

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

COMPACTAÇÃO SUBSUPERFICIAL DO SOLO E SEU EFEITO
SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DO MILHO
E DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS

VICTOR HUGO CUSTODIO POLICARPO
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2023

VICTOR HUGO CUSTODIO POLICARPO

**COMPACTAÇÃO SUBSUPERFICIAL DO SOLO E SEU EFEITO
SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DO MILHO
E DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2023**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

P824c Policarpo, Victor Hugo Custodio

Compactação subsuperficial do solo e seu efeito sobre as características morfofisiológicas do milho e de espécies forrageiras. / Victor Hugo Custodio Policarpo. – 2023.

28 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos César Evangelista de Menezes.

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2023.

Inclui índice de figuras.

1. Raiz. 2. Espécies de cobertura. 3. Taxa fotossintética. 4. Taxa transpiratória. I. Menezes, Carlos César Evangelista de. II. Título.

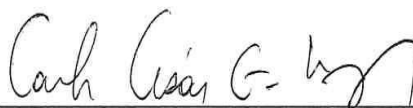
CDD: 631.4

VICTOR HUGO CUSTÓDIO POLICARPO

COMPACTAÇÃO SUBSUPERFICIAL DO SOLO E SEU EFEITO SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DO MILHO E DE ESPÉCIES
FORRAGEIRAS

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de
Rio Verde, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

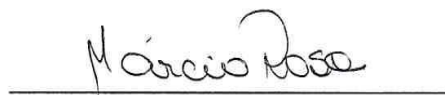
APROVAÇÃO: 24 de fevereiro de 2023




Prof. Dr. Carlos César Evangelista de Menezes
Presidente da Banca Examinadora
Membro – FA/UniRV




Prof. Dra. June Faria Scherrer Menezes
Membro - FA/UniRV



Prof. Dr. Márcio Rosa
Membro - FA/UniRV



Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza
Membro - FA/UniRV



Prof. Dra. Mariana Pina da Silva Berti
Membro Externo – UEG

AGRADECIMENTOS

Daria um livro citar todas as pessoas que eu queria agradecer, todas que me ajudaram diretamente e indiretamente nesta caminhada.

A Deus, por tudo que me deu até aqui, por ter me guiado e iluminado e simplesmente por ter me dado uma família que sempre me apoiou em minhas decisões. Um muito obrigado a minha família, irmão, mãe, pai, namorada, avós!

Ao meu orientador Carlos César Evangelista de Menezes e a minha co-orientadora June Faria Scherrer Menezes, que foram meus mentores nesta etapa. Pessoas ímpares com quem eu aprendi muito desde a época da graduação.

Aos professores e amigos: Antônio Jussiê, Matheus de Freitas, Guilherme Braga Braz, Indiamara Marasca, Alessandro Guerra, Rose Luisa e Camila Jorge Bernabé.

Aos alunos de iniciação científica: Murilo Prado, Gustavo Roberti e Marcella Barroso.

A Universidade de Rio Verde, instituição em que me formei engenheiro agrônomo e agora estou concluindo mais esta etapa, que é o mestrado.

Aos meus amigos, que me deram forças e até mesmo me ajudaram no decorrer deste curso: Rafael Leão e Victor Santiago.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	4
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	7
4 CONCLUSÕES.....	17
REFERÊNCIAS.....	18

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Esquema gráfico representativo da unidade experimental utilizada, composta por três anéis sobrepostos de PVC rígido.....	5
FIGURA 2	Massa seca de parte aérea (A) e porcentagem de redução de massa seca de parte aérea (B) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹ Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). ² Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) Barras indicam o desvio padrão da média (n=4).....	8
FIGURA 3	Massa seca de raiz da parte A (0-15 cm) (A), B (15-30 cm) (B) e C (30-50 cm) (C) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹ Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Barras indicam o desvio padrão da média (n=4).....	10
FIGURA 4	Comprimento de raiz das partes A (0-15 cm), B (15-30 cm) e C (30-50 cm) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹ Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Barras indicam o desvio padrão da média (n=4).....	12
TABELA 5	Área de raiz das partes A (0-15 cm), B (15-30 cm) e C (30-50 cm) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹ Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Barras indicam o desvio padrão da média (n=4).....	14
FIGURA 6	Volume de raiz das partes A (0-15 cm), B (15-30 cm) e C (30-50 cm) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹ Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Barras indicam o desvio padrão da média (n=4).....	15
FIGURA 7	Taxas fotossintética e transpiratória do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹ Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam taxa fotossintética entre solo compactado e não compactado para a mesma espécie. Letras maiúsculas comparam taxa transpiratória entre solo compactado e não compactado para a mesma espécie. Barras indicam o desvio padrão da média (n=4).....	16

RESUMO

O uso intensivo do solo do cerrado, mesmo sob sistemas conservacionistas como o plantio direto, tem alterado a sua estrutura. Um efeito recorrente nesses sistemas agrícolas após anos de implementação é a formação de uma camada compactada subsuperficial, conhecida como “pé-de-grade”. Este fenômeno pode comprometer o crescimento e desenvolvimento de culturas agrícolas nesses sistemas. Assim, o objetivo com o trabalho foi avaliar o efeito da compactação subsuperficial do solo sobre as características morfofisiológicas do milho e espécies forrageiras. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Oito tratamentos foram adotados em esquema fatorial 4 x 2. O primeiro fator consistiu no cultivo das espécies forrageiras: *Urochloa ruziziensis*; *U. ruziziensis* + Milho (consórcio); *Panicum maximum* – BRS Zuri e Milho solteiro. O segundo fator consistiu-se na presença ou ausência de camada compactada de 10 até 15 cm de profundidade. Variáveis fisiológicas, morfológicas e acúmulo de matéria seca de raízes e parte aérea foram avaliadas nas diferentes espécies vegetais. A compactação subsuperficial reduziu a massa seca de parte aérea dos tratamentos *U. ruziziensis* solteira, *U. ruziziensis* em consórcio e o Milho solteiro. Tanto a *U. ruziziensis*, quanto o milho apresentaram redução na massa seca de raiz em diferentes camadas de profundidade e em condições de compactação subsuperficial. A *U. ruziziensis* e *Panicum maximum* apresentaram maior taxa fotossintética nos tratamentos com solo compactado, assim *U. ruziziensis* e *Panicum maximum* são espécies promissoras para o cultivo em solo compactado devido ao melhor desempenho em relação as demais avaliadas neste trabalho. Dentre as espécies avaliadas, o milho é mais sensível a compactação subsuperficial, devido as maiores reduções nos parâmetros fisiológicos e de acúmulo de massa.

Palavras-chave: Raiz, espécies de cobertura, taxa fotossintética, taxa transpiratória.

ABSTRACT

The intensive use of Cerrado soil, even under conservationist systems such as no-tillage, has altered its structure. A recurring effect in these agricultural systems after years of implementation is the formation of a subsurface compacted layer, known as “harrow foot”. This phenomenon can compromise the growth and development of agricultural crops in these systems. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of subsurface soil compaction on the morphophysiological characteristics of corn and forage species. The experiment was conducted in a greenhouse, using a completely randomized design, with four replications. Eight treatments were adopted in a 4 x 2 factorial scheme. The first factor consisted of the cultivation of forage species: *Urochloa ruziziensis*; *U. ruziziensis* + Corn (intercropping); *Panicum maximum* – BRS Zuri and not-intercropped corn. The second factor consisted of the presence or absence of a compacted layer between 10 and 15 cm deep. Physiological and morphological variables and dry matter accumulation of roots and shoots were evaluated in different plant species. Subsurface compaction reduced the shoot dry mass of the treatments *U. ruziziensis* single, *U. ruziziensis* intercropped and corn single. Both *U. ruziziensis* and corn showed a reduction in root dry mass in different depth layers under subsurface compaction conditions. *U. ruziziensis* and *Panicum maximum* showed a higher photosynthetic rate in treatments with compacted soil, thus *U. ruziziensis* and *Panicum maximum* are promising species for cultivation in compacted soil due to the better performance of these plants in relation to the others evaluated in the work. Among the evaluated species, corn is more sensitive to subsurface compaction due to greater reductions in physiological parameters and mass accumulation.

Key-words: Root, cover species, photosynthetic rate, transpiration rate.

1 INTRODUÇÃO

A produção de grãos e cereais no Brasil concentra-se na região Centro-Oeste, tipicamente caracterizada pelo bioma Cerrado. Nesta região foram produzidas cerca de 138,1 toneladas de grãos, na safra 21/22, representando 50,8% da produção total do país (Conab, 2023).

A topografia da região Centro-Oeste do Brasil é caracterizada por relevos planos e levemente ondulada. Os solos têm boa estruturação física, porém baixa fertilidade natural e pH ácido (Fonseca, 2016), fatores que desfavorecem o cultivo agrícola. Por essa razão, a adoção de sistemas conservacionistas do solo, visando o aporte constante de matéria orgânica tem sido adotados, permitindo a melhoria da fertilidade das áreas agrícolas. Além dos aspectos relacionados a fertilidade, a adoção do sistema de plantio direto na região tem reduzido os processos erosivos frequentemente observados, em áreas sob o preparo convencional do solo (Salomão, et.al., 2020).

Apesar do sistema de plantio direto mitigar os efeitos erosivos causado pela força hídrica e eólica nos solos, existe uma preocupação recorrente com o grau de compactação desses solos. Durante as operações de colheita e plantio, o uso de máquinas grandes e pesadas em solo úmido pode intensificar a compactação dos solos, comprometendo a qualidade física como: a redução da porosidade, menor infiltração de água no perfil do solo e maior escoamento superficial da água. Esses fatores em conjunto podem intensificar a erosão de solos, mesmo em sistemas conservacionistas (Farias Neto e Oliveira, 2019). Esse cenário é ainda agravado devido ao uso intensivo do solo na região Centro-Oeste brasileira (Salton, 2014). A distribuição de chuvas regulares apenas no período entre outubro até abril restringe o cultivo sucessivo de soja e milho em janelas curtas para colheita e plantio. Desta maneira operações são realizadas quase simultaneamente e através de máquinas grandes e pesadas para maior rendimento operacional, elevando a pressão sobre os solos que resultam em sua compactação (Ferreira, et. al., 2023).

Existem alternativas para promover a descompactação do solo. Uma delas é a intervenção mecânica através do uso de implementos acoplados a tratores de alta potência capazes de romperem camadas subsuperficiais compactadas. As preocupações com uso desses implementos para descompactação mecânica são a grande demanda de energia para a operação, exigindo alto gasto de combustíveis fósseis, e o revolvimento do solo, acelerando a degradação da cobertura vegetal aportada pelo sistema de plantio direto (Tormena, et. al.,

2017). Além de operações mecânicas, o plantio de espécies de cobertura pode ser também, uma estratégia de baixo custo para descompactação de solos agrícolas (Wadt et al., 2003). Além dos benefícios sobre a descompactação e estruturação de solos, a introdução de espécies de cobertura no sistema proporciona a melhoria dos atributos químicos e biológicas. Outro benefício importante do plantio de espécie de cobertura é o aporte de carbono orgânico ao solo, prática recomendada para maior sustentabilidade do sistema agrícola (Da Costa et al., 2013).

Apesar dos benefícios obtidos a partir do cultivo de plantas de cobertura em sistemas agrícolas, a escolha das espécies mais adaptadas ao sistema edafoclimático e agrônomico é fundamental para assegurar os retornos econômicos e ambientais do sistema. Quando espécies incompatíveis quanto às recomendações agronômicas são inseridas no sistema, elas podem competir com as culturas agrícolas em sistemas consorciados (Silva et al., 2015), reduzindo a produtividade e acúmulo de biomassa. Além disso, as espécies de cobertura podem introduzir substâncias alelopáticas ao solo, tanto por exsudação radicular, quanto a partir da degradação de sua biomassa, inviabilizando o plantio de culturas agronômicas em sucessão ao sistema (Garcia e Sutier, 2016). O efeito alelopático também pode afetar a cultura de cobertura caso a cultura agrícola cultivada anteriormente possua essa propriedade. Uma vez que o crescimento e desenvolvimento das culturas de cobertura são afetados, a capacidade de aportar biomassa e carbono orgânico ao solo pela cultura de cobertura também é reduzido (Miguel et al., 2018).

É de grande importância a escolha de culturas de rápido estabelecimento e de maior produção de fitomassa, isto tanto para cobertura do solo, como para ciclagem de nutrientes levando em conta a liberação destes para culturas subsequentes (Miguel et al., 2018). Com a palhada sobre o solo, este fica protegido de altas temperaturas, reduz-se a evaporação da água mantendo a umidade e também ajudando no controle de plantas daninhas. Vale ressaltar que em climas tropicais, devido à alta temperatura e umidade, as taxas de decomposição de restos vegetais são altas. A taxa de decomposição pode ser 10 vezes mais acelerada em climas tropicais e subtropicais, do que em clima temperado (Lal; Logan, 1995).

Espécies do gênero *Urochloa* e *Panicum* já foram avaliadas quanto ao seu potencial para uso como culturas de cobertura, principalmente para regiões tropicais (Da Silva, 2004). Essas espécies apresentam ciclo fotossintético C4, acumulando grande quantidade de carbono em sua biomassa em um curto período de tempo. Além disso, esse metabolismo fotossintético favorece o crescimento e desenvolvimento dessas plantas em condições de menor disponibilidade hídrica (Barducci et al., 2009), condição frequente na entressafra agrícola do centro-oeste brasileiro na qual são implementadas (após o cultivo de verão). Essas espécies

promovem expressivo aporte de carbono ao solo, carbono bastante estável, que é perdido lentamente para atmosfera. O carbono orgânico é um indicador de qualidade e sustentabilidade do sistema, com isto a sua determinação juntamente com N e outros nutrientes é de extrema importância para planejamentos e estratégias de manejo para os agrossistemas (Ribeiro et al., 2019). Outra característica importante dessas espécies para aporte de carbono no sistema agrícola é a composição química dos tecidos da parte aérea (folhas e colmos). Esses gêneros têm alta relação C/N em suas folhas e colmos, ou seja, a taxa de decomposição de seus restos vegetais é lenta, mesmo para condições de climas tropicais (Pereira et al., 2016).

Os gêneros *Urochloa* e *Panicum* são usados como culturas de cobertura em sistemas consorciados: Lavoura-Pecuária-Floresta e Lavoura-Pecuária, e em plantio em sucessão ao cultivo de verão. Quando cultivada em sistemas consorciados, a principal estratégia usada é o plantio do milho em consórcio com a cultura de cobertura, seja pertencente ao gênero *Urochloa* ou *Panicum* (Ales et al., 2006). O consórcio entre essas duas espécies já foi avaliado quanto aos benefícios para o solo, sem prejuízos para a produtividade da cultura principal (Borghi e Crusciol, 2007). O consórcio com essas duas espécies tem sido possível devido ao manejo integrado do crescimento da cultura de cobertura enquanto crescendo simultaneamente com o milho. Práticas como aplicação de herbicidas seletivos, plantio em maior profundidade do solo ou plantio da forrageira semanas após o plantio do milho (Seiber e Borsoi, 2020) reduzem a taxa de crescimento da forrageira em relação ao milho, evitando a competição pelos recursos de crescimento. De acordo com Mendes e Nasorri (2007), o cultivo do milho consorciado com *U. ruziziensis* não sofreu impacto negativo, se comparado com o milho solteiro não variando em sua produtividade. Pode-se ter também a adoção deste consórcio tanto para a produção de grãos e palhada, como para produção de grãos e pastejo animal.

O uso de plantas de coberturas pode contribuir para o processo de rotação de culturas, promovendo benefícios como: quebra do ciclo de patógenos, pragas e plantas daninhas, bem como, o aumento de matéria orgânica no solo. A rotação de culturas na entressafra também é bastante recomendada, devido a diversidade microbiana que o sistema apresenta (Sodré Filho et al., 2004).

Plantas de cobertura e ou forrageiras são usadas também, para a promoção de fungos micorrízicos arbusculares, por meio da simbiose entre eles. Esta simbiose tem função de intensificar o contato íon-raiz e, conseqüentemente intensificar a absorção dos nutrientes como o verificado por Rossetti e Centurion (2015); Teixeira (2017); Silva (2015) e H. S.

Oliveira, 2019).

Apesar do sucesso dos sistemas consorciados envolvendo milho e culturas forrageiras, a competição existente entre as culturas consorciadas tem sido avaliada extensamente em condições ideais de crescimento e desenvolvimento das culturas, limitando a recomendação dessa prática apenas para áreas sem a existência de condições estressantes. Por exemplo, condições de compactação do solo podem limitar severamente o crescimento radicular e alterar a relação de coexistência de espécies vegetais em sistemas consorciados.

Estabeleceu-se como hipótese, para a elaboração desta pesquisa que a compactação subsuperficial pode elevar a competição entre as espécies utilizadas no consórcio milho-forragem (Benincasa, 1988). Uma vez que o sistema compactado intensifica a competição ou compromete o crescimento e desenvolvimento das espécies isoladas, os benefícios do uso de plantas de cobertura podem se comprometer devido ao baixo aporte de carbono orgânico, oriundo do baixo acúmulo de biomassa dessas espécies. Desta maneira, o objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito da compactação subsuperficial do solo sobre as características morfofisiológicas do milho e espécies forrageiras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido no município de Rio Verde – GO (Latitude: 17° 47' 53'' e longitude: 51° 55' 53''), no período de dezembro de 2021 até maio de 2022. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 8 tratamentos, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições. O primeiro fator consistiu do cultivo das espécies: *U. ruziziensis*, *Panicum maximum* - BRS Zuri, milho solteiro e milho consorciado com *U. ruziziensis*. O segundo fator foi constituído pela presença ou ausência de camada compactada entre 10 e 15 cm de profundidade.

Foram semeadas três sementes de cada espécie e, após a germinação destas e emergência das plântulas, selecionou-se a mais vigorosa. As demais foram desbastadas após 10 dias de emergidas. Foi mantida apenas uma planta por vaso, exceto a consorciação, durante o período de 52 dias. As plantas foram cultivadas em vasos constituídos de segmentos de tubos de PVC rígido de 200 mm, com volume total de 16 litros de solo. Os segmentos de tubo foram divididos em três seções, com as seguintes dimensões: 0 a 15, 15 a 30 e 30 a 50 cm (Figura 1). Para o preenchimento dos vasos, foi utilizado solo da área de mata localizada

na Universidade de Rio Verde, proveniente do horizonte A de um Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, coletados na camada de 0-20 cm.

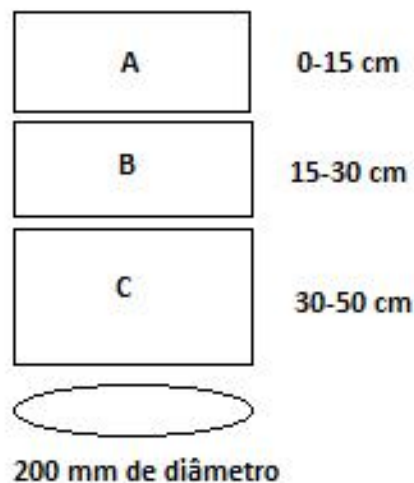


Figura 1 - Esquema gráfico representativo da unidade experimental utilizada, composta por três anéis sobrepostos de PVC rígido.

Após coletado, o solo foi seco ao ar e peneirado em peneira, com malha de 2 mm para caracterização química e textural, conforme metodologia proposta por Teixeira et al., (2017). Com base no resultado da análise: $\text{Ca} = 0,39 \text{ cmol dm}^{-3}$, $\text{K} = 0,20 \text{ cmol dm}^{-3}$, $\text{Mg} = 0,22 \text{ cmol dm}^{-3}$, $\text{P} = 0,76 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Al} = 1,00 \text{ cmol dm}^{-3}$, $\text{H} + \text{Al} = 9,41 \text{ cmol dm}^{-3}$, $\text{M.O} = 28,59 \text{ g kg}^{-1}$, $\text{pH CaCl}_2 = 4,08$, $\text{V}\% = 55,54$, $\text{m}\% = 6,57$, $\text{CTC} = 12,19 \text{ cmol dm}^{-3}$, o solo utilizado para preencher os vasos foi corrigido, elevando a saturação por bases a 60 %, utilizando calcário com 24% de CaO, 11% de MgO e PRNT = 100%. Após incubação do solo por 30 dias, com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP), foi realizada a adubação com macro e micronutrientes, segundo recomendações de Malavolta (1980), para ensaios em vasos. Os nutrientes foram adicionados aos vasos por meio de uma pipeta, para uma melhor distribuição. As necessidades dos nutrientes corresponderam a: $\text{P} = 250 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{S} = 60 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Cu} = 1,5 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{B} = 0,5 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Mo} = 0,15 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Zn} = 5 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{Mn} = 3,6 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{K} = 75 \text{ mg dm}^{-3}$. A adubação com N, foi realizada em cobertura aos 20 dias após a emergência, em uma dose equivalente a $200 \text{ kg por ha}^{-1}$.

A camada compactada foi estabelecida entre 10 a 15cm, com densidade do solo de $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$. Estes valores foram selecionados a partir do trabalho desenvolvido por Guimarães et al. (2013). O solo foi prensado com umidade de 18,13% por meio de uma

prensa hidráulica. Utilizou-se uma força equivalente a aproximadamente 800 kg ou 0.8 toneladas força.

Para se determinar a quantidade de solo que foi prensada na profundidade de 10 a 15 cm, utilizou-se as equações $v = \pi \cdot r^2 \cdot h$ para calcular o volume do vaso, e posteriormente foi calculada a massa com a equação $d = m/v$. Com isso, chegou-se ao valor de 2,5 kg de solo para ser prensado na camada de 10 a 15 cm.

Após os vasos completos, o solo foi saturado com água e, no decorrer do experimento foram regados com o mesmo volume de água todos os tratamentos. Ao final do experimento, utilizou-se o total de 9,5 L de água para cada vaso.

Trocas gasosas

As trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro das taxas fotossintéticas (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e transpiratórias (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), utilizando um analisador portátil de gases no infravermelho (IRGA) modelo CI-340 (CID Biosciences Inc., Camas, WA, USA), em temperatura ambiente ($26 \pm 2^\circ\text{C}$), com densidade de fluxo de fótons ajustada para $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na câmara foliar. Adicionalmente determinou-se a eficiência instantânea do uso da água a partir do cálculo da razão A/E . Para estas avaliações foram utilizadas a porção mediana de folhas que estavam completamente expandidas.

Biomassa seca da parte aérea

As plantas foram cortadas rente ao solo e o material vegetal foi colocado em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura ajustada para 65°C , até atingir o peso constante.

Determinações de raiz

Após as determinações da parte aérea, o solo contendo as raízes foi retirado dos vasos e submergido em recipientes com água, por no mínimo 30 minutos, para facilitar o processo de lavagem das raízes. O sistema radicular foi lavado em água corrente sobre uma peneira de malha de um milímetro, e dividido em três partes de acordo com as camadas de cada vaso. Após o processo de lavagem a massa fresca do sistema radicular foi determinada e, em seguida, as raízes foram armazenadas em sacos plásticos contendo uma solução de etanol (350 mL de etanol por litro de água), para evitar a desidratação, segundo Costa, et. al. (2000).

Para as análises de: comprimento, densidade, volume e área de raízes, foi utilizado o programa Safira acoplado a um scanner do aparelho Iphone 11. Foram obtidas subamostras

representativas do sistema radicular realizando a metodologia proposta por Costa et. al. (2000): (I) corte do sistema radicular completo em pedaços de 10 mm de comprimento; (II) coloração dos segmentos radiculares a 0,1% de azul de metileno por 15 min.; (III) colocou-se os segmentos em um dispositivo de mistura cheio de água de 18 L; e (IV) subamostras de 0,5 g de raiz foram coletadas e o material restante foi devolvido ao sistema de mistura. O processo de subamostragem foi repetido quantas vezes foram necessárias para coletar todas as demais de um sistema radicular. As amostras de raiz foram colocadas em bandeja de acrílico (200 mm por 300 mm) com lâmina de 4 mm de água e as raízes desembaraçadas de forma a evitar a sobreposição. Posteriormente, a bandeja foi posicionada perante o scanner. As imagens foram então digitalizadas utilizando o programa Safira, segundo metodologia de Costa et. al. (2000).

O material vegetal colhido foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, para à obtenção da biomassa da matéria seca das raízes.

Os dados obtidos foram submetidos ao test-t (SIGMAPLOT 14.5) e as médias com efeito significativo, comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, pelo programa Sisvar.

Trocas gasosas - taxa fotossintética e transpiratória

Foram analisadas as taxas fotossintéticas e transpiratórias apenas das espécies cultivadas de forma isolada (solteira), isto é, plantas de *U. ruziziensis*, milho e *P. maximum* (Figura 7). Não foram analisadas as taxas fotossintéticas e transpiratórias do tratamento com o consórcio, pois não é ideal utilizar dados médios da somatória de duas espécies e também não ter um tratamento com o consórcio de milho e *P. maximum*, visto que o milho é uma cultura de interesse comercial.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa seca de parte aérea

A compactação subsuperficial reduziu a massa seca de parte aérea das espécies *U. ruziziensis* e milho, tanto em cultivo solteiro, quanto consorciado (Figura 2A). Por outro lado, o *P. maximum* elevou o acúmulo de matéria seca em condições de compactação subsuperficial (Figura 2A). O milho em cultivo solteiro demonstrou maior redução de matéria seca da parte

aérea (52,1%) comparado a *U. ruziziensis* (30,2%) e o sistema consorciado (27,5%) (Figura 2B).

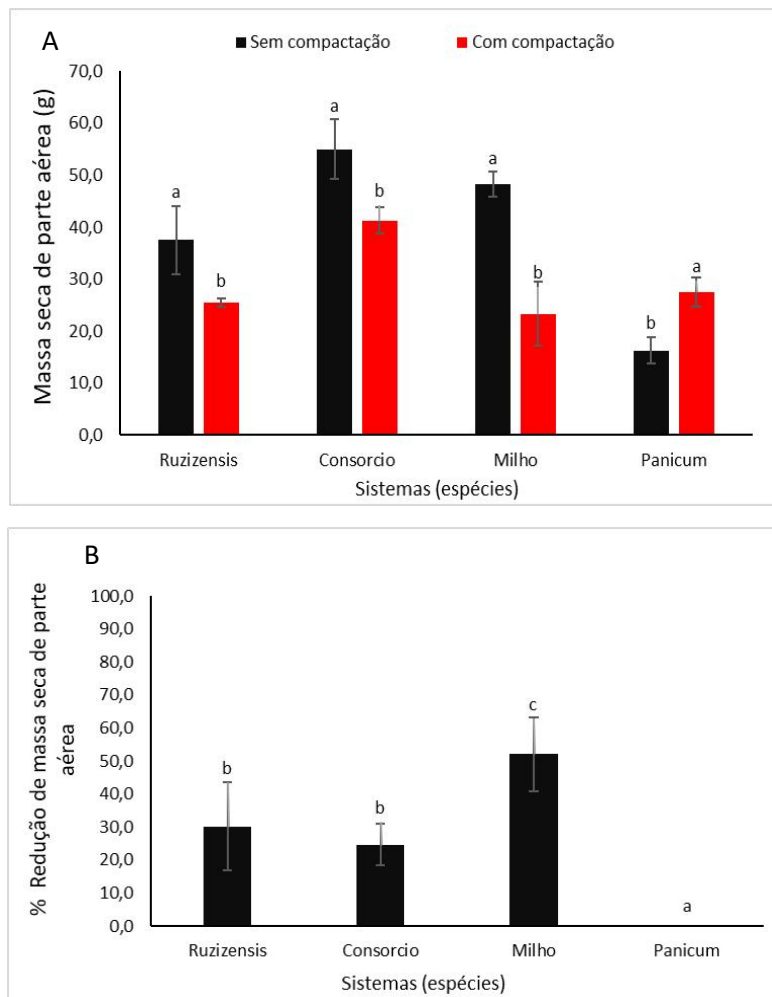


Figura 2 - Massa seca de parte aérea (A) e porcentagem de redução de massa seca de parte aérea (B) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). ²Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) Barras indicam o desvio padrão da média (n=4).

Em um estudo desenvolvido por Almeida, et. al. (2006), em solo com compactação equivalente à $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$, obteve-se resultados em que a massa seca de parte aérea de milho reduziu de acordo, com o aumento do grau de compactação, no qual este referiu-se à porcentagem do volume do vaso compactado 0, 25, 50, 75 e 100%. Estas porcentagens referem-se as profundidades do solo, em que 0% é o solo sem compactação e 100% o volume total do vaso compactado.

Os tratamentos consórcio (milho + *U. ruziziensis*) e *U. ruziziensis* solteira apresentaram menor redução comparado ao milho, sugerindo uma maior sensibilidade do

milho à condição de compactação subsuperficial. Contudo, a matéria seca de parte aérea do sistema consorciado é a soma da matéria seca das duas espécies e provavelmente o consórcio intensificou a competição das plantas de milho e *U. ruziziensis*, quando em solo com compactação subsuperficial.

Apesar das reduções observadas para *U. ruziziensis* e milho, tanto em cultivo solteiro, quanto consorciado, o *P. maximum* apresentou maior acúmulo de biomassa em condição de compactação subsuperficial. Este fato explica-se pela maior eficiência das raízes em absorver água e nutrientes e, também, pela maior eficiência fisiológica da cultura, visto que houve uma maior concentração de água e nutrientes nas camadas superficiais do vaso, elevando a disponibilidade de recursos de crescimento na superfície e reduzindo as perdas dos nutrientes, devido a lixiviação, ao longo da condução do ensaio.

Massa seca de raiz

A compactação subsuperficial reduziu o acúmulo de massa seca de raízes nas camadas de 0-15 e 15-30 cm de profundidade da *U. ruziziensis* (Figura 3A e 3B). No entanto, não houve redução da massa seca de raiz na camada de 30-50 cm de profundidade para essa espécie devido à compactação. Para o milho solteiro, uma redução no acúmulo de massa seca apresentou-se nas camadas de 15-30 e 30-50 cm devido a compactação subsuperficial (Figura 3B e 3C). Por outro lado, não houve diferença para o acúmulo de massa seca na camada 0-10 cm entre as raízes do milho solteiro em solo compactado e não-compactado (Figura 3A). Com isso, pode-se supor que as raízes do milho gastaram maior energia no rompimento de camadas compactadas afetando a massa de raiz em profundidade e ou então ficaram confinadas na primeira camada e não aprofundaram apropriadamente ao longo do perfil do solo, como citado por Embrapa (2019).

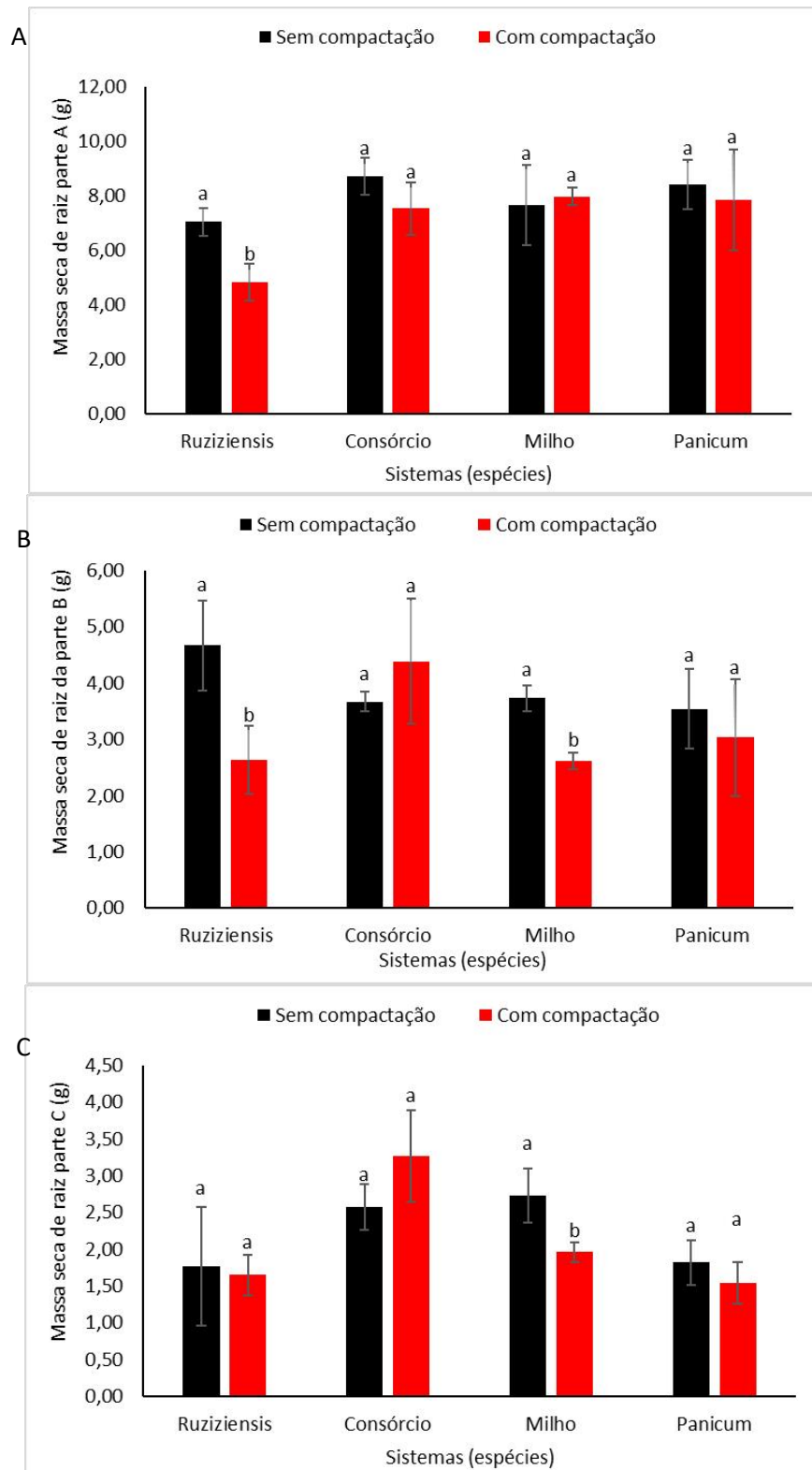


Figura 3 - Massa seca de raiz da parte A (0-15 cm) (A), B (15-30 cm) (B) e C (30-50 cm) (C) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Barras indicam o desvio padrão da média ($n=4$).

Diferente do milho, a compactação subsuperficial reduziu o acúmulo de massa seca de raiz da *U. ruziziensis*, nas camadas superficiais do solo, não alterando estes valores em condições de maior profundidade (30-50 cm). Este fato sugere que as raízes da *U. ruziziensis* possivelmente romperam a compactação subsuperficial, permitindo o acúmulo de massa seca em camadas mais profundas do solo. No entanto, o rompimento da camada compactada demandou um gasto energético extra para a planta, limitando o acúmulo de massa seca em camadas superficiais do solo. O milho não demonstrou essa capacidade para superar a barreira de compactação em subsuperfície. Mesmo que ambas as espécies possuam sistema radicular fasciculado, as raízes de *U. ruziziensis* são mais “agressivas” que raízes de milho. Podendo ser que o milho, em específico, o destinado para produção de grãos, demande mais de energia para produção de grãos, do que para o crescimento radicular, ainda mais em ambiente adverso (compactado).

Observou-se comportamento oposto entre *U. ruziziensis* e milho na produção de massa seca de raiz, em que para *U. ruziziensis* nas primeiras camadas A e B houve diferença entre solo compactado e não compactado. Já para o milho, a diferença foi nas camadas B e C, camadas mais profundas (Figura 3A, B e C). A compactação subsuperficial não alterou o acúmulo de massa seca de raiz para a espécie *P. maximum* em nenhuma das camadas do solo (Figura 3A, 3B e 3C). Esse comportamento evidencia a correlação existente entre o crescimento radicular e a parte aérea.

O acúmulo de massa seca da parte aérea para *P. maximum* também não foi afetado negativamente pela compactação. Diferentemente das espécies *U. ruziziensis* e milho, que tiveram uma redução no acúmulo de massa seca de raízes, em pelo menos uma camada do solo, o *P. maximum* foi capaz de manter o crescimento radicular e equilibrar a demanda energética, mesmo sob compactação, não afetando a capacidade de absorção de água e nutrientes para suportar o crescimento da parte aérea. A massa seca de raiz pode ser um indicativo de potencial para o crescimento radicular, no qual, quanto maior a massa pode-se ter que as plantas possuem um sistema radicular “agressivo”, ajudando tanto na abertura de galerias no solo e aumento de matéria orgânica em profundidade. As raízes também influenciam na produtividade das plantas, visto que elas são a principal forma de abastecimento de nutrientes e água para a parte aérea.

Comprimento de raiz

A forrageira *U. ruziziensis* sofreu influência no comprimento de raiz quando cultivada em solo com compactação (Figura 4), demonstrando assim, redução significativa nas camadas

A, B e C do solo, com redução de aproximadamente 69, 80 e 79% quando comparado ao cultivo em solo, sem o impedimento físico.

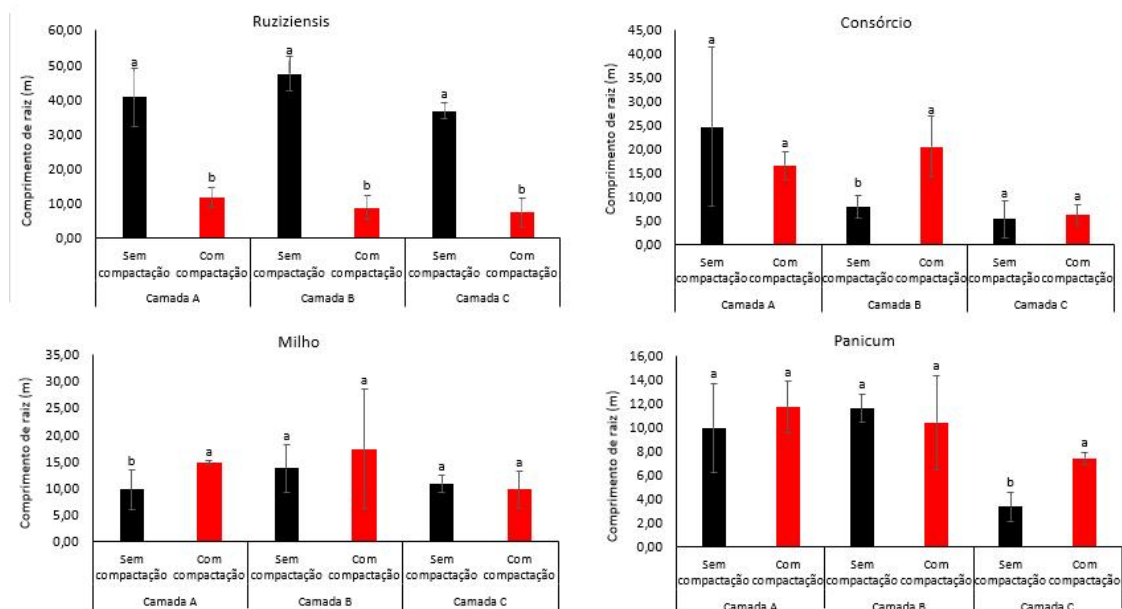


Figura 4 - Comprimento de raiz das partes A (0-15 cm), B (15-30 cm) e C (30-50 cm) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Barras indicam o desvio padrão da média (n=4).

Com resultados parecidos, Fontes, et. al. (2009), observaram uma redução linear no crescimento de raiz de *U. Brizantha* cv. Marandu com o aumento da densidade do solo. Esse comportamento se deve, provavelmente, ao aumento da resistência a penetração do solo, promovendo impedimento físico e, assim, dificultando o crescimento radicular.

Observa-se que, além do comprimento das raízes, as variáveis: área de superfície (Figura 5) e volume de raiz (Figura 6) da braquiária (*U. ruziziensis*) também sofreram redução em solo compactado, em que a área apresentou 93,5; 93,7 e 96,3%, e volume 98,7, 98,4 e 99,4%, nas camadas, respectivamente. Estas variáveis, que são fundamentais para a atividade das raízes, apresentaram menores medidas em solo, ou seja, o menor comprimento pode influenciar a área de superfície e volume de raiz. Este resultado é um indicativo de que o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular da braquiária é bastante sensível à compactação do solo. Por outro lado, nota-se que quando cultivada em solo sem compactação, a braquiária seria uma opção de cultivo melhor que as demais culturas, devido apresentar valores mais elevados, que as demais espécies: no comprimento, área e volume de raiz (Figuras 4, 5 e 6). O milho e *Panicum maximum* apresentaram comportamento diferente, em

relação à braquiária, quando cultivados em solo compactado (Figura 4). Para o Consórcio não houve diferença no comprimento de raiz tanto para camada A e C. Já na camada B o ambiente compactado favoreceu o aumento do comprimento de raiz.

Foloni, et al. (2003), ressaltam que o ambiente com compactação subsuperficial modificou a distribuição das raízes ao longo do perfil do solo, porém não interferiu em sua produção. Comportamento que se iguala no do presente trabalho, que para o Consórcio e o Panicum, a massa seca de raiz não teve diferença entre ambiente compactado e sem compactação, porém o comprimento de raiz na camada B do Consórcio e camada C do Panicum foram maiores para o ambiente compactado.

Observa-se que, para o milho o impedimento físico (camada compactada) favoreceu o maior comprimento das raízes na camada superficial (camada A), aumentando em média 69%. Tal comportamento pode explicar-se devido a camada compactada localizar-se entre 10 e 15 cm de profundidade (camada A), fazendo com que as raízes do milho demorassem mais para rompê-la, priorizando a produção de mais raízes na camada mais superficial (Figura 3). Rosolem et al. (1994b), tiveram resultados em que o crescimento radicular do milho foi inibido pela camada compactada e constataram um maior crescimento de raiz nas camadas superficiais, assim tendo resultados com comportamento similar, ao do presente experimento.

Percebe-se que, o milho teve redução da matéria seca de raiz nas camadas mais profundas e que para o comprimento de raízes a diferença foi na camada mais superficial, em que houve acréscimo no comprimento de raiz na camada mais superficial em condições de compactação. Isso pode demonstrar que houve uma alteração anatômica nas raízes, tornando-as mais finas nas camadas mais profundas (Figura 3 e 4).

Salton e Tomazi (2014), ressaltam que as braquiárias possuem sistema radicular com boa capacidade de estruturação do solo e bom aporte de palhada ao sistema, conseqüentemente, beneficiando culturas subsequentes. É necessário pesquisas visando obter resultados sobre quais culturas sofrem menos, quando cultivadas em ambiente com impedimento físico, isto observando o comportamento em um todo, desde o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, até a produção de matéria seca de parte aérea (Foloni e Braga, 2003).

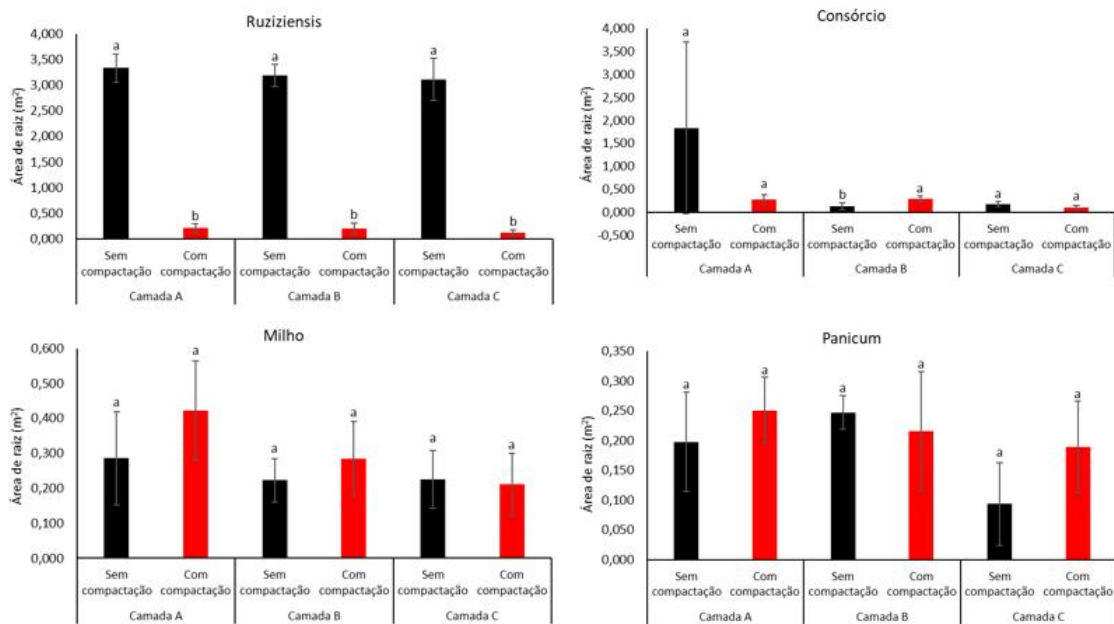


Figura 5 - Área de raiz das partes A (0-15 cm), B (15-30 cm) e C (30-50 cm) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Barras indicam o desvio padrão da média ($n=4$).

Área e volume de raiz

Área e volume de raiz foram boas variáveis para identificar que a espécie braquiária foi muito sensível à compactação. No presente trabalho, em se tratando sobre o cultivo das espécies em ambiente compactado, a braquiária mostrou-se uma cultura bastante sensível, pois sofreu redução no crescimento para a maioria das variáveis analisadas, como por exemplo para massa seca de parte aérea (Figura 2), massa seca de raiz (camadas A e B) (Figura 3), comprimento (Figura 4), área e volume de raiz (Figuras 5 e 6). Já o *P. maximum*, quando observada a produção de raiz e parte aérea, demonstra-se ser uma espécie mais tolerante, que as demais, não sendo influenciada negativamente pela compactação; exceto quando se tratou do volume de raiz da camada B (Figura 5). Mas como ressaltado anteriormente, como não houve diferença na massa seca de raiz nesta mesma camada (Figura 3B), pode-se supor que a camada compactada apenas modificou a distribuição do sistema radicular do *P. maximum* ao longo do perfil do solo. Praticamente não houve diferença entre os tratamentos do consórcio, milho e *P. maximum* quando cultivado em ambiente compactado ou sem compactação.

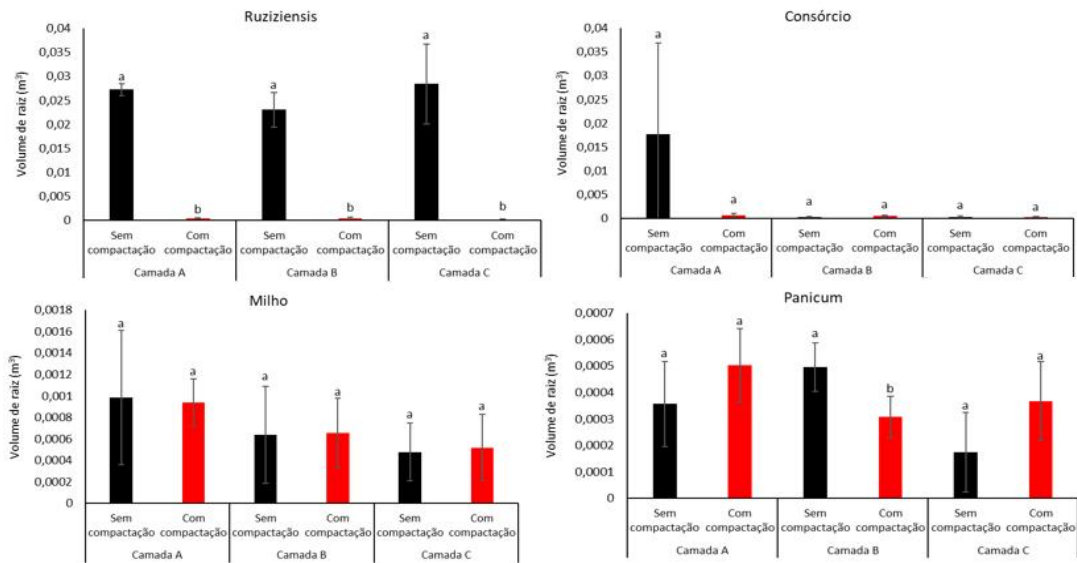


Figura 6 - Volume de raiz das partes A (0-15 cm), B (15-30 cm) e C (30-50 cm) do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Barras indicam o desvio padrão da média ($n=4$).

A área e o volume de raiz são características importantes ao aumentarem o contato ion-raiz, principalmente de elementos imóveis ou pouco móveis no solo, melhorando a formação de agregados e também, o aumento nos bioporos do solo ajudando, tanto na aeração, quanto na armazenagem de água no solo.

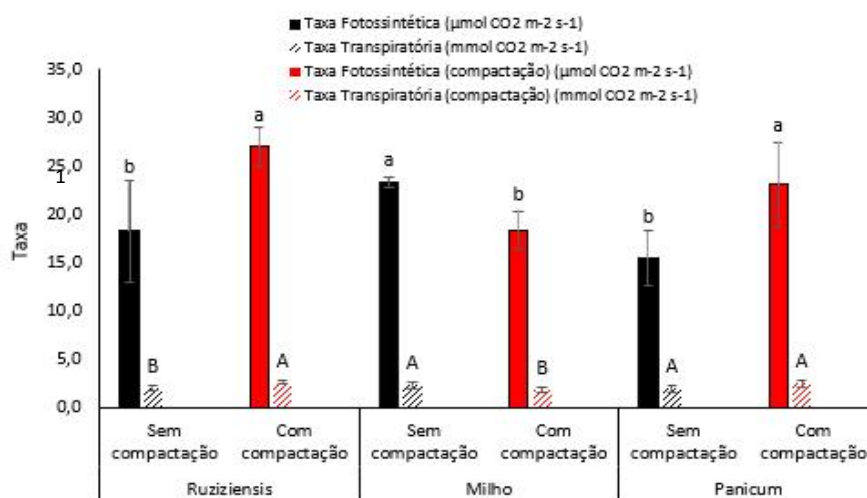


Figura 7 - Taxas fotossintética e transpiratória do milho e espécies forrageiras em função do solo sem e com compactação. ¹Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste t ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam taxa fotossintética entre solo compactado e não compactado para a mesma espécie. Letras maiúsculas comparam taxa transpiratória entre solo compactado e não compactado para a mesma espécie. Barras indicam o desvio padrão da média ($n=4$).

As taxas fotossintéticas e transpiratórias dependem da abertura estomática e, afirma-se que ambas compartilham de uma mesma rota difusiva (Costa, et.al., 2020). O estômato é uma válvula hidráulica multissensorial que responde muito ao *status* de hidratação dos tecidos (Furtini Neto, 2018). Quando se tem: água disponível, radiação solar e temperatura adequada, os estômatos se abrem e assim não impõem ou impõem pouca resistência às trocas gasosas – saída de água na forma de vapor (transpiração) e entrada de CO₂ para ser fixado (fotossíntese), processo no qual pode aumentar a produção de biomassa das culturas. Em condições de estresse hídrico os estômatos se fecham dificultando as trocas gasosas (Da Silva, 2004).

Nota-se que, as plantas forrageiras apresentaram maior taxa fotossintética quando cultivadas em solo compactado. Tal comportamento é explicado devido a camada compactada ter deixado a água mais tempo disponível para as plantas, visto que todos os tratamentos foram irrigados com a mesma quantidade de água. E os tratamentos em que não houve solo compactado, a água ficou menos tempo disponível sendo drenada mais rapidamente ao longo do perfil. Com isto, além da maior taxa fotossintética, pode-se analisar a taxa transpiratória, que para a *U. ruziziensis*, em solo compactado foi maior que em solo não compactado. Já para o *P. maximum*, não houve diferença entre a taxa transpiratória em ambiente compactado e sem compactação (Figura 6). Dessa forma, verifica-se que, não houve ocorrência de limitação estomática. No entanto, não houve aumento de matéria seca total em *U. ruziziensis*.

O milho em ambiente compactado reduziu sua taxa transpiratória e fotossintética, quando comparado ao ambiente sem compactação (Figura 7). Comportamento que refletiu na massa seca de parte aérea, sendo a cultura que mais houve redução dessa variável quando comparada as outras culturas (Figura 2AB). De acordo com Barbosa (1983), o milho é uma cultura que apresenta elevada taxa transpiratória e quando as temperaturas diurnas aumentam, sua transpiração se intensifica. Com isso, as raízes do milho não conseguem repor imediatamente a quantidade de água que seus tecidos necessitam, ocasionando um “*stress*” nas horas mais quentes do dia (Caioni, et. al., 2020).

Diante de tudo isso, conseqüentemente, na situação citada anteriormente, o *status* de hidratação das plantas diminui, reduzindo abertura estomática e assim diminuindo a difusão de CO₂ para o interior dos tecidos e afetando diretamente a fotossíntese. Com menor capacidade difusiva, houve também menor taxa transpiratória. Assim, vários processos metabólicos das plantas foram afetados, acarretando menor produção de massa seca de parte aérea (Figura 2AB; Figura 7)

Baseando no exposto, pode-se inferir que o *P. maximum* possui sistema radicular mais eficiente na reposição de água aos tecidos das folhas, visto que quando cultivado em ambiente

compactado ele apresentou uma maior taxa fotossintética e também maior produção de massa seca de parte aérea (Figura 2A).

4 CONCLUSÕES

Diante da pesquisa realizada chegou-se às seguintes conclusões:

O solo compactado reduz a produção de massa seca de raízes de *Urochloa ruziziensis* e milho. Para a *U. ruziziensis* a compactação reduz a massa seca de raízes em camadas superficiais 0-30 cm, enquanto para o milho camadas mais subsuperficiais 15-50 cm.

O desenvolvimento radicular da braquiária é reduzido quando cultivado em solo com compactação subsuperficial.

A compactação subsuperficial reduz a produção de biomassa seca de parte aérea das espécies, exceto para o colonião.

O colonião panicum é uma espécie promissora para se cultivar em solos compactados, pois demonstra boa adaptabilidade e/ou resistência a essa condição; já a braquiária é uma espécie promissora em solos sem compactação subsuperficial.

O colonião e a braquiária possuem uma maior taxa fotossintética em solo com compactação subsuperficial, visto que a compactação proporcionou maior tempo de contato das espécies com a umidade do solo. Já para o milho, o solo sem compactação favorece a maior taxa fotossintética, sendo observada limitação estomática em solo compactado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. M; Almeida, R. G; Miyagi, E. S; De Freitas, D. X; Ribeiro, F. M; Fernandes, P. B; Garcia, E. C. Sistemas silvipastoris: uma abordagem sobre a integração dos componentes bióticos e abióticos. **Revista Científica Rural**, v. 21, n° 2, p.438-454, 2019.
- ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F. M.; HECKLER, J. C.; MACEDO, R. A. T.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.449-456, 2006.
- BARBOSA, J,V, A. **Manual técnico – Fisiologia do milho**. Embrapa. Sete Lagoas. 1983.
- BARDUCCI, R.S; Costa, C; Crusciol, C. A. C; Borghi, É; Putarov, T. C; Sarti, L. M. N. Production of brachiaria brizantha and panicum maximum with corn and nitrogen fertilization. **Arch. zootec.**, Córdoba, v. 58, n. 222, p. 211-222, jun. 2009.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise do crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 1988.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com Brachiaria brizantha em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n°2, fev. 2007.
- CAIONI, S.; LAZARINI, E.; PARENTE, T. L.; BOSSOLANI, J. W.; SOUZA, L. G. M.; PIVETTA, R. S.; DICKMANN, L. Efeito residual da adubação nitrogenada e moliúbdica no milho sobre asoja cultivada em sucessão. **Revista Espacios**, v.38, n.19, p.4-13, 2017.
- CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**. v. 7 - Safra 2019/20 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-68, setembro 2023.
- COSTA, A. A.; MACHADO, E. B. N.; LUDUVICO, G. A.; MACEDO, I. L. M. Atributos físicos e estoque de carbono em áreas sob diferentes formas de uso do solo no Cerrado do Oeste da Bahia. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p.32294-32306, 2020.
- COSTA, C.; DWYER, L. M.; HAMILTON, R. I.; HAMEL, C.; NANTAIS, L.; SMITH, D. L. A Sampling Method for Measurement of Large Root Systems with Scanner-Based ImageAnalysis. **Agronomy Journal**, v.92, n4, p.621-627, 2000.
- DA COSTA, E. M; et al. **Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer: Goiânia, 2013.
- DA SILVA, S. C. (2004). Fundamentos para o manejo do pastejo de plantas forrageiras dos gêneros Brachiária e Panicum. **Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**, 2, 347-385.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa 2019. **Soluções tecnológicas**.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **ILPF : inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta** / Davi José Bungenstab ... [et al.], editores técnicos. Brasília, DF : Embrapa, 2019.

FARIAS NETO, A. L. et al. **Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável**. 1 ed. Brasília: Embrapa, 2019.

FERREIRA, C. J. B; TORMENA, C. A; SEVERIANO, E. da C; NUNES, M. R; MENEZES, C. C. E; ANTILLE, D. L; PRETO, V. R. de O. Effectiveness of narrow tyne and double-disc openers to overcome shallow compactation and improve soybean yield in long-term no-tillage soil. **Soil and Tillage Research**, v. 227, march 2023.

FOLONI, J. S. S; Calonego, J. C; Lima, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 38, n. 8, 2003.

FONSECA, G.P.S. Formas de relevo e os materiais no Pantanal de Poconé. Tese Doutorado Faculdade de Filosofia, Letras: Área de Concentração Geografia Física. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.449-456, São Paulo, 2016.

FONTES, A. O; Braga, L. M; Sá, M. A. C; Junior, J. D. G. S. **Compactação crítica do solo para o crescimento de raízes de *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu**. Embrapa Cerrados. 2009.

FURTINI NETO, A, E. **Suplementação de nitrogênio mineral na cultura da soja**. Centro Tecnológico COMIGO – Anuário de Pesquisa Agrícola, ed. 17, p. 59-63, 2018.

GARCIA, R. A; SUTIER, G. A. da S. **Alelopatia de sorgo-sacarino na soja cultivada em sucessão**. São Paulo: Embrapa Agropecuária Oeste, 2016.

GUIMARÃES, C.V.; ASSIS, R. L.; SIMON, G. A.; PIRES, F. R.; FERREIRA, R. L.; SANTOS, D. C. Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1188–1194, 2013.

LAL, R.; LOGAN, T.J. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; LEVINE, E. & STEWART, B.A., eds. **Soil management greenhouse effect**. Boca Raton, CRC Press, 1995. p.293-307.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980.

MENDES, D. A. E.; NASORRI, L. F. **Desenvolvimento agrônomico do milho solteiro e consorciado com *Brachiaria Ruziziensis* inoculado com *Azospirillum* e adubação nitrogenada**. 2017. 23f. Monografia (Bracharelado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados: Dourados, 2017.

MIGUEL, A. S. D C. S.; PACHECO, L. P.; CARVALHO, Í. C.; SOUZA, E. D.; FEITOSA, P. B.; PETTER, F. A. Phytomass and nutrient release in soybean cultivation systems under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.10, p.1119-1131, 2018.

- PEREIRA, F. C. B. L.; MELLO, L. M. M.; PARIZ, C. M.; MENDONÇA, V. Z.; YANO, É. H.; MIRANDA, E. E. V. CRUSCIOL, C. A. C. Autumn Maize Intercropped with Tropical Forages: Crop Residues, Nutrient Cycling, Subsequent Soybean and Soil Quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, n.00, p.1-20, 2016.
- RIBEIRO, J. M.; FRAZÃO, L. A.; FERNANDES, L. A.; SAMPAIO, R. A.; CARDOSO, P. H. S.; OLIVEIRA, A. L. G. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, v.29, n.2, p.913-923, 2019.
- ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.491-497, 1994a.
- ROSOLEM, C.A.; ASSIS, J.S.; SANTIAGO, A.D. Root growth and mineral nutrition of corn hybrids as affected by phosphorus and lime. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.249-254, 1994b.
- SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A. dos; MARTINS, A. C. E. The Importance of Straw No-Tillage System for Soil Restructuring and Organic Matter Restoration. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. e154911870, 2020.
- SALTON, J, C; Tomazi, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Mato Grosso: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014.
- SEIBERT, C. M.; BORSOI, A. Milho segunda safra consorciado com diferentes densidades de semeadura de *Brachiária ruziziensis*. **Revista Cultivando o Saber**, v.13, n.2, p.178-187, 2020.
- SILVA, D. V; PEREIRA, G. A. M; FREITAS, M. A. M; DA SILVA, A. A; SEDIYAMA, T; SILVA, G. S; FERREIRA, L. R; CECON, P. R. Produtividade e teor de nutrientes do milho em consórcio com braquiária. **Ciência Rural**, v. 45, n. Cienc. Rural, 2015 45(8), ago. 2015.
- SILVA, J. R. **Dinâmica do carbono em solos sob áreas de pastagens no bioma cerrado**. 2019. 128f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás: Goiânia, 2019.
- SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.4, p.327-334, 2004.
- TEIXEIRA, P, C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574p.
- TORMENA, C. A.; ANGHINONI, G.; WATANABE, R.; FERREIRA, C. J. B. Qualidade física do solo em sistemas intensivos de produção agrícola. **Boletim de Pesquisa** 2017/2018 - Fundação MT. Fundação M ed. [S.l: s.n.], 2017. p. 108–124.
- WADT, P, G, S; PEREIRA, J, E, S; GONÇALVES, R C; SOUZA, C, B, C; ALVES, L, S. **O uso de espécies de cobertura pode ser uma estratégia de baixo custo e com resultados mais duradouros**. Embrapa: Rio Branco, 2003.