento (distância colheita – usina = 30 km), onde os valores foram estimados para a cultura do sorgo sacarino, onde foi utilizado $1.729,6 \text{ MJ ha}^{-1}$ de energia em 85 toneladas de massa colhida de cana-de-açúcar (SALLA CABELLO, 2010).

Para as atividades mecanizadas não realizadas no experimento como no caso da distribuição do calcário, semeadura e colheita, foram estimados segundo os dados da usina Monte Verde (Bunge).

Para a irrigação foi considerado o uso de um pivô central, tendo em vista o fato do sistema de fitas gotejadoras não ser aplicado na prática para esse tipo de cultura na região brasileira. O consumo de energia elétrica do sistema foi determinado a partir da lâmina de irrigação aplicada segundo os dados fornecidos pela Valmont. A simulação foi baseada na potência, rendimento mecânico e fator de potência do motor elétrico de uma bomba d'água de um pivô central para 100 ha com topografia plana, com potência elétrica requerida para bombeamento da ordem de $1,934 \text{ kW ha}^{-1}$. Para o Pivô-Central adotou-se vida útil de 20 anos e capacidade de uso igual a 2000 h ano^{-1} (FRIZZONE et al., 2005).

Considerou-se uma intensidade de aplicação de $0,59 \text{ mm h}^{-1}$ em 21 horas aplicadas ao dia, totalizando 12,4 mm em cada evento ocorrido, evitando-se a irrigação em horário de pico (17:30 às 20:30) segundo a CERGRAND (Cooperativa de Energização e Desenvolvimento Rural da Grande Dourados).

Para a determinação da energia dos insumos utilizados na produção do sorgo sacarino no que diz a respeito dos fertilizantes, pesticidas, óleo diesel e eletricidade utilizada na irrigação foi utilizado a metodologia adotada por Pimentel (1980) citado por Melo et al. (2007) e Jordan et al. (2012a). Os valores de equivalência energética da energia elétrica e do diesel foram retirados a partir do Balanço Nacional de Energia de 2013. A Tabela 3 mostra a relação de equivalência de energia.

Tabela 2. Energia dos insumos utilizados na cultura do sorgo sacarino.

Insumos	Unidade	Energia Unitária (MJ)
Óleo Diesel ⁽¹⁾	L	35,32
Nitrogênio ⁽²⁾	kg	50,28
Fósforo ⁽²⁾	kg	12,57
Potássio ⁽²⁾	kg	6,77
Calcário ⁽²⁾	kg	1,18
Herbicidas ⁽²⁾	kg	418,62
Inseticidas ⁽²⁾	kg	364,15
Eletricidade ⁽¹⁾	kWh	3,6
Homem/trabalho ⁽²⁾	h	2,16

¹Fonte: EPE (2013); ²Fonte: JORDAN et al. (2012a).

A depreciação energética relacionada ao equipamento utilizado, foi realizada de acordo com a Macedonio e Picchioni (1985) citado por Assenheimer et al. (2009) e Jordan et al. (2012a) de acordo com a vida de serviço, peso e os respectivos coeficientes de energia (Tabela 4).

Tabela 3. Dados dos equipamentos empregados.

Equipamento	Massa (Kg)	Vida de Serviço (h)
Distribuidor de calcário ⁽¹⁾	1000 ⁽¹⁾	1500 ⁽¹⁾
Arrado	1000 ⁽²⁾	5000 ⁽⁴⁾
Grade	1200 ⁽²⁾	3000 ⁽⁴⁾
Pulverizador	840 ⁽²⁾	1500 ⁽⁵⁾
Trator (80 cv)	3000 ⁽²⁾	12000 ⁽⁵⁾
Semeadora	2000 ⁽²⁾	1200 ⁽⁵⁾
Colhedora de cana (332 cv)	16400 ⁽³⁾	13500 ⁽⁶⁾

¹Fonte: JORDAN et al. (2012a); ²Fonte: ASSENHEIMER et al. (2009); ³Fonte: www.deere.com.br; ⁴Fonte: CHECHETO et al. (2010); ⁵Fonte: PACHECO (2000); ⁶Fonte: BANCHI et al. (2008)

Para o cálculo da depreciação energética (DE) foram utilizados os coeficientes de energia, de acordo com Assenheimer et al. (2009). Para equipamentos de auto-propulsão (motorizado: trator e colhedora) foi utilizado: 69,83MJ/kg, enquanto para equipamentos de não auto-propulsão (arado, grade, pulverizador, etc.) foi utilizado 57,20MJ/kg. Para isso, as equações 2 e 3 foram utilizadas.

$$E_{ap} = \frac{69,83 \cdot M}{V_u} \cdot H \quad (2)$$

$$Enp = \frac{57,20 \cdot M}{Vu} \cdot H \quad (3)$$

No qual:

Eap - energia do equipamento automotor (MJ/h);

Enp - energia do equipamento não-automotor (MJ/h)

M - massa de equipamentos (kg);

Vu - vida útil dos equipamentos (h).

H - horas de uso do equipamento (h)

O consumo médio de diesel do trator foi calculado com base na metodologia do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade de Illinois - EUA (KAMPHORST, 2003), a qual considera que um trator opera, em média, com 55% de sua potência, utilizando para esse cálculo a equação 4. Já para o consumo médio de óleo diesel da colhedora, foi adotado o valor médio de 52,72 L ha⁻¹ sugerido por Lyra (2012).

$$Cd = P \cdot 0,243 \quad (4)$$

No qual,

Cd - Consumo de diesel (L/ha);

P - potência do motor (kW).

O tempo gasto em cada operação agrícola foi estimado durante o experimento, sendo extrapolado para valores por hectare. No caso da distribuição do calcário, plantio e colheita, foi baseado segundo dados para operações mecanizada, da usina Monte Verde (Bunge).

A conversão da produção de açúcar para etanol, foi determinada segundo Finguerut et al. (2008), onde a eficiência máxima da fermentação para converter açúcar em álcool é de 0,511 gramas de álcool por grama de açúcar. Porém o valor de eficiência que uma usina consegue produzir é de 0,465, ou seja, 91% desse valor.

O excedente de fibra foi determinado segundo os dados fornecidos por Leal (2007) baseando-se em uma usina de cana-de-açúcar, com uma eficiência média e diz que praticamente todo o bagaço é queimado para fornecer energia ao processo de produção de etanol, havendo um excedente de pouco mais de 5%. Apenas este

excedente é considerado como energia recuperada, pois o restante foi usado no processo.

Já para a conversão da produção (etanol e fibra) em energia (MJ), foi utilizado para o álcool 21,34 MJ de energia por litro produzido (EPE, 2013) e para fibra 18 MJ de energia por quilo produzido (TOLMASQUIM, 2009). Já os gastos de energia com a fase industrial foram determinados segundo Tolmasquim (2009), sendo consumida 49,41 MJ por tonelada de cana-de-açúcar processada, sendo utilizada a mesma metodologia para o sorgo sacarino.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade Agrícola

Não houve diferença significativa na altura do sorgo entre os genótipos avaliados, tanto no tratamento irrigado como no de sequeiro. No entanto quando se compara os sistemas de manejo, houve diferença, sendo para o genótipo BRS 506 apresentando um ganho de altura de 41,17%, seguido pela CV 007 com 39,32%, CV 147 com 37,15% e EJ 7281 com 29,35% (Tabela 4).

A altura das plantas respondeu positivamente ao incremento da irrigação verificado neste trabalho. Peiter e Carlesso (1996) constataram um aumento no comprimento de entrenós com a maior fração de água disponível. De igual maneira, Chielle et al. (1984) verificaram que a redução da altura do sorgo, ocorre em função da quantidade de água disponível no solo.

Tabela 4. Altura de diferentes genótipos de sorgo sacarino.

Genótipos	Altura (m)	
	Irrigado	Sequeiro
BRS 506	2,40 Aa	1,77 Ab
CV 007	2,48 Aa	1,78 Ab
CV 147	2,51 Aa	1,83 Ab
EJ 7281	2,60 Aa	2,01 Ab

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em relação ao diâmetro do colmo, não houve diferença significativa entre os genótipos, tanto no irrigado como no de sequeiro (Tabela 5). Porém, quando se compara os sistemas de manejos houve diferença, sendo para o genótipo BRS 506 e EJ7281 um ganho de diâmetro de 9,6% e 14% respectivamente.

Houve um aumento do diâmetro de acordo com a disponibilidade de água. Nascimento (2008), também observou que o diâmetro médio dos caules do sorgo foi influenciado de forma negativa pela diminuição na disponibilidade de água no solo. O diâmetro médio foi reduzido de 17 mm (maior disponibilidade de água no solo) para 12,9 mm (menor disponibilidade de água no solo) ocorrendo um decréscimo de 24%.

Para os genótipos CV 007 e CV 147, não houve diferenças estatísticas entre os diferentes sistemas de manejo.

Tabela 5. Diâmetro de diferentes genótipos de sorgo sacarino.

Genótipos	Diâmetro (mm)	
	Irrigado	Sequeiro
BRS 506	16,60 Aa	15,15 Ab
CV 007	16,34 Aa	15,44 Aa
CV 147	17,23 Aa	15,88 Aa
EJ 7281	16,77 Aa	14,71 Ab

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

MOREIRA, 2011, avaliando diferentes cultivares de sorgo sacarino, determinou que a diminuição na disponibilidade de água no solo não só influenciou na altura e diâmetro do sorgo, mas também na massa seca e sistema radicular. Segundo Bergamaschi et al. (2006), o déficit hídrico interfere em quase todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento da cultura.

A limitação hídrica pode reduzir também a área foliar devido a inibição do crescimento ou pela senescência das folhas, redução na fotossíntese em decorrência da diminuição da área foliar, murchamento, enrolamento das folhas e fechamento dos estômatos, afetando muitos outros processos, tais como brotação, polinização, absorção de nutrientes entre outros (BERGAMASCHI et al., 2006).

Com relação a produtividade dentro dos tratamentos, não houve diferença estatística significativa, sendo que o genótipo CV 147 apresentou melhores resultados tanto no sistema irrigado como no de sequeiro (Tabela 6). Entretanto quando se compara os sistemas de manejo, houve diferença, sendo que o genótipo EJ 7281, apresentando um ganho de produtividade de 85,89% seguidos pela BRS 506 com 71,82%, CV 147 com 64,28% e CV 007 com 63,36%.

A produtividade média do sorgo sacarino segundo a EMBRAPA (2012) é cerca de 50 ton ha⁻¹, e como observado, os genótipos do tratamento irrigado mostraram-se superior a média apresentada, diferente do tratamento de sequeiro cujas médias ficaram inferiores.

Trabalhando com sorgo sacarino irrigado, Souza et al. (2005), constatou que a produtividade média encontrada foi de 64 ton ha⁻¹, valores bem próximos ao encontrado no respectivo trabalho que foi de 63,98 ton ha⁻¹. Já Camacho et al.

(2002), trabalhando com 10 variedades de sorgo sacarino em condições de sequeiro constatou uma produtividade média encontrada foi de 35,97 ton ha⁻¹, valores aproximados aos genótipos apresentados no trabalho mas inferiores a média nacional.

Tabela 6. Produtividade de diferentes genótipos de sorgo sacarino.

Genótipos	Produtividade (Mg/ha)	
	Irrigado	Sequeiro
BRS 506	63,771 Aa	37,114 Ab
CV 007	60,771 Aa	37,200 Ab
CV 147	67,028 Aa	40,800 Ab
EJ 7281	64,371 Aa	34,628 Ab

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em relação ao AR de Caldo (%), no tratamento irrigado não houve diferença estatística. Já no tratamento sequeiro a BRS 506 e CV 147 se apresentaram melhores quando comparados a CV 007 e EJ 7281. Já quando comparado os sistemas a BRS 506 e CV 147 não houve diferença, diferentemente da CV 007 e EJ 7281, sendo 7,2% e 8,2% maior que o tratamento de sequeiro respectivamente (Tabela 7)

Não houve diferença significativa no BRIX (%) do sorgo entre os genótipos avaliados no tratamento irrigado. Já no tratamento de sequeiro a BRS 506 e CV 007 apresentaram diferentes estatisticamente em relação a CV 147 e EJ 7281. Sendo a BRS 506 apresentando um ganho superior, sendo 18,73%, 11,73%, 23,07% maior que os genótipos CV 007, CV 147 e EJ 7281 respectivamente.

Tabela 7. Dados referentes ao AR Caldo (%) a BRIX (%) nos diferentes genótipos de sorgo sacarino.

Genótipos	AR Caldo (%)		BRIX (%)	
	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
BRS 506	1,08 Aa	0,99 Aa	19,86 Aa	18,19 Aa
CV 007	1,34 Aa	1,25 Ab	19,03 Aa	15,32 ABb
CV 147	1,28 Aa	1,11 Aa	17,72 Aa	16,28 Ba
EJ 7281	1,32 Aa	1,22 Ab	18,44 Aa	14,78 Bb

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns= não significativo.

A percentagem de fibra (%), dentro dos tratamentos, não houve diferença estatística significativa, o mesmo ocorrendo entre os sistemas irrigado e sequeiro

(Tabela 8). Segundo a EMBRAPA (2012), os parâmetros médios de fibra do sorgo variam de 12 a 20%, apesar dos tratamentos não se diferenciarem estatisticamente, os valores apresentados de fibra se mostraram entre faixa estabelecida, sendo a percentagem de fibra não alterada quando irrigada.

Convertendo a produção de sorgo em fibra (Mg ha^{-1}), obsevou que tanto no sistema irrigado como no de sequeiro, o genótipo CV 147 apresentou o melhor resultado comparado com os outros genótipos, porém dentro dos tratamentos, não houve diferença estatística significativa (Tabela 8). Entretanto entre os sistemas houve diferença, sendo os genótipo EJ 7281, CV 007, BRS 506 e CV 147 apresentando um ganho de 90,33%, 73,75%, 65,61% e 64,51% respectivamente.

Tabela 8. Produção de fibra dos diferentes genótipos de sorgo sacarino.

Genótipos	FIB (%)		FIB (Mg ha^{-1})	
	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
BRS 506	15,19 ns	15,76 ns	9,687 Aa	5,849 Ab
CV 007	15,24 ns	14,33 ns	9,262 Aa	5,331 Ab
CV 147	14,83 ns	14,81 ns	9,940 Aa	6,042 Ab
EJ 7281	15,08 ns	14,73 ns	9,707 Aa	5,101 Ab

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns= não significativo.

Em relação ao ATR (Kg por tonelada processada) o genótipo BRS 506 tanto no tratamento irrigado como de sequeiro apresentou um resultado melhor que os demais (tabela 9). No tratamento irrigado o genótipo BRS 506 se apresentou 18,15%, 15,59%, 13,28% maior que os genótipos CV 147, EJ 7281, CV 007 respectivamente, e no tratamento de sequeiro 26,63%, 23,47%, 12,78% maior que os genótipos EJ 7281, CV 007, CV 147, respectivamente.

Quando se compara os sistemas de manejo, houve diferença para os genótipos CV 007 e EJ 7281 em que o ATR foi 16,28% e 16,87% maior respectivamente em comparação ao sequeiro. Porém os genótipos BRS 506 e CV 147, não se diferiram estatisticamente entre nos sistemas irrigado e sequeiro, mostrando que mesmo em condições diferentes de disponibilidade de água o ATR não foi influenciado.

O ATR da BRS 506 se mostrou bem próximo aos valores constatado por Borges et al. (2010) cujos valores variaram de 110 a 120 kg ton^{-1} . Já Bolonhezi et al.

(2013) comparando outras variedades de sorgo sacarino constatou que os valores se apresentaram inferiores quando comparado a BRS 506.

Os valores médios de ATR de cana-de-açúcar para a região do Mato Grosso do Sul segundo a Udop (2013), na safra 2012/2013 foi de 130,89 Kg ton⁻¹, sendo a média nacional de 135,57 kg ton⁻¹, enquanto o sorgo sacarino segundo Durães (2011) os valores variaram de 80 a 127. Os valores de ATR determinam o modelo atual de pagamento, ou seja, remuneração está relacionada pela quantidade de ATR por tonelada (UDOP, 2013) e como observada o genótipo BRS 506 se apresentou valores mais próximos aos valores da cana-de-açúcar tanto no tratamento irrigado como no de sequeiro.

Tabela 9. Produção de açúcar (ATR) nos diferentes genótipos de sorgo sacarino.

Genótipos	ATR (kg Mg ⁻¹)		ATR (Mg ha ⁻¹)	
	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
BRS 506	122,00 Aa	114,35 Aa	7,780 Aa	4,244 Aa
CV 007	107,69 Ba	92,61 Bb	6,544 Ba	3,445 Bb
CV 147	103,25 Ba	101,39 Ba	6,921 Ba	4,137 Ba
EJ 7281	105,54 Ba	90,30 Bb	6,794 Ba	3,127 Bb

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.2 Balanço energético

A Tabela 10 apresentam os insumos utilizados na condução do experimento do sorgo sacarino, e quantidades consumidas por hectare, dando assim a energia gasta em MJ ha⁻¹ de cada insumo utilizado.

Tabela 10. Energia demandada pelo uso dos insumos utilizados na cultura do sorgo sacarino.

Insumos	Unidade	Consumo (ha)	Energia (MJ ha ⁻¹)
Óleo Diesel ⁽¹⁾	L	167,1	5.901,9
Nitrogênio ⁽²⁾	kg	50,5	2.539,1
Fósforo ⁽²⁾	kg	70,0	879,9
Potássio ⁽²⁾	kg	70,0	473,9
Calcário ⁽²⁾	kg	1.600,0	1.888,0
Herbicidas ⁽²⁾	kg	5,0	2.093,1
Inseticidas ⁽²⁾	kg	1,0	364,2
Eletricidade ⁽¹⁾	kWh	1.634,2	6.370,56* (487,37)**
Homem/trabalho ⁽²⁾	h	6,7	14,5
Total			20.525,16

¹Fonte: EPE (2013); ²Fonte: JORDAN et al. (2012a). * valor referente a parte irrigada; **o valor referente a aparte de sequeiro

A tabela 11 apresenta a depreciação energética (DE) em MJ ha⁻¹ de cada implemento utilizado na condução do experimento do sorgo sacarino de acordo com a massa (kg), vida útil do equipamento (h) e seu tempo de uso (h).

Tabela 11. Depreciação energética em função do tempo de uso das máquinas e equipamentos agrícolas utilizados no cultivo do sorgo sacarino.

Máquinas	Massa (Kg)	Vu (h)	EE (MJ h-1)	TU (h)	DE (MJ ha ⁻¹)
Distribuidor de calcário	1.000 ⁽¹⁾	1.500 ⁽¹⁾	38,13	0,60	22,88
Arrado	1.000 ⁽²⁾	5.000 ⁽⁴⁾	11,44	0,40	4,58
Grade	1.200 ⁽²⁾	3.000 ⁽⁴⁾	22,88	1,54	35,23
Pulverizador	840 ⁽²⁾	1.500 ⁽⁵⁾	32,03	1,33	42,60
Trator (80 cv)	3.000 ⁽¹⁾	12.000 ⁽⁵⁾	17,45	4,67	81,49
Semeadora	2.000 ⁽²⁾	1.200 ⁽⁵⁾	95,33	0,80	76,27
Colhedora (335 cv)	16.400 ⁽³⁾	13.500 ⁽⁶⁾	84,83	2,00	169,60
Equipamento de irrigação	32.272	40.000 ⁽⁴⁾	46,15	845	422,30* (32,31)**
Total					854,95 (464,95)

¹Fonte: JORDAN et al. (2012a); ²Fonte: ASSENHEIMER et al. (2009); ³Fonte: www.deere.com.br; ⁴Fonte: CHECHETO et al. (2010); ⁵Fonte: PACHECO (2000); ⁶Fonte: BANCHI et al. (2008) Vu = vida útil; EE = Energia do equipamento; TU = tempo de uso ; DE = Depreciação energética; *valor referente a parte irrigada; ** valor referente a parte de sequeiro.

Após a quantificação da energia gasta em todo o período da condução do experimento, foi quantificado o gasto de energia em cada fase agrícola: pré-semeadura, semeadura, gestão, irrigação e colheita, tanto do tratamento irrigado como no de sequeiro (Tabela 12).

Tabela 12. Insumos energéticos por fase (irrigado e sequeiro).

Etapas	Fase Agrícola (MJ ha⁻¹)	
	Irrigado*	Sequeiro*
Pré-semeadura	4.019,39	4.019,39
Semeadura	3.358,32	3.358,32
Gestão da cultura	5.171,45	5.171,45
Irrigação	6.792,86	519,67
Colheita	2.037,03	2.037,03
Total	21.379,01	15.105,86

No tratamento irrigado observamos que a fase agrícola que mais exigiu energia foi a irrigação devido aos gastos de energia elétrica, seguido pela gestão da cultura, pré-semeadura, semeadura, e colheita. Já no tratamento de sequeiro observamos que a fase agrícola que mais exigiu energia foi a gestão da cultura, devido ao maior número de operações como o aplicação de herbicida, inseticida, adubação de cobertura (ureia), consumo de óleo diesel, seguida pela pré-semeadura, semeadura, colheita e irrigação. O gasto de energia no tratamento de sequeiro com irrigação se deu devido ao uso da aspersão convencional nos primeiros 30 dias da condução do experimento.

O total de insumo energético utilizado no tratamento irrigado foi 41,53% superior ao total de insumos energéticos utilizados no tratamento de sequeiro, apesar da diferença dos gastos de energia entre os tratamentos, observamos que a área que recebeu a suplementação de água, houve um aumento de produtividade em comparação a área de sequeiro em 70,92% em média nos genótipos. Isso mostra que a irrigação responde no requisito produtividade, fazendo dobrar a produção dos genótipos.

As Figuras 9 e 10 mostram as entradas de energia (%) por insumo na condução do experimento, como: óleo diesel, fertilizantes, defensivos, equipamentos, eletricidade e homens/trabalho.

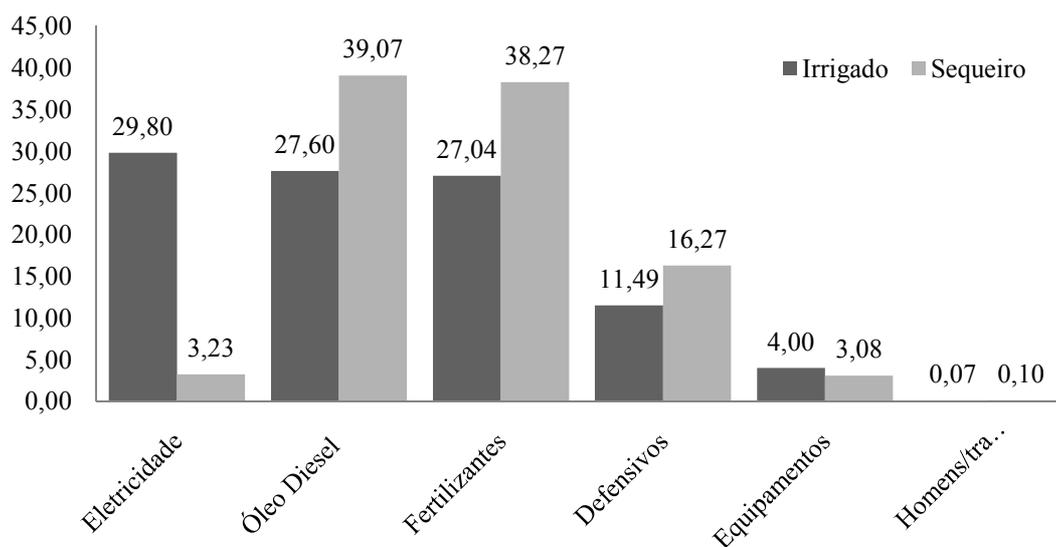


Figura 8. Entradas de energia por insumo para a produção do sorgo sacarino – irrigado e sequeiro.

Diferentes dos trabalhos conduzidos por CHECHETO et al. (2010) e JORDAN et al. (2012b) os fertilizantes não se mostraram os principais responsáveis pela entrada de energia no experimento, e sim a eletricidade no tratamento irrigado com 29,80% e o óleo diesel no tratamento em sequeiro com 39,07% (Figura 9 e 10).

A alta demanda de energia no tratamento irrigado se deu pelo alto consumo de eletricidade de uma motobomba a fim de manter uma lâmina de irrigação de $0,59 \text{ mm h}^{-1}$. O óleo diesel por sua vez ficou em segundo lugar seguido por fertilizante, defensivos, equipamentos e homens/trabalho.

Já alta demanda de óleo diesel no tratamento de sequeiro se deu em função do uso de equipamentos automotores como o trator e a colhedora. O trator de 80 cv consome em média $14,30 \text{ L ha}^{-1}$ e durante todo o manejo da cultura houve sua utilização por oito vezes: uma aplicação do calcário, uma arração, duas gradagens, semeadura e três aplicações de inseticidas e herbicidas. Já a colhedora de 342 cv, segundo Lyra, (2012) consome em média $52,72 \text{ L ha}^{-1}$ e como se trata da mesma colhedora usada na colheita de cana-de-açúcar, o consumo de óleo diesel se sobressaiu comparado as demais operações, sendo o consumo da colhedora 3,68 vezes maior que o consumo do trator. Assim, mostrando que a operação de colheita tem uma grande demanda de energia, devendo ser objeto de estudo, e podendo ser substituída por uma que demande um menor consumo. O fertilizante por sua vez ficou em segundo lugar, seguido por defensivos, eletricidade, equipamentos e homens/trabalho.

As Tabelas 13 e 14 mostram a produção de álcool e fibra de cada genótipo, e suas devidas conversões em energia (MJ ha^{-1}) e o balanço energético.

Tabela 13. Balanço de energia - fase agrícola irrigado.

Produção agrícola	BRS 506	CV 007	CV 147	EJ 7281
Álcool* (L ha^{-1})	4.470	3.760	3.977	3.904
Fibra (ton ha^{-1})	9,687	9,262	9,940	9,707
Produção de energia (MJ ha^{-1})				
Álcool**	95.389,80	80.238,40	84.869,18	83.311,36
Excedente de Fibra (5%)**	8.718,30	8.335,80	8.946,00	8.736,30
Fase agrícola (MJ ha^{-1})	21.379,05	21.379,05	21.379,05	21.379,05
Fase industrial (MJ ha^{-1})	3.150,93	3.002,70	3.311,85	3.180,57
Transporte – usina (MJ ha^{-1})	1.297,62	1.236,58	1.363,90	1.309,83
Balanço energético				
Álcool	3,69	3,13	3,44	3,22
Álcool + fibra (5%)	4,03	3,46	3,80	3,56

*Álcool = rendimento de 0,511 kg de etanol por kg de açúcar (Finguerut et al. 2008), ** Álcool = 21,34 MJ L^{-1} (EPE, 2013), ***Fibra = 18 MJ kg^{-1} (Tolmasquim 2009).

Tabela 14. Balanço de energia - fase agrícola sequeiro.

Produção agrícola	BRS 506	CV 007	CV 147	EJ 7281
Álcool* (L ha^{-1})	2.438	1.979	2.377	1.797
Fibra (ton ha^{-1})	5,849	5,331	6,042	5,101
Produção de energia (MJ ha^{-1})				
Álcool**	52.026,92	42.231,86	50.725,18	38.347,98
Excedente de Fibra (5%)	5.264,10	4.797,90	5.437,80	4.590,90
Fase agrícola (MJ ha^{-1})	15.105,86	15.105,86	15.105,86	15.105,86
Fase industrial (MJ ha^{-1})	1.833,80	1.838,05	2.015,93	1.710,97
Transporte – usina (MJ ha^{-1})	755,20	756,95	830,20	704,61
Balanço energético				
Álcool	2,94	2,39	2,83	2,19
Álcool + fibra (5%)	3,24	2,66	3,13	2,45

*Álcool hidratado = rendimento de 0,511 L de etanol por kg de açúcar (Finguerut et al. 2008), ** Alcool Hidratado = 21,34 MJ L^{-1} (EPE, 2013), ***Fibra (FIB) = 18 MJ kg^{-1} (Tolmasquim 2009).

A produção de etanol no tratamento irrigado foi superior ao tratamento de sequeiro, sendo para os genótipos BRS 506, CV 007, CV 147 e EJ 7281 um aumento de produção de 83,35%; 89,99%; 67,31% e 117,25% respectivamente. Como observado os genótipos responderam positivamente a irrigação, sendo a BRS 506 tanto nos tratamentos irrigado como de sequeiro, apresentando a maior produção (L ha^{-1}) de etanol comparado com os outros genótipos apresentados. Já a EJ 7281 apresentou a melhor resposta a irrigação produzindo 2,17 a mais de etanol quando comparado ao tratamento de sequeiro (Tabela 13 e 14).

Em relação ao balanço energético, o tratamento irrigado foi superior ao tratamento de sequeiro, sendo para os genótipos BRS 506, CV 007, CV 147 e EJ 7281 um aumento de 25,44%; 30,57%; 15,85% e 47,07% respectivamente. Tanto no tratamento irrigado quanto no sequeiro o genótipo BRS 506 apresentou a melhor resposta em comparação aos outros genótipos. Em uma média geral entre os tratamentos, a irrigação contribuiu positivamente no aumento do balanço energético, tendo um ganho de 28,60%.

Em comparação com o caso do etanol brasileiro, da cana-de-açúcar, onde a taxa de energia extraída de energia/fóssil utilizado é em torno de 8,3 (BNDES e CGEE, 2008), a relação obtida para o caso de álcool produzido a partir do sorgo sacarino ainda é baixo, comparado com a cana-de-açúcar, porém estudos apresentados pelo BNDES (2008) demonstram que, no caso da produção do etanol a partir do milho, o índice da relação de energia é de 1,3, e na cultura da mandioca, o índice de 1,76 (SALLA et al. 2009), sendo esses valores inferiores quando se falamos em sorgo sacarino, cuja média foi de 3,71 e 2,87 nos tratamentos irrigado e sequeiro respectivamente.

Para as outras culturas produtoras de biocombustíveis (biodiesel) como a soja e o girassol os valores de relação de energia foram de 3,95 e 2,37 respectivamente. Considerando a utilização da torta, a soja demonstra melhor desempenho energético, por apresentar maior produtividade, porém analisando apenas a obtenção do óleo o girassol mostra-se mais eficiente, por possuir mais óleo no grão (GAZZONI et al., 2005).

5. CONCLUSÕES

1. As características altura, diâmetro de colmo da planta são influenciadas positivamente com a utilização da irrigação.
2. O sistema irrigado incrementou a produtividade nos quatro genótipos de sorgo sacarino, levando a um aumento no rendimento e, conseqüentemente, na energia extraída sob a forma de álcool para todos os genótipos. No entanto, os ganhos de produtividade em resposta à irrigação eram mais pronunciados para BRS 506.
3. O impacto da irrigação no balanço energético dos 4 genótipos foi positivo, proporcionando aumento da relação entre a quantidade de energia extraída e a de energia empregada no cultivo, quando irrigado.
4. Em relação as entradas de energia, a eletricidade no tratamento irrigado e óleo diesel no tratamento de sequeiro foram as mais representativas dentre os insumos utilizados na produção do sorgo sacarino.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, F. A.; BELTRÃO, N. E. de M.; VALE, D. G. Análise energética do algodoeiro na agricultura familiar em diferentes regiões nos estados do Ceará e Mato Grosso do Sul. Campina Grande: EMBRAPA, 2007. 7p. **Circular Técnica**, n.116.

ALMEIDA, J. R. M.; FÁVARO, L. C. L.. Sorgo sacarino: tecnologia agronômica e industrial para alimentos e energia. Leveduras para produção de etanol de sorgo sacarino. **Agroenergia em revista**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2011. p. 29-30.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 111-116, 2011.

ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A. T.; GONÇALVES JÚNIOR, A. F. C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Ambiência. Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 5 n. 3, 2009.

BAHIA FILHO, A. F. C. ; GARCIA, J. C.; PARENTONI, S. N.; SANTANA, D. P.; CRUZ, J. C.; SCHAFFERT, R. E. Impulsionando a produção e a produtividade de milho e sorgo, no Brasil. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. v. 1 p.125-162, 2008.

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; ZAGO, C. A. Estudos dos custos com reparo e manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar II. **Revista AgriMotor**. n. 31, p. 12-13, 2008.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MULLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Water deficit and yield in maize crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 243-249, 2006.

BNDES; CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o desenvolvimento sustentável**. Coordenação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. 1º Edição, 2008. Disponível em < <http://www.bioetanoldecana.org/pt/download/bioetanol.pdf> >. Acesso em: Junho de 2014.

BOLONHEZI, A. C., GODOY, I. L., TEIXEIRA, E. B., SCHMITZ, G. A. F. E.; RIBEIRO, N. A. Ácidos húmicos e fúlvicos aplicados sobre soqueira de variedades de cana-de-açúcar com posterior incorporação em ambientes supressivos. In: **WORKSHOP AGROENERGIA - Matérias Primas**, VII, Ribeirão Preto, 2013. Anais...Ribeirão Preto, 2013.

BOODEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Produção de Biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Revista de Política Agrícola**. n. 1, p. 42-46, 2005.

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

BUCKERIDGE, M. S.; SANTOS, W. D.; SOUZA, A. P.; **As rotas para o etanol celulósico no Brasil**. Bioetanol de cana-de-açúcar para a produtividade e sustentabilidade. 1 ed. p. 365-380, 2010.

CAMACHO, R.; MALAVOLTA, E.; GUEIREIRO-ALVES, J.; CAMACHO, T. Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition. **Scientia Agrícola**, v.59, n. 4. p. 771-776, 2002.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agrossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, 2004.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINEHIRO, C. How plants cope with stress in the field: photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 907, 202.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 546-553, 2010.

CHIELLE, Z. G.; CHIELLE, M. C. P.; SOARES, G. J. Efeito da irrigação em duas cultivares de sorgo sacarino e quatro densidades de plantio em solos de várzeas. In. Reunião Técnica Anual do Milho e Sorgo. Pelotas. **Anais...** Pelotas: ABMS, 1984.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grão, décimo levantamento, julho de 2013**. Brasília: Conab, 2013a. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 15 jul. 2013, 22:20:00.

CONSECANA. **Regulamento dos negócios de compra e venda de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**: manual de instruções. Piracicaba, 1998. 16p. Apostila.

CRISPIM, J. E.; BANDIERA, V.; NONI, D.; MAY, F. Tipos de leveduras e qualidade da cachaça produzida. **Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI – Urussanga**, 2004. Disponível em: <http://www.jecrispim.com/cariboost_files/Fermenta_C3_A7_C3_A3o.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2013.

DONATELLI, M.; HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. Genotype and water limitation effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 781-786, 1992.

DURÃES, F. O. M.. Agroenergia em revista Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica. **Agroenergia em revista**. Brasília: Embrapa, 3. ed. p. 7, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Milho e Sorgo. **Sistemas de Produção de sorgo**, ed. 5, Sete Lagoas: Embrapa, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Milho e Sorgo. **Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa**. 1. ed. Sete Lagoas: Embrapa, 2012.

EMPRESA de PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional - Relatório Final 2012 ano base 2011**. Disponível em <<http://bem.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2012.aspx>>. Acesso em: 25 jan 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Site Institucional**. FAO, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Sweet Sorghum in China**. Rome. 2006.

FINGUERUT, J.; MEIRELLES, A. J. A.; GUIRARDELLO, R. e COSTA, A. C. Fermentação, hidrólise e destilação. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. e OLIVAREZ GÓMEZ, E. **Biomassa para energia**. Editora da Unicamp. Campinas, SP. 2008. Cap. 13, p. 435 a 473.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; SOUZA, J. L. M.; ZOCOLER, J. L. Análise de projetos de irrigação. In_. **Planejamento de irrigação**. Brasília: EMBRAPA, 2005.

GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N.; CORONATO, R. M. S.; RALISCH, R. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. **Biomassa e Energia**, v. 2, n. 4, p. 259-265. 2005.

GAZZONI, D. L.; FELIPE, P. H. N.; CORONATO, R. M. e S. **Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel**. 2006. Disponível em <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/agricultura/BalancoEnergetico.pdf>>. Acesso em 13 de Junho de 2014.

GOMES, E. P.; JORDAN, R. A.; MOTOMIYA, A. V. A.; PADUA, J. B.; BISCARO, G. A.; GEISENHOFF, L. O. Análise econômica e viabilidade energética da cultura do feijoeiro comum sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p. 835–842, 2013.

GUIMARÃES, F. B. Resistência dilatória à antracnose (*Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson) do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). 1996. 51 f. **Dissertação** (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1996.

HÜLSBERGEN, K. J.; FEIL, B.; BIERMANN, S.; RATHKE, G. W.; KALK, W. D.; DIEPENBROCK, W. A method of energy balancing in crop production and its application in a long term fertilizer trial. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.86, p.303-321, 2001.

JORDAN, R. A.; GOMES, E. P. BISCARO, G. A.. Impact of irrigation on yield and energy balance of the production of oil and cake of two sunflower varieties. **Engenharia Agrícola**. v. 32, n.6, p. 1048-1057, 2012a.

JORDAN, R. A.; GOMES, E. P.; BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. A.; GEISENHOF, L. Impacto energético da irrigação por gotejamento no cultivo de mamona. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, p.375-382, 2012b.

KAMPHORST, J. S. Quanto gasta seu trator. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, v.2, n. 24, p. 8- 11, 2003.]

KIDAMBI, S. P.; KRIEG, D. R.; ROSENOW, D. T. Genetic variation for gas exchange rates in grain sorghum. **Plant Physiology**. vol. 92, 1211-1214. 1990.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estud. av. [online]**. v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010. ISSN 0103-4014.

LEAL, M. R L.V. **Curso Internacional, energia na indústria de açúcar e álcool. Cana de açúcar como fonte de energia**. Centro de tecnologia Copersucar. Disponível em <www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/novidades/curso_cyted/files/pdf> 12/03/2009.

LEAL, M. R. L. V.; VALLE, T. L.; FELTAN, J. C.; CARVALHO, C. R. L. **Outras matérias-primas para a produção de etanol**. Bioetanol de cana-de-açúcar para a produtividade e sustentabilidade. 1. ed. p. 520-539, 2010.

LYRA, G. A. Consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da velocidade e rotação de motor. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 53p. 2012.

MACEDÔNIO, A. C.; PICCHIONI, S. A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985.

MACHADO, C.M.M. Agroenergia em revista. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. Produção de etanol de sorgo sacarino. **Agroenergia em revista**. Brasília: Embrapa, 3. Ed. p. 27, 2011.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Ecofisiologia da Produção de Sorgo. Sete Lagoas/MG: EMBRAPA Milho e Sorgo, 4 p, 2003 (**Comunicado Técnico 87**).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. Fisiologia da planta de sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 46 p. 2000. (Embrapa Milho e Sorgo. **Circular técnico 3**).

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

MELO, D. et al. Energetic balance of soybean and corn production systems in a farm of the west of Paraná, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 2, p. 173- 178, 2007.

MOREIRA, L. R. Caracterização morfológicas de cultivares de sorgo sacarino em estressa hídrico. **Tese** (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 90, 2011.

MOREIRA, L. R. Biocombustíveis: abastecer o debate sobre os rumos da política energética. **Revista Princípios**. São Paulo, ed. 105, p. 50-54, 2010.

NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.23, n.1, p.53-54. 2008.

PACHECO, E. P. Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21p. (**Documentos, 58**).

PENG, S. & KRIEG, D. R. Gas exchange traits and their relationship to water use efficiency of grain sorghum. **Crop Science**, v. 32, p. 386–391, 1992.

PEITER, M. X.; CARLESSO, R. Comportamento do sorgo granífero em função de diferentes frações de água disponível no solo. **Ciência Rural. Santa Maria**, v. 26, n.1, p. 51-55, 1996.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**, Library of Congress. Washington, D.C.: CRC Press, 1980.

PURCINO, A. A. C. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importâncias e usos. **Agroenergia em revista**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2011. p. 6.

REDDY, B. V. M.; ASHOK KUMAR, A.; RAMESH, S. **Sweet sorghum: a water saving bioenergy crop. International conference on linkages between energy and water management for agriculture in developing countries**, IWMI, ICRISAT campus Hyderabad, India, 2007.

RIBAS, P.M. **Sorgo: Introdução e importância econômica**. Embrapa Sete Lagoas/MG. p. 16, 2003. ISSN: 1518-4277.

RIBEIRO FILHO, N. M.; FLORÊNCIO, 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, M. L. C.; RIPOLI, **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba, edição de autores. 2004. 302p.

SALLA, D. A.; FURNALETO, F. P. B.; CABELLO, C.; KANTHACK, R. A. D. Avaliação energética na produção de etanol utilizando como matéria prima a cana-de-açúcar. **Revista Ciência Rural**, V. 39 N° 8, 2009.

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 605-658.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; IGNACZAK, J. C.; SHNEIDER, G. A. Conversão e Balanço Energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. **Revista Ciência Rural**, V. 31 N° 2, 2001.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; SPERA, S. T.; ÁVILA, A. Efeito de práticas culturais na conversão e no Balanço Energético. **Revista Bragantia**, V. 66 N° 2, 2007.

SATURNINO, H. M.; CHRISTOFIDIS, D.; COSTA, E. L.; REIS, J. B. S. Agricultura irrigada: Oportunidades e desafios. **Informe Agropecuário**, v.31, p.101-109, 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. p. 44-49, 1998.

SILVA, A.G. Desempenho de cultivares de sorgo forrageiro sob diferentes condições termofotoperiódicas. **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 174p. 2003.

SOUZA, C. C.; DANTAS, J. P.; SILVA, S. M.; SOUZA, V. C.; ALMEIDA, F. A. SILVA, L. E. Produtividade do sorgo granífero cv. sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo da cana-de-açúcar. **Ciência e tecnologia de alimentos**, Campinas, 25(3): 512-517, jul.-set. 2005.

TARDIN, F. D.; SANTOS, F. G.; RODRIGUES, J. A. S.; MAGUALÃES, J. V.; ALBULQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T.; QUEIROZ, L. R.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação dos genótipos de sorgo submetidos ao estresse hídrico após seu florescimento. In: **Congresso Nacional Milho e Sorgo**, 27, Londrina. AMBS, 2008.

TOLMASQUIM, M. T. **Civilização da biomassa - Matriz energética**. Disponível em <www.iea.usp.br/iea/online/midiateca/tolmasquimmatriz.pdf> em 12/03/2009.

UDOP – União de produtores de bioenergia. Rendimento de ATR no ano safra de 2012 – 2013. Disponível em <http://www.udop.com.br/download/estatistica/producao_estados/rendimento_atr_2012_2013.pdf> UDOP, 2013.

UNGER, P. W.; HOWELL, T. A. Agricultural water conservation: A global perspective. *J. Crop Production*, vol.2, p.1-36.1999.

VON PINHO, R. Z.; VASCONCELOS, R. C. Cultura do Sorgo. **Textos Acadêmicos**. Lavras: Editora UFLA. 2002. 75p.

VAN GENUCHTEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal, Madison*, v.44, p. 892-898, 1980.