

**INSTITUTO FEDERAL**

**GOIANO**

**Câmpus Rio Verde**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E PRODUÇÃO DE SILAGEM  
DE GIRASSOL SOLTEIRO E CONSORCIADO COM  
CAPIM-PAIAGUÁS NA SAFRINHA**

Autor: Adalto José de Souza Linhares

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa

**RIO VERDE - GO**

**Abril - 2015**

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E PRODUÇÃO DE SILAGEM  
DE GIRASSOL SOLTEIRO E CONSORCIADO COM  
CAPIM-PAIAGUÁS NA SAFRINHA**

Autor: Adalto José de Souza Linhares

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde - Área de concentração Produção Animal.

**Rio Verde – GO  
Abril – 2015**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
Elaborada por Izaura Ferreira Neta - Bibliotecária CRB1-2771**

L728c Linhares, Adalto José de Souza.

Compactação do solo e produção de silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás na safrinha / Adalto José de Souza Linhares - 2015.  
83f. : ils. figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 2015.

Biografia.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. Solo. 2. *Brachiaria brizantha*. 3. *Helianthus annuus*. I. Título. II. Autor. III. Orientador. IV. Co-Orientador.

CDU: 636.5:633.2

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

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E PRODUÇÃO DE SILAGENS DE GIRASSOL  
SOLTEIRO E CONSORCIADO COM CAPIM-PAIAGUÁS NA SAFRINHA**

**Autor: Adalto José de Souza  
Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano**

**TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração em Zootecnia**

**APROVADA em 23 de abril de 2015**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Aparecida Ribon**  
*Avaliadora externa*  
**UEG/Palmeiras de Goiás**

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

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Katia Aparecida de Pinho  
Costa**  
*Avaliadora interna*  
**IF Goiano/Rio Verde**

**Prof. Dr. Eduardo da Costa  
Severiano**  
*Presidente da banca*  
**IF Goiano – Câmpus Rio Verde**

*In memória ao meu amigo Robson (Bim), que diante de uma linda fase de vida pós- graduação, na cabana Lajeado, tive o privilégio de trabalhar com esse garoto que me surpreendia com suas astúcias e dom com os animais. Em nossa trajetória e manejo com os ovinos, vi coisas acontecerem que só ele tinha as respostas e saídas para o manejo diário. Pois ele tinha o dom de saber e perceber o que os animais queriam e precisavam.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo, inicialmente por despertar no meu coração a necessidade de ser autor e pesquisador para buscar tecnologia que venha ajudar o produtor que faz o alimento chegar a nossas mesas.

Agradeço ao Pai, pelo IF Goiano – Câmpus Ceres, sob a direção do Prof<sup>o</sup>. Helber Souto Morgado.

Obrigado Pai, pela existência do IF Goiano e seus funcionários, que possibilita, entre várias ações, esta de capacitação em nível *stricto senso*. Sobretudo aqueles profissionais que passam despercebidos no dia a dia, mas que sempre estiveram de prontidão para servir no que fosse preciso.

Obrigado Pai, por ter tido bons professores, que em suas especialidades auxiliaram na minha formação. Principalmente ao desafio de meu orientador, Eduardo da Costa Severiano, em contribuir com a física do solo na produção de alimentos. Além da intensa dedicação a me orientar concomitante aos seus outros afazeres de alto valor ao IF Goiano – Câmpus Rio Verde.

Obrigado Pai, pelos colegas de laboratório de física do solo (Wainer, José Fausto, Sávio, Marlete e Renata) e do laboratório de forragicultura (Wender, Eduardo e Valdevino) pela ajuda física e intelectual. Em diferentes momentos me ajudaram de maneira espontânea e amigável. Levo comigo as lembranças de uma equipe promissora em prol da ciência.

Obrigado Pai, pela minha família viver saudável e na expectativa do meu retorno para poder comemorar e retomar momentos próximos de paz e amor.

Agradeço aos membros da banca avaliadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriana Aparecida Ribon, Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Katia Aparecida de Pinho Costa, pelas suas contribuições na área de física do solo, fitotecnia e forragicultura, respectivamente. Em especial à Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Katia Aparecida de Pinho Costa pela co-orientação e disponibilização da estrutura, equipamentos e reagentes do laboratório de forragicultura para realização das análises bromatológicas.

Além disso, agradeço também por disponibilizar o pós-doutorando Wender Ferreira de Souza para auxiliar nos procedimentos durante as análises. No qual, entre outros, viabilizou a realização de análises indispensáveis (ácidos orgânicos) na Universidade Federal de Viçosa.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG pela concessão da bolsa de formação de mestrado e doutorado do projeto da chamada pública nº 003/2013 e processo digital 201300381210089. No qual, foi fundamental para a condução do experimento, dentre outros.

À Sementes Atlântica e Embrapa Gado de Corte, pela doação das sementes para, para implantação do experimento.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

ADALTO JOSÉ DE SOUZA, filho de Francisco Batista de Souza e Marta Maria da Costa Souza, nasceu no dia 15 de dezembro de 1982, na cidade de Ceres, Goiás.

De 1997 a 1999, realizou o curso Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Ceres, atualmente denominada de IF Goiano- Câmpus Ceres.

De setembro de 2000 a julho de 2002, trabalhou na Agência Rural como Fiscal de Barreira Sanitária.

Em Agosto de 2002, iniciou no curso de Bacharel em Zootecnia na Universidade Estadual de Goiás (UEG), em São Luiz de Montes Belos, graduando-se no segundo semestre de 2007.

De 2007 a Fevereiro de 2008, estagiou e trabalhou na Análise Consultoria na região de Brasília e entorno, com atividades de Ovino-Caprinocultura.

Em 2008 a 2009, foi professor substituto no IF Goiano – Câmpus de Ceres, concomitantemente, realizou pós-graduação *latu sensu* em Docência Universitária pela FACER.

De dezembro de 2009 até Julho de 2010, foi professor no IF do Amazonas – Câmpus de São Gabriel da Cachoeira, até pedir vacância para posse em cargo não acumulado, sendo nomeado no IF Goiano – Câmpus de Ceres, para atuar como professor de Zootecnia.

Em março de 2013, ingressou na pós-graduação *stricto sensu* em nível de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, no Instituto Federal Goiano – Câmpus de Rio Verde, sob a orientação do Professor Dr. Eduardo da Costa Severiano, concluindo em 23 de abril de 2015.

## ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi.
LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E UNIDADES.....	xiii.
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Qualidade Física do Solo .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Culturas Forrageiras .....</b>	<b>5</b>
2.2.1. Girassol ( <i>Helianthus annuus</i> , L.) .....	6
<i>Produção de girassol .....</i>	<i>6</i>
<i>Silagem de girassol .....</i>	<i>7</i>
2.2.2. O gênero <i>Brachiaria</i> no SIAP .....	9
<i>Capim-paiaguás (Brachiaria brizantha cv. BRS Paiaguás) .....</i>	<i>9</i>
<i>Silagem com capim .....</i>	<i>10</i>
Silagem de forragem consorciada .....	11
<b>2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>13</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2. Objetivo Geral.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3. Objetivos Específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>4. COMPACTAÇÃO DO SOLO E PRODUÇÃO DE SILAGEM DE GIRASSOL SOLTEIRO E CONSORCIADO COM CAPIM-PAIAGUÁS NA SAFRINHA ....</b>	<b>20</b>
<b>5.1. Introdução .....</b>	<b>20</b>
<b>5.2. Material e Métodos.....</b>	<b>23</b>
<i>Caracterização da área experimental.....</i>	<i>23</i>

<i>Delineamento e condução do experimento</i> .....	24
<i>Amostragem e avaliação dos atributos físicos do solo</i> .....	26
<i>Características agronômicas e da ensilagem</i> .....	27
<i>Análises Fermentativas e Bromatológicas</i> .....	28
<i>Análise Estatística</i> .....	29
<b>5.3. Resultados e Discussão</b> .....	30
<i>Qualidade física do solo</i> .....	30
<i>Mudanças agronômicas das culturas nos sistemas forrageiros</i> .....	32
<i>Produção de forragem para ensilagem</i> .....	35
<i>Características fermentativas da silagem</i> .....	38
<i>Qualidade nutricional da silagem</i> .....	46
<b>5.4. Conclusão</b> .....	54
<b>5.5. Referências Bibliográficas</b> .....	55

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1.</b> Caracterização física e mineralógica do Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO.	24
<b>Tabela 2.</b> Complexo sortivo do Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO(1)	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) diária durante o ciclo da cultura do girassol na região Sudoeste do Estado de Goiás.....	26
<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 da região Sudoeste do Estado de Goiás, cultivado com girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em safrinha. A área hachurada representa o IHO; Dsc: densidade crítica ao desenvolvimento das plantas. ....	30
<b>Figura 3.</b> Intervalo hídrico ótimo do Latossolo Vermelho Distroférico da região Sudoeste do Estado de Goiás, em função do tráfego de um trator agrícola e tara de 4,5 Mg. $T_0 = 0$ , $T_2 = 2$ , $T_{10} = 10$ e $T_{30} = 30$ passadas no mesmo lugar.....	31
<b>Figura 4.</b> Altura de plantas da cultura do girassol em função dos níveis de compactação do solo cultivado em safrinha, na região Sudoeste do Estado de Goiás.....	32
<b>Figura 5.</b> Diâmetro de capítulos (A) e Massa de 1000 aquênios (B) de girassol em função dos níveis de compactação do solo e do sistema de cultivo forrageiro do girassol solteiro e consorciado em safrinha, na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	33
<b>Figura 6.</b> Comprimento de colmos (A) e relação folha:colmo (B) do capim-paiaguás cultivado em consorcio com girassol na safrinha, em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás.....	34
<b>Figura 7.</b> Produção de massa seca total em função dos níveis de compactação do solo e do sistema de cultivo forrageiro da cultura do girassol solteiro e consorciado na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	35
<b>Figura 8.</b> Partição de forragem consorciada (A) e proporção de aquênios de girassol na forragem total (B) em função dos níveis de compactação do solo e do sistema de cultivo forrageiro da cultura do girassol solteiro e consorciado na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa. ....	37

<b>Figura 9.</b> Teor de matéria seca total da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	39
<b>Figura 10.</b> Massa específica da silagem em função dos níveis de compactação do solo e do sistema de cultivo forrageiro da cultura do girassol solteiro e consorciado na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	41
<b>Figura 11.</b> Perda de peso de massa ensilada durante o processo fermentativo, em função dos níveis de compactação do solo e do sistema de cultivo forrageiro da cultura do girassol solteiro e consorciado na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa. ....	42
<b>Figura 12.</b> pH (A) da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	42
<b>Figura 13.</b> Teores de ácido láctico (A), acético (B), propiônico (C) e butírico (D), em relação à matéria seca da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás, em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa. ....	44
<b>Figura 14.</b> Nitrogênio Amoniacal da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás, em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa. ....	46
<b>Figura 15.</b> Teor de proteína bruta da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	47
<b>Figura 16.</b> Teor de extrato etéreo da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	48
<b>Figura 17.</b> Teor de matéria mineral da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa. ....	49
<b>Figura 18.</b> Teor de fibra em detergente neutro (A) e ácido (B) da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	50
<b>Figura 19.</b> Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	51
<b>Figura 20.</b> Estimativas de nutrientes digestíveis totais em função da fibra em detergente neutro (A) e da digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (B) da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função dos níveis de compactação do solo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ....	53

## LISTA DE ABREVIACOES, SIGLAS E UNIDADES

$\theta$	----- conteúdo de água no solo ( $\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ )
$\theta_{CC}$	----- conteúdo de água na capacidade de campo ( $\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ )
$\theta_{PMP}$	----- conteúdo de água no ponto de murcha permanente ( $\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ )
$\theta_{RP}$	----- conteúdo de água na resistência do solo  penetração ( $\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ )
$\theta_{PA}$	----- conteúdo de água na porosidade de aeração a 10% ( $\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$ )
$^{\circ}\text{C}$	----- graus Celsius
%	----- por cento
AD	----- gua disponível no solo
AA	----- cido acético
AB	----- cido butírico
AL	----- cido ltico
AP	----- cido propinico
$\text{Al}^{3+}$	----- alumínio
$\text{Al}_2\text{O}_3$	----- trióxido de alumínio
Aw	----- verão chuvoso
B	----- boro
$\text{Ca}^{2+}$	----- cálcio
$\text{CaCl}_2$	----- cloreto de cálcio
CHOsol	----- carboidratos solúveis
Cm	----- centímetro
$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	----- centimol de carga por decmetro cúbico
$\text{CO}_2$	----- dióxido de carbono
CRP	----- curva de resistência  penetração
Cu	----- cobre
$\text{dm}^3$	----- decmetro cúbico
$\text{dm}^{-3} \text{dm}^{-3}$	----- decmetro cúbico por decmetro cúbico
Dp	----- densidade de partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ )
DAS	----- dias após a sementeira
DIVMS	----- digestibilidade in vitro da matéria seca
Ds	----- densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ )
Dsc	----- densidade do solo crítica ( $\text{kg dm}^{-3}$ )
EE	----- extrato etéreo
Eq.	----- equação
et al.	----- e colaboradores
FDA	----- fibra em detergente cido
FDN	----- fibra em detergente neutro
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	----- trióxido de Ferro
$\text{g ha}^{-1}$	----- gramas por hectare

$\text{g kg}^{-1}$	-----	gramas por quilo
$\text{H}^+$	-----	hidrogênio
Há	-----	hectare
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$	-----	hidrogênio mais alumínio
IAP	-----	integração agricultura-pecuária
IHO	-----	intervalo hídrico ótimo
$\text{K}_2\text{O}$	-----	óxido de potássio
kPa	-----	kilopascal
Ki	-----	relação molecular ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ )
Kr	-----	relação molecular [ $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ ]
$\text{K}^+$	-----	potássio
Kg	-----	quilograma
$\text{kg dm}^{-3}$	-----	quilograma por decímetro cúbico
LI	-----	limite inferior do intervalo hídrico ótimo
LS	-----	limite superior do intervalo hídrico ótimo
$\text{L ha}^{-1}$	-----	litros por hectare
Mg	-----	megagrama
$\text{Mg}^{2+}$	-----	magnésio
<i>M</i>	-----	saturação por alumínio
M	-----	metro linear
$\text{m}^3$	-----	metro cúbico
$\text{Mg}^{+2}$	-----	magnésio
Mn	-----	manganês
Mo	-----	molibdênio
$\text{mg dm}^{-3}$	-----	miligrama por decímetro cúbico
$\text{Mg m}^{-3}$	-----	megagrama por metro cúbico
mm	-----	milímetros
M.E.	-----	massa específica da matéria seca ( $\text{kg m}^{-3}$ )
M.O.	-----	matéria orgânica
MM	-----	matéria mineral
Mo	-----	molibdênio
MPa	-----	megapascal
MS	-----	matéria seca
NS	-----	não significativo
N	-----	nitrogênio
NDT	-----	nutrientes digestíveis totais
$\text{N-NH}_3/\text{NT}$	-----	nitrogênio amoniacal em porcentagem do nitrogênio total
$\text{P}_2\text{O}_5$	-----	pentóxido de fósforo
pH	-----	potencial de hidrogênio
plantas hectare <sup>-1</sup>	-----	plantas por hectare
P(Mel)	-----	fósforo Melich ( $\text{mg dm}^{-3}$ )
PB	-----	proteína bruta
PT	-----	porosidade total do solo
RP	-----	resistência do solo à penetração
$\text{R}^2$	-----	coeficiente de determinação do ajuste
S	-----	enxofre
SIAP	-----	sistema de integração agricultura-pecuária
$\text{SiO}_2$	-----	dióxido de silício
SISVAR	-----	<i>software</i> estatístico
SPD	-----	sistema de plantio direto

T <sub>0</sub>	-----	tratamento com ausência de tráfego
T <sub>2</sub>	-----	tratamento com 2 passadas de trator no mesmo lugar
T <sub>10</sub>	-----	tratamento com 7 passadas de trator no mesmo lugar
T <sub>30</sub>	-----	tratamento com 15 passadas de trator no mesmo lugar
V	-----	saturação por bases do solo
Zn	-----	zinco (mg dm <sup>-3</sup> )

## RESUMO

A oferta futura de alimentos tem como medida-chave a intensificação do uso da terra, sendo o sistema de integração agricultura-pecuária fundamental para a resiliência da atividade agropecuária. Entretanto, o manejo prioritariamente mecanizado tem levado a perda da qualidade física do solo e redução de produtividade de biomassa vegetal. Diante disso, o presente trabalho objetivou avaliar a compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico provocada pelo tráfego de máquinas agrícolas e seu efeito no intervalo hídrico ótimo, bem como na produção e qualidade de silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás cultivados na safrinha. O experimento foi conduzido no município de Rio Verde-GO, no delineamento experimental em blocos completos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, foram avaliados quatro níveis de compactação: 0, 2, 10 e 30 passadas do trator no mesmo lugar. Nas subparcelas, os sistemas avaliados foram constituídos pelo cultivo de girassol solteiro e consorciado com o capim-paiaguás. Em todas as subparcelas foram coletadas amostras indeformadas (0-15 cm) de solo para avaliação da qualidade física do solo, determinada a partir da estimativa do intervalo hídrico ótimo. O desenvolvimento das forragens foi monitorado através do incremento da biomassa, sendo ensiladas quando o teor de matéria seca encontrava-se em torno de 35% considerando as duas forrageiras. Para essa operação, realizaram-se avaliações quanto ao desenvolvimento morfológico das plantas (girassol: altura de plantas, diâmetro de capítulo e massa de 1000 aquênios; capim-Paiaguás: comprimento de colmo e relação folha:colmo). Durante a ensilagem, determinaram a produtividade da forragem total e particionada. Após a ocorrência do processo fermentativo, foram determinados o teor de massa seca, a massa específica e as perdas de peso na ensilagem, os parâmetros fermentativos (pH, ácidos orgânicos e nitrogênio amoniacal), a composição bromatológica (proteína bruta, teor de fibras, extrato etéreo e matéria mineral) e, ainda, a digestibilidade in vitro da massa seca e a estimativa dos nutrientes digestíveis totais. Os resultados demonstraram que a redução do intervalo hídrico ótimo pelo tráfego do trator indica a altíssima suscetibilidade a compactação do Latossolo Vermelho Distroférico, o que pode comprometer a sustentabilidade agrícola e também ambiental. O girassol, por sua vez, apresentou elevada sensibilidade à compactação do solo, com drástica redução do seu desenvolvimento e produtividade a partir da densidade do solo limitante. A compactação do solo afeta o desenvolvimento do girassol, levando a maior participação do capim-paiaguás na forragem ensilado e alterando a composição da massa ensilada,

com influencia nas características fermentativas e nutricionais das silagens. Embora a silagem de girassol consorciado com capim-paiaguás apresente menor qualidade nutricional e digestibilidade em relação ao sistema forrageiro solteiro, essa é compensada pela maior produtividade de forragem total e ainda pela renovação indireta da pastagem, propiciando alimentação de qualidade no período de entressafra e/ou formação de palhada para o sistema de plantio direto.

**Palavras-chave:** *Helianthus annuus* L., *Brachiaria brizantha*, qualidade física, intervalo hídrico ótimo, integração agricultura-pecuária.

## ABSTRACT

The future supply of food is to measure key to intensification of land use, and the agriculture-livestock integration system fundamental to the resilience of farming. However, the priority mechanized management has led to loss of soil physical quality and biomass productivity reduction. Therefore, this study aimed to evaluate the compaction of a Typic Hapludox caused by traffic of agricultural machinery and its effect on limiting water range as well as in production and quality silage single sunflower and intercropped with grown grass Paiagua in the off-season. The experiment was conducted in the municipality of Rio Verde, in experimental design in randomized complete block design, in a split plot design with four replications. The plots were evaluated four levels of compression: 0, 2, 10 and 30 past the tractor in place. In the subplots, the evaluated systems were evaluated by sunflower cultivation single and intercropped with grass Paiagua. In all subplots undisturbed soil samples were collected (0-15 cm) of soil to evaluate the soil physical quality, determined from the estimate of limiting water range. The development of fodder was monitored by increasing biomass, and when the silage dry matter content found in around 35% considering both forages. For this operation, there were assessments of the morphological development of plants (sunflower: plant height, head diameter and mass of 1000 seeds, grass Paiaguás: culm length and leaf: stem ratio). During silage, they determined the productivity of the total and partitioned fodder. After the occurrence of the fermentation process, were determined the dry matter content, density and weight losses in silage, the fermentation parameters (pH, organic acids and ammonia nitrogen), chemical composition (crude protein, fiber content, ether extract and mineral matter) and also the in vitro digestibility of dry matter and the estimated total digestible nutrients. The results showed that the reduction of limiting water range by tractor traffic indicates the very high susceptibility to compaction Hapludox, which may compromise agricultural as well as environmental sustainability. Sunflower in turn, showed high sensitivity to compaction, with drastic reduction in their development and productivity from the limiting bulk density. Soil compaction affects the development of sunflower, leading to greater participation of grass-Paiagua in ensiled forage and changing the composition of the silage, with influence on the fermentative and nutritional characteristics of silage. Although the consortium sunflower silage grass-Paiagua present lower nutritional quality and digestibility in relation to forage single system, this is offset by higher productivity total forage and also the indirect renewal of pasture, providing quality food in the off-season and / or straw formation for the tillage system.

**Key-Words:** *Helianthus annuus* L., *Brachiaria*, physical soil quality, limiting water range, crop-livestock integration.

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da população aliada ao processo de urbanização tem gerado alternativas tecnológicas inovadoras e empreendedoras na produção animal (MACEDO et al., 2009; BARCELLOS et al., 2011), geralmente pautadas na economia de escopo (MARTHA JUNIOR et al., 2011). Diante disso, a integração agricultura-pecuária (IAP) é uma opção para intensificação de uso da área agrícola com vantagens econômicas na produção de alimentos e que se fundamenta na adoção de práticas conservacionistas, escolhas de genótipos adequados, rotação de culturas, entre outros (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Os reflexos positivos podem ser observados em curto prazo, mas a sustentabilidade é pretendida em longo prazo (SALTON et al., (2014).

Isso tem levado à flexibilização na diversificação de produtos e renda com redução de riscos mercadológicos e climáticos (GONTIJO NETO et al., 2010). KICHEL et al. (2009) acrescentam que é necessário a recuperação das áreas com pastagens degradadas, produção de forragem na entressafra e formação de palhada para o sistema de plantio direto (SPD).

Porém, FLÁVIO NETO et al. (2015) salientam que as intensas operações mecanizadas causam impactos negativos na estrutura do solo e, conseqüentemente, redução no desenvolvimento das plantas, principalmente pelas limitações hídricas impostas. Nesse sentido, esforços têm sido concentrados na busca por plantas com bom retorno econômico, capaz de desenvolver-se em períodos de entressafra, em solos compactados e, ainda, reestruturá-los (MAIA et al., 2014; SILVA et al., 2014).

Particularmente nos últimos anos, o cultivo consorciado, realizado através da semeadura simultânea das culturas (MAIA et al., 2014) para produção de grãos, forragens e/ou palhada para o SPD (KICHEL et al., 2009) tem sido fundamental para geração de receitas, ter alimentos na entressafra e proteger o solo através da dissipação da carga do maquinário agrícola aplicada ao solo (ROSIM et al., 2012), podendo ainda promover descompactação biológica do solo (FLÁVIO NETO et al., 2015).

Contudo, o período de entressafra apresenta uma considerável redução de eventos pluviométricos, o que dificulta o estabelecimento das plantas forrageiras e pouca oferta de forragem pós-safra para os animais (PACHECO et al., 2011). Nesse sentido, a cultura do girassol (*Helianthus annuus L.*) se destaca por apresentar maior tolerância ao déficit hídrico quando comparado com a maioria das espécies tradicionais

cultivadas no Brasil (LEITE et al., 2007) e, ainda, pelo alto valor nutricional, especialmente pelo maior conteúdo energético e proteico (TOMICH et al., 2003).

Agronomicamente, a inserção do girassol em rotação de culturas minimiza os impactos negativos de sistemas em monocultivos e em sucessão (BITENCOURT JUNIOR et al., 2008). Essas características estimulam o seu cultivo para a produção de grãos ou silagem em safrinha e ajudam prevenir a compactação do solo (COLONEGO & ROSOLEM, 2011), permitindo melhor aproveitamento da estrutura de produção da propriedade rural (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; GONTIJO NETO et al., 2010).

Nesta cultura, é possível o desenvolvimento de estratégias de consorciação com capins para elevar a produção de massa seca, deixando a pastagem estabelecida indiretamente após o processo de integração para pastejo e/ou, ainda, a formação de palhada para o SPD, promovendo a ciclagem de nutrientes. Nesse aspecto, COSTA et al. (2009) destacam e indicam para integrar no consórcio, o gênero *Brachiaria* (Trin.) Griseb. spp. (syn. *Urochloa* P. Beauv. spp.), pela sua importância econômica no agronegócio brasileiro.

Entre os capins existentes no mercado, o genótipo B6, lançado comercialmente no mercado brasileiro em 2013 com denominação de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás é uma novidade promissora para a IAP, em virtude de suas superioridades produtivas na entressafra, aliadas ao não florescimento neste período que resulta em maior qualidade nutricional e também, pela alta eficiência na dessecação para formação de palhada (MACHADO & VALLE, 2011). Porém, as informações de suas contribuições agronômicas e zootécnicas são escassas, notadamente no que se diz respeito à sua consorciação com culturas de grão cultivado na safrinha.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Qualidade Física do Solo

O solo é a base dos diferentes sistemas de produção, no qual deve ser manejado adequadamente para se ter boa disponibilidade hídrica e de oxigênio, além de baixa resistência a penetração das raízes, a fim de permitir a eficiente relação solo-planta. Em casos de estresses, as raízes enviam sinais inibitórios para as folhas, promovendo o fechamento estomático e redução da taxa fotossintética (SILVA et al., 2010; DUTRA et al., 2012).

O arranjo das partículas e do espaço poroso do solo influencia o armazenamento e movimentação de água e ar no solo e, ainda, a resistência mecânica do solo. Esse arranjo é alterado em diferentes graus de compactação, em função das forças externas aplicadas no solo, notadamente envolvendo seu uso e manejo (FERREIRA, 2010). Segundo CUNHA et al. (2009), a intensa movimentação e pulverização do solo aumenta a compactação já nas primeiras passadas do maquinário, especialmente na superfície.

As relações entre as alterações estruturais do solo e a produtividade das culturas são complexas. Diante disso SILVA et al. (1994) propôs o intervalo hídrico ótimo (IHO) para indicar a qualidade física do solo. Os autores explicam que a faixa de conteúdo de água ótima para a planta está restrita entre o limite crítico superior correspondente à capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) ou à porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ) (relacionado à saturação de água e redução aeróbica no solo), e o limite crítico inferior pelo ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) e da resistência mecânica ( $\theta_{RP}$ ) (relacionados à secagem do solo e incrementos da compactação).

Segundo SILVA et al. (2010), na grande maioria dos estudos sobre a variação de propriedades físicas dos solos não há associação com o comportamento das plantas, os

quais se limitam a medir o efeito do manejo do solo. Além disso, GUBIANI et al. (2012), acrescenta que a eficiência do IHO para prever o crescimento de plantas e, sobretudo, a produção de grãos ainda não foi devidamente comprovada e necessita de maiores quantificações.

Este fato deve-se às características peculiares das culturas à tolerância aos níveis de compactação do solo. Segundo a revisão de NEUMANN et al. (2009), o girassol é uma dicotiledônea anual com sistema radicular pivotante com um grande conjunto de raízes secundárias, podendo alcançar até dois metros de comprimento, desde que o solo não apresente impedimentos físicos ou químicos.

BAYHAN et al. (2002) verificaram que a elevação do impedimento mecânico, medido pela resistência do solo à penetração de apenas 1,5 para 2,0 MPa foi suficiente para reduzir a altura das plantas, diâmetro dos colmos e do capítulo, mas, principalmente, a produtividade de aquênios (grãos) do girassol. Esses resultados corroboram com BOTTA et al. (2006), que constataram correlação entre o rendimento da parte aérea do girassol com o desenvolvimento das raízes em solos com diferentes graus de compactação.

FREDDI et al. (2009) afirmam que o aumento da resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico típico também aumenta a produção de massa seca das raízes, diâmetro e densidade do comprimento radicular, com correlação negativa com a produtividade. Por sua vez, o engrossamento da raiz implica também em maior força exercida no processo de alongamento das células meristemáticas para penetração em determinada camada de solo, podendo, inclusive, cessar o crescimento radicular em caso de compactação excessiva.

Esses trabalhos demonstram a importância da penetração das raízes no solo. Em adição, GONÇALVES et al. (2006) acrescentam que a concentração superficial das raízes torna as plantas mais susceptíveis aos déficits hídricos. Em cultivos de safrinha, a compactação do solo assume, portanto, relevância ainda maior uma vez que a deficiência hídrica na fase vegetativa afeta o crescimento e o desenvolvimento da planta, podendo ser irreversível em função do tempo de limitação (SILVA et al., 2013).

Por outro lado, algumas forrageiras são mais tolerantes aos níveis de compactação do solo. SANTOS et al. (2011) não verificaram diferença entre a massa seca da palhada de *Brachiaria brizantha* entre as densidades de 1,0 a 1,6 Mg m<sup>-3</sup>. Do mesmo modo, BONELLI et al. (2011) observaram na Ds de 1,49 Mg m<sup>-3</sup> que não houve diferença na produção da parte aérea do capim. SOUZA NETO et al. (2013) observaram

com as passadas do trator, aumento na densidade do solo (Ds), na densidade relativa (Dr) em decorrência da redução na porosidade total, o qual causou efeito no crescimento capim-marandu, representado por uma polinomial quadrático com máxima produtividade na Ds  $1,57 \text{ Mg m}^{-3}$  (Dr-0,91) sendo reduzido na Ds  $1,62 \text{ Mg m}^{-3}$  (Dr-0,94).

Neste contexto, nota-se a importância da quantificação da relação entre qualidade física do solo e desenvolvimento das culturas. Através da predição do comportamento físico do solo em sistemas agrícolas, o técnico/produtor poderá prever possíveis resultados e planejar estratégias de uso e manejo para produções sustentavelmente rentáveis, bem como tomar decisões quanto ao manejo conservacionista. Aliado a prejuízos diretos em produtividade e, conseqüentemente, rentabilidade, em paralelo ocorre problemas como erosão do solo, baixa recarga de água subterrânea e assoreamento dos cursos superficiais, resultando em preocupação global ao desenvolvimento sustentável.

## **2.2. Culturas Forrageiras**

O Brasil possui o maior rebanho comercial de bovinos do mundo, com aproximadamente 200 milhões de cabeças alimentados à base de pastagens, com destaque para o gênero *Brachiaria*. No entanto, estima-se que 80% dos 50 a 60 milhões de hectares de pastagens cultivadas do Brasil Central respondem por 55% da produção de carne nacional e encontra-se em algum estágio de degradação (MACEDO et al., 2009).

Diante disso, o cultivo de lavouras em áreas de pastagens degradadas é utilizado pelos produtores para recuperar a capacidade produtiva dos pastos e dos solos. Por outro lado, o uso de pastagens em área de lavoura é utilizado para o controle de invasoras, quebra do ciclo de pragas e doenças e formação de palhada para o SPD, sem prejudicar a produtividade de grãos (PACHECO et al., 2011; SALTON et al., 2014).

Entre as culturas mais utilizadas nos sistemas destacam-se: soja, milho, sorgo, milheto, girassol e gramíneas forrageiras, solteiras ou consorciadas, em rotação ou em sucessão (LOSS et al., 2011). No entanto, em algumas regiões do Cerrado, logo após a colheita das culturas de verão (predominado por soja) ocorre o período da safrinha (entre fevereiro e abril), tendo possibilidade de realização de semeadura em sucessão

com espécies de maior retorno econômico e/ou tolerantes ao estresse hídrico. Este cenário é predominantemente estabelecido por culturas tradicionais, como milho consorciado ou não com capim *Brachiaria* (BORGHI et al., 2006; CECCON et al., 2012).

BORGHI et al. (2006) ao consorciarem milho com *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu em diferentes espaçamentos e modalidades de cultivo, obtiveram altos rendimentos para o milho e média de 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> para a *Brachiaria*, destacando o espaçamento mais reduzido na entrelinha. A palhada do capim assume relevância quanto a ciclagem de nutrientes e rendimento da soja em sucessão (CECCON et al., 2012).

Neste raciocínio, SILVA et al. (2009) cautelam sobre a escolha da espécie e da épocas de safrinha. Avaliando diferentes plantas de cobertura consorciadas com milho e sorgo, os autores observaram aumento da produção de massa seca. Entre as plantas de cobertura, o girassol foi mais produtivo (média de 7,1 Mg ha<sup>-1</sup>) e suprimiu o desenvolvimento do milho (7,2 vs 4,2 Mg ha<sup>-1</sup>) e do sorgo (7,1 vs 2,7 Mg ha<sup>-1</sup>), mostrando que em condições de limitação hídrica, o girassol sobressai a estas culturas.

No entanto, pouco se conhece do desempenho do girassol e do capim-paiaguás cultivados no período de safrinha, principalmente em solos compactados. Diante disso, seguem algumas informações relevantes sobre estas espécies em potencial de serem inseridas nos sistemas de integração agricultura e pecuárias (SIAP).

### 2.2.1. Girassol (*Helianthus annuus*, L.)

#### *Produção de girassol*

A cultura do girassol vem apresentando considerável aumento de área no Brasil, em função da crescente demanda do setor industrial (óleo, biocombustível e farelos), bem como, por evitar ociosidade na entressafra da soja. Constitui-se hoje numa importante alternativa econômica para a sucessão com outras culturas de grãos, podendo ser cultivado na região central do Brasil no período conhecido como safrinha (CARVALHO et al., 2011; SANTOS et al., 2012), quando o milho e o sorgo se tornam atividades de elevado risco em virtude da maior suscetibilidade ao déficit hídrico (SILVA et al., 2009b).

Nessas condições, apresenta elevado potencial fotossintético e de crescimento em ampla faixa de temperatura, aliada a sua capacidade de desenvolvimento radicular e adequada capacidade de extrair água e nutrientes do solo (MELLO et al., 2006a). Por ser uma cultura tolerante a estresse hídrico e melhoradora do solo, promove a ciclagem de nutrientes ao longo do perfil do solo e disponibiliza uma grande quantidade de nutrientes pela mineralização dos restos culturais às culturas subsequentes (LEITE et al., 2007).

A participação na produção de massa seca do girassol corresponde de 45 a 50% de caule e de 55 a 50% de capítulo, portanto, com alto potencial granífero e forrageiro, especialmente pelos elevados teores energético e protéico (MELLO et al., 2006b). Seus aquênios apresentam alto valor nutricional como alimento funcional tanto para humanos, quanto para suínos, aves e ruminantes.

Atualmente existe diferentes cultivares no mercado devendo na escolha, considerar à variabilidade genética e interação com ambiente para diferentes propósitos (CARVALHO et al., 2011). Nesse contexto, OLIVEIRA et al. (2010b) e MAFAKHER et al., (2010) obtiveram elevadas rendimentos (acima de 19 Mg MS ha<sup>-1</sup>), demonstrando o seu potencial de utilização para produção de grão e forragem.

Por outro lado, alguns trabalhos em condições de safrinha são verificados menores produtividades de forragem, como os encontrados por PEREIRA et al. (2003), MELLO et al. (2006b), REZENDE et al. (2007) e SILVA et al. (2009). Mais recentemente, MARTIN et al. (2014) registraram produtividades de 4,2 a 6,3 Mg ha<sup>-1</sup> após veranico de 40 dias durante a fase de pleno florescimento.

### *Silagem de girassol*

O interesse pela utilização da silagem de girassol em substituição ao milho ou sorgo forrageiro tem aumentado em virtude desta cultura apresentar menor ciclo de produção e elevada capacidade de extração da água do solo. Esse comportamento coloca o girassol como potencial para produção de silagens na época da safrinha ou em locais onde há menor período chuvoso (TOMICICH et al., 2003).

Aliado a esta vantagem, do ponto de vista nutricional destacam-se maiores teores em alguns nutrientes, como proteína, nutrientes digestíveis totais (NDT), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) (VIANA et al., 2012). Por outro lado, o girassol

apresenta menor qualidade da fração fibrosa, com destaque para o alto teor de FDA e de lignina aliado ao baixo teor de hemicelulose, levando a apresentar menor digestibilidade da silagem (POSSENTI et al., 2005; VIANA et al., 2012).

Do ponto de vista fermentativo, TOMICH et al. (2004) afirmam que o girassol apresenta características fermentativas inferiores ao milho e sorgo, porém dentro dos padrões de qualidade. VIANA et al. (2012) explicam que isso se deve ao menor teor de MS e carboidratos solúveis (CHOsol) aliado às maiores perdas por efluentes no girassol, acarretando em menores concentração de ácido láctico (AL), maior pH, e produtos secundários da fermentação (ácido butírico e nitrogênio amoniacal) na silagem de girassol, podendo prejudicar a conservação do material ensilado e posteriormente a aceitação pelos animais.

A qualidade da silagem de girassol pode estar ligada aos aspectos agronômicos e técnicos relacionados ao momento mais adequado para o corte da forrageira. Tais colaborações ressaltam a importância do ponto de equilíbrio entre o teor de matéria seca, o estágio fenológico e a qualidade nutricional da forragem, os quais se interagem refletindo na qualidade fermentativa e bromatológica da silagem.

Nesta linha de raciocínio, alguns trabalhos mostram alguns desafios para conservar silagem de girassol adequadamente. Destaca-se a dificuldade de encontrar o momento mais apropriado para ensilar através das alterações morfológicas (POSSENTI et al., 2005), uma vez que no ponto de maior qualidade nutricional, o girassol ainda apresenta baixo teor de MS para ensilagem, principalmente no receptáculo do capítulo (OLIVEIRA et al., 2010b) e no tecido aquoso e esponjoso em seu interior (POSSATTO JUNIOR et al., 2013), podendo comprometer o processo fermentativo. Por outro lado, ao esperar ter incrementos no %MS para ensilagem, ocorre redução no teor de CHOsol e elevação nos componentes fibrosos que refletem na qualidade fermentativa e nutricional da silagem (TORUK et al., 2010).

Além disso, salienta-se que o período adequado de corte da forragem é curto, devido ao rápido secamento da planta durante a maturação dos aquênios (SILVA et al., 2013). Verificar-se no trabalho de SOUZA et al (2005) que dos 90 aos 118 dias após a semeadura (DAS) aumento no teor de MS (12,7 para 42,2%), de FDN (45,0 à 52,9%), de FDA (35,0 para 40,4%) e de EE (6,0 para 16,0), além de redução nos teores de CHOsol (8,0 para 1,5) e na DIVMS (58,0 para 45,0), principalmente em função da complexação da ligno-celulose com o avanço na maturidade fisiológica da planta.

Em outra linha de pesquisa, além do %MS, o tamanho das partículas, pressão de compactação da massa ensilada, presença de oxigênio e suas interações alteram significativamente o processo de fermentação, conservação e qualidade bromatológica da silagem (YILDIZ et al., 2010 e TORUK et al., 2010). Neste sentido, SILVA et al. (2011) consideram que a interação do %MS com a massa específica é determinante na qualidade da silagem, pois determina a porosidade na massa, a qual estabelece a taxa de aeração que influenciará o grau de deteriorização na armazenagem e na desensilagem.

Observando o trabalho de TOMICH et al. (2004), é possível apurar informações pertinentes e imprescindíveis para discutir os aspectos da silagem de girassol. Nota-se que em seu trabalho, os maiores %MS (31,7%MS), menores valores de massa específica ( $553,2 \text{ kg MN m}^{-3}$ ) na silagem refletiram na baixa taxa de fermentação desejável em função de apresentar maiores valores de pH (5,4) e menores valores de Ácido Lático (3,9% da MS). Por outro lado, as fermentações indesejáveis também foram os menores, como:  $\text{N-NH}_3/\text{NT} < 8,77$ ; Ácido Acético  $< 2,0$ ; Ácido Butírico  $< 0,04$ .

### 2.2.2. O gênero *Brachiaria* no SIAP

#### *Capim-paiaguás (Brachiaria brizantha cv. BRS Paiaguás)*

Nos últimos anos, a consorciação entre culturas anuais e forrageiras do gênero *Brachiaria* em semeadura simultânea tem sido adotada de forma crescente por produtores do Cerrado, principalmente em função de estudos demonstrarem a viabilidade na amortização dos custos de formação, renovação e/ou recuperação de áreas e pastagens degradadas (BORGHI et al., 2006).

Entretanto, em SILP as forrageiras devem apresentar características de estabelecimento com menor disponibilidade hídrica e produzir forragem durante a estação seca (diminuição da estacionalidade), já que são formadas em sucessão às culturas de verão. Contribuem para o manejo fitossanitário (controle de pragas, doenças e plantas daninhas) e cobrem adequadamente o solo, contribuindo para a realização de plantio direto (MACHADO & VALLE, 2011).

Segundo COSTA et al. (2009), a cada dia surge novos cultivares que podem atender às exigências dos diferentes sistemas de produção e promover maior

diversificação das gramíneas forrageiras, para atender a demanda da produção animal. Nesse sentido, estudos mostram que o capim-paiaguás (*Brachiaria brizantha* Stapf. cv. BRS Paiaguás), lançado pela Embrapa em 2013 é uma alternativa promissora para diversificação de pastagens. Em seu melhoramento genético, priorizou-se a produtividade e vigor, resultando em maior potencial de produção animal no período seco com alto teor de folhas, constituindo-se de alto potencial nutritivo aos animais em pastejo bom valor nutritivo, resultando em maiores ganhos de peso por animal e por área (MACHADO & VALLE, 2011).

Na integração com a agricultura, o capim-paiaguás tem apresentado maior produção de forragem na entressafra em comparação aos capins xaraés, marandu e piatã, em razão do maior acúmulo de massa para produção de forragem de outono-inverno e/ou de palhada para plantio direto. Aliada à baixa necessidade de herbicida e alta eficiência de dessecação (MACHADO & VALLE, 2011).

Embora promissor, as informações de suas contribuições agronômicas e nutricionais desta capim em sistemas integrados de produção são recentes e praticamente desconhecidas. Faz-se necessário, portanto, avaliações em torno de suas possíveis variáveis, principalmente em cultivos consorciados.

### *Silagem com capim*

As pastagens tropicais produzem forragem adequadamente por cerca de 6 meses no ano, sendo o restante limitado por fatores climáticos, como baixa umidade e temperaturas. Diante disso, KICHEL et al. (2009) sugerem utilizar silagens na alimentação animal em períodos de baixa disponibilidade e qualidade forrageira.

As silagens de gramíneas tropicais perenes apresentam como opções promissoras e em crescimento, para substituição as tradicionais silagens de culturas anuais, visando minimizar custos em razão da alta produtividade associada ao baixo custo de produção, sobretudo no período de maior oferta (SANTOS e ZANINE, 2006).

Porém, o alto teor de umidade no momento ideal para o corte associado à baixa fonte de nutrientes disponíveis na massa ensilada, aos baixos teores de carboidratos solúveis (<6% de CHO sol na MS) e à elevada capacidade tamponante, características estas intrínsecas de gramíneas tropicais perenes, dificultam a confecção de silagens de boa qualidade (COAN, 2005). Estes fatores impedem o rápido decréscimo do pH a

níveis adequados e favorece a fermentação butírica e a liberação de amônia, afetando negativamente o consumo pelos animais (SANTOS e ZANINE, 2006).

AMARAL et al. (2007) também estudaram esse efeito em silagem de capim, e acrescentam que %MS inferiores 32% acarreta perdas por efluentes. Por outro lado, elevados valores culminam em maiores perdas por gases, pois dificulta a expulsão do ar, principalmente nos primeiros dias após fechamento do silo. Os autores destacam que a maior massa específica reduz as perdas e melhora a preservação da massa ensilada.

### Silagem de forragem consorciada

Nota-se que o girassol e o capim-paiaguás de maneira geral apresentam potencialidades interessantes para utilização no SILP, principalmente nos aspectos produtivos de forragem em safrinha. Entretanto, observa-se que existem limitações de natureza química para adequada conservação e utilização animal.

Entre essas limitações, destaca-se no girassol o alto teor de EE para o seu uso como volumoso único na dieta de ruminantes. Diante disso, TOMICH et al., (2004) indicam a necessidade de associação com outros alimentos volumosos, uma vez que dietas contendo mais de 7% de extrato etéreo são relacionadas às reduções da fermentação ruminal, da digestibilidade da fibra e da taxa de passagem no trato digestivo e regulação do consumo por saciedade devido a concentração energética.

Por outro lado, os baixos teores de MS no capim e CHOSOL são limitantes à ensilagem de capim. Para reverter essa situação, EPIFANIO et al., (2014) acrescentou farelos de oleaginosas como material absorventes e fontes de proteínas e carboidratos e verificaram melhoria na qualidade fermentativa e química nas silagens do capim-Piatã.

Outra técnica de maior facilidade operacional, refere-se ao atraso do corte, deixando a cultura anual passar do ponto ótimo para equilibrar os menores %MS do capim, e, conseqüentemente, ter melhor qualidade das silagens com capim (LEONEL et al., 2008).

Na perspectiva de diminuir os níveis de nutrientes limitantes e potencializar nutrientes favoráveis ao desempenho animal, CASTRO et al. (2008) acrescentou girassol no sorgo para silagem em níveis crescente, equilibrando alguns nutrientes. Entre eles, destacam o aumento da proteína e redução do extrato etéreo e lignina. DENRIREL et al., (2006), também com estas culturas isoladas e mistas, obtiveram

resultados semelhantes. MAFAKHER et al., (2010) consideraram a silagem mista com 50% de girassol e 50% de milho de melhor qualidade em termos fermentativos e equilíbrio de nutrientes para dieta completa.

Neste seguimento, o equilíbrio das potencialidades e limitações destas culturas para uso animal na forma de silagem, associados aos interesses múltiplos de sistemas consorciados, vislumbra-se como promissora a produção e conservação de forragens na forma de silagem, de forma prática e operacionalmente mecanizada. Porém, os estudos são recentes e necessitam de maiores esclarecimentos em termos produtivos e qualitativos, tanto nas características fermentativas quanto bromatológicas, com destaque para o conhecimento das possíveis interações dos fatores participativos que cada cultura influenciará na composição da silagem ao final do processo fermentativo.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, R.C.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A. Características fermentativas e químicas de silagens de capim-marandu produzidas com quatro pressões de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.3, p.532-539, 2007
- BALBINOT JUNIOR, A.A; MORAES, A; VEIGA, M.; DIECKOW, A.P.J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, n.6, p. 1925-1933, set, 2009.
- BARCELLOS, J.O.J.; FILHO, L.A.Q.; CEOLIN, A.C.; GIANEZINI, M.; MCMANUS, C.; MALAFAIA, G.C.; OAIGEN, R.P. Technological innovation and entrepreneurship in animal production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.189-200, 2011.
- BAYHAN, Y.; KAYISOGLU, B.; GONULOL, E. Effect of soil compaction on sunflower growth. **Soil & Tillage Research**, v. 68, p. 31–38. 2002.
- BITENCOURT JUNIOR, D.; SIEWERDT, L.; HARTHMANN, O.E.L.; ROLL, V.F.B. ZANIS, F.M. Parâmetros qualitativo e nutricional da silagem de girassol M742 pós abertura de silo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.14, n.2, p.369-373, 2008.
- BONELLI, E.A.; SILVA, E.M.B.; CABRAL, C.E.A.; CAMPOS, J.J.; SCARAMUZZA, W.L.M.P.; POLIZEL, A.C. Compactação do solo: Efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.264–269, 2011.
- BORGHI, É.; CRUSCIOL, C.A.C.; COSTA, C. MATEUS, G.P. Produtividade e qualidade das forragens de milho e de *brachiaria brizantha* em sistema de cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.3, p.369-381, 2006.
- BOTTA G.F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSATTO, H.; TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus L.*) yields. **Soil & Tillage Research**, v. 91. P.164–172. 2006.
- CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. LEAST LIMITING WATER RANGE IN SOIL UNDER CROP ROTATIONS AND CHISELING. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:759-771, 2011.
- CARVALHO, C.G.P.; GRUNVALD, A.K.; GONÇALVES, S.L.; GODINHO, V.P.C.; OLIVEIRA, A.C.B.; AMABILE, R.F.; RAMOS, N.P.; BRIGHENTI, A.M.; CARVALHO, H.W.L. Informes da Avaliação de Genótipos de Girassol 2010/2011. Embrapa Soja. Londrina, PR. **Documentos 329**. 2011.

CASTRO, O.P.C.M.; RÊGO, M.M.T.; AGUIAR, É.M.; LIMA, G.F.C.; MACIEL, F. C.; LÔBO, R.N.B.; LIRA, M.A. Composição Bromatológica da Silagem de Sorgo com Níveis Crescentes de Girassol. In: **V CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL**. Aracaju - SE. 2008.

CECCON, G., STAUT, L.A.; SAGRILO, E., MACHADO, L.A.Z. NUNES, D.P.; ALVES, V.B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p. 204-212, 2012.

COAN, R.M.; VIEIRA, P.F.; SILVEIRA, R.N.; REIS, R.A.; MALHEIROS, E.B.; PEDREIRA, M.S. Inoculante Enzimático-Bacteriano, Composição Química e Parâmetros Fermentativos das Silagens dos Capins Tanzânia e Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 416-424, 2005.

COSTA, F.P., CORRÊA, E.S.; MELO FILHO, G.A.; CARDOSO, E.E.; PEREIRA, M. A.; MIRANDA, C.H.B. Avaliação dos impactos econômicos de quatro forrageiras lançadas pela Embrapa. **Documentos 174** - Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2009.

CUNHA, J.P.A.R.; CASCÃO, V.N.; REIS, E.F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 3, p. 371-375, 2009.

DEMIREL, M.; BOLAT, D.; ÇELIK, S.; BAKICI, Y; TEKELI, A. Evaluation of Fermentation Qualities end Digestibilities of Silages Made from Sorghum end Sunflower Alone and the Mixtures of Sorghum-Sunflower. **Journal of Biological Sciences**. v.6(5), p.926-930, 2006.

DUTRA, C.C.; PRADO, E.A.F.; PAIM, L.R.; SCALONS, S.P.Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2657-2668, 2012.

EPIFANIO, P.S.; COSTA, K.A.P.; SEVERIANO, E.C.; CRUVINEL, W.S.; BENTO, J.C.; PERIM, R.C. Fermentative and bromatological characteristics of Piata palisadegrass ensiled with levels of meals from biodiesel industry. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 35, p. 491, 2014.

FERREIRA. M.M. Caracterização física do solo. In: Lier, Q.J.V. (Org.). Física do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. . 1ªed. p. 241-282. 2010.

FLÁVIO NETO, J.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W.S.; GONCALVES, W.G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus Brachiaria in crop-livestock integration. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 2015 (no prelo).

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; DUARTE, A.P.; PERES, F.S.C. Compactação do Solo e Produção de Cultivares de Milho em Latossolo Vermelho. II – Intervalo Hídrico Ótimo e Sistema Radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33. p. 805-818, 2009.

GONÇALVES, W.G.; JIMENEZ, R.L.; ARAÚJO FILHO, J.V.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; PIRES, F.R. Sistema Radicular de Plantas de Cobertura sob Compactação do Solo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.26, n.1, p.67-75. 2006.

GONTIJO NETO, M.M.; ALVARENGA, R.C.; GARCIA, J.C.; VASCONCELOS, F.V.; DUARTE, J.O.; VIANA, M.C.M.; COSTA, A.M.; SILVA, G.H. Avaliação Econômica de um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária. **Comunicado Técnico 183**. 2010.

GUBIANI, P.I.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 37, p. 1-10, 2012.

KICHEL, A.N.; COSTA, J.A.A.; ALMEIDA, R.G. Cultivo simultâneo de capins com milho na safrinha: produção de grãos, de forragem e de palhada para plantio direto. Campo Grande, MS : Embrapa Gado de Corte. **Documentos 177**. 2009.

LEITE, R.M.V.B.C.; CASTRO, C.; BRIGHENTI A.M.; OLIVEIRA, F.Á.; CARVALHO, C.G.P.; OLIVEIRA, A.C.B. Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima. Embrapa Soja. Londrina, PR. **Comunicado Técnico nº 78**. 2007.

LEONEL, F.P.; PEREIRA, J.C.; COSTA, M.G.; MARCO JÚNIOR, P.; LARA, L.A.; RIBEIRO, M.D.; SILVA, C.J. Consórcio capim-braquiária e milho: produtividade das culturas e características qualitativas das silagens feitas com plantas em diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.12, p.2233-2242, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1269-1276. 2011.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MACHADO, L.A.Z.; VALLE, C.B. Desempenho agrônomo de genótipos de capim-braquiária em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.11, p.1454-1462. 2011.

MAFAKHER, E; MESKARBASHEE, M; HASSIBI, P; MASHAYEKHI, M.R. Study of Chemical Composition and Quality Characteristics of Corn, Sunflower and Corn-Sunflower Mixture Silages. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.5(2). P 175-179, 2010.

MAIA, G.A.; COSTA, K.A.P.; SEVERIANO, E.C.; EPIFANIO, P.S.; FLÁVIO NETO, J.; RIBEIRO, M.G.; FERNANDES, P.B.; SILVA, J.F.G.; GONÇALVES, W.G. Yield and Chemical Composition of Brachiaria Forage Grasses in the Offseason after Corn Harvest. **American Journal of Plant Sciences**, v.05, p. 933-941, 2014.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.10, p.1117-1126, 2011.

MARTIN, T.N.; PAVINATO, P.S.; MENEZES, L.F.G.; SANTI, A.L.; BERTONCELLI, P.; ORTIZ, S.; LUDWIG, R.L. Utilização de cálcio e boro na produção de grãos e silagem de girassol. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 35, n. 4, suplemento, p. 2699-2710, 2014.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; QUEIROZ, A.C.; MIRANDA, E. N.; MAGALHÃES, A.L.R.; DAVID, D.B., SARMENTO, J.L.R. Composição química, digestibilidade e cinética de degradação ruminal das silagens de híbridos de girassol em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.35, n.4, p.1523-1534, 2006a.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; RESTLE, J.; NEUMANN, M.; QUEIROZ, A.C.; COSTA, P.B.; MAGALHÃES, A.L.R.; DAVID, D.B. Características fenológicas, produtivas e qualitativas de híbridos de girassol em diferentes épocas de semeadura para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.672-682, 2006b.

NEUMANN, M.; OLIBONI, R.; OLIVEIRA, M.R.; GÓRSKI, S.C.; FARIA, M.V.; UENO, R.K.; MARAFON, F. Girassol (*Helianthus annuus* L.) para produção de silagem de planta inteira. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v.2, n.3, p. 181-190, 2009.

OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.; CARVALHO, G.G.P.; RIBEIRO, L.S.O.; ALMEIDA, V.V.; PEIXOTO, C.A.M. Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, sorgo-sudão, sorgo forrageiro e girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39, n. 1, p.61-67, 2010a.

OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.; VIANA, A.E.S.; MATSUMOTO, S.N.; CARVALHO, G.G.P.; RIBEIRO, L.S.O. Produtividade, composição química e características agrônômicas de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.12, p.2604-2610, 2010b.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.46, n.1, p.17-25, 2011.

PEREIRA, L.G.R. Potencial forrageiro da cultura do girassol (*Helianthus annuus*) para produção de silagem. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 160p. (Tese, Doutorado em Ciência Animal. 2003.

POSSATTO JUNIOR, O.; NEUMANN, M.; ROSSI, E. S.; HUNGER, H; FARIA, M.V. Genetic characters of sunflower (*Helianthus annuus* L.) aiming the improvement for whole plant silage. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava-PR, v.6, n.2, p.113-119, 2013.

POSSENTI, R.A.; FERRARI JUNIOR, E.; BUENO, M.S.; LEINZ, D.B.F.F; RODRIGUES, C.F. Parâmetros bromatológicos e fermentativos das silagens de milho e girassol. **Ciência Rural**. v.35 n.5, 2005.

REZENDE, A.V.; EVANGELISTA, A.R.; VALERIANO, A.R.; SIQUEIRA, G.R.; VILELA, H.H.; LOPES, J. Valor nutritivo de silagens de seis cultivares de girassol em diferentes idades de corte. **Ciência Agrotecnologia**, v.31, n.3, p.896-902, 2007.

ROSIM, D.C.; DE MARIA, I.C.; SILVA, R.L.; SILVA, Á.P. Compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p.502-508, 2012.

SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.190, p.4-8, 2014.

SANTOS, E.M.; ZANINE, A.M. Silagem de Gramíneas Tropicais. **Colloquium Agrariae**, v. 2, n.1, p. 32-45, 2006.

SANTOS, E.R.; BARROS, H.B. CAPONE, A.; FERRAZ, E.C.; FIDELIS, R.R. Efeito de épocas de semeadura sobre cultivares de girassol, no Sul do Estado do Tocantins. **Ciência Agrônômica**, v.43 n.1, 2012.

SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; MEDRADO, E.; SILVEIRA, P.M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.8. 2011.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v. 58, n. 6, p.1775-1781, 1994.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. Indicadores de qualidade física do solo. In: Lier, Q.J.V. (Org.). Física do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**. 1ªed. p. 241-282. 2010.

SILVA, A.R.A.; BEZERRA, F.M.L.; LACERDA, C.F.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C.A.SILVA. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agrônômica**, v.44, n.1, p. 86-93, 2013.

SILVA, M.S.; JOBIM, C.C.; TORMENA, C.A.; CALIXTO JÚNIOR, M.; SORIANE FILHO, J.L.; ROMAN, J. Determinação da massa específica de silagens de milho por método indireto. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.41, n.9, p.1622-1625, 2011.

SILVA, P.C.G.; FOLONI, J.S.S.; FABRIS, L.B.; TIRITAN, C.S. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.11. 2009b.

SOUSA NETO, E.L.; PIERANGELI, M.A.P.; LAL, R. Compaction of an Oxisol and Chemical Composition of Palisadegrass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.928-935, 2013.

SOUZA, B.P.S.; COELHO, S.G.; GONÇALVES, L.C.; VIEIRA, F.A.P.; BORGES, A.L.C.C.; RODRIGUEZ, N.M.; RODRIGUES, J.A.S.; BORGES, I.; SALIBA, E.S. Composição bromatológica da silagem de quatro genótipos de girassol, ensilados em cinco diferentes idades de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, supl.2, p.204-211, 2005.

TOMICH, T.R.; GONÇALVES, L.C.; TOMICH, R.G.P.; RODRIGUES, J.A.S.; BORGES, I.; RODRIGUEZ, N.M. Características Químicas e Digestibilidade *in vitro* de Silagens de Girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1672-1682, 2004.

TOMICH, T.R.; RODRIGUES, J.A.S.; GONÇALVES, L.C.; TOMICH, R.G.P.; CARVALHO, A.U. Potencial forrageiro de cultivares de girassol produzidos na safrinha para ensilagem. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, n.2, 2003.

TORUK, F.; GONULOL, E.; KAYISOGLU, B; KOC, F. Effects of compaction and maturity stages on sunflower silage quality. **African Journal of Agricultural Research**, v.5(1), pp.055-059, 2010.

VIANA, P.T.; PIRES, A.J.V., OLIVEIRA, L.B., CARVALHO, G.G.P., RIBEIRO, L.S.O.; CHAGAS D.M.T.; NASCIMENTO FILHO, C.S.; CARVALHO, A.O. Fracionamento de carboidratos e de proteína das silagens de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.2, p.292-297, 2012.

YILDIZ, C.; OZTURK, I.; ERKMEN, Y. Effects of chopping length and compaction values on the feed qualities of sunflower silage. **Scientific Research and Essays**. Erzurum, v. 5, n. 15, p. 2051-2054, 2010.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.2. Objetivo Geral**

Avaliar a qualidade física em um Latossolo Vermelho Distroférico da região sudoeste do estado de Goiás e quantificar os efeitos sobre o desenvolvimento do girassol em consórcio com *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás em cultivo de safrinha.

#### **3.3. Objetivos Específicos**

- Verificar o intervalo hídrico ótimo como indicador da qualidade física do solo para os cultivos em safrinha;
- Avaliar a produção de massa seca do girassol consorciado com capim-paiaguás em função da densidade do solo, no cultivo de safrinha;
- Avaliar as características fermentativas, a composição bromatológica e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca da silagem produzida a partir das forragens solteira e consorciada.

## **4. COMPACTAÇÃO DO SOLO E PRODUÇÃO DE SILAGEM DE GIRASSOL SOLTEIRO E CONSORCIADO COM CAPIM-PAIAGUÁS NA SAFRINHA**

### **5.1. Introdução**

A oferta futura de alimentos para a crescente demanda populacional, em parte, será atendida pela intensificação do uso da terra. Para isso, faz-se necessárias inovações tecnológicas no intuito de amenizar os riscos climáticos e mercadológicos, e, principalmente recuperar as áreas degradadas, utilizando-as o ano todo. Neste contexto, o sistema de integração agricultura-pecuária (IAP) assume papel fundamental para recuperação da capacidade sustentável da atividade agropecuária (MACEDO et al., 2009; BALBINOT JUNIOR et al., 2009; MARTHA JÚNIOR et al., 2011; SALTON et al. 2014).

Dessa forma, o cultivo de lavouras em áreas de pastagens degradadas é utilizado pelos produtores na recuperação da capacidade produtiva dos pastos e dos solos.

Por outro lado, o uso de pastagens em área de lavoura é utilizado para o controle de invasoras e quebra do ciclo de pragas e formação de palhada para o SPD, sem prejudica a produtividade de grãos desde que manejado corretamente (SALTON et al., 2014; PACHECO et al., 2011; CECCON et al., 2012).

Entre às culturas mais utilizadas nos sistemas, destacam-se a soja, milho, sorgo, milheto, girassol e gramíneas forrageiras, consorciadas ou não, em rotação ou em sucessão (CARVALHO et al., 2011).

Entretanto, no Cerrado brasileiro, logo após a colheita das culturas de verão (predominado por soja), ocorre o período da safrinha (entre fevereiro e abril). No

segundo cultivo tem predominado culturas tradicionais como o milho e sorgo, com possibilidade de cultivo consorciado com espécies do gênero *Brachiaria* (BORGHI et al., 2006; CECCON et al., 2012).

Porém, as condições de vazio sanitário, atraso nas chuvas, falta de umidade para início da sementeira tem reduzido a janela de cultivo tradicional e preferencial do milho em safrinha. Diante desse período mais limitado de chuvas, SILVA et al., (2009b), sugerem o girassol como opção mais promissora devido o seu crescimento rápido e resistência ao estresse hídrico.

Essa pressão econômica em torno do agronegócio pode provocar a compactação do solo em função das forças externas aplicadas em sua superfície, notadamente envolvendo o manejo mecanizado (SEVERIANO et al., 2011), acarretando rearranjo das partículas no espaço poroso do solo levando à sua redução, com diminuição na infiltração, armazenamento e movimentação de água e ar no solo e, ainda, aumento da resistência à penetração (GUBIANI et al., 2012). Faz-se necessário planejamento estratégico que minimize estes problemas, com destaque para a rotação de culturas e plantas de cobertura.

Segundo CUNHA et al. (2009), a intensa movimentação e pulverização do solo aumenta a compactação nas primeiras passadas do maquinário, principalmente na superfície (0-10 cm). Entretanto, na maioria dos estudos sobre a variação das propriedades físicas dos solos não as associam ao comportamento das plantas, se limitando a medir somente o efeito no próprio solo (SILVA et al., 2010). Além disso, GUBIANI et al. (2012) acrescentam que a eficiência da qualidade física em prever o crescimento de plantas e produção ainda não foi devidamente comprovada e por esse motivo, necessita de maiores quantificações.

Sabe-se que a deficiência hídrica afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas, podendo ser irreversível em função do tempo de limitação e a fase fenológica da cultura. Esse fato é potencializado na safrinha, onde a ocorrência de veranicos é frequente. Por outro lado, como alternativa de minimização do problema, implantação da cultura do girassol consorciada com *Brachiaria* em IAP na sucessão da cultura de verão se destaca, entre outros, pelo potencial de utilização para produção de grão e forragem (OLIVEIRA et al., 2010b; MAFAKHER et al., 2010a) de bom valor energético e proteico (MELLO et al., 2006b; CARVALHO et al., 2011; SANTOS et al., 2012, MARTIM et al., 2014), associada ainda, à maior tolerância ao déficit hídrico (LEITE et al., 2007, DUTRA et al., 2012).

Em adição, ressalta que os sistemas consorciados otimizam o tempo e o espaço concomitante a recuperação estrutural do solo através da descompactação biológica promovida pelo capim (FLÁVIO NETO et al., 2015), bem como da produção de biomassa forrageira e/ou de cobertura para o SPD que atuam na dissipação da carga aplicada pelo maquinário (ROSIM et al., 2012) e na ciclagem de nutrientes (PACHECO et al., 2011).

Entre os capins existentes no mercado, o genótipo B6, lançado comercialmente no mercado brasileiro em 2013 com denominação de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás é uma novidade promissora para a IAP, em virtude de suas superioridades produtivas na entressafra, aliadas ao não florescimento neste período que resulta em maior qualidade nutricional e também, pela alta eficiência na dessecação para formação de palhada (MACHADO & VALLE, 2011). Porém, as informações de suas contribuições agrônômicas e zootécnicas são escassas, notadamente no que se diz respeito à sua consorciação com culturas de grão cultivado na safrinha.

Considerando que após a colheita da safrinha o capim acumula massa com menor intensidade na entressafra, faz-se necessária a conservação da forragem na forma de silagem. A estabilização que depende de diversos fatores os quais se destacam a composição química e a comunidade bacteriana presente na forrageira aliada as condições de aeração, temperatura e umidade no interior do silo (JOBIM et al., 2007; SANTOS et al., 2010; YILDIZ et al., 2010 e TORUK et al., 2010).

Entretanto, essas forragens têm apresentado potencialidades e limitações de natureza química. Para a cultura do girassol, o alto teor óleo associado a baixa qualidade da fibra tem limitado (TOMICICH et al., 2004; SANTOS et al., 2010). Porém, a cultura se destaca pelo elevado teor de NDT (MARTIN et al., 2014). Por outro lado no capim, os baixos %MS e de carboidratos solúveis são limitações (NUSSIO & RIBEIRO, 2008) que podem ser compensadas pelo menor custo de produção da silagem (SANTOS & ZANINE, 2006).

Ambas forrageiras têm sido constantemente limitadas pelos elevados teores de umidade (POSSATO JUNIOR et al., 2013), principalmente o capim (SANTOS et al., 2010). Diante disso, LEONEL et al. (2008) sugerem atraso na colheita da cultura anual para equilibrar os %MS e evitar perdas de nutrientes por efluentes e aumento no nitrogênio amoniacal e de ácidos orgânicos indesejáveis, com redução na qualidade da silagem, conforme verificado por OLIVEIRA et al. (2000a).

Neste contexto, observa-se tendência promissora de crescimento de consórcios de culturas anuais com capins para silagem visando a amortização dos custos e elevação da produção do material ensilado, além do estabelecimento indireto da pastagem estabelecida após a integração prevista (NUSSIO & RIBEIRO, 2008; LEONEL et al., 2008; SANTOS et al., 2010; POSSATTO JÚNIOR et al., 2013).

Entretanto, pouco se conhece sobre o efeito da compactação do solo nestas forrageiras em sistemas solteiro e consorciado na safrinha. Neste sentido, o presente trabalho objetiva avaliar a compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico provocado pelo tráfego de máquinas agrícola e seu efeito no intervalo hídrico ótimo, bem como na produção e qualidade de silagem de girassol cultivado solteiro e consorciado com capim-paiaguás na safrinha.

## **5.2. Material e Métodos**

### *Caracterização da área experimental*

O ensaio foi conduzido a campo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), Câmpus Rio Verde - GO (17°48'34,25"S; 50°54'05,36"W; e 731 m de altitude). O clima da região, de acordo com Köppen, é classificado como 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 1600 mm, com o período chuvoso estendendo de novembro a abril e menores precipitações ocorrendo em junho, julho e agosto (< 50 mm mês<sup>-1</sup>).

A área experimental é caracterizada em Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa (SANTOS et al., 2013), cuja composição mineralógica e física, analisada segundo EMBRAPA (2011), encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização física e mineralógica do Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO.

Camada (cm)	Dp <sup>(1)</sup> (kg dm <sup>-3</sup> )	Granulometria <sup>(2)</sup>			Ataque sulfúrico				
		Areia	Silte	Argila	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki	Kr
0 – 20	2,80	350	200	450	40,5	203,6	204,0	0,34	0,21
20 - 40	2,82	382	150	468	38,8	200,5	214,7	0,33	0,30

<sup>(1)</sup>Dp: Densidade de partículas pelo método do balão volumétrico; <sup>(2)</sup> Determinada pelo método da pipeta; 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>).

Antes da instalação do experimento, realizou-se previamente a correção do solo da área experimental pela distribuição de 1,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT: 80%; CaO: 36%; MgO: 12%), segundo recomendações de SOUSA & LOBATO (2004), a partir dos resultados da análise de solo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Complexo sortivo do Latossolo Vermelho Distroférico em Rio Verde-GO<sup>(1)</sup>.

Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	S	Zn	B	Cu	Mn	Mo	V <sup>(2)</sup>	m <sup>(3)</sup>	M.O. <sup>(4)</sup>	pH
----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				----- mg dm <sup>-3</sup> -----				---		%		g kg <sup>-1</sup>			
1,8	1,3	0,0	4,1	2,3	52	2,4	1,4	0,2	4,0	51,6	0,1	43,3	0,0	40	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. pH em CaCl<sub>2</sub>

O preparo do solo e controle inicial das invasoras foi realizado através de subsolagem a 45 cm de profundidade, seguida de gradagem aradora a 20 cm e niveladora a 120 dias de pré-semeadura, ocasião em que ocorreu a incorporação do corretivo e eliminação do histórico de tensão do solo. Aos 30 dias antes da implantação do ensaio, aplicou-se o herbicida glifosato na dosagem de 3,0 L ha<sup>-1</sup>, objetivando o controle químico de plantas invasoras oriundas do bando de sementes no solo.

#### *Delineamento e condução do experimento*

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos completos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, de dimensões de 12,0 m de comprimento e 6,0 m de largura, foram avaliados quatro 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>2</sub>: duas passadas; T<sub>10</sub>: dez passadas e; T<sub>30</sub>: trinta 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 antes da implantação do ensaio, no mês de fevereiro, conforme procedimentos descritos por BEUTLER et al. (2007).

Nas subparcelas, foram implantados três sistemas forrageiros constituídos por girassol (*Helianthus annuus* L.), híbrido Charrua e *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiguás em cultivos solteiros e consorciados. Contudo, apenas os tratamentos contendo girassol foram selecionados para este trabalho.

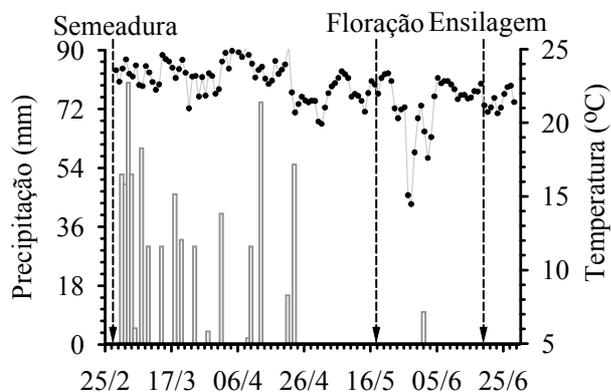
Cada subparcela constituiu-se de 13 linhas de 4,0 m de comprimento, espaçadas a 50 cm e semeadas mecanicamente na safrinha em 28 de fevereiro de 2014. As sementes do girassol foram distribuídas a 3 cm, e as sementes do capim incorporadas junto ao adubo na profundidade de 7 cm. Para a semeadura mecanizada, o adubo com semente de capim foi depositado na caixa própria. Previamente fez a inclusão da semente de capim (15 kg, correspondente a 5 kg sementes puras e viáveis ha<sup>-1</sup>) na mistura de fertilizantes (350 kg ha<sup>-1</sup>) contendo 16,5 kg de N; 90 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 35 kg de K<sub>2</sub>O; 3,5 kg de Zn; 3,2 kg de B e 0,32 kg de Mo, com o uso de ureia, superfosfato triplo, cloreto de potássio, sulfato de zinco, boromol<sup>®</sup>, respectivamente.

Aos 21 dias após a semeadura (DAS), realizou-se o desbaste das plantas de girassol para ajuste da população em 40.000 plantas ha<sup>-1</sup> e de 10 plantas por metro linear para o capim-paiguás nas subparcelas consorciadas. Nas subparcelas de cultivo solteiro realizou-se o desbaste de todas as plantas do capim.

Após o estabelecimento do *stand* (22 e 42 DAS), procedeu-se às adubações em cobertura conforme recomendações de SOUSA e LOBATO (2004) com aplicação de 30 kg de N ha<sup>-1</sup> na fonte de ureia e 40 de kg N, 25 kg de K<sub>2</sub>O e 24 kg de S ha<sup>-1</sup>, nas fontes ureia, sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente.

Ao longo da condução do experimento, os tratos culturais e controle fitossanitário, sempre que necessário, seguiram as recomendações sugeridas por LEITE et al. (2007). No florescimento, promoveu-se a cobertura dos capítulos com o uso de tecido não tecido (T.N.T.) para evitar o ataque de pássaros.

Durante a condução do experimento, foram monitoradas a precipitação pluviométrica e a temperatura associada ao desenvolvimento fenológico do girassol, cujos resultados estão apresentados na figura 1.



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) diária durante o ciclo da cultura do girassol no município de Rio Verde-GO.

#### *Amostragem e avaliação dos atributos físicos do solo*

Em todas as parcelas, após a semeadura das culturas, coletaram 9 amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos de 6,4 cm de diâmetro e 5,0 cm de altura com auxílio do amostrador tipo Uhland, sendo 3 posições de amostragens na diagonal x 3 camadas (0-0,05; 0,05-0,1 e 0,1-0,15 m), totalizando 144 amostras experimentais, para determinações dos atributos físicos. Coletaram-se ainda amostras deformadas nas posições e profundidades descritas, utilizadas para análise granulométrica e determinação do ponto de murcha permanente (potencial matricial de -1,5 MPa) pelo uso do Extrator de Richards (EMBRAPA, 2011).

Após a retirada e acondicionamento em filmes plásticos (PVC), as amostras foram submetidas às análises físico-hídricas do solo. No laboratório, o excesso de solo das arestas dos cilindros de alumínio foi retirado e as amostras saturadas com água destilada em bandejas através da elevação gradual de lâmina (48 h). Na sequência, foram submetidas ao potencial matricial de -0,006 MPa até atingir o equilíbrio hidráulico. Nessa situação, o conteúdo de água obtido foi considerado como equivalente à capacidade de campo do solo (SEVERIANO et al., 2011).

Posteriormente, para cada amostra, ajustou-se diferentes conteúdos de água 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 ( $10 \text{ mm min}^{-1}$ ) 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  $105^\circ\text{C}$  por 48 h para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ). A porosidade total (PT) foi determinada pela equação 1, sendo  $D_p$  considerada como a densidade de partículas.

$$PT = [1 - (D_s/D_p)] \quad \text{Eq. (1)}$$

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 2:

$$RP = 0,196\theta^{-0,623} D_s^{6,03}; R^2 = 0,82^{**} \quad \text{Eq. (2)}$$

A qualidade física do solo foi determinada a partir da estimativa do intervalo hídrico ótimo (IHO), 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  $-0,006 \text{ MPa}$  como sendo a capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) (SEVERIANO et al., 2011) ou aquele em que a porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ) é de 10% (GRABLE & SIEMER, 1968), calculado para cada amostra pela equação 3:

$$\theta_{PA} = PT - 0,1 \quad \text{Eq. (3)}$$

Como limites inferiores (LI), o conteúdo de água retido no potencial de  $-1,5 \text{ MPa}$  foi considerado como sendo o ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) e/ou o conteúdo de água correspondente à resistência à penetração de  $2,5 \text{ MPa}$  ( $\theta_{RP}$ ) (Severiano et al., 2011), determinados através da Eq. 2.

### *Características agronômicas e da ensilagem*

O desenvolvimento das forragens foi monitorado através do incremento da biomassa, sendo ensiladas quando o teor de matéria seca (%MS) encontrava-se em torno de 35% considerando as duas espécies forrageiras, o que ocorreu aos 112 DAS, conforme recomendações de LEONEL et al. (2008) e TORUK et al. (2010). Por ocasião desta operação, realizaram-se avaliações quanto ao desenvolvimento morfológico das

plantas das seguintes variáveis, considerando 10 exemplares de cada espécie por subparcela sendo, - girassol: altura de plantas (cm), diâmetro de capítulo (cm) e massa de 1000 aquênios (g); - capim-paiaguás: comprimento de colmo (cm) e relação folha:colmo.

O corte das plantas foi realizado a 20 cm de altura em 4,0 m<sup>2</sup> de área útil. As forragens foram pesadas, sendo que os tratamentos compostos pelo cultivo consorciado de girassol e capim foi submetido à separação e posterior quantificação da produção da massa seca particionada, sendo então extrapoladas à Mg ha<sup>-1</sup>.

Na sequência, a massa de forragem foi encaminhada para picagem em máquina ensiladora estacionária (marca Nogueira, modelo EM-9F3B), em partículas de 10 a 50 mm, ocasião em que parte do material (0,5 Kg) foi amostrada para obtenção do %MS do material ensilado.

A forragem foi homogeneizada e compactada em silos experimentais de PVC (10 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento), com auxílio de um pêndulo de madeira. Após a vedação, os silos foram pesados e armazenados à temperatura ambiente, protegidos da chuva e luz solar para ocorrência do processo fermentativo.

#### *Análises Fermentativas e Bromatológicas*

Após 65 dias de fermentação, os silos foram pesados para avaliação das perdas na ensilagem, obtidas a partir da massa antes e após o armazenamento. A massa específica (M.E.) da silagem foi considerada sendo a relação entre a massa de forragem e o volume do silo. Todas essas determinações foram realizadas conforme JOBIM et al. (2007).

Na abertura dos silos, a porção central (10-40 cm) foi homogeneizada e dividida em duas amostras para avaliação fermentativa e bromatológica. Na silagem *in natura*, foi determinado os valores de pH e nitrogênio amoniacal, através do método descrito por SILVA e QUEIROZ (2002). Na sequência, foram preparados os extratos aquosos para determinação dos ácidos orgânicos (ácidos láctico, acético, propiônico e butírico) (KUNG JUNIOR, 1996).

A outra amostra, com aproximadamente 0,5 kg, foi levada para estufa de ventilação forçada a 55°C durante 96 horas, para a determinação da matéria pré-seca. Posteriormente foram moídas em moinho de faca tipo “Willey”, com peneira de diâmetro de 1 mm. Nestas amostras, determinaram-se os teores de matéria seca (%MS); matéria mineral (MM); proteína bruta (PB), obtida pela determinação do N total,

utilizando a técnica de micro-Kjedhal e conversão fixa do fator (6,25); extrato etéreo (EE) determinado por gravimetria após a extração com éter de petróleo no aparelho Soxhlet; fibra em detergente neutro (FDN); fibra em detergente ácido (FDA), segundo DETMANN et al. (2012).

Para a determinação digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), adotou-se a técnica descrita por TILLEY e TERRY (1963), adaptada ao rúmen artificial usando o instrumento “Daisy incubator” desenvolvido pela ANKON TECHNOLOGY® (*in vitro true digestibility- IVTD*). A coleta do líquido ruminal proveniente de 4 animais abatidos foi realizada em frigorífico, onde o material fibroso apresentava aspectos característicos de animais em pastejo.

Após a obtenção dos resultados bromatológicos, foram estimados valores de nutrientes digestíveis totais (NDT) através da equação 4, proposta por CHANDLER (1990):

$$NDT=105,2-0,68FDN \quad \text{Eq. (4)}$$

#### *Análise Estatística*

Os parâmetros empíricos de ajuste da curva de resistência à penetração (CRP) foram obtidos por minimização da soma dos quadrados da diferença entre os valores determinados e estimados pelos modelos, utilizando algoritmos de planilhas eletrônicas, conforme LEÃO & SILVA (2004). Para avaliação da acuracidade do modelo ajustado, considerou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a raiz do erro médio quadrado entre os valores determinados e estimados.

O IHO foi obtido ajustando 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 limite inferior o maior valor entre  $\theta_{PMP}$  e  $\theta_{PR}$ , considerando os valores médios de 0-15 cm em razão da pequena variação da  $D_s$  nesta camada.

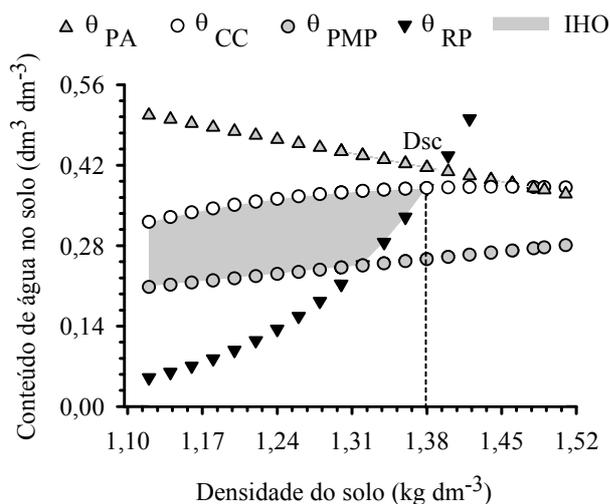
Os resultados das características morfológicas, produtivas, fermentativas e nutricionais das silagens em função da compactação do solo (monitoradas pela  $D_s$ ) foram submetidos à análise de variância utilizando o software estatístico SISVAR 4,6 (FERREIRA, 2011), ajustando modelos de regressão em função da  $D_s$ , quando constatada significância ( $p<0,05$ ) através do software Sigma Plot 11.0 (Jandel Scientific).

### 5.3. Resultados e Discussão

#### *Qualidade física do solo*

A relação entre o conteúdo de água e a  $D_s$ , considerando os limites críticos do IHO, é apresentada na Figura 2. Nas condições avaliadas no experimento os sistemas forrageiros não afetaram o atributo em questão.

Estudos a cerca do tema têm demonstrado que em solos tropicais, a resistência à penetração é o parâmetro que mais afeta a amplitude deste intervalo (GONÇALVES et al., 2014; SILVA et al., 2014), o que foi constatado no estudo. Destaca-se que  $\theta_{RP}$  passou a limitar o IHO a partir da  $D_s$  de  $1,31 \text{ kg dm}^{-3}$  substituindo o  $\theta_{PMP}$  como limite inferior. Até esse ponto, o IHO foi igual a água disponível ( $AD = \theta_{CC} - \theta_{PMP}$ ) e após essa, o comportamento dos resultados apresentaram relação inversa com a  $D_s$ .

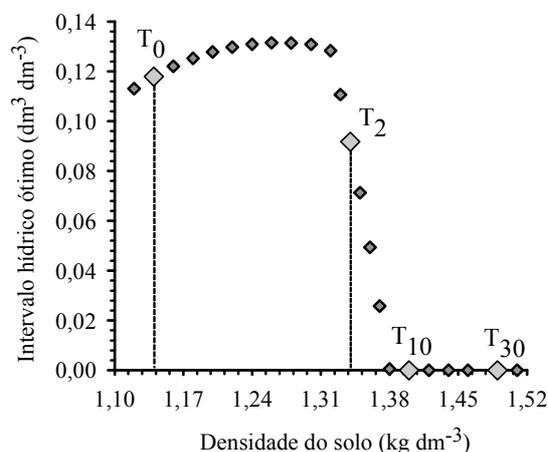


**Figura 2.** Variação do conteúdo de água no solo ( $\theta$ ) com o incremento da Densidade do solo ( $D_s$ ) nos limites críticos de capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ : -6 kPa), ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ : -1500 kPa), porosidade de aeração a 10% ( $\theta_{PA}$ ) e resistência do solo à penetração de 2,5 MPa ( $\theta_{RP}$ ) do Latossolo Vermelho Distroférico na camada de 0-15 cm, cultivado com girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em safrinha. A área hachurada representa o IHO;  $D_{sc}$ : densidade crítica ao desenvolvimento das plantas.

Corroborando as afirmações acima, observa-se na camada de 0-15 cm, que a  $\theta_{PA}$  não afetou o IHO na faixa de  $D_s$  encontrada até a crítica ( $D_{sc}$ ) que foi de  $1,38 \text{ kg dm}^{-3}$ , a partir de quando o IHO tornou-se nulo. Resultados semelhantes foram obtidos por SEVERIANO et al. (2011) para Latossolos de textura argilosa e 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.

Dentro da faixa do IHO limitada pelo  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$ , observa-se aumento na disponibilidade hídrica até a  $D_s$  de  $1,31 \text{ kg dm}^{-3}$  (Figura 3), momento em que há inversão do limite inferior, de  $\theta_{PMP}$  para  $\theta_{RP}$  (Figura 2). Diante disto, fica evidenciado que uma leve compactação em Latossolos oxídicos ( $K_r < 0,75$ ) pode promover benefícios aos sistemas agrícolas 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 de água e nutrientes quando comparado a solos em condições naturais (GUBIANI et al., 2012; SOUZA NETO et al., 2013).



**Figura 3.** Variação do intervalo hídrico ótimo na camada de 0-15 cm do Latossolo Vermelho Distroférrico, em função do tráfego de um trator agrícola e tara de 4,5 Mg.  $T_0 = 0$ ,  $T_2 = 2$ ,  $T_{10} = 10$  e  $T_{30} = 30$  passadas no mesmo lugar.

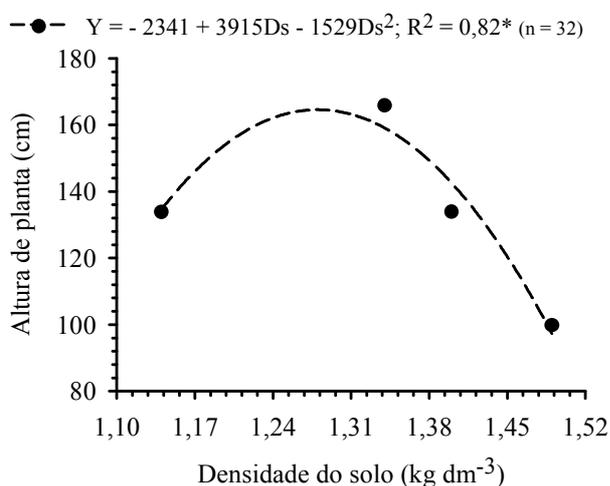
Por outro lado, observa-se na figura 3 que o incremento da compactação do solo com apenas duas passadas do trator no mesmo lugar foi suficiente para limitar parcialmente o IHO. Isto se deve a altíssima suscetibilidade à compactação dos Latossolos oxídicos argilosos da região do Cerrado brasileiro, sendo este um processo praticamente inevitável, mesmo quando os solos em questão são trafegados sob baixos conteúdos de água (CUNHA et al. 2009; SEVERIANO et al., 2013).

Embora a compactação do solo seja considerada excessiva por reduzir o IHO a zero quando da intensidade de tráfego correspondente a 10 e a 30 passadas do trator (Figura 3), destaca-se que no maior nível de compactação ( $T_{30}$ :  $D_s = 1,49 \text{ kg dm}^{-3}$ ), o solo apresenta comprometimento na aeração, uma vez que  $\theta_{PA} < \theta_{CC}$  (Figura 2). Nesse

contexto, além do estresse mecânico imposto ao sistema radicular durante todo o ciclo do girassol nos tratamentos em questão, espera-se que alto índice pluviométrico na fase vegetativa (acumulado de 686 mm de chuvas num um período de 78 dias de cultivo - Figura 1) possa comprometer a oxigenação rizosférica, levando à desordens fisiológicas das plantas cultivadas, não avaliadas, porém, no presente trabalho.

#### *Mudanças agronômicas das culturas nos sistemas forrageiros*

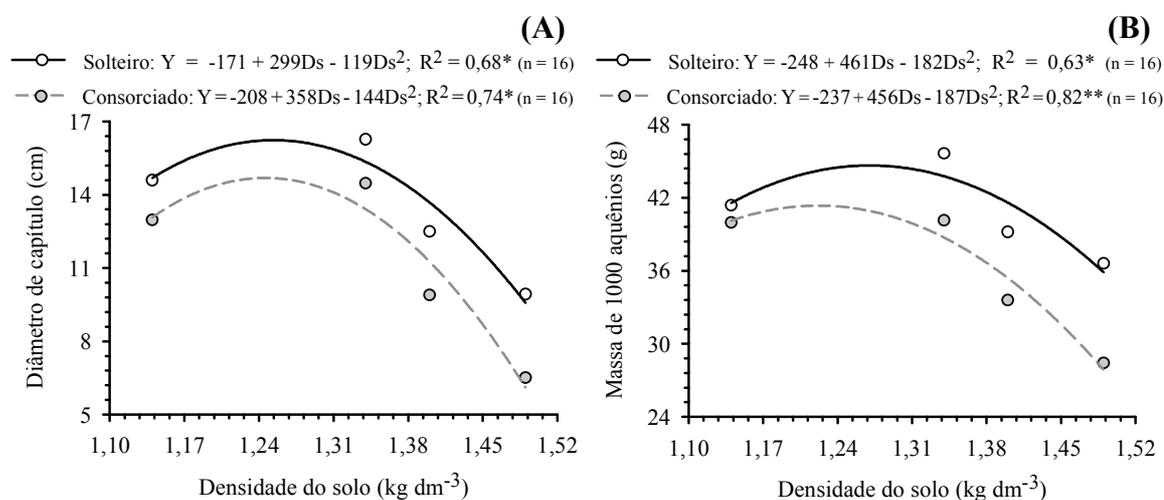
A compactação do solo oriunda do tráfego do trator interferiu nos aspectos agronômicos do girassol (Figura 4 e 5), que por sua vez, alterou o ambiente de crescimento do capim-paiaguás nos tratamentos em consorciação, refletindo também no seu desenvolvimento (Figura 6).



**Figura 4.** Altura de plantas da cultura do girassol em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo solo cultivado em safrinha na região Sudoeste do Estado de Goiás.

A análise dos resultados permitiu constatar que não houve interação entre os sistemas de cultivo forrageiro do girassol solteiro e consorciado para a variável altura de planta, com diferenças observadas somente para a compactação do solo. Isto se deve ao fato do girassol apresentar um desenvolvimento inicial responsivo aos tratamentos culturais, notadamente as adubações de cobertura. Em adição, salienta-se que o capim-paiaguás semeado em maiores profundidades, apresentou emergência lenta e não apresentou competição efetiva com o girassol nos estádios vegetativos da cultura. Esse comportamento encontra-se de acordo com os apontamentos feitos por KICHEL et al. (2009), em sistemas forrageiros consorciados com *Brachiaria brizantha*.

Em contrapartida, nas fases subsequentes (floração e enchimento de aquênios), as condições edafoclimáticas potencializaram a competição com a pastagem implantada no sistema de consorciação. Dessa forma, o desenvolvimento reprodutivo do girassol foi influenciado pela densidade do solo e ainda pelo capim, constatado pela interação destes atributos na avaliação das variáveis “diâmetro de capítulo” (Figura 5A) e “massa de aquênios” (5B), o que demonstra o efeito da competição interespecífica. Os maiores valores foram registrados para o cultivo solteiro e seguem o comportamento observado por ALVES et al. (2013), em que a presença de espécies *Brachiaria* interfere negativamente no diâmetro do capítulo e, conseqüentemente, na produtividade da cultura.

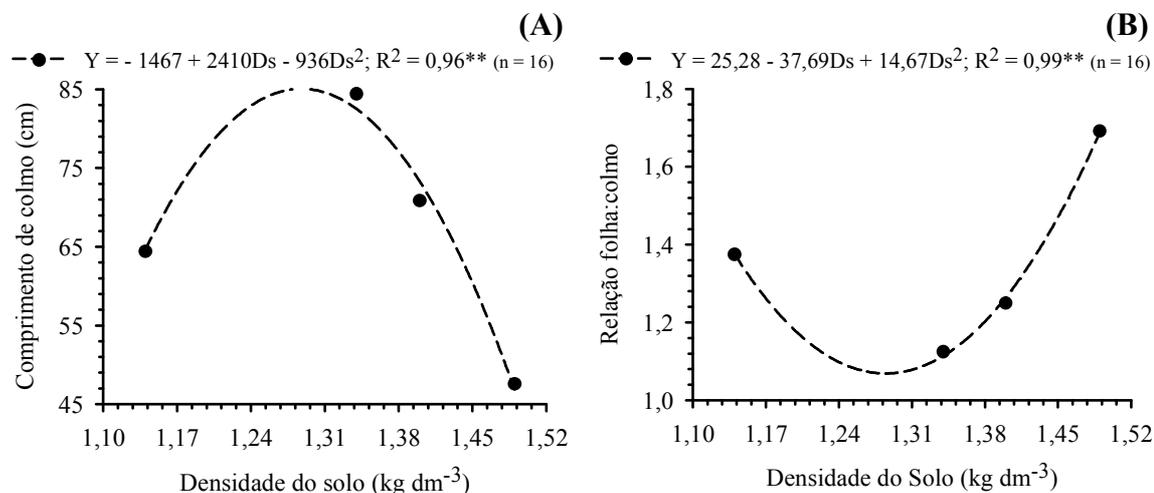


**Figura 5.** Diâmetro de capítulos (A) e Massa de 1000 aquênios (B) de girassol, em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo e do sistema de cultivo forrageiro do girassol solteiro e consorciado em safrinha na região Sudoeste do Estado de Goiás.

O desempenho agrônômico do girassol demonstrou, portanto, elevada sensibilidade da cultura aos fatores avaliados no experimento. Quando cultivado em sistema consorciado, constata-se menor desenvolvimento da planta, tanto vegetativo (Figura 4) quanto reprodutivo (Figura 5).

Em adição, ressalta-se que o capim-paiaguás no sistema consorciado também teve o seu desenvolvimento afetado pela densidade do solo (Figura 6). Contudo, diversos estudos têm demonstrado a rusticidade da *Brachiaria brizantha* a condições de compactação (BONELLI et al., 2011; SANTOS et al., 2011; SOUZA NETO et al., 2013; FLAVIO NETO et al., 2015). Considerando a tolerância do sistema radicular em penetrar na camada compacta, sugere-se que o sombreamento provocado pela cultura do

girassol tenha sido responsável pelas alterações morfológicas no capim, em contrapartida ao incremento da densidade do solo. Comportamento semelhante foi constatado por SILVA et al. (2009b).



**Figura 6.** Comprimento de colmos (A) e relação folha:colmo (B) do capim-paiaguás cultivado em consórcio com girassol na safrinha, em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás.

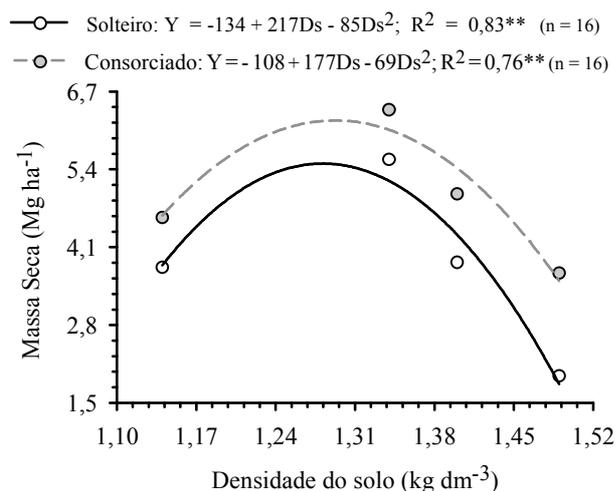
Dessa forma, constata-se, que o desenvolvimento do capim foi influenciado pelo desenvolvimento da cultura de grãos. Em decorrência do ajuste polinomial quadrático da altura do girassol (Figura 4), ressalva alongamento de colmo (Figura 6A) e menor relação folha:colmo do capim (Figura 6B) nos tratamentos em que o girassol se desenvolveu em plenitude. Assim, fica demonstrada a ocorrência de estiolamento do capim em busca por luz.

Por se tratar de uma planta com elevada eficiência fotossintética, o desenvolvimento do capim-paiaguás foi fortemente alterado pelo efeito da luz/sombreamento, em que se expressa no ponto de máxima, alongamento 54% superior (Figura 6A) e redução na relação foliar de 58% (Figura 6B) quando comparados com o tratamento T<sub>30</sub>.

Em adição, MACHADO E VALLE (2011) salientam que as lâminas foliares correspondem ao principal componente nutritivo da forrageira em questão, enquanto os colmos, às frações fibrosas de menor digestibilidade e aproveitamento animal. Portanto, esta mudança morfológica do capim, em função da competição interespecífica proporcionada pela D<sub>s</sub>, pode alterar a bromatologia do alimento (SILVA & NASCIMENTO JUNIOR, 2007).

### Produção de forragem para ensilagem

Além das alterações nos atributos de crescimento das plantas, a qualidade física do solo e o sistema forrageiro afetaram o rendimento de forragem. A figura 7 apresenta a produtividade de massa seca total (MS) em função dos níveis de compactação e do sistema de cultivo forrageiro da cultura do girassol em safrinha, demonstrando ajuste polinomial quadrático entre as variáveis.



**Figura 7.** Produção de massa seca total em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo e do sistema de cultivo forrageiro da cultura do girassol solteiro e consorciado na região Sudoeste do Estado de Goiás.

Nos dois sistemas avaliados, houve incrementos para produção de MS com o aumento da Ds até 1,28 e 1,29 kg dm<sup>-3</sup> (valores em torno de 1,30 kg dm<sup>-3</sup>), que correspondem a produtividades de 5,54 Mg ha<sup>-1</sup> e 6,24 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para o cultivo do girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás. Ressalta-se ainda o comportamento semelhante da produtividade com as limitações ao desenvolvimento do girassol discutidas anteriormente.

Considera-se então, 1,30 kg dm<sup>-3</sup>, e esta corresponde ao momento em que há a inversão do  $\theta_{PMP}$  pelo  $\theta_{RP}$  como limite inferior do IHO (Figura 2) e, conseqüentemente, está refletindo a máxima retenção de água pelo solo (Figura 3), o que corrobora com SEVERIANO et al. (2011) que afirmaram que uma leve compactação beneficia o desenvolvimento das plantas por favorecer ainda o processo de difusão de nutrientes e aumentar o contato solo/raiz, levando a maiores rendimentos das culturas.

Em relação à produtividade do girassol, os valores obtidos são semelhantes aos resultados encontrados por MELLO et al. (2006b), REZENDE et al. (2007), SILVA et al. (2009b), THOMAZ et al. (2012) e MARTIN et al. (2014), em cultivos de safrinha. O

desempenho obtido no presente trabalho, bem como naqueles supracitados, alerta o risco de adoção do girassol para ensilagem, uma vez que outras culturas, a exemplo do milho e do sorgo, apresentam potencial produtivo superior a cultura em questão (OLIVEIRA et al., 2010b; MAFAKHER et al., 2010b).

Entretanto, deve-se frisar que em condições de safrinha mais adiantada pode ocorrer déficit hídrico mais intenso e, com isso, maior limitação ao milho e sorgo em relação ao girassol, conforme observado por SILVA et al. (2009b) em avaliação destas culturas para produção de fitomassa.

POSSATTO JÚNIOR et al. (2013) fazem sugestões sobre o planejamento agrônomo, sendo o girassol indicado como complemento a produção forrageira e para regiões e épocas com maior risco de déficit hídrico, gerando renda e potencialidade de uso da terra, como o caso da sua utilização na safrinha na região do Cerrado.

Destaca-se como importante fator associado aos rendimentos de massa seca obtidos, as condições climáticas durante a condução da lavoura na safrinha. Sugere-se ainda que o déficit hídrico observado especialmente na fase de florescimento possa ter comprometido a produtividade das culturas. Esse fato também foi constatado por MARTIN et al. (2014) que obtiveram perdas de rendimento do girassol, mais acentuadamente dos aquênios, em decorrência de forte veranico na época de florescimento até às vésperas da ensilagem.

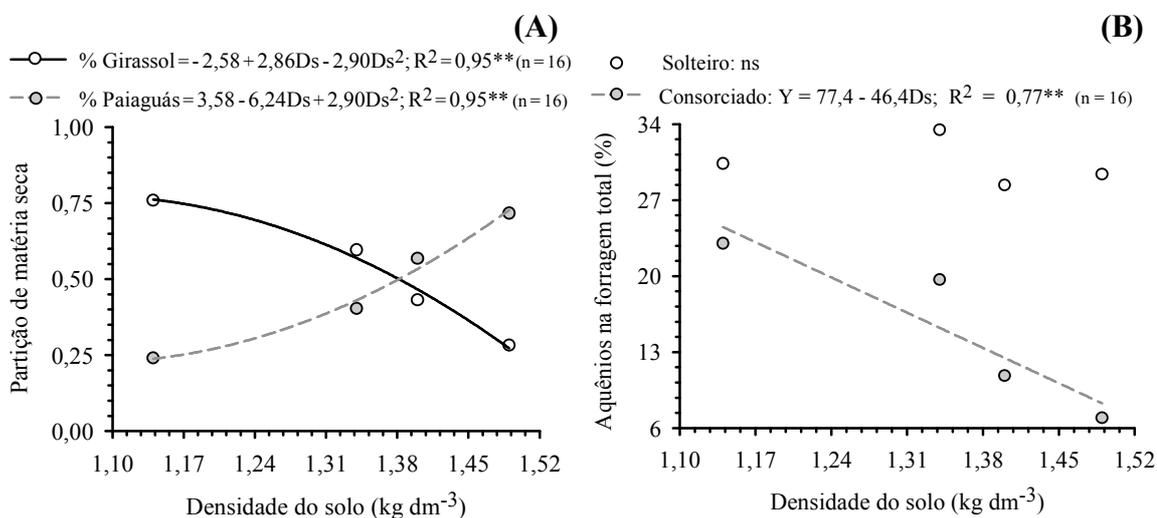
SILVA et al. (2010) e DUTRA et al. (2012) explicam que o estresse hídrico desencadeia uma série de mudanças fisiológicas que reduzem a taxa fotossintética, comprometendo o desenvolvimento da cultura. Considera-se, portanto, as produtividades obtidas compreensíveis para safrinha, principalmente pela ausência de chuvas no período de inflorescência (58-71) e floração (72-85 DAS), contando apenas com precipitação de 10 mm durante o enchimento de aquênios, aos 93 DAS (Figura 1).

Nota-se ainda, que em toda a faixa de produtividade avaliada, o sistema forrageiro consorciado apresentou valores entre 11 a 53% superiores ao cultivo do girassol solteiro, no ponto de máxima produtividade e na maior Ds, respectivamente (Figura 7). Isto se deve ao incremento da biomassa do capim que, embora afete o desenvolvimento do girassol em si, proporciona maiores rendimentos de forragem total decorrente do somatório da biomassa das duas forrageiras para ensilagem. Por esse motivo, destaca-se que as perdas de produtividade em decorrência da compactação do solo dentro de cada sistema forrageiro foram menores no sistema consorciado (43%) quando comparada ao sistema solteiro (66%).

Este fato se deve, provavelmente, às características peculiares das duas culturas estudadas em relação à compactação do solo. Segundo BAYHAN et al., (2002), a sensibilidade à compactação do solo pelo girassol leva a redução a altura da planta, diâmetro do colmo, diâmetro do capítulo e principalmente a produtividade de aquênios. Por outro lado, os resultados de pesquisa têm apontado pequena influência da compactação do solo no desenvolvimento da *Brachiaria brizantha* (BONELLI et al., 2011; SANTOS et al., 2011; SOUZA NETO et al., 2013).

Diante disso fica evidente que em sistemas forrageiros consorciados do girassol com a *Brachiaria brizantha* e, neste caso, a cultivar BRS Paiaguás, quando as condições físicas do solo encontram-se adequadas, o girassol se sobressai e limita o capim pelo sombreamento. Já em condições de Ds mais elevada, o capim limita o desenvolvimento do girassol pela competição, conforme constatado pelas mudanças agronômicas das culturas nos sistemas forrageiros.

Embora o sistema forrageiro consorciado tenha proporcionado maiores produtividades, houve mudança na partição da massa seca total com o incremento da compactação do solo (Figura 8A), o que se deve ao fato do girassol ter apresentado maior sensibilidade ao impedimento físico em comparação ao capim-paiaguás.



**Figura 8.** Partição de forragem consorciada (A) e proporção de aquênios de girassol na forragem total (B) em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo e do sistema de cultivo forrageiro da cultura do girassol solteiro e consorciado na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa.

Inicialmente, o girassol contribuiu com 76% da massa ensilada, reduzindo a medida que aumentou a compactação do solo. Nota-se na figura 8A que Até a Ds de

1,38 kg dm<sup>-3</sup>, a MS do girassol predominou-se, e a partir de então, o capim-paiaguás contribuiu com a maior fração de forragem, atingindo a proporção final de 72%. Este comportamento encontra-se de acordo com os fundamentos de SILVA et al., (2010) e BONELLI et al. (2011).

Em análise da figura 8B, observa-se que a consorciação reduziu a participação dos aquênios na massa de forragem em 66%, enquanto que o sistema solteiro não apresentou significância à variável analisada, uma vez que a compactação do solo reduziu proporcionalmente o desenvolvimento do girassol. Por se tratar de um grão oleaginoso, espera-se que tal redução possa alterar a qualidade nutricional da silagem produzida a partir desta matéria-prima, particularmente nos componentes em que o capim-paiaguás é deficiente.

Por fim, salienta-se que a adoção de cultivo consorciado de girassol com capim-paiaguás em sistemas integrados de produção no Cerrado brasileiro atende as premissas de intensificação do uso da terra, produzindo forragem para os animais na entressafra e estabelecendo indiretamente a pastagem que, por sua vez, possa ser utilizada no pastejo animal ou como planta de cobertura para o SPD.

Com isso, esta região está estabelecendo um sistema de produção sustentável que irá ajudar a alimentar a crescente população mundial e diversificar a produção com menores riscos climáticos e mercadológicos. Entretanto, a intensificação do uso do solo tem sido executada prioritariamente em safrinha, estendendo por todo o período de entressafra das culturas de verão (MAIA et al., 2014).

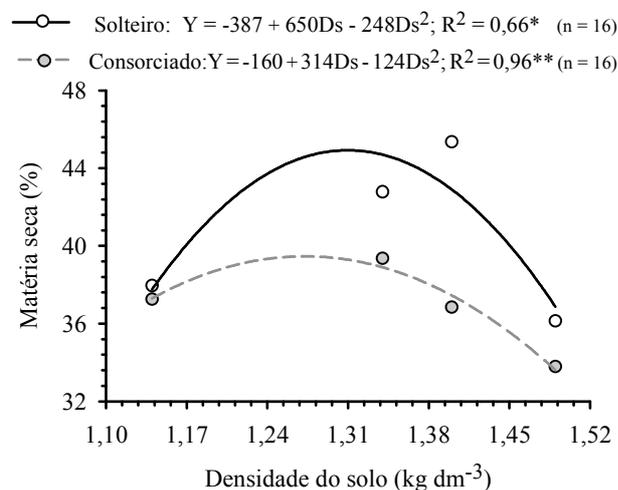
Neste contexto, sugere-se que o planejamento do sistema forrageiro leve em consideração o histórico de uso da terra. Com base no potencial de perdas de produtividade e na partição da forragem decorrentes da compactação do solo já discutidos, ressalta-se que a atividade agropecuária poderá ser comprometida.

A menor oferta de forragem leva a um cenário de busca por soluções pelo produtor rural, a exemplo da complementação do volumoso produzido, ou ainda o descarte estratégico de parte dos animais de modo a adequar o rebanho à disponibilidade de alimento produzido.

#### *Características fermentativas da silagem*

As características fermentativas da silagem foram influenciadas pelo desenvolvimento agrônômico, produtivo e participativo da forrageira originária em todos os atributos avaliados. A análise inicial do %MS demonstrou maiores valores na

silagem girassol em todas as faixas de Ds avaliada (Figura 9). Já na silagem de forrageiras consorciadas, a participação do capim-paiaguás proporcionou maior umidade, apresentando aumento do %MS na faixa de Ds em que o girassol apresentou o maior desenvolvimento.



**Figura 9.** Teor de matéria seca da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás.

Observa-se na figura 9 que a silagem de forrageiras consorciadas apresentou teores de MS em torno de 35%, considerado ideal (LEONEL et al., 2008). O alto teor de umidade de forrageiras tropicais perenes no momento da ensilagem, limitante ao processo fermentativo (SANTOS & ZANINE, 2006; EPIFÂNIO et al., 2014), foi balanceado pela consorciação com o girassol, que apresentou valores elevados no momento do corte, notadamente, quando a Ds se encontrava em torno de 1,30 kg dm<sup>-3</sup>.

Segundo OLIVEIRA et al. (2010b), o teor de MS na cultura do girassol no ponto de ensilagem apresenta alta umidade em determinadas partes da planta, especialmente no capítulo, estando associado à presença de um tecido aquoso e esponjoso em seu interior, que desaparece após a sua maturação. Nessas condições, apresenta maiores valores de matéria seca (SOUZA et al., 2005; POSSATTO JUNIOR et al., 2013).

TORUK et al. (2010) observaram que incrementos no teor de MS com o avanço da maturação fisiológica do girassol refletem na qualidade nutricional e fermentativa da silagem. Os autores definiram o momento adequado para ensilar antes da planta completar a maturação, visando a conciliação entre concentração de nutrientes, acúmulo de conteúdo celular e óleo sem maiores perdas pela elevação nos componentes fibrosos.

Em adição, destaca-se que a variação no %MS do girassol solteiro foi de 18%, corroborando com POSSENI et al. (2005), que também encontraram dificuldades em verificar o momento mais apropriado para ensilar o girassol em função das alterações morfológicas.

SOUZA et al. (2005), avaliando o %MS em diversos compartimentos das plantas, constataram, em condições semelhantes às estudadas, teor 82 a 86% de MS nos aquênios e 42 a 47% na parte vegetativa. Tais observações contribuem para elucidação dos maiores %MS do girassol em torno da Ds 1,30 kg dm<sup>-3</sup>, estando estes relacionados ao maior diâmetro de capítulo e a maior massa de aquênios (Figura 5).

Outro fator a ser considerado relaciona-se ao crescimento da planta. Segundo CASTRO & FARIAS (2005), a maior área foliar contribui para uma efetiva perda de umidade durante a fase de maturação. Embora não avaliado este atributo, espera-se que ocorrência das maiores plantas na faixa de Ds em questão (Figura 4) esteja associada à maior perda de água em resposta ao processo de senescência dos tecidos, levando ao rápido secamento da planta.

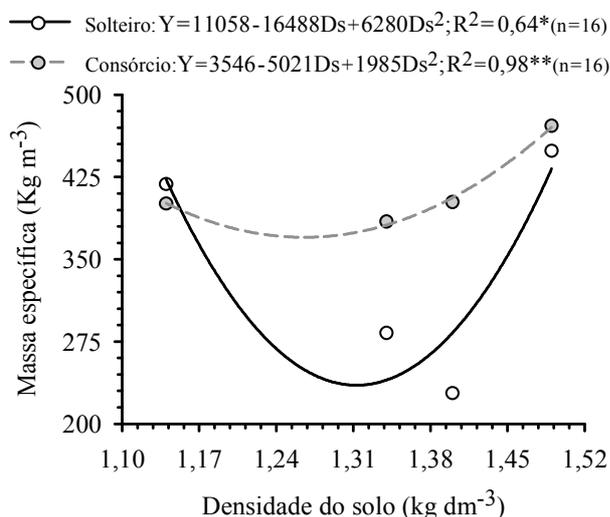
Considerando a importância da umidade da forrageira no processo fermentativo da silagem (JOBIM et al., 2007), ressalta-se que o comportamento das variáveis discutidas na sequência foi influenciado diretamente pela variação do %MS, por sua vez, decorrente da influência da compactação do solo na senescência do girassol.

Ante o exposto, observa-se que a massa específica (M.E.) foi fortemente influenciada pela compactação do solo (Figura 10). Contudo, o ajuste polinomial quadrático para a variável analisada reflete a variação do %MS da forragem discutido anteriormente. Segundo TOMICH et al. (2004), este atributo é o principal responsável pela eficiência de compactação da silagem, apresentando uma forte correlação negativa entre as duas variáveis.

Independente do sistema forrageiro, a M.E. das silagens apresentaram valores superiores 300 kg m<sup>-3</sup> quando o %MS encontrava-se na faixa ideal de ensilagem (abaixo de 40 %MS) (Figuras 9 e 10). Nestas condições, a forragem pode proporcionar boa compactação à silagem (AMARAL et al., 2007; TORUK et al., 2010).

Por outro lado, a M.E. da silagem de girassol reduziu com o incremento do %MS. SANTOS & ZANINE (2006) ressaltam que em silagens com alto teor de MS tendem a ocorrer danos por aquecimento e mofo, levando a perda de peso e de qualidade da silagem, entre outros. Isto se deve ao aumento da oxigenação em silagens pouco compactadas, causando maior respiração das células vegetais e de

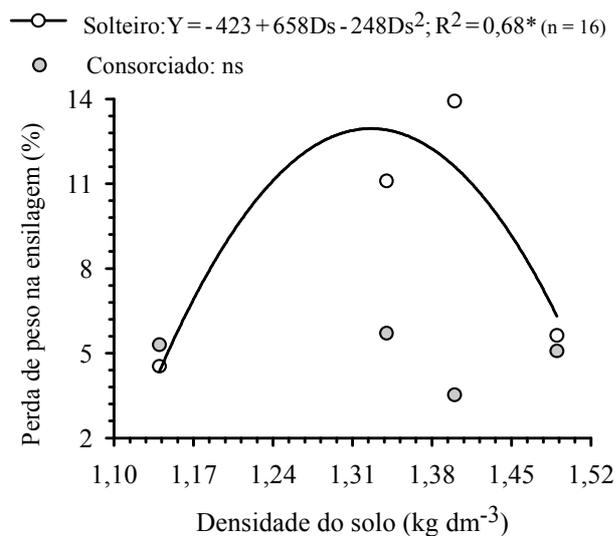
microrganismos, com a conseqüente degradação de carboidratos. SILVA et al.,(2011), consideram que a interação do %MS com a M.E. é determinante na qualidade da silagem, pois determina a porosidade na massa, a qual estabelece a taxa de aeração que influenciará o grau de deteriorização na armazenagem e na desensilagem.



**Figura 10.** Massa específica da silagem em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo e do sistema de cultivo forrageiro da cultura do girassol solteiro e consorciado na região Sudoeste do Estado de Goiás.

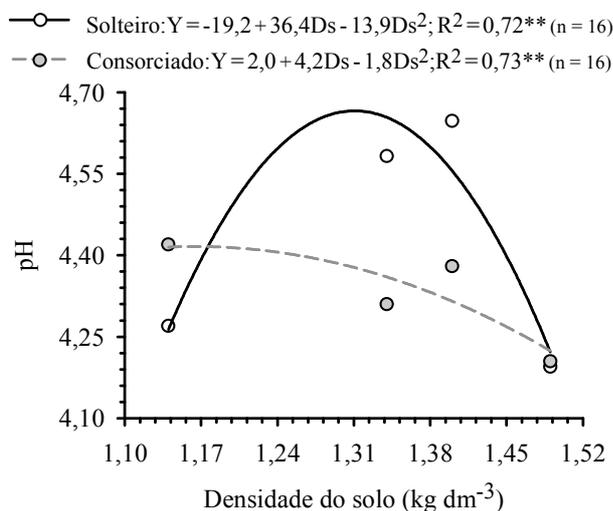
A figura 11 confirma esta constatação, em que a maior perda de peso de massa ensilada foi observada para na silagem de girassol (13%), correspondendo ao ponto de maior teor de MS (Figura 9) e menor M.E. (Figura 10). Em adição, a perda nas silagens produzidas a partir do sistema consorciado não foi influenciada pela Ds, apresentando médias de 5%.

As condições da forrageira na ensilagem, discutidas até o momento, governou todo o processo fermentativo e estão relacionadas às ponderações realizadas por TOMICH et al. (2004), AMARAL et al., (2007) e SILVA et al., (2011). Segundo os autores, a anaerobiose é fundamental para a fermentação láctica, responsável pela redução mais efetiva do pH, e conseqüentemente ocorre inibição da ação prologada de bactérias indesejáveis ao processo.



**Figura 11.** Perda de peso de massa ensilada durante o processo fermentativo, em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo e do sistema de cultivo forrageiro da cultura do girassol solteiro e consorciado na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa.

A figura 12 demonstra a variação do pH em decorrência da produção de ácidos orgânicos na silagem. Observa-se novamente o efeito da composição da forrageira, em que as silagens com menor %MS, logo mais compactadas, apresentou melhores taxa de fermentação e produção de ácido orgânicos responsáveis pela redução do pH.



**Figura 12.** pH (A) da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás.

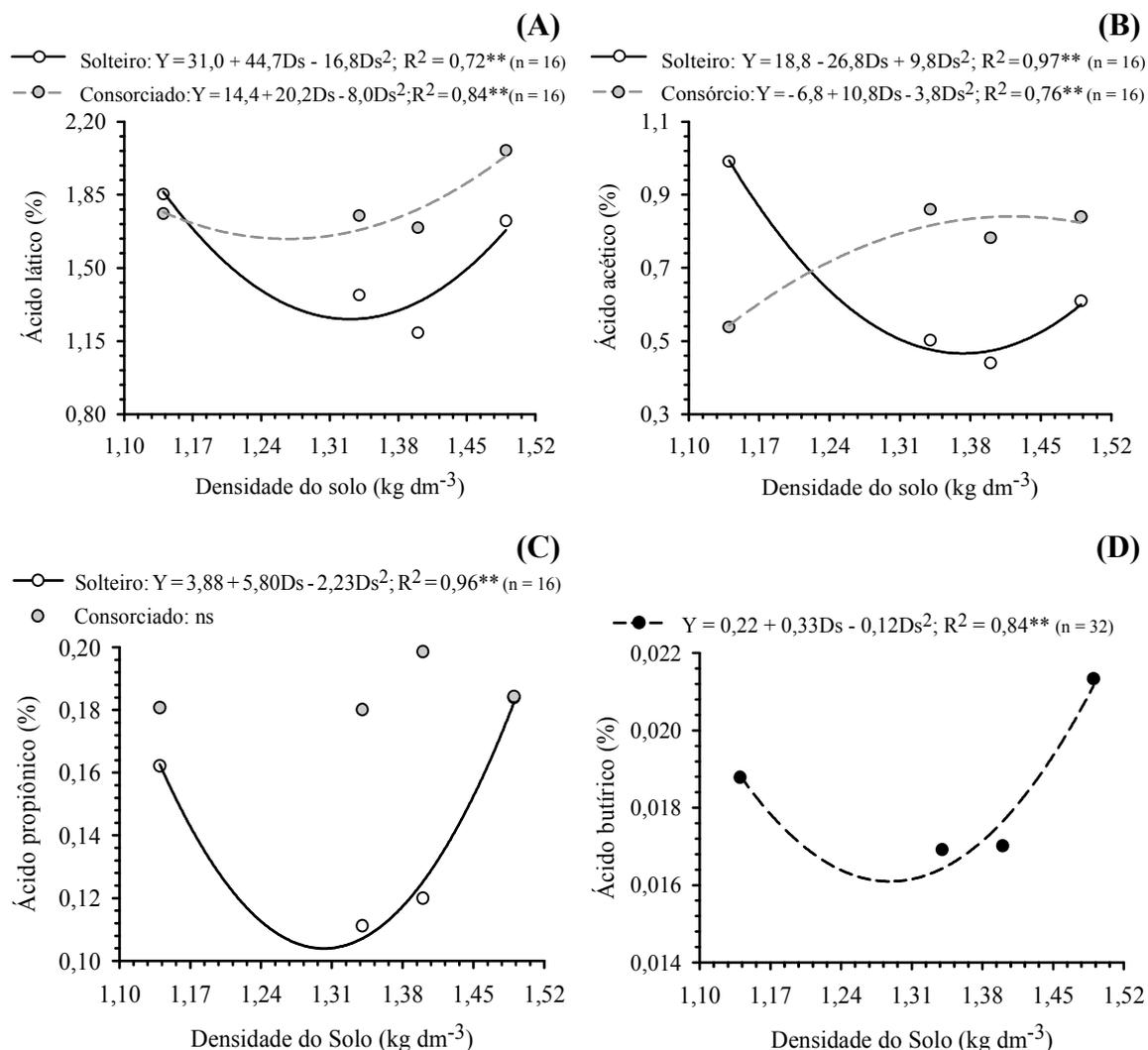
Os valores de pH variaram de 4,21 até o valor máximo de 4,65 e de 4,40 para as silagens de girassol solteiro e consorciado, respectivamente. Historicamente, valores de pH superiores a 4,2 eram associados a silagens pobres (McDONALD et al., 1991). Entretanto, JOBIM et al. (2007) afirmam que o pH só faz inferências à qualidade da fermentação, pois não é indicado para materiais que apresentam alto %MS e conseqüentemente maior pH.

Contudo, os valores de pH encontram-se dentro da faixa sugerida por TOMICH (2003) como adequada para forrageiras ensiladas em torno de 35%MS e corroboram com MELLO et al. (2006a), que explicam que nessas condições, o pH torna-se uma característica de pouca importância, pois o desenvolvimento da acidez é inibido pela deficiência de água e elevada pressão osmótica. Assim, silagens com pH elevado podem ter boa qualidade.

Acrescenta ainda, outro fator inerente ao girassol referente ao baixo teor de carboidratos solúveis e alto tamponamento atribuído em parte ao maior teor proteico e as bases inorgânicas. Neste caso, os autores citados orientam como mais adequado avaliar a concentração dos ácidos orgânicos, conforme pode ser visualizado na figura 13.

Considerando as concentrações e proporções ideais dos ácidos orgânicos de uma silagem de boa qualidade, definidos por KUNG JÚNIOR & SHAVER (2001), os resultados encontrados demonstram que o teor ácido láctico (AL) está muito abaixo à faixa recomendada de 6 a 10% (Figura 13A), enquanto o ácido acético (AC) encontra-se em teores adequados (Figura 13B). Em adição, ressalta-se que os ácidos propiônico (AP) e o butírico (AB) estão presentes em baixas concentrações (Figuras 13C e 13D), indicando silagem de boa qualidade.

Dessa forma, as proporções de ácidos orgânicos indicadores de boa qualidade fermentativa (AL e AC) reforçam as afirmações discutidas nas figuras anteriores em relação ao efeito da compactação do solo no planejamento forrageiro para produção de alimentos conservados no período de safrinha. Destaca-se ainda que os valores obtidos neste estudo podem ser considerados normais para silagens de girassol e coerentes com os resultados obtidos por POSSENI et al. (2005), YILDIZ et al. (2010) e TORUK et al. (2010). Entretanto, para KUNG JÚNIOR E STOKES (2001), esses valores podem contribuir para a baixa capacidade de conservação da massa ensilada, fazendo-se necessária cautela na definição desta como material vegetal a ser ensilado.



**Figura 13.** Concentração de ácido láctico (A), acético (B), propiônico (C) e butírico (D) da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás, em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa.

Entre os ácidos orgânicos, o AL (Figura 13A) apresentou maior concentração nos tratamentos consorciados, enquanto que a silagem de girassol obteve a maior variação deste componente, ajustando-se ao polinômio quadrático. Este comportamento foi inverso à variação do %MS, apresentando o ponto de mínima concentração em torno da Ds de  $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ . Estes dados estão condizentes com as orientações de JOBIM et al., (2007) sobre a importância da atividade da água à microbiota para a boa fermentação durante a ensilagem.

Os resultados de AL sugerem que os aquênios não são os únicos responsáveis por fornecer nutrientes ao processo fermentativo, tendo em vista que a maior proporção de capim-paiaguás aumentou os teores deste ácido. Segundo McDONALD (1991) os

carboidratos solúveis e os açúcares são os principais substratos utilizados pelas bactérias láticas na fermentação, embora outros compostos também possam ser fontes de substratos para a fermentação nas silagens.

SOUZA et al. (2005) observaram que as bactérias utilizam a hemicelulose como substrato para fermentação, embora não descrevessem os produtos deste desdobramento. Neste trabalho notam-se maiores concentrações de ácidos orgânicos associados à maior proporção de capim, forrageira esta rica em hemicelulose.

Esse efeito provavelmente contribuiu também para o aumento do teor de AA. Na silagem consorciada, observa-se que o aumento deste ácido (Figura 13B) foi diretamente proporcional ao incremento do capim na massa total (Figura 8A).

Outro fator associado ao referido ácido na silagem consorciada está relacionado a umidade do capim. Segundo OLIVEIRA et al. (2010a), maiores concentrações de AA ocorrem quando o pH é reduzido lentamente e não o suficiente para inibir algumas bactérias indesejáveis que fermentam açúcares e/ou ácido lático produzindo o acético.

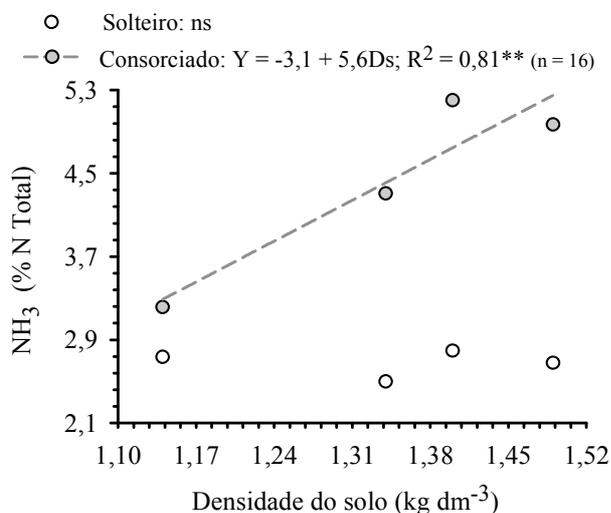
Em adição, ressalta-se que o AP não foi influenciado pela compactação do solo no sistema consorciado, com valores em torno de 0,19%. Para a silagem de girassol solteiro, assemelhou-se aos demais ácidos orgânicos com comportamento polinomial quadrático.

Por fim, o AB tem sido apontado como limitante à qualidade de silagens por se tratar de um componente que reflete a extensão da atividade clostridiana. Este ácido está relacionado aos aspectos negativos do processo fermentativo, responsáveis pela redução da aceitabilidade e do consumo da silagem (TOMICICH et al., 2004). As concentrações de AB próximo de zero indicam a correta e eficiente fermentação da silagem, independente do nível de compactação do solo e sistema forrageiro, bem como ainda, dos valores de pH da silagem (Figura 12).

Sobre o nitrogênio amoniacal ( $N-NH_3$ ) em porcentagem ao N total apresentado na figura 14, nota-se que em todos os tratamentos estão abaixo de 8% recomendado por TOMICICH et al. (2004) para que não represente degradação da proteína, embora apresente relação linear direta com a Ds para o sistema forrageiro consorciado, possivelmente atribuído ao incremento de umidade na massa ensilada.

POSSENI et al (2005) relatam que o desenvolvimento de bactérias indesejáveis do gênero *Clostridium* atua na proteólise e degradação de aminoácidos levando a formação de  $N-NH_3$ , além do consumo do ácido lático e a produção da ácido butírico. Neste sentido, a elevada eficiência do processo fermentativo, constatada pelos baixos

valores de  $N-NH_3$  está associada a baixa atuação das bactérias em questão, conforme elucidado pela análise da figura 13D.



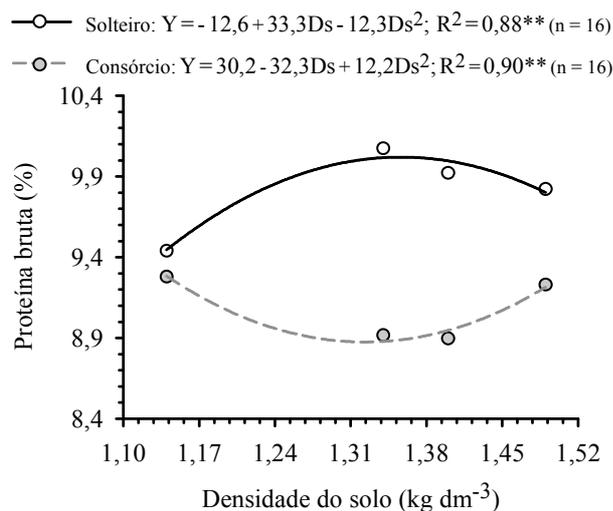
**Figura 14.** Teores de  $NH_3/NT$  da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás, em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa.

No geral, nota-se que as silagens apresentaram características positivas em relações aos principais fatores indesejáveis, como formação de  $N-NH_3$  e a produção de ácido butírico. Porém, apresentou também baixa produção de fatores desejáveis, notadamente ácido láctico. Esse comportamento das silagens pode estar associado ao menor teor de  $CHO_{sol}$  de ambas as culturas nas condições de ensilagem.

#### *Qualidade nutricional da silagem*

Observa-se na figura 15 que o aumento da compactação do solo promoveu efeito quadrático no teor de proteína bruta (PB), entretanto, inversos entre os sistemas forrageiros. A silagem de girassol solteiro apresentou um ponto de máximo teor de PB (9,9%) e, quando consorciada com o capim, foi constatado a ocorrência de um ponto de mínimo (8,8%), estando a Ds em 1,35 e 1,32 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Esses resultados são decorrentes do maior teor de PB do girassol em relação ao capim. Embora apresentem ajustes de regressão, a variação total de apenas 6% no teor de PB da silagem de girassol solteiro reflete a fração proteica dos aquênios que, por sua vez, manteve-se em proporções constantes na massa ensilada (Figura 8B).



**Figura 15.** Teor de proteína bruta da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás.

Por outro lado, a redução proporção de girassol com a compactação do solo no sistema consorciado (Figura 8A) reduziu também a PB até a Ds limitante, devido ao efeito de diluição promovido pela massa do capim nessas condições. Associado à partição, relembra ainda que em condições de sombreamento, o capim apresentou alterações morfológicas associadas à baixa qualidade nutricional, notadamente alongamento dos colmos e pequena proporção de folhas (Figura 6), além de ter sido cortado em estágio fenológico avançado, em razão do propósito do sistema IAP.

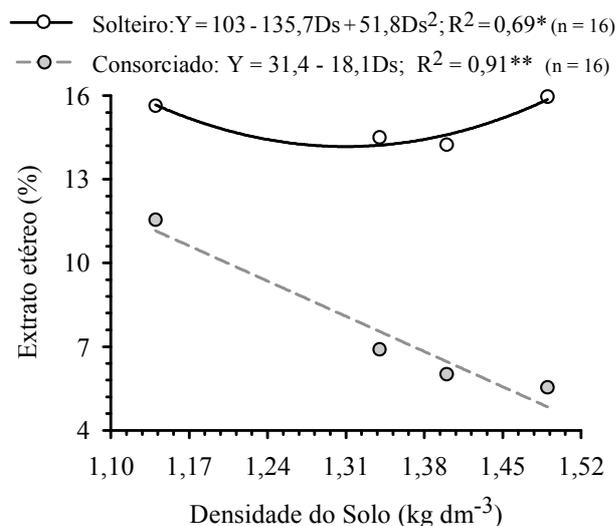
Contudo, em condições de luminosidade, o capim-paiaguás se destaca pela alta produção de biomassa, especialmente durante a estação seca. Suas lâminas foliares apresentam elevados teores de proteína bruta, constituindo de alto potencial nutritivo aos animais (MACHADO & VALLE, 2011). Assim, ressalta-se que com a limitação imposta ao girassol pela compactação do solo, o capim retomou a sua qualidade, resultando em incrementos no teor proteico da silagem consorciada.

Ressalta-se ainda que o capim-paiaguás não desenvolveu inflorescência durante o período de condução do experimento, diferentemente das pastagens de *Brachiaria brizantha* da região que comumente desenvolvem o estágio reprodutivo na época seca. Esta característica inerente ao cultivar em questão torna-se relevante a sua utilização no manejo de entressafra, principalmente na conservação de forragens, por manter as boas características nutricionais neste período, uma vez que as sementes atuam como dreno das reservas orgânicas vegetais (SILVA & NASCIMENTO JUNIOR, 2007).

Em adição, destaca-se que independente do sistema forrageiro, a PB das silagens superou os teores mínimos de 7% necessários para que ocorra a sua efetiva fermentação microbiana ruminal, segundo VAN SOEST (1994) (Figura 15). Os valores encontrados são inferiores aos registrados por SOUZA et al. (2005) e OLIVEIRA et al. (2010a), estando semelhantes aos obtidos por TORUK et al. (2010) e MARTIN et al. (2014).

De maneira semelhante à proteína bruta, o extrato etéreo (EE) foi fortemente afetado pela composição forrageira da massa ensilada. Analisando a figura 16, observa-se que quando produzida a partir do girassol, a silagem apresentou pouca variação neste atributo. A redução de 12% no ponto de mínima, para Ds limitante novamente de 1,31 kg dm<sup>-3</sup>, reflete o efeito de diluição do óleo em relação à produção de massa e de aquênio, corroborando com as observações de SOUZA et al. (2005).

Para a silagem consorciada, o incremento na Ds reduziu linearmente o EE em 58% na faixa estudada, à semelhança da proporção de aquênios na massa ensilada (Figura 8B). Isto se deve aos baixos teores (EPIFÂNIO et al., 2014), associados ao predomínio do capim quando ocorreu a perda da qualidade física do solo (Figura 8A).

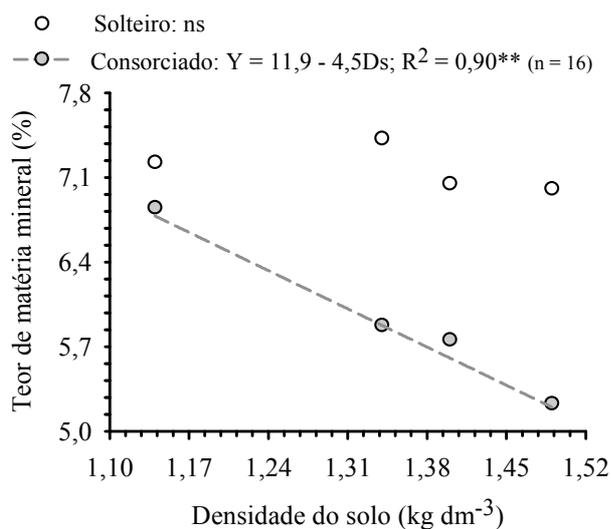


**Figura 16.** Teor de extrato etéreo da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás.

O %EE em silagens de girassol confere maior densidade energética eficiência de utilização desta em regiões tropicais (MELLO et al., 2006a). Por outro lado, de acordo com o autor, na maioria das situações, o teor de EE na dieta de ruminantes deve ser abaixo de 7% na MS para o não comprometimento da ação microbiana ruminal na fibra reguladora da fermentação, digestibilidade e taxa de passagem.

Dessa forma OLIVEIRA et al. (2010a), orientam a necessidade de associação do girassol com outros alimentos volumosos em dietas de ruminantes. No ponto de máxima produtividade de massa seca no sistema consorciado ( $D_s = 1,29 \text{ kg dm}^{-3}$ , segundo a figura 7), o EE apresentou valores em torno de 8%, próximo ao recomendado. Verifica-se então a importância da consorciação visando o equilíbrio entre produtividade e qualidade nutricional da silagem.

A matéria mineral (MM) da silagem de girassol não foi influenciada pela compactação do solo, apresentando valor médio de 7,2% (Figura 17). Os resultados demonstram novamente que a redução das plantas de girassol em decorrência da compactação do solo ocorreu de maneira proporcional em todos os seus compartimentos. Já o efeito de diluição da massa ensilada em detrimento ao aumento participativo do capim também pode ser visto com base na análise da MM. A redução linear dentro da faixa de  $D_s$  estudada foi da ordem de 23%



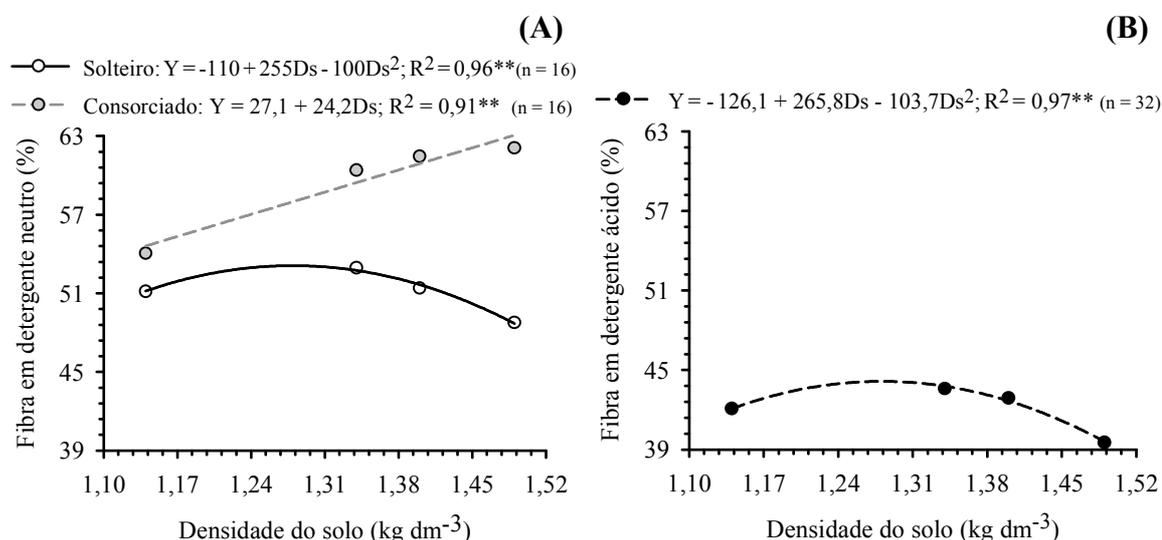
**Figura 17.** Teor de matéria mineral da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás, em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás. ns: Análise de variância da regressão não significativa.

A silagem de girassol é considerada um alimento rico em MM, estando os resultados obtidos no estudo, próximos aos determinados por MARTIN et al. (2014). Segundo os autores, aproximadamente 99% deste componente é constituído por macronutrientes de plantas, notadamente cálcio (Ca), potássio (K), nitrogênio (N), magnésio (Mg) e fósforo (P). Evidencia-se, portanto, a importância da correta adubação quando se trabalha com culturas destinadas à ensilagem, que pode constituir uma

desvantagem em relação às culturas padrão para ensilagem, milho e sorgo, menos exigentes e que apresentam maior potencial produtivo (OLIVEIRA et al., 2010b)

A fração fibrosa em alimentos volumosos deve ser observada de forma quantitativa e qualitativa para prever sua capacidade nutritiva. Segundo VAN SOEST (1994), elevados teores destes constituintes interferem na nutrição animal por afetar o consumo e a digestibilidade da matéria seca das silagens.

A figura 18 associa o incremento da Ds no teor de fibra em detergente neutro (FDN) (18A) e em detergente ácido (FDA) (18B). Embora observada relação entre as variáveis, espera-se que tal comportamento seja indireto. Sugere-se que a composição forrageira da massa ensilada, notadamente a partição e a %MS, seja responsável pelas alterações na fração fibrosa analisada.



**Figura 18.** Teor de fibra em detergente neutro (A) e ácido (B) da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás.

O teor de FDN para a silagem de girassol apresentou ajuste quadrático (Figura 18A), com máximo teor de 53,2% próximo a Ds limitante. Isto se deve a maior produção (Figura 7) e %MS (Figura 9) nestas condições. Por outro lado, quando consorciado (Figura 18B), o aumento do capim na silagem apresentou relação linear direta com os teores FDN, sempre superiores à silagem solteira. Isso se deve aos maiores teores deste componente fibroso presentes em forrageiras tropicais, notadamente quando produzidas na estação seca (MAIA et al., 2014).

Por sua vez, o FDA foi influenciado apenas pela compactação do solo. Este é um componente estrutural secundário característico de maturidade da planta, sobretudo no

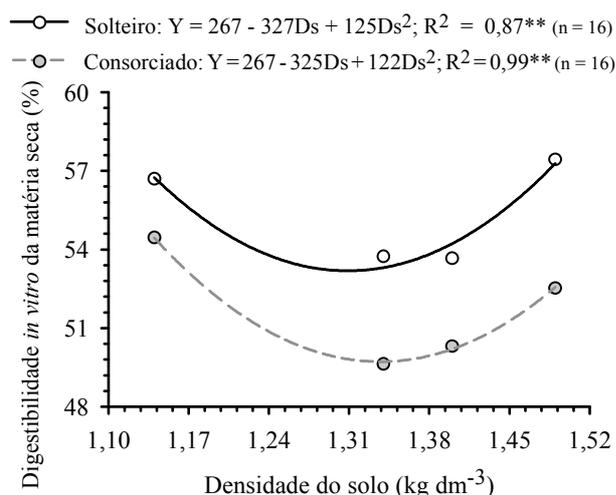
girassol, que deve ter uma estrutura mais rígida e complexa para evitar acamamento devido o peso do capítulo (POSSATO JUNIOR et al., 2013).

No sistema consorciado, o FDA está associado ao alongamento do colmo do capim em busca por luz, comportamento este observado no presente trabalho (Figura 6). Conforme discutido anteriormente, a baixa proporção de folhas resulta em diminuição da qualidade nutricional, entre outros fatores, pelo aumento dessa variável, que apresenta alta relação inversa com a digestibilidade ruminal (VAN SOEST, 1994).

Esses fatores podem ser considerados responsáveis pelo aumento do FDA nas duas composições de silagem, uma vez o máximo valor (44,2%) situou-se próximo à Ds limitante ( $1,28 \text{ km dm}^{-3}$ ), assim como observado as alterações no desenvolvimento morfológico das culturas nestas condições.

Os teores de FDN e FDA presentes nas silagens avaliadas encontram-se próximos aos dados de SOUZA et al. (2005), REZENDE et al. (2007) e JAYME et al. (2007), quando ensiladas no mesmo estágio fenológico. Conforme TORUK et al. (2010) o avanço da maturação fisiológica aumenta o %MS e as fibras (FDN e FDA).

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) das silagens em função da Ds ajustou-se ao modelo polinomial quadrático, com superioridade da silagem de girassol, quando comparada à consorciada com capim-paiaguás (Figura 19). Contudo, ambas as silagens apresentaram menores DIVMS (53 e 51% para solteira e consorciada) próxima à Ds limitante, coerente com as demais variáveis discutidas até o momento.



**Figura 19.** Digestibilidade *in vitro* da matéria seca da silagem de girassol solteira e consorciado com capim-paiaguás, em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás.

Este comportamento apresenta-se de forma oposta ao teor de FDA (figura 18B). Segundo MELLO et al. (2006a) esta fração apresenta alta correlação negativa com a digestibilidade. Entretanto, como não houve diferença na FDA, a maior digestibilidade do girassol solteiro em relação ao consórcio pode estar relacionada, em parte, ao menor teor de FDN (figura 18A), corroborando com JAYME et al. (2007) ao verificarem que silagens com maiores teores de FDN e FDA demonstram reduções nos valores de DIVMS.

Embora observadas alterações na digestibilidade, segundo os parâmetros propostos por JAYME et al. (2007), os sistemas apresentaram valores considerados de adequados (52 a 63%) a regular (<52%). Esses resultados encontram-se ligeiramente superiores à média de 49% revisada por NEUMANN et al. (2009) e, ainda, coerentes aos registrados por SOUZA et al. (2005) trabalhando com girassol em diferentes idades fisiológicas.

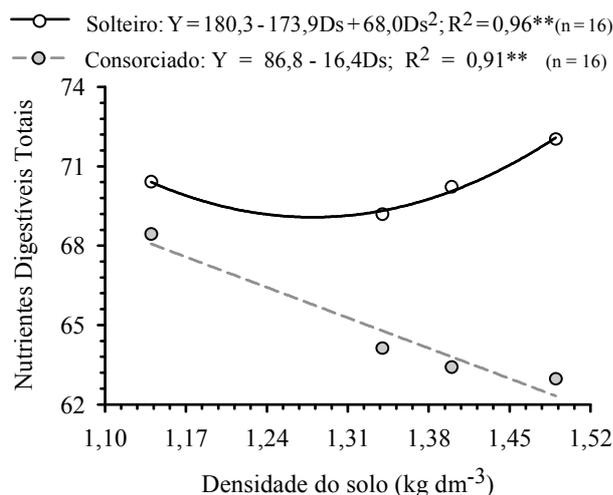
Observa-se que a maior digestibilidade ocorreu nos extremos da Ds (Figura 19). Isso pode ter ocorrido por interações dos fatores, os quais destacam-se alterações nos componentes morfológicos das plantas, principalmente no alongamento de colmo e na relação folha:colmo (Figura 6), em que as plantas ao terem maior desenvolvimento reduziram o valor nutritivo, conforme relatados por SILVA & NASCIMENTO JÚNIOR (2007).

Acrescenta-se ainda ao maior %MS (Figura 9), possivelmente correspondendo a maior maturação fisiológica e, conseqüentemente, menor digestibilidade, corroborando com TORUK et al. (2010). Outro fator que pode ter ocorrido, segundo AMARAL et al. (2007) diz respeito a M.E. da silagem, em que o aumento da compactação da silagem reduz as perdas da massa ensilada, notadamente da fração mais digestível (conteúdo celular).

Estes valores maiores nos extremos, colaboram com a orientação de LEONEL et al. (2008) em atraso na colheita da cultura anual, aliado as recomendações de SANTOS et al. (2010) em usar material absorvente no capim, seguido por EPIFÂNIO et al. (2014) que adicionaram concentrados secos para melhorar a qualidade da silagem do capim. Ante o exposto, constata-se que para densidades do solo acima do valor considerado limitante para o solo em questão o girassol funcionou como aditivo (absorvente) para ensilagem do capim que apresentou elevada qualidade nutricional.

Diante disso, observa-se na proposta de CHANDLER (1990), superioridade do girassol solteiro em relação ao consórcio (figura 20). Observa-se ainda que a silagem de

girassol apresentou de 69,1 a 72,2% de NDT, estando próximo aos dados de OLIVEIRA et al. (2010a), MELLO et al. (2006a) e VIANA et al. (2012) que demonstram seu potencial qualitativo, inclusive em superioridade em relação ao milho e sorgo. Por outro lado, no sistema em consórcio há alteração do comportamento de quadrático para linear, ocorrendo decréscimo de 68,1 para 62,4 à medida que aumentou a participação do capim.



**Figura 19.** Estimativas de nutrientes digestíveis totais em função da fibra em detergente neutro (A) e da digestibilidade in vitro da matéria seca (B) da silagem de girassol solteiro e consorciado com capim-paiaguás, em função da densidade em diferentes níveis de compactação do Latossolo na região Sudoeste do Estado de Goiás.

Estes dados reportam a MELLO et al. (2006a) ao relatarem que em termos de DIVMS o girassol se assemelha as principais gramíneas (milho, sorgo), porém se destaca no NDT em função de apresentar menor teor de FDN e maior de EE. Neste contexto, esta estimativa demonstra que em ambos os sistemas produziram silagens de qualidade. Cabe aqui destacar que na Ds limitante, o NDT foi apenas 5% inferior no consórcio, sendo compensado em sua superioridade produtiva de 13%.

No geral, a qualidade nutricional das silagens nos dois sistemas forrageiros podem ser considerados satisfatórios para a nutrição de manutenção com possibilidade de ganhos moderados em peso em pleno período crítico de seca (NRC, 2001). Aliado a tais questões, observa-se que embora a silagem de girassol consorciado com capim-paiaguás apresente menor qualidade nutricional em relação ao sistema forrageiro solteiro, essa é compensada pela maior produtividade de forragem total e ainda pela renovação indireta da pastagem, propiciando alimentação de qualidade no período de entressafra e/ou formação de palhada para o sistema de plantio direto.

## 5.4. Conclusão

- ✓ A redução do intervalo hídrico ótimo pelo tráfego do trator indica altíssima suscetibilidade a compactação do Latossolo Vermelho Distroférico, o que pode comprometer a sustentabilidade agrícola e também ambiental;
- ✓ O girassol apresentou elevada sensibilidade à compactação do solo, com drástica redução do seu desenvolvimento e produtividade a partir da Ds limitante;
- ✓ A compactação do solo afeta o desenvolvimento do girassol, levando a maior participação do capim-paiaguás na forragem ensilada;
- ✓ A produtividade de forragem pode ser considerada baixa, porém condizentes para a época de safrinha tardia em condições físicas do solo avaliadas.
- ✓ A morfologia, produtividade e partição de forragem foram afetadas pela compactação do solo, alterando a composição da massa ensilada, com influencia nas características fermentativas e nutricionais das silagens;
- ✓ Recomenda-se a adoção do sistema consorciado pela maior produtividade do sistema forrageiro mesmo apresentando qualidade de silagem ligeiramente inferior, com a possibilidade ainda de renovação indireta da pastagem após a colheita da forragem.

## 5.5. Referências Bibliográficas

ALVES, G.S.; TARTAGLIA, F.L.; ROSA, J.C.; LIMA, P.C.; CARDOSO, G.D.; BELTRÃO, N.E.M. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura do girassol em Rondônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.17, n.3, p.275–282, 2013.

AMARAL, R.C.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A. Características fermentativas e químicas de silagens de capim-marandu produzidas com quatro pressões de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.3, p.532-539, 2007.

BALBINOT JUNIOR, A.A; MORAES, A; VEIGA, M.; DIECKOW, A.P.J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v.39, n.6, set, 2009.

BAYHAN, Y.; KAYISOGLU, B.; GONULOL, E. Effect of soil compaction on sunflower growth. **Soil & Tillage Research**, v.68, p. 31–38, 2002.

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.

BONELLI, E.A.; SILVA, E.M.B.; CABRAL, C.E.A.; CAMPOS, J.J.; SCARAMUZZA, W.L.M.P.; POLIZEL, A.C. Compactação do solo: Efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.3, p.264–269, 2011.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transaction of the ASAE**, Jt Joseph, v.33, p.519-524, 1990.

CARVALHO, C.G.P.;GRUNVALD, A.K.; GONÇALVES, S.L.; GODINHO, V.P.C.; OLIVEIRA, A.C.B.; AMABILE, R.F.; RAMOS, N.P.; BRIGHENTI, A.M.; CARVALHO, H.W.L. Informes da Avaliação de Genótipos de Girassol 2010/2011. Embrapa Soja. Londrina, PR. **Documentos 329**. 2011.

CASTRO, C.; FARIAS, J.R.B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, Cap 9, p.163-218, 2005.

CECCON, G., STAUT, L.A.; SAGRILO, E., MACHADO, L.A.Z. NUNES, D.P.; ALVES, V.B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p. 204-212, 2012.

CHANDLER, P. Energy prediction of feeds by forage testing explorer. *Feedstuffs*, Bloomington, v. 62, n. 36, p. 1-12, 1990.

CUNHA, J.P.A.R.; CASCÃO, V.N.; REIS, E.F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 3, p. 371-375, 2009.

DETMANN, E.; SOUZA, M.A. VALADARES FILHO, S.C. **Métodos para Análise de Alimentos**. Visconde do Rio Branco: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 214p.

DUTRA, C.C.; PRADO, E.A.F.; PAIM, L.R.; SCALONS, S.P.Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33(1), p.2657-2668, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p, 2011.

EPIFANIO, P.S.; COSTA, K.A.P.; SEVERIANO, E.C.; CRUVINEL, W.S.; BENTO, J.C.; PERIM, R.C. Fermentative and bromatological characteristics of Piata palisadegrass ensiled with levels of meals from biodiesel industry. **Semina. Ciências Agrárias**, v.35, p.491, 2014.

FERREIRA, D.F. Sisvar: Um computador sistema de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FLÁVIO NETO, J.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W.S.; GONCALVES, W.G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus Brachiaria in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 2015 (no prelo).

GONÇALVES, W.G.; SEVERIANO, E.C.; SILVA, F.G.; COSTA, K.A.P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W.S.; MELO, G. B. Least Limiting Water Range in Assessing Compaction in a Brazilian Cerrado Latosol Growing Sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.432-443, 2014.

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

GUBIANI, P.I.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.37, p.1-10, 2012.

JAYME, D.G.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S.; PIRES, D.A.A.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.N.M.; BORGES, I; BORGES, A.L.C.C.; SALIBA, E.O.S.; JAYME, C.G. Qualidade das silagens de genótipos de girassol (*Helianthus annuus*) confeiteiros e produtores de óleo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.5, p.1287-1293, 2007.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A.; SCHMIDT, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.36, suplemento especial, p.101-119, 2007.

KICHEL, A.N.; COSTA, J.A.A.; ALMEIDA, R.G. Cultivo simultâneo de capins com milho na safrinha: produção de grãos, de forragem e de palhada para plantio direto. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte. **Documentos 177**. 2009.

KUNG JUNIOR, L. **Preparation of silage water extracts for chemical analysis: standard operating procedure** - 001 6.03.96. Worrilow: University of Delaware, Ruminant Nutrition Lab., p.309. 1996.

KUNG JUNIOR, L.; STOKES, M.R.. Analyzing silages for fermentation end products. [http://ag.udel.edu/departments/anfs/faculty/kung/articles/analyzing\\_silages\\_for\\_fermentati.htm](http://ag.udel.edu/departments/anfs/faculty/kung/articles/analyzing_silages_for_fermentati.htm). 2001.

KUNG, JUNIOR, L., SHAVER, R.D. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. **Focus on Forage** 3(13):1-5. University of Wisconsin. 2001. <http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/Fermentation.pdf>

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P. A simplified Excel algorithm for estimating the least limiting water range of soils. **Scientia Agricola**, v.61, p.649-654, 2004.

LEITE, R. M.V.B.C.; CASTRO, C.; BRIGHENTI A.M.; OLIVEIRA, F.Á.; CARVALHO, C.G.P.; OLIVEIRA, A.C.B. Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima. Embrapa Soja. Londrina, PR. **Comunicado Técnico nº 78**. 2007.

LEONEL, F.P.; PEREIRA, J.C.; COSTA, M.G.; MARCO JÚNIOR, P.; LARA, L.A.; RIBEIRO, M.D.; SILVA, C.J. Consórcio capim-braquiária e milho: produtividade das culturas e características qualitativas das silagens feitas com plantas em diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.12, p.2233-2242, 2008.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MACHADO, L.A.Z.; VALLE, C.B. Desempenho agrônomo de genótipos de capim-braquiária em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.11, p.1454-1462, 2011.

MAFAKHER, E; MESKARBASHEE, M; HASSIBI, P; MASHAYEKHI, M.R. Evaluation of Sunflower Silage in Different Developmental Stages. **Asian Journal of Crop Science**, v.2(1), p.20-24, 2010a.

MAFAKHER, E; MESKARBASHEE, M; HASSIBI, P; MASHAYEKHI, M.R. Study of Chemical Composition and Quality Characteristics of Corn, Sunflower and Corn-Sunflower Mixture Silages. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.5(2), p.175-179, 2010b.

MAIA, G.A.; COSTA, K.A.P.; SEVERIANO, E.C.; EPIFANIO, P.S.; FLÁVIO NETO, J.; RIBEIRO, M.G.; FERNANDES, P.B.; SILVA, J.F.G.; GONÇALVES, W.G. Yield and Chemical Composition of Brachiaria Forage Grasses in the Offseason after Corn Harvest. **American Journal of Plant Sciences**, v.5, p.933-941, 2014.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.10, p.1117-1126, 2011.

MARTIN, T.N.; PAVINATO, P.S.; MENEZES, L.F.G.; SANTI, A.L.; BERTONCELLI, P.; ORTIZ, S.; LUDWIG, R.L. Utilização de cálcio e boro na

produção de grãos e silagem de girassol. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v.35, n.4, suplemento, p.2699-2710, 2014.

McDONALD, P.J.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2ª Ed. Mallow Chalcombe Publications, 1991. 340 p.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; QUEIROZ, A.C.; MIRANDA, E.N.; MAGALHÃES, A.L.R.; DAVID, D.B.; SARMENTO, J.L.R. Composição química, digestibilidade e cinética de degradação ruminal das silagens de híbridos de girassol em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1523-1534, 2006a.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; RESTLE, J.; NEUMANN, M.; QUEIROZ, A.C.; COSTA, P.B.; MAGALHÃES, A.L.R.; DAVID, D.B. Características fenológicas, produtivas e qualitativas de híbridos de girassol em diferentes épocas de semeadura para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.672-682, 2006b.

NEUMANN, M.; OLIBONI, R.; OLIVEIRA, M.R.; GÓRSKI, S.C.; FARIA, M.V.; UENO, R.K.; MARAFON, F. Girassol (*Helianthus annuus* L.) para produção de silagem de planta inteira. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v.2, n.3, p.181-190, 2009.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.rev.ed. Washinton, D.C.: 2001. 381p.

NUSSIO, L.G.; RIBEIRO, J.L. **Silagem de capim: Potencial e Limitações**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 267 p. 2008.

OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.; CARVALHO, G.G.P.; RIBEIRO, L.S.O.; ALMEIDA, V.V.; PEIXOTO, C.A.M. Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, sorgo-sudão, sorgo forrageiro e girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.1, p.61-67, 2010a.

OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.; VIANA, A.E.S.; MATSUMOTO, S.N.; CARVALHO, G.G.P.; RIBEIRO, L.S.O. Produtividade, composição química e características agrônômicas de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.12, p.2604-2610, 2010b.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.1, p.17-25, 2011.

POSSATTO JUNIOR, O.; NEUMANN, M.; ROSSI, E.S.; HUNGER, H; FARIA, M.V. Genetic characters of sunflower (*Helianthus annuus* L.) aiming the improvement for whole plant silage. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava-PR, v.6, n.2, p.113-119, 2013.

POSSENTI, R.A.; FERRARI JUNIOR, E.; BUENO, M.S.; LEINZ, D.B.F.F; RODRIGUES, C.F. Parâmetros bromatológicos e fermentativos das silagens de milho e girassol. **Ciência Rural**, v.35, n.5, 2005.

REZENDE, A.V.; EVANGELISTA, A.R.; VALERIANO, A.R.; SIQUEIRA, G.R.; VILELA, H.H.; LOPES, J. Valor nutritivo de silagens de seis cultivares de girassol em diferentes idades de corte. **Ciência Agrotecnologia**, v.31, n.3, p.896-902, 2007.

ROSIM, D.C.; DE MARIA, I.C.; SILVA, R.L.; SILVA, Á.P. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, v.71, n.4, p.502-508, 2012.

SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.190, p. 4-8, 2014.

SANTOS, E.M.; ZANINE, A.M. Silagem de Gramíneas Tropicais. **Colloquium Agrariae**, v. 2, n.1, p. 32-45, 2006.

SANTOS, E.R.; BARROS, H.B. CAPONE, A.; FERRAZ, E.C.; FIDELIS, R.R. Efeito de épocas de semeadura sobre cultivares de girassol, no Sul do Estado do Tocantins. **Ciência Agrônômica**, v.43 n.1, 2012.

SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; MEDRADO, E.; SILVEIRA, P.M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.8. 2011.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J.B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ªed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 353 p. 2013.

SANTOS, M.V.F; CASTRO, A.G; PEREA, J.M.; GARCÍA, A.; GUIM, A.; PÉREZ, H.M. Fatores que afetam o valor nutritivo da silagens de forrageiras tropicais. **Archivos da Zootecnia**, v.59, p.25-43, 2010.

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.S.; CURI, N.; COSTA, K.A.P.; CARDUCCI, C.E. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. **SOIL RES**, v. 51, p. 193-202, 2013.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, 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, v.32, n.4, p.1419-1427. 2008.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, n. 6, p.1775-1781, nov. / dec. 1994.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. Indicadores de qualidade física do solo. In: Lier, Q.J.V. (Org.). Física do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 1ªed. p.241-282. 2010.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análises de alimentos** (métodos químicos e biológicos). 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 235p., 2002.

SILVA, J.F.G.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P.; BENITES, V.M.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W.S.; BENTO, J.C. Chemical and physical-hydric characterisation of a red latosol after five years of management during the summer between-crop season. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1576-1586, 2014.

SILVA, M.S.; JOBIM, C.C.; TORMENA, C.A.; CALIXTO JÚNIOR, M.; SORIANE FILHO, J.L.; ROMAN, J. Determinação da massa específica de silagens de milho por método indireto. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.41, n.9, p.1622-1625, 2011.

SILVA, P.C.G.; FOLONI, J.S.S.; FABRIS, L.B.; TIRITAN, C.S. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.11. 2009.

SILVA, S.C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, suplemento especial, p.121-138, 2007.

SOUSA NETO, E.L.; PIERANGELI, M.A.P.; LAL, R. Compaction of an Oxisol and Chemical Composition of Palisadegrass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p. 928-935, 2013.

SOUZA, B.P.S.; COELHO, S.G.; GONÇALVES, L.C.; VIEIRA, F.A.P.; BORGES, A.L.C.C.; RODRIGUEZ, N.M.; RODRIGUES, J.A.S.; BORGES, I.; SALIBA, E.S. Composição bromatológica da silagem de quatro genótipos de girassol, ensilados em cinco diferentes idades de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, supl. 2, p.204-211, 2005.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

THOMAZ, G.L.; ZAGONEL, J.; COLASANTE, L.O.; NOGUEIRA, R.R. Produção do girassol e teor de óleo nas sementes em diferentes épocas de semeadura no Centro-Sul do Paraná. **Ciência Rural**, v.42, n.2, 2012.

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two stage technique for *in vitro* digestion of forages crops. **Journal of the British Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963.

TOLLEFSON, J. The Global Farm. **Nature**, v.466, p.554-556, 2010.

TOMICH, T.R.; GONÇALVES, L.C.; TOMICH, R.G.P.; RODRIGUES, J.A.S.; BORGES, I.; RODRIGUEZ, N.M. Características Químicas e Digestibilidade *in vitro* de Silagens de Girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1672-1682, 2004.

TOMICH, T.R.; RODRIGUES, J.A.S.; GONÇALVES, L.C.; TOMICH, R.G.P.; CARVALHO, A.U. Potencial forrageiro de cultivares de girassol produzidos na safrinha para ensilagem. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, n.2, 2003.

TORUK, F.; GONULOL, E.; KAYISOGLU, B; KOC, F. Effects of compaction and maturity stages on sunflower silage quality. **African Journal of Agricultural Research**, v.5(1), pp. 055-059, 2010.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.

VIANA, P.T.; PIRES, A.J.V., OLIVEIRA, L.B., CARVALHO, G.G.P., RIBEIRO, L. S.O.; CHAGAS D.M.T.; NASCIMENTO FILHO, C.S.; CARVALHO, A.O. Fracionamento de carboidratos e de proteína das silagens de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.2, p.292-297, 2012.

YILDIZ, C.; OZTURK, I.; ERKMEN, Y. Effects of chopping length and compaction values on the feed qualities of sunflower silage. **Scientific Research and Essays**. Erzurum, v. 5, n. 15, p. 2051-2054, 2010.