

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – *CÂMPUS* RIO VERDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-  
AGRONOMIA

**ÉPOCA DE SEMEADURA E COMPACTAÇÃO DO SOLO  
NO SORGO SACARINO CULTIVADO NA SAFRINHA**

Autor: Wellington da Silva Guimarães Júnnyor  
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Rio Verde – GO  
Fevereiro – 2014

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – *CÂMPUS* RIO VERDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-  
AGRONOMIA

## **ÉPOCA DE SEMEADURA E COMPACTAÇÃO DO SOLO NO SORGO SACARINO CULTIVADO NA SAFRINHA**

Autor: Wellington da Silva Guimarães Júnnyor  
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde - Área de concentração Ciências Agrárias.

Rio Verde – GO  
Fevereiro – 2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
Elaborada por Izaura Ferreira Neta - Bibliotecária CRB1-2779**

G979e      Guimarães Júnnyor, Wellington da Silva.

    Época de semeadura e compactação do solo no sorgo sacarino cultivado na safrinha / Wellington da Silva Guimarães Júnnyor - 2014.

    55 f. : il., figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano.

    Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2014.

    Biografia.

    Inclui índice de tabelas e figuras.

    1. Sorgo sacarino. 2. Compactação do solo. 3 Semeadura. I. Título. II. Autor. III. Orientador.

CDU: 631.3/165

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**ÉPOCAS DE SEMEADURA E COMPACTAÇÃO DO SOLO  
NO SORGO SACARINO CULTIVADO NA SAFRINHA**

Autor: Wellington da Silva Guimarães Júnnyor  
Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de  
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 28 de fevereiro de 2014.

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carla Eloize Carducci  
Avaliadora externa  
UFSC/Câmpus Curitibanos

Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva  
Avaliador externo  
UniRV/Rio Verde

Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano  
Presidente da banca  
IF Goiano/RV

*Aos meus queridos pais, Welington da Silva Guimarães e Virginia Ap. de Paula Guimarães e a minha irmã Érika de Paula Guimarães, por todo o amor e dedicação para comigo, por terem sido a peça fundamental para que eu tenha me tornado a pessoa que hoje sou.*

*A minha namorada, Beatriz, pela amizade, carinho, amor, apoio e por se fazer presente em todos os momentos que precisei.*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, o centro da minha vida, por ter me sustentado em suas mãos para que eu não tropeçasse em meio as adversidades e provações.

Ao Instituto Federal Goiano - *Câmpus* Rio Verde, pela oportunidade da realização deste curso e em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-Agronomia e seus professores, pelos ensinamentos que permanecerão comigo, por toda a vida.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador Professor Dr. Eduardo da Costa Severiano, pela extraordinária orientação nestes quase quatro anos de convivência, pelos conselhos, pela confiança depositada e por ser exemplo de honestidade e integridade. Além da grande amizade construída, conte sempre comigo.

Ao meu coorientador Professor Dr. Alessandro Guerra da Silva, pelas valorosas colaborações e sugestões na avaliação deste estudo.

A Professora Dr<sup>a</sup>. Carla Eloize Carducci, membro da Banca Avaliadora, por sempre somar com seus conhecimentos, experiências e pela amizade e parceria construída, além de renunciar de seus compromissos para avaliar os resultados e apresentar sugestões a este trabalho.

Ao Professor Dr. Adriano Jakelaitis, pela coorientação e contribuições para o desenvolvimento e finalização deste trabalho.

A Professora Dr<sup>a</sup>. Kátia Pinho Costa, pela amizade, confiança e apoio durante todas as atividades de campo, quando liberava sua equipe de orientados para que me ajudassem.

Aos meus amigos de longa data e de Pós-Graduação, Renan Ullmann, Willian Marques e aos colegas de mestrado Vitor Vidal e Wilker Morais, pela amizade, convívio e principalmente pela força naqueles momentos de dificuldades.

Ao Amigo e Técnico do Laboratório de Física do Solo do IF Goianos Wainer Gomes Gonçalves, pela amizade e auxílio na condução do experimento.

Aos colegas e amigos dos Laboratórios de Física do Solo e Forragicultura e Pastagem do IF Goiano, Gean Maia, José Fausto, Adalto, Matheus Ribeiro, Valdivino, Patrick Bezerra, Welma, Daniel e Divino Junior que colaboraram de variadas formas para que este trabalho fosse concluído, além da valiosa amizade.

Aos alunos de Iniciação Científica Renata Andrade, Guilherme Custódio, Brendow Martins, Ingrid e Jordanny, pelo apoio e força para que os momentos de dificuldades fossem superados. O auxílio de vocês foi fundamental para a concretização deste projeto, serie eternamente grato.

Ao Gerente de Produção e amigo José Flávio Neto, pela ajuda e incentivo inestimáveis.

Aos meus amigos de longa data que durante esse período, sempre me deram força para continuar, Flávio Faria, João Paulo, Juliane Carvalho, Nathália Junqueira, Thiago Carvalho, Tássio Lemes e Victor Alves, obrigado pela confiança, amizade edificada e por todos os momentos compartilhados.

Ao amigo Professor Dr. Marco Antônio, pela amizade consolidada, incentivo e bom humor.

A amiga Liliane Martins, pela confiança, apoio e empréstimo da moenda de cana utilizada nas avaliações de Brix, e ao grande amigo Lázaro Roberto (Beto), pelo empréstimo do implemento utilizado no estudo.

A EMBRAPA Milho e Sorgo, pela gentil doação das sementes de utilizadas no experimento.

À Nova Fronteira Bioenergia, pela gentileza e disponibilidade em realizar as análises de qualidade industrial do material vegetal.

A todos os colegas de pós-graduação e àqueles que de alguma forma me ajudaram direta e indiretamente nestes anos de IF GOIANO.

Aos meus Avós, pelo carinho, incentivo e acreditar no meu potencial em todos os momentos.

Aos meus tios, pela atenção e apoio durante essa minha trajetória, em especial a tia Rejânia, pelo empréstimo da câmera digital utilizada na aquisição de imagens do experimento.

Enfim, agradeço à minha família, em especial a Welington, Virginia, Érika, Gregório, Evani, Antônio, pelo amor, dedicação, companheirismo e principalmente por incentivar os meus estudos em busca de um sonho. E um agradecimento especial a minha namorada Beatriz, pelo amor, apoio, auxílio e compreensão nesta etapa de minha vida.

MUITO OBRIGADO A TODOS.



## BIOGRAFIA DO AUTOR

WELLINGTHON DA SILVA GUIMARÃES JÚNNYOR, filho de Wellington da Silva Guimarães e Virginia Ap. de Paula Guimarães, nasceu no dia 19 de fevereiro de 1989, na cidade de Cachoeira Alta, Goiás.

Em agosto de 2007, iniciou no curso de Agronomia no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Câmpus* de Rio Verde, Goiás (IF Goiano), graduando no segundo semestre de 2011.

Em março de 2012, ingressou na pós-graduação em nível de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-Agronomia, no Instituto Federal Goiano – *Câmpus* de Rio Verde, sob a orientação do Professor Dr. Eduardo da Costa Severiano, concluindo em 28 de fevereiro de 2014.

## ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE APÊNDICES .....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES .....	xiv
RESUMO .....	xv
ABSTRACT .....	xvii
1. INTRODUÇÃO .....	19
1.1. Sorgo sacarino e sua contribuição à matriz energética brasileira .....	19
1.2. Intervalo Hídrico Ótimo como indicador de qualidade estrutural do solo.	21
1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25
2. OBJETIVOS .....	29
3. ÉPOCA DE SEMEADURA E COMPACTAÇÃO DO SOLO NO SORGO SACARINO CULTIVADO NA SAFRINHA.....	30
3.1. INTRODUÇÃO.....	30
3.2. MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
3.4. CONCLUSÕES .....	47
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1.</b> Caracterização química e física do solo cultivado com sorgo sacarino em Rio Verde-GO.....	32
<b>Tabela 2.</b> Complexo sortivo do Latossolo Vermelho distroférico cultivado com sorgo sacarino em Rio Verde-GO.....	33
<b>Tabela 3.</b> IHO e análise da frequência de $\theta$ dentro dos limites do IHO ( $F_{dentro}$ ) durante o ciclo do sorgo sacarino para as diferentes intensidades de tráfego, em um Latossolo Vermelho distroférico em Rio Verde-GO.....	42
<b>Tabela 4.</b> Médias dos valores obtidos para as variáveis produtivas e tecnológicas do sorgo sacarino cultivado no Latossolo Vermelho distroférico em Rio Verde-GO.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) (A) mensal e (B) diária durante o ciclo da cultura do sorgo sacarino, no município de Rio Verde, Goiás.....	36
<b>Figura 2.</b> Variação do conteúdo de água no solo ( $\theta$ ) com o incremento da Densidade do solo (Ds) nos limites críticos de capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ : -6 kPa), ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ : -1500 kPa), porosidade de aeração a 10% ( $\theta_{PA}$ ) e resistência do solo à penetração de 2,5 MPa ( $\theta_{RP}$ ) do Latossolo Vermelho distroférico em Rio Verde-GO, cultivado com sorgo sacarino em safrinha. A área hachurada representa o IHO; Dsc: densidade crítica ao desenvolvimento das plantas.....	37
<b>Figura 3.</b> Intervalo Hídrico Ótimo do Latossolo Vermelho distroférico em Rio Verde-GO, em função do tráfego de um trator agrícola e tara de 4,5 Mg. $T_0 = 0$ , $T_1 = 1$ , $T_2 = 2$ , $T_7 = 7$ e $T_{15} = 15$ passadas no mesmo lugar.....	38
<b>Figura 4.</b> Variação temporal do teor de água no solo durante o ciclo da cultura do sorgo sacarino em relação aos limites críticos do IHO em um Latossolo Vermelho distroférico em Rio Verde-GO. Ls: limite superior ( $\theta_{CC}$ , -6 kPa) e. Li: limite inferior ( $\theta_{PMP}$ , -1500 kPa ou $\theta_{RP,2,5}$ MPa) do IHO para o período de monitoramento.....	40
<b>Figura 6</b> Produtividade de colmos de sorgo sacarino em função dos níveis de compactação do solo e da época de semeadura. NS: Análise de variância da regressão não significativa.....	42

## ÍNDICE DE APÊNDICES

	Página
<b>Apêndice A.</b> Detalhes das etapas de condução do experimento.....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

$\theta$	----- conteúdo de água no solo ( $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ )
$\theta_{CC}$	----- conteúdo de água na capacidade de campo ( $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ )
$\theta_{PMP}$	----- conteúdo de água no ponto de murcha permanente ( $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ )
$\theta_{RP}$	----- conteúdo de água na resistência do solo à penetração ( $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ )
$\theta_{PA}$	----- conteúdo de água na porosidade de aeração a 10% ( $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ )
$^{\circ}\text{C}$	----- graus Celsius
%	----- por cento
AD	----- água disponível no solo
AMG	----- areia muito grossa
AG	----- areia grossa
AM	----- areia média
AF	----- areia fina
AMF	----- areia muito fina
$\text{Al}^{3+}$	----- alumínio
AR	----- açúcares redutores do caldo
ATR	----- açúcares totais recuperáveis
Aw	----- verão chuvoso
B	----- boro
$\text{Ca}^{2+}$	----- cálcio
$\text{CaCl}_2$	----- cloreto de cálcio
cm	----- centímetro
$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	----- centímol de carga por decímetro cúbico
$\text{CO}_2$	----- dióxido de carbono
CRP	----- curva de resistência à penetração
$\text{dm}^3$	----- decímetro cúbico
$\text{dm}^{-3}\cdot\text{dm}^{-3}$	----- decímetro cúbico por decímetro cúbico
Dp	----- densidade de partículas ( $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ )
Ds	----- densidade do solo ( $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ )
Dsc	----- densidade do solo crítica ( $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ )
Fe	----- ferro
Fdentro	----- frequência de ocorrência $\theta$ dentro da amplitude do IHO
F	----- fibra
$\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$	----- gramas por hectare

$g \cdot kg^{-1}$	-----	gramas por quilo
$H^+$	-----	hidrogênio
ha	-----	hectare
$H^+ + Al^{3+}$	-----	hidrogênio mais alumínio
IHO	-----	intervalo hídrico ótimo
$K_2O$	-----	óxido de Potássio
kPa	-----	kilopascal
Ki	-----	relação molecular ( $SiO_3/Al_2O_3$ )
Kr	-----	relação molecular [ $SiO_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ ]
$K^+$	-----	potássio
kg	-----	quilograma
$kg \cdot dm^{-3}$	-----	quilograma por decímetro cúbico
LI	-----	Limite inferior do Intervalo Hídrico Ótimo
LS	-----	Limite superior do Intervalo Hídrico Ótimo
Mg	-----	megagrama
$Mg^{2+}$	-----	magnésio
<i>m</i>	-----	saturação por alumínio
m	-----	metro linear
$m^3$	-----	metro cúbico
$mg \cdot dm^{-3}$	-----	miligrama por decímetro cúbico
$Mg \cdot m^{-3}$	-----	megagrama por metro cúbico
M.O.	-----	matéria orgânica
Mo	-----	molibdênio
MPa	-----	megapascal
NS	-----	não significativo
N	-----	nitrogênio
Na	-----	sódio
$P_2O_5$	-----	Pentóxido de Fósforo
pH	-----	potencial de hidrogênio da solução do solo
plantas.hectare <sup>-1</sup>	-----	plantas por hectare
P(Mel)	-----	fósforo Melich ( $mg \cdot dm^{-3}$ )
PC	-----	pol da cana
PT	-----	porosidade total do solo
Q	-----	pureza do caldo
RP	-----	resistência do solo à penetração
$r^2$	-----	coeficiente de determinação do ajuste
S	-----	pol do caldo
$T_0$	-----	tratamento com ausência de tráfego
$T_1$	-----	tratamento com 1 passadas de trator no mesmo lugar
$T_2$	-----	tratamento com 2 passadas de trator no mesmo lugar
$T_7$	-----	tratamento com 7 passadas de trator no mesmo lugar
$T_{15}$	-----	tratamento com 15 passadas de trator no mesmo lugar
v	-----	saturação por bases do solo

## RESUMO

GUIMARÃES JÚNNYOR, Wellingthon da Silva. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Câmpus* Rio Verde, Fevereiro de 2014. Época de semeadura e compactação do solo no sorgo sacarino cultivado na safrinha. Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano. Coorientadores: Dr. Alessandro Guerra da Silva e Dr. Adriano Jakelaitis.

Dentre as matérias-primas renováveis destinadas à produção de etanol, destaque especial vem sendo dado ao sorgo sacarino, destacando o fato de ser uma cultura totalmente mecanizável. Por outro lado, o uso intensivo de máquinas agrícolas tem provocado degradação estrutural do solo, principalmente quando realizada em condições inadequadas de umidade. O objetivo do presente estudo foi avaliar o cultivo de sorgo sacarino em condições de riscos climáticos definido pela época de semeadura em safrinha e potencializados pela compactação do solo. O experimento foi instalado no delineamento de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram avaliados cinco níveis de compactação obtidos através do tráfego de um trator agrícola nas seguintes intensidades de tráfego: 0 (ausência de compactação), 1, 2, 7 e 15 passadas no mesmo lugar. As subparcelas foram constituídas por três épocas de semeadura do sorgo sacarino na safrinha de 2013 (20/01, 17/02 e



16/03). Foi avaliada a qualidade física do solo, por meio do intervalo hídrico ótimo (IHO), a disponibilidade hídrica, além das variáveis produtivas e tecnológicas da cultura. O monitoramento do conteúdo de água no solo indicou condições hídricas estressantes ao sorgo sacarino em condições de intenso tráfego agrícola, tendo a produtividade associação direta com a disponibilidade hídrica do solo. Por sua vez a semeadura realizada em janeiro apresentou maior qualidade industrial e maior produtividade de colmos, com redução a partir da densidade do solo de  $1,26 \text{ kg dm}^{-3}$ . O cultivo do sorgo sacarino na safrinha é uma alternativa promissora, porém necessita de cautela quanto ao cultivo em condições de riscos climáticos acentuados, por causa da baixa produtividade de colmos.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.), IHO, disponibilidade hídrica, degradação ambiental, agroenergia.

## ABSTRACT

GUIMARÃES JÚNNYOR, Wellington da Silva. Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano - *Câmpus* Rio Verde, 2014, February. Season of seeding and soil compaction on sweet sorghum cultivation in the second season. Adviser: D. Sc. Eduardo da Costa Severiano. Co advisers: D. Sc. Alessandro Guerra da Silva and D. Sc. Adriano Jakelaitis.

Among the renewable raw materials for the production of ethanol, a special attention has been given to sweet sorghum, highlighting the fact of being a fully mechanized culture. Moreover, the intensive use of agricultural machines has caused soil degradation, requiring management strategies that minimize impacts on plant development. The aim of this study was to evaluate the sweet sorghum cultivation under conditions of climate risks defined by sowing in the second harvest and enhanced by soil compaction. The experiment was carried out in randomized complete block design in a split plot design with four replications. In the plots five levels of compaction obtained by farm tractor at the following traffic intensities were evaluated: 0 (absence compression), 1, 2, 7 and 15 passed at the same place. The sub plot consisted of three sowing dates of sorghum in the second harvest season in 2013 (20/01), (17/02) and (16/03). The soil physical quality was assessed by least limiting water range (LLWR) and water availability besides the production and technological variables of crop. The soil water content monitoring conditions indicated hydric stress in the sweet sorghum under conditions of intense traffic of agricultural machinery, taking the crop productivity at

direct association with water availability. In turn the sowing in January showed higher industrial quality and stems productivity with decrease from soil density of  $1.26 \text{ kg dm}^{-3}$ . The sorghum cultivation in the second harvest is a promising alternative, but needs caution about the cultivation on steep climatic conditions risk of due to low stem yield.

Key words: *Sorghum bicolor* (L.), LLWR, hydric availability, environmental degradation, agro-energy.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Sorgo sacarino e sua contribuição à matriz energética brasileira

A aceitação internacional do etanol como combustível e a lucratividade alcançada pelo setor sucroalcooleiro têm trazido euforia aos produtores de cana-de-açúcar, levando à criação de novas situações socioeconômicas, culminando à expansão da matriz energética renovável a outras culturas. Nesse contexto, o aumento na demanda mundial por fontes alternativas de energia retomou as atividades de pesquisa e produção com o sorgo, para produção de etanol (Tabosa, et. al., 2010).

Embora a produção de etanol de sorgo seja possível a partir da matriz amilácea presente nos grãos, atenção especial tem sido dada à produção a partir de matrizes açucaradas. Sorgo sacarino é o termo utilizado para descrever tipos de sorgo que apresentam altas concentrações de sólidos solúveis nos colmos e que podem produzir até 70 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa com sólidos solúveis variando de 16 até 23% (Almodares & Hadi, 2009).

Ao lado da cana-de-açúcar, que é tradicionalmente empregada na produção de etanol, o sorgo sacarino se apresenta como matéria-prima alternativa, com destaques agrônomico e industrial. Essas culturas se assemelham por armazenar açúcares fermentescíveis no colmo e, ainda, fornece bagaço para a indústria. Em contrapartida, o sorgo sacarino é cultivado a partir de sementes, apresentando um ciclo vegetativo curto (de 100 a 130 dias), produzindo ainda grãos em razão da possibilidade de uso na rebrota

da soqueira que podem ser utilizados na alimentação humana e animal, sendo uma opção economicamente viável (Souza, et. al., 2005).

A produção de etanol de sorgo sacarino se dá na mesma instalação utilizada na cana-de-açúcar. Por esse motivo, é proposto o seu cultivo em áreas de reforma de canaviais, que fornecem matéria-prima para a produção de etanol na entressafra de cana-de-açúcar no Brasil. A produção ocorre justamente quando a cana-de-açúcar não se encontra apta ao corte pela baixa qualidade industrial (Durães, 2011).

Diante disto, o mercado de sorgo sacarino está se tornando atrativo com novas empresas, trazendo novas capacidades, competências de ganhar margens melhores e recursos financeiros (Santos, 2011). A inserção e a expansão do sorgo sacarino em complemento à cana-de-açúcar para a produção de bioetanol e biomassa residual devem contemplar um plano de parceria público-privada, com instrumentos de políticas públicas e ações privadas que suportem adequado dimensionamento e expansão de safras, com produtividade e sustentabilidade (Durães et al., 2012).

Estas parcerias públicas e privadas buscam ações para otimizar os sistemas de produção do sorgo sacarino, avaliando o seu rendimento industrial. Observam-se resultados de 50 a 77 litros de etanol por tonelada de massa verde com ATR (Açúcares Totais Recuperáveis) variando de 80 a 127 kg de açúcar extraídos por tonelada de massa verde, utilizando a mesma tecnologia usada nas usinas (homologada pelo Consecana-SP).

Os parâmetros tecnológicos mais utilizados para determinação da qualidade da matéria-prima estão de acordo com o Manual de Instrução do Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (Consecana, 2006). O qual estabelece e relaciona normas de amostragem e determinações laboratoriais para estabelecer qualidade da matéria-prima. Dentre os parâmetros destacam-se:

- Brix (B) ou teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo;
- Pol do caldo (S) ou teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo;
- Pol da colmo (PC) ou teor de sacarose aparente por cento, em peso, de colmo;
- Pureza aparente do caldo (Q) ou porcentagem de pol do caldo em relação ao brix;
- Açúcares redutores do caldo (AR) ou teor de açúcares redutores (glicose e frutose, oriundos da hidrólise da sacarose) por cento, em peso, de caldo;

- Açúcares redutores da cana (ARC) ou teor de açúcares redutores por cento, em peso, de colmo;
- Fibra da cana (F) ou teor de material insolúvel em água, por cento, em peso, de colmo;
- Açúcar total recuperável (ATR) ou teor de açúcares totais (glicose, frutose e sacarose), em quilos por tonelada de colmo.

Para industrialização do sorgo sacarino, verifica-se que é possível ajustar a mesma estrutura para colheita e processamento da biomassa (moagem, fermentação e destilação) utilizada para cana-de-açúcar (Lima et al., 2011).

O atual cenário sucroalcooleiro e energético é bastante distinto dos tempos passados. As oportunidades para o setor incluir o sorgo sacarino, para produção de bioetanol são enormes, haja vista, que hoje o setor sucroalcooleiro conta com instituições bem estruturadas, mercados nacional e internacional demandantes por bioprodutos e biocombustíveis, materiais genéticos produtivos e outros em franco desenvolvimento, tecnologias agrônômicas e industriais competitivas (Durães et al., 2012).

## **1.2. Intervalo Hídrico Ótimo como indicador de qualidade estrutural do solo**

A produção agrícola empresarial no Brasil, baseada no uso intensivo de maquinário, de insumos e de variedades de plantas melhoradas, é relativamente recente. Por estarem inseridos em relevo predominantemente suavizado estes solos se tornam potencialmente aptos para o desenvolvimento da agricultura mecanizada. Baseando nisto, tem-se observado intenso uso de máquinas e equipamentos agrícolas em todas as etapas do processo produtivo (Cardoso et al., 2008; Silva et al., 2009).

Em adição, o impacto provocado pelo tráfego de máquinas sobre a estrutura do solo vem sendo negligenciado, aumentando a preocupação com o crescimento das áreas agrícolas compactadas (Severiano et al., 2013). Por sua vez, a compactação do solo tem sido apontada como um dos fatores primordiais de degradação da estrutura (Hamza & Anderson, 2005; Mosaddeghi et al., 2007) trazendo, como consequência, redução da capacidade produtiva (Reichert et al., 2009) e aumento dos processos erosivos (Krümmelbein et al., 2008).

Associado a esses fatos, ressalta-se que os solos da região do Cerrado são altamente suscetíveis à compactação (Ajayi et al., 2009; Severiano et al., 2011),

fazendo-se necessário um planejamento global com esforço coordenado para encontrar estratégias de manejo que minimizem os impactos negativos sobre a estrutura do solo.

A compactação do solo é decorrente da compressão do solo não saturado quando submetido a pressões aplicadas por qualquer maquinário em condições de elevada umidade do solo. De acordo com Stone et al. (2002), a compactação do solo é uma alteração estrutural em que ocorre a reorganização das partículas e de seus agregados, ocorrendo desta forma aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total e da macroporosidade do solo.

O uso de indicadores de qualidade do solo é sugerido para a quantificação das alterações das propriedades físicas (Imhoff, 2002; Horn, 2003; Oliveira et al., 2003; Lapen et al., 2004; Tormena et al., 2007; Severiano et al., 2009), particularmente as causadas pelas operações mecanizadas (Dias Junior et al., 2007; Silva et al., 2007).

Segundo Imhoff (2002), esta qualidade é intrínseca o solo, podendo ser inferida a partir de suas propriedades ou por observações indiretas. A qualidade física deve incluir atributos do solo relacionados com a sua capacidade em fornecer ar e água em proporções adequadas ao pleno desenvolvimento das plantas (Singer & Ewing, 2000).

Considerando que o manejo inadequado do solo provoca alterações nos seus atributos físicos, os quais interagem entre si, a utilização de indicadores de qualidade que integram mais de um atributo do solo melhor representam os efeitos da compactação sobre o desenvolvimento das plantas (Silva et al., 2006).

Pensando nisto, Silva et al. (1994) propuseram o “Least Limiting Water Range (LLWR)” como um indicador da qualidade estrutural do solo para a produtividade das culturas. Este modelo foi a adaptação do termo “Non-limiting Water Range” proposto por Letey (1985), sendo compreendida como Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) (Tormena et al., 1998). Esses autores avaliaram pela primeira vez no Brasil, o IHO em um Latossolo Roxo muito argiloso cultivado no sistema de plantio direto.

O Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) é um indicador de qualidade do solo, multifatorial, que engloba o déficit hídrico ou de oxigênio e a resistência mecânica do solo. Este parâmetro é considerado indicador de qualidade estrutural para o crescimento das plantas por abranger em torno de um único parâmetro, três fatores físicos que afetam diretamente a produtividade agrícola: água, ar e resistência à penetração do sistema radicular (Silva et al., 1994).

O risco de exposição das culturas às condições físicas inadequadas no solo depende da amplitude do IHO (Silva & Kay, 1997). Solos com estrutura preservada

apresentam restrições apenas em termos de déficit hídrico. Entretanto, quando a compactação atinge níveis excessivos, a aeração se torna deficiente em condições de elevados conteúdos de água, e a resistência do solo à penetração pode restringir o crescimento das plantas com o secamento do solo (Lapen et al., 2004). Nesse cenário, o IHO significa grande avanço nos estudos de biofísica, sendo o indicador de qualidade física e estrutural do solo que melhor se correlaciona com o crescimento das plantas (Tormena et al., 2007; Pereira et al., 2010).

Por sua vez, quando o conteúdo de água do solo fica fora dos limites do IHO durante o seu ciclo vegetativo, haverá menor crescimento radicular e da parte aérea (Silva & Kay, 1996; Collares et al., 2006), e conseqüentemente ocorrerá a redução na produtividade das culturas.

O IHO é definido como o conteúdo de água no solo em que não ocorrem limitações hídricas ao crescimento das plantas pela disponibilidade de água, aeração e resistência do solo à penetração das raízes (RP) (Tormena et al., 1998b, Leão et al., 2005; Silva et al., 2006). O parâmetro físico do solo que integra numa única medida os efeitos da estrutura do solo nos fatores físicos que diretamente influenciam o desenvolvimento vegetal.

A quantificação do IHO exige a determinação dos limites superiores e inferiores de água disponível às plantas. Os limites superiores são determinados pelo conteúdo de água no solo referente à capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) ou à porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ); e os limites inferiores, pelo conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) ou pelo conteúdo de água no solo que promove resistência do solo à penetração limitante ao desenvolvimento radicular ( $\theta_{RP}$ ).

Durante a determinação do IHO, para cada valor de densidade é calculado a sua amplitude. A  $D_s$  na qual o IHO assume o valor nulo é considerada como densidade crítica ao desenvolvimento das plantas ( $D_{sc}$ ), uma vez que, para qualquer conteúdo de água no solo, ocorrerá limitação física para o desenvolvimento das mesmas, por ocorrer nestes casos, o valor de densidade do solo que está relacionado às condições estruturais do solo, altamente restritivas para o crescimento radicular (Wu et al., 2003; Silva et al., 2006).

Para tanto, quando a  $D_s$  é maior que a  $D_{sc}$ , há graves problemas de degradação estrutural do solo (Blainski et al., 2009). Em suma a resistência à penetração é a propriedade física do solo que mais limita o IHO (Tormena et al., 2007; Zou et al.,



2000; Imhoff et al., 2001; Beutler et al., 2007), sendo considerado o fator de maior importância que restringe o crescimento radicular (Tormena et al., 1998b).

O emprego do IHO como índice da qualidade física do solo tem se difundido nos últimos anos. Diversos autores comprovaram que a compactação provoca a diminuição do IHO (Betioli Junior et al., 2012; Fidalski et al., 2013). Para Stefanoski et al. (2013) o IHO pode atuar como indicador do impacto das práticas de manejo adotadas sobre as condições físicas do solo. Segundo Reichert et al. (2003), as lavouras cultivadas em solos que apresentam menor IHO são mais susceptíveis à queda de produtividade por estresse hídrico do que àquelas cultivadas em solos com maior valor de IHO.

Conforme apresentado, o IHO tem se tornado indicador muito sensível as alterações na estrutura dos solos, e se mostrado um índice adequado na qualidade física de solos empregados no cultivo de diferentes espécies vegetais. Não se tem nenhuma informação quanto emprego do IHO no cultivo do sorgo sacarino em diferentes níveis de compactação.

### 1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; SOUZA, T. T.; INDA JUNIOR, A. V. Strength attributes and compaction susceptibility of Brazilian Latosols. **Soil and Tillage Research**, v. 105, p. 122-127, 2009.

ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, p. 772-780, 2009.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W.H.; TORMENA, C.A.; FERREIRA, C.J.B.; SILVA, A.P. da; GIAROLA, N.F.B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.971-982, 2012.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C; LEONEL C. L.; JOÃO, A. C. G. S.; FREDDI, O. S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.06 p. 1223-1232, 2007.

BLAINSKI, e.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V. & GUIMARÃES, R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num nitossolo vermelho distroférico irrigado **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.273-281, 2009.

CARDOSO V. M. F, LANÇAS K. P, SILVA, R. B. Sustentabilidade estrutural de um solo na região do Alto Paranapanema/SP, submetido a dois sistemas de cultivo. **Energia na Agricultura**, v. 23, p. 108-142, 2008.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1663-1674, 2006.

DIAS JUNIOR, M. S.; FONSECA, S.; ARAÚJO JUNIOR, C. F.; SILVA, A. R. Soil compaction due to forest harvest operations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p. 257-264, 2007.

DURÃES, G. S. **Concorrência ampliada dos produtos do sorgo sacarino na entresafra da cana-de-açúcar no Brasil**. In Agroenergia em revista. Ano II, n. 3, Agosto. 2011.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público-Privada: oportunidades, perspectivas e Desafios**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 138). 76 p, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Agroenergia. **Sorgo sacarino: Tecnologia Agrônômica e Industrial para Alimentos e Energia**. Agroenergia em revista. Ano II, n. 3, Agosto. 2011.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.. Intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distrófico, após o primeiro período de pastejo contínuo de brachiaria ruziziensis, em sistema integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 775-783, 2013.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. (Ed.). **Manual da Cultura do Sorgo**. Jaboticabal-SP, 2009. 202p.

HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, v. 82, p.121-145, 2005.

HORN, R. Stress-strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. **Geoderma**, v.116, p.77-88, 2003.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JUNIOR, M.S. & TORMENA, C.A. Quantificação das pressões crítica para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.11-18, 2001.

IMHOFF, S. D. C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 94p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2002.

KRÜMMELBEIN, J.; PETH, S.; HORN, R. Determination of pre-compression of a variously grazed steppe soil under static and cyclic loading. **Soil and Tillage Research**, v. 99, p. 139-148, 2008.

LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G.; CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil and Tillage Research**, v.78, p.151-170, 2004.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; PERFECT, E. & TORMENA, C.A. Na algorithm for calculating the least limiting water range of soils. **Agronomy Journal**, v. 97, p.1210-1215, 2005.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LIMA, A. M; SANTOS, D. T; GARCIA, J. C. **Viabilidade econômica e arranjos produtivos**. In Agroenergia em revista. Ano II, n. 3, Agosto. 2011.

MOSADDEGHI, M. R.; KOOLEN, A. J.; HEMMAT, A.; HAJABBASI, M. A.; LERINK P. Comparisons of different procedures of pre-compaction stress

determination on weakly structured soils. **Journal of Terramechanics**, v. 44, p. 53-63, 2007.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURTI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.291-299, 2003.

PEREIRA, F. S.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; ALMEIDA, C. X.; PEREIRA, F. S. Physical quality of an Oxisol cultivated with maize submitted to cover crops in the pre-cropping period. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.211-217, 2010.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, p. 242-254, 2009.

SANTOS, G. S. **Concorrência ampliada dos produtos do sorgo sacarino na entressafra da cana-de-açúcar no Brasil**. In Agroenergia em revista. Ano II, n. 3, Agosto. 2011.

SEVERIANO, E.C., OLIVEIRA, G. C., DIAS JUNIOR, M. D. S. D., CURTI, N., COSTA, K. A. P., & CARDUCCI, C. E. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v. 51, p. 193-202, 2013.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; CURTI, N.; DIAS JUNIOR, M. S. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 159-168, 2009.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; SILVA, F. G.; FERREIRA FILHO, S. M. Structural changes in Latosols of the Cerrado region: I – Relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 773-782, 2011.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, p.1775-1781, 1994.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. **Plant Soil**, 184:323-329, 1996.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of American Journal**, v. 61, p. 977-883, 1997.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Least Limiting Water Range of Soils. In: Lal, R. (Org.). **Encyclopedia of Soil Science**, v. 1, p. 1026-1029, 2006.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsoidação de dois Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 89-93, 2007.

SILVA, A. G.; BARROS, A. S.; SILVA, L. H. C. P.; MORAES, E. B.; PIRES, R.; TEIXEIRA, I. R. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, p. 168-174, 2009.

SINGER, M. & EWING, S. **Soil quality**. In: SUMMER, M.E., ed. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC, p.271-298, 2000.

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 de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, p. 512-517, 2005.

STEFANOSKI, D. C. SANTOS, G. G; MARCHÃO, R. L; PETTE, F. A & PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.17, p. 1301-1309, 2013.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro – 1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.207-212, 2002.

TABOSA, J. N.; REIS, O. V.; NASCIMENTO, M. M. A.; LIMA, J. M. P.; SILVA, F. G.; SILVA FILHO, J. G.; BRITO, A. R. M. B.; RODRIGUES, J. A. S. **O Sorgo Sacarino no Semi-Árido Brasileiro: Elevada Produção de Biomassa e Rendimento de Caldo**. In: **XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Goiânia: ABMS, p. 2179-2186, 2010.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998a.

TORMENA CA, ROLOFF G & SÁ JCM. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301- 309, 1998b.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31,p.211-219, 2007.

WU, L.; FENG, G.; LETEY, J.; FERGUSON, L.; MITCHELL, J.; MCCULLOUGH-SANDEN, B.; MARKEGARD, G. Soil management effects on the nonlimiting water range. **Geoderma**, v. 114, p. 401-414, 2003.

ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON, I. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.38, p.947-958, 2000.

## 2. OBJETIVOS

O presente estudo objetivou avaliar o efeito da compactação do solo e época de semeadura em safrinha na produtividade e qualidade industrial do sorgo sacarino.

### **3. INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO COMO INDICADOR DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO DO SORGO SACARINO CULTIVADO EM SAFRINHA**

#### **3.1. INTRODUÇÃO**

No cenário agroenergético brasileiro, a perspectiva de desenvolvimento sustentável tem como medida principal a diversificação de matérias-primas para produção de biocombustíveis (Stambouli et al., 2012). Dentre as fontes renováveis disponíveis para produção de bioetanol, destaque especial vem sendo dado à cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Atualmente a área cultivada de sorgo no país é de aproximadamente 802 mil hectares, sendo o estado de Goiás o maior produtor nacional (Conab, 2013).

O sorgo sacarino contém açúcares fermentáveis semelhante à cana-de-açúcar, podendo ser industrializado no mesmo complexo sucroalcooleiro. Trata-se de uma planta de ciclo curto, de fácil mecanização com uso do mesmo maquinário utilizado na cultura da cana e, ainda, possibilita o cultivo na entressafra do cultivo de cana, amenizando os efeitos da estacionalidade da produção de etanol. Todos estes fatores colocam o sorgo sacarino em posição de destaque como cultura promissora na produção de biomassa energética (Souza, 2011).

Por se tratar de uma planta com elevada adaptabilidade às condições edafoclimáticas (Mariguele & Silva, 2002), torna-se apta ao cultivo em regiões ou

épocas do ano com distribuição irregular de chuvas, como é o caso da segunda safra na região do Cerrado. Considerando a amplitude da época de semeadura, o que flexibiliza a implantação em sucessão a culturas de verão (Pale et al., 2003), o sorgo vem sendo cultivado no sudoeste de Goiás quando a época de semeadura do milho, principal cultura de safrinha, é considerada inadequada para obtenção de altos rendimentos de grãos (Coelho et al., 2002).

Dessa forma, a geração de tecnologias de produção de biomassa açucarada em condições de déficit hídrico é necessária para subsidiar tomadas de decisões em relação a data limítrofe de semeadura para explorar o potencial produtivo da cultura (Magalhães et al., 2000). Neste contexto, o emprego do sorgo sacarino na safrinha pode contribuir para a diversificação de culturas em sistemas tradicionais de produção de grãos, não convertendo, completamente, os sistemas de produção de alimentos em sistemas agroenergéticos para produção de biocombustíveis.

Nesses sistemas de produção, o intenso tráfego de máquinas agrícolas têm elevado a compactação do solo, proporcionando um ambiente desfavorável ao desenvolvimento das culturas (Secco et al. 2009; Kunz et al. 2013), ocasionando assim a redução da capacidade produtiva (Reichert et al., 2009). Por esse motivo, tem aumentado a preocupação com o crescimento das áreas agrícolas com problemas de degradação, fazendo-se necessário um planejamento global para encontrar estratégias de manejo que minimizem os efeitos negativos sobre a estrutura do solo (Severiano et al. 2013).

Considerando que o manejo inadequado do solo provoca alterações nos seus atributos físicos, os quais interagem entre si, a avaliação das alterações estruturais através de indicadores de qualidade que integram mais de um atributo do solo melhor representa os efeitos da compactação sobre o desenvolvimento das plantas. O Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) é utilizado como indicador de qualidade do solo, multifatorial, que define o conteúdo de água no solo em que não ocorrem limitações hídricas ao crescimento das plantas em função da disponibilidade de água, aeração e resistência do solo à penetração das raízes, esse parâmetro físico do solo integra numa única medida os efeitos da estrutura do solo (Silva et al., 2006; Lima et al.; 2009).

Por esse motivo, o IHO tem se mostrado um índice adequado na verificação da qualidade física de solos empregados no cultivo de diferentes espécies vegetais. Contudo, há inexistência de informações quanto ao seu uso no cultivo do sorgo sacarino



em diferentes níveis de compactação associados a condições de limitação hídrica ao desenvolvimento das plantas, como na safrinha na região dos cerrados.

Sendo assim, este trabalho teve por objetivo avaliar o cultivo de sorgo sacarino em condições de riscos climáticos definido pela época de semeadura em safrinha e potencializados pela compactação do solo.

### 3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado a campo no município de Rio Verde-GO (17°48'34,25"S; 50°54'05,36"W; e 731 m de altitude) em área recoberta por um Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 2013). A caracterização química e física do solo é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização química e física do solo cultivado com sorgo sacarino em Rio Verde-GO.

Dp (kg dm <sup>-3</sup> )	Granulometria							Ataque sulfúrico			Ki	Kr
	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
2,80	1	15	154	141	53	195	441	4,06	20,36	20,40	0,34	0,21

Valores médios para a profundidade de 0-20 cm; Dp: Densidade de partículas; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; Ki: relação molecular (SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); Kr: relação molecular SiO<sub>2</sub>: (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). A granulometria foi determinada por tamisagem e pelo método da pipeta e a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 2011).

O clima da região foi classificado, de acordo com Köppen, como sendo Megatérmico ou Tropical Úmido (Aw), do subtipo Tropical de Savana, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual da região é de 25°C e a média pluviométrica anual de aproximadamente 1.600 mm, com a máxima precipitação em janeiro e menores valores registrados em junho, julho e agosto (< 50 mm mês<sup>-1</sup>).

O preparo do solo da área experimental foi realizado por meio de duas operações de subsolagens cruzadas a 0,40 m de profundidade, uma aração e duas gradagens a 0,20 m de profundidade, para que fosse eliminado o histórico de tensão do solo.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC), em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, de dimensões de 15,0 m de comprimento e 6,3 m de largura, foram avaliados cinco níveis de compactação obtidos através do tráfego de um trator agrícola com tara de 4,5 Mg. O

conjunto de rodados utilizados no momento da aplicação dos tratamentos foi formado por dois pneus dianteiros e traseiros. Os pneus dianteiros foram diagonais, com as seguintes características técnicas: dianteiros: 14,9-24,0; traseiros: 18,4-34,0, com pressão de inflação de 95 e 165 kPa, respectivamente.

Para ocasionar a compactação do solo, utilizaram as seguintes intensidades de tráfego: T<sub>0</sub>: ausência de compactação; T<sub>1</sub>: uma passada; T<sub>2</sub>: duas passadas; T<sub>7</sub>: sete passadas; e T<sub>15</sub>: quinze passadas do trator no mesmo lugar, perfazendo toda a superfície do solo da parcela dos respectivos tratamentos experimentais. Estes tratamentos de tráfego foram aplicados quando o conteúdo de água no solo se encontrava próximo da capacidade de campo, ocasionado pela precipitação ocorrida no mês de janeiro antes da implantação do ensaio, conforme procedimentos descritos por Beutler et al. (2007).

As subparcelas, compostas por 10 linhas espaçadas de 0,70 m entre si e 5,0 m de comprimento, totalizando 31,5 m<sup>2</sup>, foram constituídas por três épocas de semeadura do sorgo sacarino na safrinha de 2013, com intervalo de 25 dias e início em 20 de janeiro e as demais em 17 de fevereiro e 16 de março. A variedade utilizada foi a BRS 506, desenvolvida pela Embrapa Milho e Sorgo.

Para a adubação de semeadura, foram utilizados 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 1 kg ha<sup>-1</sup> de B e 0,15 kg ha<sup>-1</sup> de Mo, utilizando como fontes sulfato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio, ácido bórico e molibdato de sódio, respectivamente. Foi aplicado em cobertura 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia, parcelada em duas aplicações aos 15 e 45 dias após a emergência (DAE), segundo recomendação baseada na análise da fertilidade do solo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Complexo sortivo do Latossolo Vermelho distroférico cultivado com sorgo sacarino em Rio Verde-GO<sup>(1)</sup>.

Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	P	K <sup>+</sup>	v <sup>(2)</sup>	m <sup>(3)</sup>	M.O. <sup>(4)</sup>	pH (CaCl <sub>2</sub> )
----- cmolc dm <sup>-3</sup> -----				----- mg dm <sup>-3</sup> -----		----- % -----	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
4,73	2,21	0,00	4,37	12,33	210,33	62,85	0,0	41,33	5,2

<sup>(1)</sup> 20 cm de profundidade; <sup>(2)</sup> v: saturação por bases; <sup>(3)</sup> m: saturação por alumínio; <sup>(4)</sup> M.O.: matéria orgânica. P: determinado pelo extrator Mehlich. O complexo sortivo foi determinado conforme a metodologia descrita pela Embrapa (2011).

Inicialmente foi utilizada uma semeadora para abertura dos sulcos e aplicação do fertilizante. A semeadura foi realizada manualmente, a 2 cm de profundidade. Aos 15 dias após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando o equivalente à população de 128.500 plantas por hectare, conforme recomendações de May et al. (2012). Durante

o todo o ciclo da cultura, todos os tratos culturais foram executados manualmente, evitando o tráfego de máquinas nas parcelas.

Em todas as subparcelas, coletaram amostras de solo, com estrutura preservada, com auxílio do amostrador tipo Uhland aos 100 DAE, no centro da entrelinha de cultivo, considerando a diagonal e distando 5,0 m um dos outros, com os pontos extremos a 1,5 m da borda limítrofe da parcela. As amostras foram acondicionadas em cilindros de alumínio de 0,064 m de diâmetro e 0,05 m de altura nas profundidades de 0 a 0,05, 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, totalizando 360 amostras. Coletaram ainda amostras deformadas, utilizadas para caracterização física do solo (Tabela 1) e na determinação do ponto de murcha permanente (potencial matricial de -1,5 MPa) pelo uso do Extrator de Richards (Embrapa, 2011).

No laboratório, as amostras foram preparadas, retirando o excesso de solo das arestas dos cilindros de alumínio. Na sequência, as amostras foram saturadas em bandejas, através da elevação gradual de lâmina de água destilada, e submetidas ao potencial mátrico de -0,006 MPa até atingir o equilíbrio hidráulico. Nesta situação o conteúdo de água obtido foi considerado como equivalente à microporosidade e a capacidade de campo do solo (Embrapa, 2011; Severiano et al., 2011).

Posteriormente foram ajustadas os conteúdos de água no solo variando de 0,03 a 0,36  $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ , para então serem submetidas ao teste de penetrometria. Neste, utilizou-se um penetrômetro de bancada, dotado de variador eletrônico de velocidade e sistema de registro de dados (Severiano et al., 2008). As amostras foram posicionadas no penetrômetro de forma que a ponta cônica deslocasse ao longo do eixo longitudinal no centro dos cilindros. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 48 horas para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ) (Blake & Hartge, 1986). A porosidade total (PT) foi determinada pela equação  $PT = 1 - (D_s/D_p)$ , sendo  $D_p$  considerada como a densidade de partículas.

A curva de resistência à penetração (CRP) foi obtida ajustando os valores de resistência à penetração (RP) em função do conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ) e da  $D_s$ , por meio do modelo não linear proposto por Busscher (1990), conforme a equação 1:

$$RP = 0,32\theta^{-0,56}D_s^{5,07}; R^2 = 0,77 ** \quad \text{Eq. (1)}$$

O IHO foi determinado de acordo com os procedimentos descritos em Silva et al. (1994), considerando como limites superiores (LS) o conteúdo de água no solo retido

no potencial matricial de -0,006 Mpa, a capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ), ou aquele em que a porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ) é de 10 % (Grable & Siemer, 1968), calculado para cada amostra pela equação  $\theta_{PA} = PT - 0,1$ .

Como limites inferiores (LI), o conteúdo de água retido no potencial de -1,5 MPa foi considerado como sendo o ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) e/ou o conteúdo de água correspondente à resistência à penetração de 2,5 MPa ( $\theta_{RP}$ ), determinados através da Eq. 1. O IHO foi obtido ajustando-se os limites do conteúdo de água no solo em função da  $D_s$ , sendo o limite superior o menor valor entre  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PA}$ , e o limite inferior o maior valor entre  $\theta_{PMP}$  e  $\theta_{RP}$ , considerando os valores médios da camada de 0 a 0,20 m.

Após a semeadura do sorgo sacarino, iniciou-se o monitoramento diário do conteúdo de água no solo ( $\theta$ ) estendendo-se até a maturação fisiológica de cada época, ou seja, entre os dias 20/01 a 20/05, 17/02 a 17/06 e 16/03 a 15/07 para as semeaduras realizadas em janeiro, fevereiro e março, respectivamente, na camada de solo de 0 a 0,20 m. A amostragem foi realizada utilizando um amostrador semiautomático de solo elétrico, com realização da amostragem sempre pelo período da manhã. As amostras foram embaladas em sacos plásticos e conduzidas ao laboratório para determinação da umidade por gravimétrica (Embrapa, 2011).

O monitoramento da umidade do solo foi dividido de acordo com a fenologia da planta em fase vegetativa (FV) e de maturação (FM) do sorgo sacarino, com duração média de 0 a 74 e 74 a 120 dias após a semeadura, respectivamente. Os limites do IHO foram considerados como parâmetro de referência na determinação da frequência de ocorrência de  $\theta$  dentro da amplitude de água disponível durante o ciclo da cultura ( $F_{dentro}$ ) (Silva e Kay, 1997).

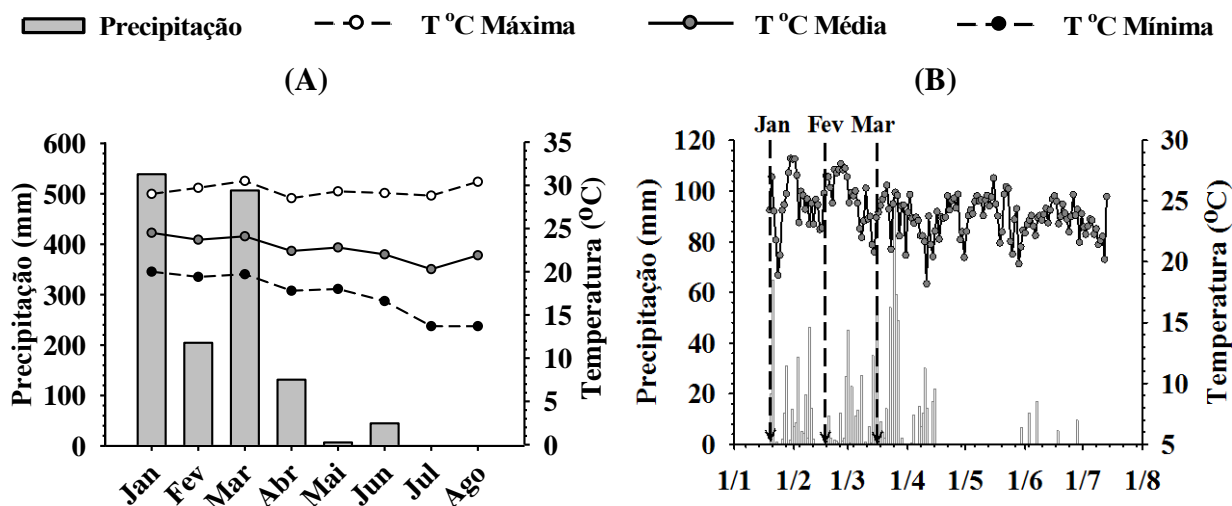
A avaliação da produtividade de colmos foi realizada aos 120 DAE, quando o sorgo sacarino se encontrava-se no ponto máximo de maturação (20 de maio, 17 de junho e 15 de julho para as semeaduras de janeiro, fevereiro e março, respectivamente). O corte foi realizado nas duas linhas centrais com o auxílio de uma roçadeira costal, realizado a 0,5 m do nível do solo, separando folhas e panículas. Em seguida, foram pesados em balança digital tipo dinamômetro, com precisão de 0,02 kg e com capacidade de 50 kg, cujo valor foi extrapolado para  $Mg\ ha^{-1}$ .

Para as análises industriais, foram coletados 10 colmos por subparcelas para determinação das variáveis tecnológicas do sorgo sacarino. Os colmos foram enviados ao Laboratório de Sacarose da empresa Nova Fronteira Bioenergia, em Quirinópolis-

GO. Tendo em vista a finalidade sucroalcooleira do sorgo sacarino, determinaram os seguintes parâmetros de qualidade industrial: brix (B), pol do caldo (S), pol do sorgo (PC), pureza do caldo (Q), açúcares totais recuperáveis (ATR), fibra do sorgo (F), e açúcares redutores do caldo (AR). O caldo foi extraído pelo método da prensa hidráulica (Tanimoto, 1964) e analisado de acordo com as metodologias propostas por Consecana (2006).

Os detalhes das etapas de condução do experimento podem ser visualizados no apêndice A.

Durante a condução do experimento, foram monitoradas a temperatura e a precipitação pluviométrica, cujos resultados são mostrados na Figura 1.



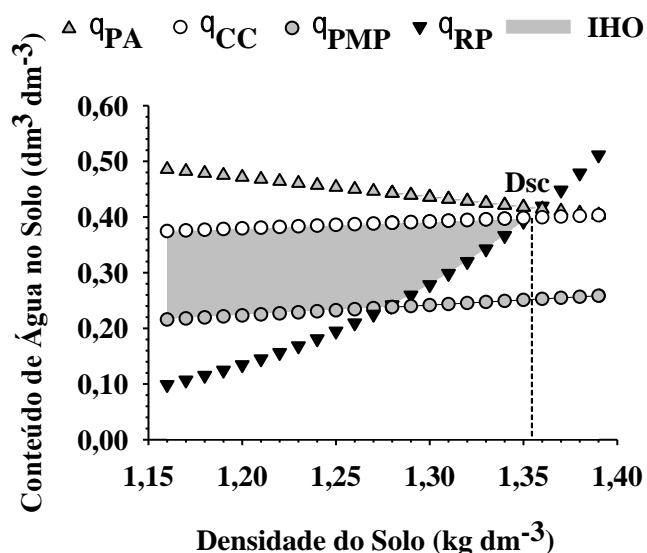
**Figura 1.** Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) (A) mensal e (B) diária durante o ciclo da cultura do sorgo sacarino, no município de Rio Verde, Goiás.

Os resultados dos atributos físicos do solo e das variáveis produtivas e tecnológicas do sorgo sacarino foram submetidos à análise de variância, ajustando modelos de regressão em função da Ds e uso de teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação das épocas de semeadura, quando constatada significância.

### 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre o conteúdo de água e a Ds considerando os limites críticos do IHO é apresentada na Figura 2, sendo a área hachurada a representação do IHO. A partir desta análise, torna-se relevante a visualização das modificações do IHO em função da Ds, antecipando os possíveis efeitos de incrementos ou redução na Ds.

O  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$  foram positivamente relacionados com a  $D_s$ , embora a disponibilidade hídrica variasse pouco, pois os limites permanecem praticamente equidistantes. Isto pode ser atribuído a maior quantidade de partículas disponíveis para a retenção de água por unidade de volume de solo, corroborando com resultados obtidos por Magalhães et al. (2009) e Betioli Júnior et al. (2012).



**Figura 2.** Variação do conteúdo de água no solo ( $\theta$ ) com o incremento da Densidade do solo ( $D_s$ ) nos limites críticos de capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ : -6 kPa), ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ : -1500 kPa), porosidade de aeração a 10% ( $\theta_{PA}$ ) e resistência do solo à penetração de 2,5 MPa ( $\theta_{RP}$ ) do Latossolo Vermelho distroférico em Rio Verde-GO, cultivado com sorgo sacarino em safrinha. A área hachurada representa o IHO; Dsc: densidade crítica ao desenvolvimento das plantas.

Por outro lado, a variação da  $D_s$  teve grande impacto sobre a  $\theta_{RP}$  e  $\theta_{PA}$ . Com o aumento da  $D_s$ , ocorreu um acréscimo no teor de água necessário para manter a resistência à penetração em valores não limitantes ao desenvolvimento das plantas ( $\theta_{RP}$  de 2,5 MPa), bem como decréscimo do teor de água para manter a porosidade de aeração adequada ( $\theta_{PA}$  de 10%) (Figura 2).

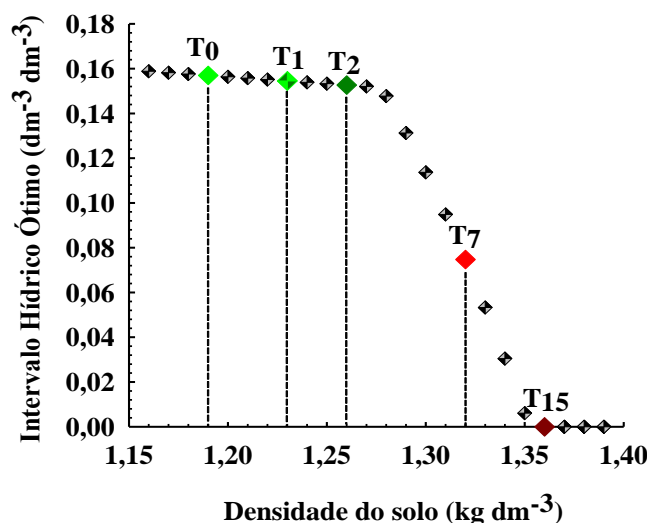
Até a  $D_s$  de  $1,27 \text{ kg dm}^{-3}$ , o IHO foi igual a água disponível (AD) e após essa, o  $\theta_{RP}$  foi o fator limitante, substituindo o  $\theta_{PMP}$  inferior, proporcionando valores de IHO menores que o de água disponível, apresentando relação negativa com a  $D_s$ . Isto caracterizou o solo como fisicamente limitante ao adequado crescimento das plantas. Resultados similares foram encontrados por Lima et al. (2012) e Gonçalves et al. (2014), permitindo inferir que em solos tropicais, notadamente em Latossolos, a RP é a principal variável associada com a redução do IHO (qualidade física do solo).

Para o limite superior do IHO, o valor de  $\theta_{PA}$  manteve-se acima da  $\theta_{CC}$  para  $D_s$  até  $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$  (Figura 2). Estes resultados demonstram que problemas relativos à anoxia ocorrerão somente quando a estrutura do solo estiver extremamente degradada (elevado nível de compactação), ou ainda em escala temporal relativamente curta, no período em que o conteúdo de água no solo se encontrar acima da capacidade de campo, dado o comportamento dinâmico da água no solo (Severiano et al., 2011).

Ressalta-se que o valor de  $D_s$  em que o IHO tornou-se nulo foi de  $1,36 \text{ kg dm}^{-3}$  (densidade crítica -  $D_{sc}$ ) (Figura 2). Nestas condições, esperam-se limitações físicas para o desenvolvimento das plantas em quaisquer conteúdo de água no solo, devido à condições estruturais altamente restritivas para o crescimento radicular. Reichert et al. (2009) relataram que em solo com características semelhantes ao deste trabalho, a  $D_{sc}$  varia entre  $1,30$  a  $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$ .

Neste estudo foi possível constatar a posição de cada nível de tráfego dentro do IHO para a profundidade estudada (0 a 0,20 m) (Figura 3). Observa-se que em todos os tratamentos, a exceção de  $T_{15}$ , os valores de  $D_s$  são inferiores à  $D_{sc}$  ( $T_{15} = D_{sc}$ ).

Nas intensidades de tráfego  $T_0$ ,  $T_1$  e  $T_2$  ( $D_s \leq 1,27 \text{ kg dm}^{-3}$ ), os limites superior e inferior foram, respectivamente, o  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$ , correspondendo ao conteúdo de água disponível (AD), não demonstrando, portanto, condições de degradação estrutural do solo. Nota-se ainda que o aumento da  $D_s$  promoveu redução do IHO, acentuando após a substituição do  $\theta_{PMP}$  no limite inferior pelo  $\theta_{RP}$  (Figura 3). O IHO atingiu 100 % de redução com no tratamento com maior nível de compactação ( $T_{15}$ ), enquanto o  $T_7$  ( $D_s = 1,32 \text{ kg dm}^{-3}$ ) houve redução de 52%.



**Figura 3.** Intervalo Hídrico Ótimo do Latossolo Vermelho distroférrico em Rio Verde-GO, em função do tráfego de um trator agrícola e tara de 4,5 Mg.  $T_0 = 0$ ,  $T_1 = 1$ ,  $T_2 = 2$ ,  $T_7 = 7$  e  $T_{15} = 15$  passadas no mesmo lugar.

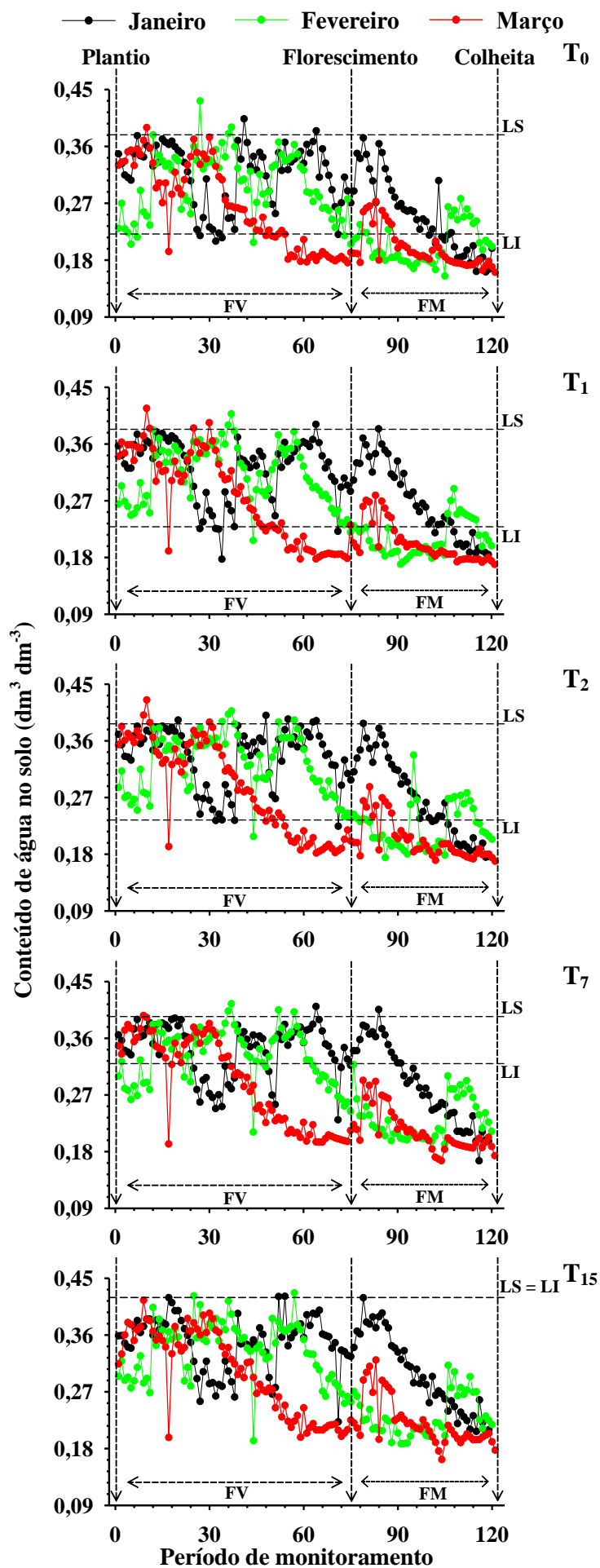
O monitoramento do conteúdo de água do solo em função dos limites críticos do IHO em função das fases de desenvolvimento do sorgo sacarino (fases vegetativa - Fv e maturação - Fm) é demonstrado na Figura 4.

Por meio da análise da variação temporal do conteúdo de água no solo verificou que, em decorrência da compactação do solo, houve redução na proporção de  $\theta$  dentro dos limites do IHO em todas as épocas estudadas, acentuando-se com o atraso na data de semeadura (janeiro < fevereiro < março).

Observa-se ainda que o limite superior (LS) do IHO pouco influenciou a disponibilidade hídrica, independente do grau de compactação avaliado. No entanto os problemas de anoxia foram pontuais ocasionados após elevadas precipitações, atingindo valores inferiores a esse limite nas avaliações seguintes. Estes resultados confirmam a pequena limitação na difusão de oxigênio no solo e respiração do sistema radicular (Blainski et al., 2009) (Figura 4).

Por outro lado, os limites inferiores ( $\theta_{PMP}$  em  $T_0$ ,  $T_1$  e  $T_2$ ;  $\theta_{RP}$  em  $T_7$  e  $T_{15}$ ) do IHO ocasionaram maiores restrições hídricas em todos os tratamentos. Como ressaltado anteriormente, o IHO tornou-se nulo em  $T_{15}$  (LS = LI) e a ocorrência do  $\theta < \theta_{RP}$  caracterizou a totalidade dos pontos de umidade fora dos limites do IHO em todas as épocas de cultivo do sorgo sacarino. Nessas condições as plantas estão sujeitas a severas restrições físicas do solo, provocada pela elevada resistência à penetração ou pelo baixo conteúdo de água no solo.





**Figura 4.** Variação temporal do teor de água no solo durante o ciclo da cultura do sorgo sacarino em relação aos limites críticos do IHO em um Latossolo Vermelho distroférrico em Rio Verde-GO. Ls: limite superior ( $\theta_{CC}$ , -6 kPa) e Li: limite inferior ( $\theta_{PMP}$ , -1500 kPa ou  $\theta_{RP,2,5}$  MPa) do IHO para o período de monitoramento.

A ocorrência do estresse hídrico durante o ciclo do sorgo sacarino pode ser quantificado através da frequência percentual de ocorrência do conteúdo de água no solo dentro dos limites de IHO (Fdentro) para o período avaliado (Tabela 3). Para uma mesma intensidade de tráfego, as sementeiras de janeiro e fevereiro apresentaram as maiores frequências de  $\theta$  dentro dos limites do IHO no desenvolvimento vegetativo do sorgo. Na maturação houve decréscimo da disponibilidade hídrica à cultura com o atraso da sementeira, exceto para T<sub>15</sub>, cujo estresse hídrico em decorrência da degradação da estrutura do solo permaneceu durante todo o ciclo da cultura.

Em contrapartida, à medida em que atrasou a época de sementeira, as condições hídricas se tornaram mais limitantes para o desenvolvimento do sorgo sacarino, independente da compactação do solo, com destaque para a sementeira realizada em março. Nessas condições, a partir dos 45 dias de implantação da cultura houve a ocorrência expressiva de pontos de umidade fora dos limites do IHO. Isto se deve, principalmente, a menor ocorrência de precipitações durante o ciclo de cultivo (Figura 1), independente, do nível de compactação do solo.

**Tabela 3.** IHO e análise da frequência de  $\theta$  dentro dos limites do IHO (Fdentro) durante o ciclo do sorgo sacarino para as diferentes intensidades de tráfego, em um Latossolo Vermelho distroférico em Rio Verde-GO.

Intensidade de Tráfego	IHO <sup>(1)</sup> (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )	Fdentro (%)		
		Janeiro <sup>(2)</sup>	Fevereiro <sup>(3)</sup>	Março <sup>(4)</sup>
Fase vegetativa				
0	0,157	86,00 Aa	89,67 Aa	63,66 Ba
1	0,155	89,00 Aa	88,67 Aa	59,00 Ba
2	0,153	90,67 Aa	88,67 Aa	60,66 Ba
7	0,075	57,66 Ab	55,66 Ab	42,00 Bb
15	0,000	0,00 Ac	0,00 Ac	0,00 Ac
Fase de maturação				
0	0,157	64,20 Aa	31,11 Ba	20,62 Ca
1	0,155	58,52 Aa	27,22 Ba	19,02 Ca
2	0,153	61,36 Aa	28,33 Ba	18,48 Ca
7	0,075	30,11 Ab	3,88 Bb	1,09 Cb
15	0,000	0,00 Ac	0,00 Bb	0,00 Cb

<sup>(1)</sup> IHO; <sup>(2)</sup> Sementeiras em janeiro; <sup>(3)</sup> fevereiro; <sup>(4)</sup> março. Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

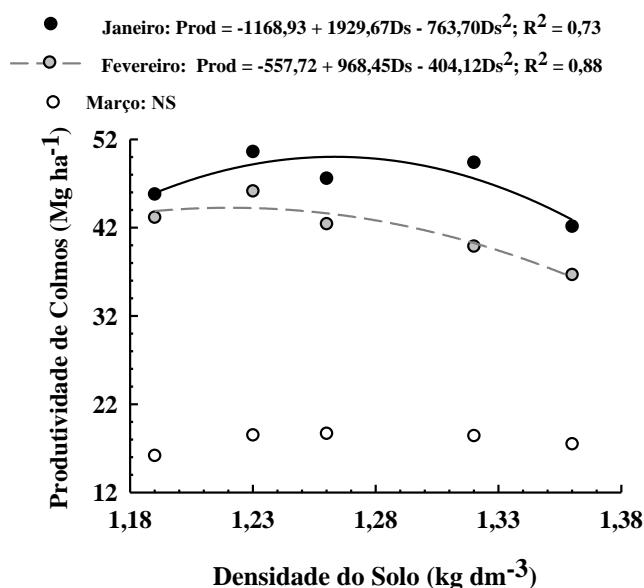
Observou-se que, para valores de densidade do solo inferiores a 1,27 kg dm<sup>-3</sup>, a ocorrência de limitações ao desenvolvimento das plantas foi dependente apenas de fatores extrínsecos ao solo (déficit hídrico) em função da sazonalidade climática (Tabela

3, Figuras 1 e 3) (Severiano et al., 2011). No estudo, foram observados valores de  $F_{dentro}$  na fase vegetativa entre 85 e 90% para semeadura de janeiro e fevereiro e em torno de 60% para a de março.

Nas semeaduras, de janeiro e fevereiro a RP se tornou o principal fator físico limitante ao IHO. Na semeadura de março ocorreu maior déficit hídrico independente da compactação do solo, corroborando com Bengough et al. (2011) e Betioli Junior et al. (2012). Observa-se, ainda, que a compactação do solo ocasionada em  $T_7$  promoveu condições hídricas ( $F_{dentro}$ ) ao desenvolvimento vegetativo do sorgo semeado em janeiro e fevereiro, semelhante à implantação feita em março quando o solo se encontrava em condições estruturais ideais (Tabela 3).

Observa-se ainda que devido ao término da estação chuvosa, a ocorrência de  $F_{dentro}$  durante a maturação do sorgo reduziu também com o atraso da semeadura do sorgo (janeiro > fevereiro > março) (Tabela 3). Desta forma a degradação estrutural do solo cria um ambiente desfavorável ao crescimento do sorgo sacarino, agravando os efeitos deletérios do estresse hídrico.

A análise dos resultados de produtividade de colmos permitiu constatar interação entre a época de semeadura e compactação do solo. A compactação do solo, oriunda do tráfego do trator, reduziu a produtividade de colmos de sorgo sacarino, o mesmo sendo observado com o atraso da época de semeadura (Figura 5). Com base nesses resultados, pode-se considerar que as semeaduras de janeiro e fevereiro foram as que proporcionaram maiores produtividades de colmos no município de Rio Verde-GO.



**Figura 5.** Produtividade de colmos de sorgo sacarino em função dos níveis de compactação do solo e da época de semeadura. NS: Análise de variância da regressão não significativa.

As produtividades máximas encontradas para as duas primeiras épocas de semeadura são superiores a de outros trabalhos de pesquisa com a semeadura da BRS 506 em dezembro (Emygdio et al., 2011; Albuquerque et al., 2012). Devido a insensibilidade ao fotoperíodo da BRS 506 (Silva et al., 2005) os resultados comprovam o alto potencial de produtividade do sorgo sacarino em cultivos de safrinha na região dos Cerrados, bem como do potencial de contribuição à diversificação de culturas em sistemas de produção de grãos e sua incorporação efetiva nos sistemas de produção energética renovável.

As maiores produtividades de colmos de sorgo sacarino foram observadas na Ds de 1,26 e 1,22 kg dm<sup>-3</sup> para semeaduras realizadas em janeiro e fevereiro, respectivamente (Figura 5). Diante disto fica evidente que uma leve compactação do solo em Latossolos oxidícos, em relação ao solo sem tráfego de máquinas, pode promover aumento de produtividade do sorgo por melhorar a redistribuição de água no perfil do solo. Isto possibilita aumento do contato do solo com as raízes e a eficiência na absorção dos nutrientes quando comparado com solos excessivamente soltos (Hakansson et al., 1998; Severiano et al., 2011).

É importante ressaltar que não foi possível ajustar um modelo de regressão que descrevesse a produtividade de colmos na semeadura realizada em março em função da densidade do solo. A compactação adicional, observada nessa época de cultivo, não foi suficiente para promover restrições ao desenvolvimento das plantas, quando comparada ao estresse causado pelo baixo conteúdo de água no solo em decorrência do déficit hídrico.

A partir da análise da Tabela 3 e das Figuras 4 e 5, observa-se que a disponibilidade hídrica entre 55 e 65% foi determinante à produtividade de colmos do sorgo sacarino, pela época de implantação da cultura (semeadura em março) ou pelo início da degradação estrutural do solo ( $D_s > 1,27 \text{ kg dm}^{-3}$ ) responsável pela redução do IHO.

Para Tardin et al. (2013) o estresse hídrico desencadeia uma série de mudanças fisiológicas, como o fechamento estomático, reduzindo a entrada de CO<sub>2</sub> no mesófilo, comprometendo assim o desenvolvimento do sorgo sacarino. Contudo, embora a disponibilidade hídrica tenha sido semelhante no T<sub>7</sub> nas semeaduras de janeiro e fevereiro em relação aos tratamentos T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> no mês de março, a redução da

produtividade das primeiras épocas correspondeu ao decréscimo de 63 e 59%, respectivamente em relação a março (Figura 5).

Esse comportamento ocorre por causa do estresse hídrico para o sorgo sacarino, observado nas sementeiras de janeiro e fevereiro ter se distribuído ao longo da fase vegetativa, levando a redução da produtividade em função da compactação do solo. Por outro lado, a concentração das chuvas nos primeiros dias após a sementeira de março promoveu maior déficit hídrico, no final da fase vegetativa, independente do estado de compactação do solo, fase em que há maior acúmulo de biomassa na cultura.

É oportuno ressaltar que a sementeira de janeiro proporcionou condições mais favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas, pois a restrição hídrica ocorreu mais pronunciadamente apenas no final da maturação (Tabela 3). Na sequência, a menor produtividade e também a menor  $D_s$  máxima para a sementeira em fevereiro pode estar associada ao  $F_{dentro}$ , reduzido no final do ciclo da cultura, ocasionando assim em menor acúmulo de fotoassimilados nos colmos (Figura 5).

Embora a compactação do solo tenha exercido efeitos sobre a produtividade de colmos do sorgo BRS 506, houve apenas efeito da época de sementeira em todas as variáveis tecnológicas (Tabela 4). Observa-se que a qualidade industrial da matéria-prima decresceu à medida que reduziu  $F_{dentro}$  durante a maturação da cultura (Tabela 3).

**Tabela 4.** Médias dos valores obtidos para as variáveis produtivas e tecnológicas do sorgo sacarino cultivado no Latossolo Vermelho distroférrico em Rio Verde-GO.

Época de Sementeira	B <sup>(1)</sup>	S <sup>(2)</sup>	PC <sup>(3)</sup>	Q <sup>(4)</sup>	F <sup>(5)</sup>	AR <sup>(6)</sup>	ATR <sup>(7)</sup>
	----- % -----						(kg t <sup>-1</sup> )
Janeiro	18,1 A	16,2 A	13,2 A	89,5 A	14,3 C	0,6 C	129,9 A
Fevereiro	17,4 B	15,2 B	12,3 B	87,3 B	14,7 B	0,6 B	121,7 B
Março	16,7 C	14,2 C	11,4 C	84,8 C	15,1 A	0,7 A	114,9 C

<sup>(1)</sup> °Brix ou porcentagem de sólidos solúveis do caldo; <sup>(2)</sup> Pol do caldo ou sacarose aparente; <sup>(3)</sup> Pol do colmo; <sup>(4)</sup> Pureza do caldo; <sup>(5)</sup> Fibra do colmo; <sup>(6)</sup> Açúcares redutores do caldo; <sup>(7)</sup> Açúcares totais recuperáveis. Para cada variável produtiva e tecnológica do sorgo sacarino, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Embora não tenha sido identificado influência da compactação do solo na qualidade industrial do sorgo sacarino, observa-se redução da porcentagem de sólidos solúveis do caldo e sacarose aparente com o atraso na época de sementeira (janeiro > fevereiro > março) (Tabela 4). Isto demonstra a sensibilidade destes parâmetros de qualidade industrial ao déficit hídrico, diferente do ocorrido na cultura da cana-de-

açúcar, em que esse o estresse beneficia a sua maturação. Isto porque maturação do sorgo sacarino ocorrer simultaneamente ao enchimento de grãos, havendo translocação dos fotoassimilados dos colmos para os grãos.

Os teores de Brix apresentaram valores satisfatórios para as condições avaliadas, assemelhando-se aos valores obtidos por Emygdio et al., (2011) que obtiveram 17% para a mesma cultivar. Recomenda-se que a colheita do sorgo sacarino deve ser feita quando o caldo apresenta Brix acima de 15,5%, sendo importante para a qualidade de fermentação do caldo e, conseqüentemente, para maior produção de etanol por hectare (Prasad et al., 2007). Os resultados demonstram, portanto, a viabilidade do cultivo do sorgo sacarino em safrinha, ou seja, em sucessão ao cultivo de verão, tornando uma alternativa promissora para a região do cerrado brasileiro.

Já os valores de sacarose aparente do caldo (S), observados em todas as épocas de semeadura, superaram o mínimo de 8% proposto por Durães et al. (2012) (Tabela 4). O menor valor foi encontrado para a semeadura de março, que ocasiona diminuição dos valores de sacarose no colmo e, conseqüentemente, no caldo.

A pureza do caldo (Q), em todas as épocas de semeadura, foi superior a 80% (Tabela 4), mínimo para Durães et al. (2012), sendo superior aos de May et al. (2012) (55%).

Os valores de Fibra (F) variaram de 14% a 15% (Tabela 4), estando de acordo com outros trabalhos de pesquisa da variedade BRS 506 (Santos 2007; Borges et al., 2010; Durães et al., 2012; May et al., 2012). A maior média foi obtida na semeadura de março, por ter apresentado os menores valores de PC, S e Q. Observa-se que, além da fibra, os teores de açúcares redutores do caldo (AR) encontrados na semeadura de março apresentaram os maiores valores, porém, inferiores ao proposto por diversos autores (Borges et al., 2010; Durães et al., 2012; May et al., 2012). Ressalta-se que para esses dois parâmetros os maiores valores na semeadura de março resultam em perda de qualidade industrial, uma vez que elevados valores de F reduzem o rendimento de caldo e o AR afeta diretamente a pureza. Ambos os parâmetros refletem então em menor eficiência na recuperação da sacarose pelas indústrias (Ripoli & Ripoli, 2004).

Por fim, os teores de ATR, observados em todas as épocas de semeadura, foram superiores a 60% aos valores encontrado por May et al. (2012). As menores médias observadas foram para a semeadura de março, teor 12% menor que os encontrados para a primeira época de 129,93 kg t<sup>-1</sup> (Tabela 4).

A partir da avaliação da qualidade industrial do sorgo sacarino, é possível constatar que fatores edafoclimáticos influenciaram a maturação da cultura, tendo apresentado características desejáveis à utilização como biomassa energética nas semeaduras realizadas em janeiro e fevereiro. Isto possibilita o cultivo após a colheita da safra de verão, tornando uma opção interessante para produção de grãos e de bioenergia na mesma área agrícola. Porém, o cultivo de sorgo sacarino necessita de cautela nas semeaduras realizadas mais tardiamente, pois as condições de déficit hídrico no final da fase vegetativa e na maturação ocasiona redução da produtividade e da qualidade industrial dos colmos.

### 3.4. CONCLUSÕES

1. O IHO foi sensível às alterações estruturais promovidas pelo tráfego do trator agrícola, tornando-se nulo com maior intensidade de tráfego ( $T_{15}$ );
2. O monitoramento da frequência de  $\theta$  dentro dos limites do IHO ( $F_{dentro}$ ) indicou condições hídricas estressantes ao sorgo sacarino, tendo a produtividade associação direta com a disponibilidade hídrica do solo;
3. O cultivo de sorgo sacarino na safrinha é uma alternativa promissora para produção de bioenergia quando a semeadura for realizada em janeiro e mais tardiamente em fevereiro;
4. As limitações ao cultivo em safrinha no mês de março ocorrem não pela qualidade industrial da matéria-prima, mas pela baixa produção de colmos, tendo associação direta com a disponibilidade hídrica do solo.



### 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C., TARDIN, F., PARRELLA, R. D. C., GUIMARÃES, A. D. S., de OLIVEIRA, R. M., & SILVA, K. D. 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.

BENGOUGH, A.G.; McCKENZIE, B.M.; HALLETT, P.D. & VALENTINE, T.A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stress and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, v.62, p. 59-68, 2011.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W.H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C.J.; SILVA, A.P. da. & GIAROLA, N.F.B. Intervalo Hídrico Ótimo e Grau de Compactação de um Latossolo Vermelho Após 30 Anos Sob Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 971-982, 2012.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C; LEONEL C.L.; JOÃO, A.C.G.S.; FREDDI, O.S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1223-1232, 2007.

BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V. & GUIMARÃES, R. M. L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.273-281, 2009.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, **American Society of Agronomy**, v. 1, p.363-375, 1986.

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.).In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais**. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. p. 1010-1017. CD-ROM, 2010.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to common water content. **American Society of Agricultural Engineering**, v. 33, p.519-524, 1990.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. **Seja o doutor do seu sorgo**. Piracicaba: Potafós, 2002.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_11\\_08\\_12\\_38\\_56\\_boletim\\_portugues\\_outubro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_11_08_12_38_56_boletim_portugues_outubro_2013.pdf)>. Acesso em: 15 Jan. 2014.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 112p.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público-Privada: oportunidades, perspectivas e Desafios**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 138). 76 p, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 2013. 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. 212 p.

EMYGDIO, B. M.; AFONSO, A. P. S.; OLIVEIRA, A. C. B.; PARRELLA, R.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 156**. II. Série. Embrapa Clima Temperado, Dezembro 2011.

GONÇALVES, W. G. **Alterações estruturais do solo no desenvolvimento da cana-de-açúcar no município de Rio Verde**. Rio Verde. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2012. 53 p.

GRABLE, A.R. & SIEMER, E.G. **Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots**. Soil Science Society of America Journal. v. 32, p. 180-186, 1968.

HÅKANSSON, I. & VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & STEWARD, B.A. **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton, CRS Press, p.167-179 (Advances in Soil Science), 1998.

KUNZ, M., GONÇALVES, A. D. M. A., REICHERT, J. M., GUIMARÃES, R. M. L., REINERT, D. J., & RODRIGUES, M. F. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1699-1708, 2013.

LIMA, V.M.P.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, L.F.C. Intervalo hídrico Ótimo e porosidade de solos cultivados em Área de Proteção Ambiental do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1087-1095, 2009.

LIMA, C. L. R., MIOLA, E. C. C., TIMM, L. C., PAULETTO, E. A., & DA SILVA, A. P. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p.190-195, 2012.

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

MAGALHÃES, E.N.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M.B. Recuperação estrutural e produção do capim-Tifton 85 em um Argissolo Vermelho-Amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira** (UFG), v. 10, p. 68-76, 2009.

MARIGUELE, K. H.; SILVA, P. S. L. Avaliação dos rendimentos de grãos e forragem de cultivares de sorgo granífero. **Caatinga**, Mossoró, v. 15, p. 13-18, 2002.

MAY, A., CAMPANHA, M., SILVA, A. F. D., COELHO, M., PARRELLA, R. A. D. C., SCHAFFERT, R. E., & PEREIRA FILHO, I. A. Variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, p. 278-290, 2013.

PALE, S.; MASON, S. C.; GALUSHA, T. D. Planting time for early-season pearl millet and grain sorghum in Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 1047-1053, 2003.

PRASAD, S.; SINGH, A.; JAIN, N.; JOSHI, H.C. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India. **Energy Fuels**, Washington, v. 21, p. 2415-2420, 2007.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v. 102, p. 242-254, 2009.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

SANTOS, F. G. **Culturas com potencial para produção de álcool no Rio Grande do Sul: sorgo sacarino**. In: Simpósio Estadual de Agroenergia, Pelotas, RS, 2007.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, p. 58-64, 2009.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P., SILVA, F. G. & FERREIRA FILHO, S. M. Structural changes in latosols of the cerrado region: I – relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.773-782, 2011.

SEVERIANO, E.C., OLIVEIRA, G. C., DIAS JUNIOR, M. D. S. D., CURTI, N., COSTA, K. A. P., & CARDUCCI, C. E. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v. 51, p. 193-202, 2013.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; OLIVEIRA, L.F.C. & CASTRO, M.B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.32, p.1.419-1.427, 2008.

SILVA, A. P. ; KAY, B. D.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. C.; Least Limiting Water Range of Soils. In: LAL, Rattan. (Org). **Encyclopedia of Soil Science**. New York:, 2006, v. 1, p. 1026-1029.

SILVA, A.G.; ROCHA, V.S.; MARTINEZ y HUAMAN, C.A.; CECON, P.R.; PORTUGAL, A.F.; TEIXEIRA, I.R. Estádios de crescimento do sorgo forrageiro sob diferentes condições termofotoperiódicas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52, n.304, p.903-920, 2005.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, p. 977-883, 1997.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. Effect of Soil Water Content Variation on the Least Limiting Water Range. **Soil Science Society of American Journal**, v. 61, p. 884-888, 1997.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SOUZA, V. F.; **Adaptabilidade e Estabilidade de Cultivares de Sorgo Sacarino**. 2011. 53p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba- MG.

STAMBOULI, A. B.; KHIAT, Z.; FLAZI, S.; KITAMURA, Y. A review on there Rewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 4445–4460, 2012.

TARDIN, F. D., ALMEIDA FILHO, J. E. D., OLIVEIRA, C., MACHADO, D., LEITE, C. E. P., MENEZES, C. B. D., & SCHAFFERT, R. E. Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, p. 102-117, 2013.

APÊNDICE A



**Figura 1.** Etapas sequencias de condução do experimento cultivado com sorgo sacarino na safrinha, sobre um Latossolo Vermelho distroférico, no município de Rio Verde, Goiás. A e B: Subsolação e gradagem da área experimental. C: Área experimental antes da aplicação dos tratamentos. D: Trator agrícola utilizado na aplicação dos tratamentos. E, F e G: Aplicação dos tratamentos nas parcelas experimentais. H: Área experimental após a aplicação do tratamento de tráfego. I: Abertura do sulco de semeadura. J: Sulco de semeadura totalmente aberto. K: Semeadura manual do experimento. L: Desbaste das parcelas experimentais. M: Adubação de cobertura aos 15 DAE. N: Visão geral do experimento. O: Colheita do sorgo sacarino. P: Pesagem dos colmos de sorgo sacarino. Q: Avaliação de Brix utilizando refratômetro digital. R: Fardos de colmos enviados para laboratório de qualidade industrial da Nova Fronteira Bioenergia.