

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROBIOLOGIA

Nathália Brum Herbstrith

**DINÂMICA DO SISTEMA RADICAL DE UMA PASTAGEM NATURAL
DO BIOMA PAMPA SOB DIFERENTES INTERVALOS DE PASTEJO**

Santa Maria, RS.
2019

Nathália Brum Herbstrith

**DINÂMICA DO SISTEMA RADICAL DE UMA PASTAGEM NATURAL DO BIOMA
PAMPA SOB DIFERENTES INTERVALOS DE PASTEJO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título em **Mestre em Agrobiologia.**

Fernando Luiz Ferreira de Quadros

Santa Maria, RS.
2019

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Herbstrith, Nathália Brum
Dinâmica do sistema radical de uma pastagem natural do bioma Pampa sob diferentes intervalos de pastejo / Nathália Brum Herbstrith.- 2019.
49 p.; 30 cm

Orientador: Fernando Luiz Ferreira de Quadros
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia, RS, 2019

1. Sistema radical 2. Minirhizotron 3. Bioma Pampa 4. Campos Sulinos 5. Gramíneas I. Ferreira de Quadros, Fernando Luiz II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, NATHÁLIA BRUM HERBSTTRITH, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Nathália Brum Herbstrith

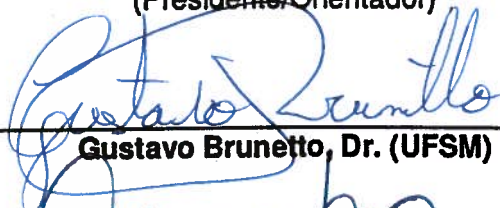
**DINÂMICA DO SISTEMA RADICAL DE UMA PASTAGEM DO BIOMA PAMPA
SOB DIFERENTES INTERVALOS DE PASTEJO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título em **Mestre em Agrobiologia**.

Aprovado em 18 de dezembro de 2019:



Fernando Luiz Ferreira de Quadros, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Gustavo Brunetto, Dr. (UFSM)



Leandro Bochi da Silva Volk, Dr. (Embrapa Pecuária Sul) - Parecer

Santa Maria, RS.
2019

DEDICATÓRIA

A minha família, minha grande amiga e confidente Gessy (in memoriam) e ao meu avô Carlos que até o último dia de vida, amou e preservou o campo nativo.

AGRADECIMENTOS

À Deus e meus guias espirituais pelo dom da vida e por iluminar meus caminhos.

À minha família, em especial aos meus pais pelo apoio e amor. À minha querida amiga Gessy que acreditou em mim, mesmo quando eu mesma não acreditava.

Ao professor Fernando L. F. de Quadros, pela confiança e compreensão durante minha orientação, me auxiliando em todas as dificuldades.

Aos pesquisadores José Pedro Pereira Trindade e Leandro Bochi da Silva Volk, também à Embrapa Pecuária Sul por contribuírem para o desenvolvimento e execução desse trabalho.

Ao professor Gustavo Brunetto por aceitar fazer parte da banca avaliadora.

Um agradecimento especial à Manuella que topou o desafio “das raízes” com curto prazo de tempo.

Um agradecimento mais que especial ao estagiário/Mestrando, colega e amigo Pedro Luiz do Nascimento pelo comprometimento com todas as atividades do laboratório e seriedade na execução das mesmas. Pelas conversas e troca de aprendizados, muito obrigado!

À equipe LEPAN pela colaboração nas atividades.

Aos amigos do coração, não vou citar nomes, que estiveram comigo em todos os momentos, desde os melhores até as crises de ansiedade.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

À todos, meu muito Obrigado!

RESUMO

DINÂMICA DO SISTEMA RADICAL DE UMA PASTAGEM DO BIOMA PAMPA SOB DIFERENTES INTERVALOS DE PASTEJO

AUTOR: Nathália Brum Herbstrith

ORIENTADOR: Fernando Luiz Ferreira de Quadros

Atualmente no Brasil há a presença de seis diferentes biomas, sendo o bioma Pampa presente apenas no Rio Grande do Sul. Este bioma conta com uma diversidade muito grande de espécies de gramíneas e outras famílias botânicas de interesse. Ocupa cerca de 63% do estado e muitos estudos apontam a importância de sua biomassa aérea, porém pouco se conhece quanto aos sistemas radicais das espécies componentes deste bioma. Dependendo das interações que ocorrem entre as espécies e o modo como estas são manejadas, o sistema radical responde de diferentes formas, sendo de suma importância seu estudo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e a distribuição de raízes no perfil do solo em uma pastagem natural manejada sob pastoreio rotativo com dois intervalos de desfolha. O experimento foi conduzido em uma área de pastagem natural pertencente à Universidade Federal de Santa Maria, Depressão Central do Rio Grande do Sul. Os tratamentos foram baseados na soma térmica necessária para a duração da elongação foliar de dois grupos distintos de gramíneas nativas: 375 e 750 graus-dia (GD). Foram obtidas imagens através do escâner CI-600 In-Situ Root Imager e estas analisadas pelo software 690 RootSnap e comparadas a outros métodos existentes na literatura a fim de testar a validade da metodologia empregada e avaliar a dinâmica de crescimento das raízes. Foram realizados cortes do material vegetal acima do solo para simular o pastejo animal a cada soma térmica, onde foram realizadas duas coletas de imagens, uma no período de primavera e outra no verão. As imagens obtidas a campo pelo escâner CI 600 In-Situ Root Imager foram importadas e processadas pelo software 690 RootSnap. Os dados foram exportados e submetidos a análise multivariada de ordenação pelo método de coordenadas principais, análise de agrupamento e análise variância por testes de aleatorização, com a distância euclidiana como medida de semelhança utilizando-se o software MULTIV. A técnica Minirhizotron foi eficiente no acompanhamento do desenvolvimento do sistema radical de gramíneas nativas durante o período de primavera e verão dos anos 2017/18, desde que respeitado o período de acomodação dos tubos de acrílico no solo. A utilização do software 690 RootSnap também se deu de forma eficiente, porém com apenas uma coleta de imagens por estação do ano devido à necessidade de tempo e maior mão-de-obra durante o processamento de imagens no software. Constatou-se que as variáveis comprimento, área, volume e diâmetro sofreram influência do diferimento ocorrido nos meses de inverno e do histórico de manejo adotado na área.

Palavras-chave: Bioma Pampa. Gramíneas. RootSnap. Sistema radical.

ABSTRACT

DYNAMICS OF THE RADICAL SYSTEM OF A PAMPA BIOMAS PASTURE UNDER DIFFERENT PASTEJO INTERVALS

AUTHOR: Nathália Brum Herbstrith
ADVISOR: Fernando Luiz Ferreira de Quadros

Currently in Brazil there are six different biomes, being the Pampa biome present only in Rio Grande do Sul. This biome has a very large diversity of grass species and other botanical families of interest. It occupies about 63% of the state and many studies point out the importance of its aerial biomass, but little is known about the root systems of the species composing this biome. Depending on the interactions that occur between species and the way they are managed, the radical system responds in different ways, and its study is extremely important. Therefore, the objective of this work was to evaluate the growth and distribution of roots in the soil profile in a natural grassland managed under rotational grazing with two defoliation intervals, at a depth 0 - 60 cm through a non destructive method of root analysis, Minirhizotron. and test the use of RootSnap software for image processing. The experiment was conducted in a natural pasture area belonging to the Federal University of Santa Maria, Depressão Central of Rio Grande do Sul. Treatments were based on the thermal sum required for the leaf elongation duration of two distinct groups of native grasses: 375 and 750 degree days (GD). Images were obtained through the CI-600 In-Situ Root Imager scanner and analyzed by the 690 RootSnap software and compared to other methods in the literature to test the validity of the methodology employed and to evaluate the root growth dynamics. Above-ground plant material cuts were performed to simulate animal grazing at each thermal sum, where two image collections were performed, one in spring and one in summer. Field images obtained by the CI 600 In-Situ Root Imager scanner were imported and processed by the 690 RootSnap software. Data were exported and subjected to multivariate ordination analysis by the principal coordinate method, cluster analysis and variance analysis by randomization tests, with Euclidean distance as a measure of similarity using the MULTIV software. The Minirhizotron technique was efficient in monitoring the development of the radical system of native grasses during the spring and summer period of the years 2017/18, as long as the period of accommodation of acrylic tubes in the soil is respected. The use of the 690 RootSnap software was also efficient, but with only one image collection per season due to the need for time and more manpower during image processing in the software. It was found that the variables length, area, volume and diameter were influenced by the delay in the winter months and the management history adopted in the area.

Keywords: Pampa Biome. Grasses. RootSnap. Radical system.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Configuração de Minirhizotron inserido em ângulo de 45° no solo. As imagens são capturadas por escâner conectado a um laptop. As alças de indexação permitem o posicionamento do escâner dentro do tubo de acrílico.21
- Figura 2** - Médias mensais de temperatura (°C) e precipitação pluviométrica (mm) dos períodos primavera/verão 2017, 2018.....33
- Figura 3** - Diagrama de ordenação representando as trajetórias dos tratamentos 375 GD e 750 GD no Eixo I e Eixo II em função da composição florística no início e final das avaliações do sistema radical.....38
- Figura 4** - Comportamento das variáveis comprimento de raízes, área de raízes, volume e diâmetro de raízes nas camadas 20, 40 e 60 cm no perfil do solo.39
- Figura 5** - Diagramas de ordenação mostrando a distribuição das repetições de acordo com as variáveis nos eixos I e II (diagrama A) e eixos I e III (diagrama B). ..41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos de tipos funcionais de plantas baseados no teor de matéria seca (TMS g.kg^{-1}) e área foliar específica (AFE $\text{m}^2.\text{kg}^{-1}$) de folhas de gramíneas predominantes das pastagens naturais do RS segundo Quadros et al. (2009) e Cruz et al. (2010).	17
Tabela 2 - Análise química do solo no início de experimento.	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1. Geral:	14
1.1.2. Específicos:.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. Região sul-brasileira	15
2.2. “Pastizales Del Rio de La Plata”, Bioma Pampa e fisionomia dos Campos	15
2.3. Sistema radical	17
2.4. Método <i>Minirhizotron</i>	19
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
3. ARTIGO	29
3.1 RESUMO	29
3.2 ABSTRACT	30
3.3 INTRODUÇÃO	31
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.4.1 Caracterização da área	32
3.4.2 Tratamentos.....	33
3.4.3 Escolha do local	34
3.4.4 Instalação do experimento	34
3.4.5 Período avaliado	35
3.4.6 Composição florística.....	36
3.4.7 Sistema radical	36
3.4.8 Análise estatística	36
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.6 CONCLUSÃO	43
4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICES	47

1. INTRODUÇÃO

No mundo, o Brasil é conhecido como o país de maior biodiversidade, pois abriga cerca de 20% das espécies existentes no planeta. Essa biodiversidade é atribuída à ocorrência de seis diferentes biomas em nosso país, sendo eles: Floresta Amazônica, Cerrado, Pantanal, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa (OVERBECK et al., 2015 a). A diversidade encontrada nos campos do sul do Brasil é evidenciada pela presença de dois biomas nessa região. O bioma Mata Atlântica é encontrado na região do Planalto Sul-Brasileiro nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, caracterizando-se por campos de altitude com mosaicos com Floresta de Araucária. Na metade sul do Rio Grande do Sul (RS), na região da Depressão Central, Serra do Sudeste e região da Campanha encontram-se os campos subtropicais semelhantes ao Pampa do Uruguai e Argentina (OVERBECK et al., 2015 b).

O bioma Pampa apresentando uma grande diversidade florística tem como as famílias mais numerosas em seus campos naturais as Asteraceae, seguida pelas Poaceae, Fabaceae e Cyperaceae respectivamente (BOLDRINI, 2009), contando assim com cerca de 520 espécies de gramíneas e 250 espécies de leguminosas pertencentes às famílias botânicas de importância quanto ao potencial forrageiro (BOLDRINI, 2006). Além da grande diversidade de espécies, a família Poaceae se destaca pela maior abundância na biomassa aérea, sendo a mais determinante da fitofisionomia (OVERBECK et al., 2015 b).

Segundo Fidelis et al., (2009) a biomassa vegetal subterrânea é uma reserva de carbono e influi na produtividade primária dos campos. As raízes das plantas são fundamentais no suporte das mesmas, fornecendo substratos como água e nutrientes do solo necessários para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Ressalta-se que, dependendo das interações entre o modo como as plantas são manejadas e as espécies que estão presentes no local, o sistema radical sofrerá alterações distintas como em áreas que são frequentemente queimadas, há uma grande diversidade de órgãos subterrâneos, sendo comum encontrar espécies com raízes tuberosas e xilopódios. Assim, a resposta na parte aérea sofrerá alterações que podem afetar a oferta de forragem aos animais.

Apesar da importância do sistema radical de gramíneas nativas na reserva de carbono, pouco é conhecido sobre a real produtividade primária dos Campos Sulinos

e o quanto a biomassa subterrânea está relacionada a essa produtividade, podendo haver subestimação dessa (FIDELIS et al., 2006).

A distribuição e o desenvolvimento da vegetação dos campos sofre forte influência de fatores ambientais como o clima, relevo, solo e temperatura e de fatores antrópicos como o manejo adotado, utilização do fogo e pastejo e pisoteio de herbívoros, o que leva as espécies adquirirem mecanismos de defesa. As espécies tornam-se adaptadas ao desenvolverem estruturas de resistência a esses fatores, como exemplo das gramíneas rasteiras (estoloníferas ou rizomatosas) que conseguem rebrotar a partir de seus órgão de reserva (gemas) protegidos abaixo do nível do solo, presentes em órgãos como os rizomas (FIDELIS, 2008). Sendo assim, há a necessidade de um estudo mais aprofundado, que vise compreender as diferentes espécies e suas estruturas vegetacionais. Além disso, é relevante acompanhar a resposta das espécies a distúrbios como o pastejo e o pisoteio dos herbívoros, a utilização do fogo, o manejo adotado, a influência de fatores ambientais como clima, solo e relevo regionais, entre outros para se obter o melhor entendimento do rebrote foliar das espécies sob efeito desses distúrbios para o seu melhor aproveitamento, mantendo a sustentabilidade do sistema e dinamizar o conhecimento da biomassa subterrânea.

Levando em consideração a importância e necessidade de métodos alternativos que reduzissem o tempo, mão de obra e os custos envolvidos pelos métodos tradicionais, MUÑOZ-ROMERO et al. (2010) propuseram o método do Minirhizotron como uma alternativa não destrutiva de avaliação desses sistemas radicais. Eshel e Beeckman (2013) também apontam o método como uma oportunidade para o estudo de pêlos radiculares, visto que o advento da imagem digital aperfeiçoa a eficiência, o tempo e os custos envolvidos na captura e análises de imagens, tornando-se estas o padrão entre os estudos para quantificar a arquitetura e enraizamento em estudos com raízes em sistemas naturais e agrícolas.

O método Minirhizotron é derivado dos primeiros métodos utilizados para estudar raízes, como os Rizotrons que consistiam em paredes transparentes (BÖHM, 1979) que necessitavam de grande espaço, tornando-se muitas vezes onerosos e com número limitado de replicações possíveis. Em substituição à esses, surgiram os Minirhizotrons (REWALD e EPHRATH, 2013). Recentemente a CID Bio-Science

(Camas, WA, EUA) desenvolveu um escâner de alta resolução para gerar imagens capturando uma circunferência de 360° do tubo (KOBIELA et al., 2016).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral:

Avaliar o desenvolvimento do sistema radical de espécies nativas do bioma Pampa sob dois intervalos entre desfolhações baseados no somatório térmico de 375 graus-dia(GD) e 750 GD nas estações de primavera e verão.

1.1.2. Específicos:

- Avaliar o desenvolvimento e crescimento de raízes com base nos parâmetros de comprimento total de raiz, área e volume total de raízes e diâmetro médio de raízes;
- Mensurar a distribuição do sistema radical em profundidade;
- Correlacionar com a composição florística existente na área com os atributos radicais encontrados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Região sul-brasileira

Os estados de Santa Catarina (SC), Paraná (PR) e Rio Grande do Sul (RS) compreendem a região sul-brasileira. A Planície Costeira ao longo do litoral atlântico, a Depressão Central, a Campanha e a Serra do Sudeste no Rio Grande do Sul, bem como a região do Planalto Sul-Brasileiro caracterizam as principais regiões fisiogeográficas no sul do Brasil (BEHLING et al., 2009).

A vegetação natural do sul do Brasil inclui, principalmente, ecossistemas florestais como a Mata Atlântica, Floresta com Araucária e Florestas Estacionais. Em uma área menor que a florestal, estão presentes os ecossistemas de campo natural na região sul do Brasil que incluem os campos subtropicais e os campos de altitude. Nessa região dos Campos do sul do Brasil encontra-se uma diversidade muito grande de espécies, sendo as famílias mais ricas nesses campos em número de espécies as Asteraceae e Poaceae (BOLDRINI, 2009). Essa diversidade é evidenciada quando consideramos que estes Campos do sul do Brasil fazem parte de dois diferentes biomas, sendo os campos da metade sul e oeste do RS com paisagem dominada por vegetação campestre estão inseridos no bioma Pampa e; a vegetação campestre do Planalto Sul-Brasileiro, na porção norte do RS e nos estados de SC e PR fazem parte do bioma Mata Atlântica (OVERBECK et al., 2015 b).

2.2. “Pastizales Del Rio de La Plata”, Bioma Pampa e fisionomia dos Campos

Reconhecida por sua vastidão e alta diversidade de espécies vegetais e animais, a região identificada como “Pastizales Del Rio de La Plata” inclui o bioma Pampa que ocupa 63% (IBGE 2004) da área do estado do RS possuindo continuidade no Uruguai, Argentina e Paraguai (BILENCA & MIÑARRO, 2004). Possuindo um grande potencial genético, este bioma brasileiro exerce papel fundamental na cultura e na produção pecuária da região sul do Brasil, além de ser um ecossistema pastoril com grande diversidade de espécies onde se encontram espécies de plantas C3 e C4 convivendo no mesmo ambiente (FONTOURA, 2014).

A grande diversidade florística da região sul é determinada por um conjunto de fatores, sendo os fatores naturais como solo e o clima e os fatores antrópicos como o

manejo da carga animal na pecuária e o manejo de fertilidade do solo os principais influenciadores dessa diversidade (FONTOURA, 2014). O clima e os solos do RS são bastante variados, o que possibilita a formação de diferentes fisionomias campestres para o RS no Bioma Pampa (BOLDRINI, 2009). A ação antrópica também influencia na composição forrageira através do manejo da carga animal e da fertilidade do solo, onde em pastagens com alta pressão de pastejo predominam espécies rizomatosas e estoloníferas, enquanto que em baixa pressão de pastejo predominam espécies de hábito cespitoso (PINTO et al., 2007).

As pastagens naturais do RS apresentam uma grande diversidade florística e uma dominância de cobertura e abundância das gramíneas, a família com maior número de espécies identificadas (BOLDRINI, 2009). Estas foram divididas em grupos funcionais por Quadros et al (2006), a fim de simplificar essa diversidade. Os grupos foram baseados nos atributos morfológicos de teor de matéria seca (TMS) e área foliar específica (AFE), sendo divididos em quatro. O grupo A é representado por espécies prostradas, estoloníferas ou rizomatosas que apresentam maior resistência ao pastejo, ocorrendo em ambientes mais férteis e com boa disponibilidade hídrica são plantas de captura de recursos (QUADROS et al, 2009). Essas apresentam rápido crescimento e baixa duração de vida da folha, compondo principalmente o extrato inferior do solo por não acumularem grande quantidade de biomassa de matéria seca (KUINCHTNER, 2013). As espécies do grupo B apresentam duração de vida de folhas um pouco maior que as do grupo A, portanto maior TMS e menor AFE são características desse grupo.

Nos grupos C e D se enquadram as espécies com característica de conservação de recursos. As espécies do grupo D formam densas touceiras com acúmulo de material senescente em pé nas mesmas, são espécies adaptadas a ambientes pouco férteis, mais pedregosos e com limitações edáficas e climáticas (QUADROS et al, 2009). Nesses grupos há baixa velocidade de crescimento das espécies e alta duração de vida da folha, o que ocasiona maior lignificação da folha e maiores acúmulos de biomassa (KUINCHTNER, 2013). Na Tabela 1 estão identificados os grupos funcionais acima descritos, as amplitudes de variação dos atributos foliares e algumas espécies componentes de cada grupo. A separação entre estes foi considerada significativa usando testes de aleatorização multivariados (CRUZ et al, 2010).

Tabela 1 - Grupos de tipos funcionais de plantas baseados no teor de matéria seca (TMS g.kg⁻¹) e área foliar específica (AFE m².kg⁻¹) de folhas de gramíneas predominantes das pastagens naturais do RS segundo Quadros et al. (2009) e Cruz et al. (2010).

Grupos	TMS (g.kg ⁻¹)	AFE (m ² .kg ⁻¹)	Espécies
A	< 300	> 20	<i>Axonopus affinis</i> , <i>A. argentinus</i> , <i>Dichantherium sabulorum</i> , <i>Paspalum notatum</i> , <i>P. paucifolium</i> , <i>P. pumilum</i> .
B	300 400	a 14 a 16	<i>Andropogon lateralis</i> , <i>A. selloanus</i> , <i>A. ternatus</i> , <i>Coelorachis selloana</i> , <i>Paspalum notatum</i> , <i>P. plicatum</i> , <i>Schizachyrium microstachyum</i> ; <i>S. spicatum</i> ,
C	400 500	a 8 a 12	<i>Andropogon lateralis</i> , <i>Erianthus spp</i> , <i>Piptochaetium montevidense</i> , <i>Paspalum plicatum</i> , <i>Piptochaetium stipoides</i> , <i>Sporobolus indicus</i> , <i>Stipa spp</i>
D	> 500	< 8	<i>Aristida laevis</i> , <i>A. phyllifolia</i> , <i>A. venustula</i> , <i>Erianthus spp</i> , <i>Piptochaetium montevidense</i> , <i>Sorghastrum spp</i> .

2.3. Sistema radical

O sistema radical de uma planta é o que compõe a interface de contato planta-solo, através desse contato a planta obtém água e minerais necessários ao seu crescimento e desenvolvimento. As raízes, assim como a parte aérea demandam energia para manter seus processos vitais como respiração e absorção de íons (FONTOURA, 2014). Cecato et al. (2001) constataram que a fonte de carboidratos para o crescimento das raízes provém da fixação de fotoassimilados nas folhas, de modo que para aumentar a produção de raízes é necessário manter uma massa de resíduo foliar elevada.

Entre os principais atributos radicais, está o comprimento específico de raiz que é o comprimento da raiz produzido por unidade de matéria seca (MS) de raiz, que poderia ser comparado à área foliar específica, que reflete a superfície de absorção por unidade de biomassa (LEVA et al. 2009). Outro atributo citado por este autor como sendo bastante utilizado é a densidade de tecido das raízes, pois, determina a massa de matéria seca em relação ao volume da raiz. Segundo Atkinson (2000), conhecendo-se o comprimento das raízes é possível relacioná-lo com a absorção de água e nutrientes do solo, assim como, através da massa radicular, obtém-se o estoque e alocação do material subterrâneo e nutrientes acumulados. A quantidade de raízes finas e densidade de massa dos tecidos das raízes são o que corresponde à biomassa de raízes e, algumas plantas conseguem utilizar de estratégias para melhor explorar os recursos do solo em busca de nutrientes através da modificação da alocação dessa biomassa. (FONTOURA, 2014).

Considerando que a distribuição da vegetação dos campos sofre forte influência do clima, relevo e solo regionais, além do manejo, da utilização do fogo, pastejo e pisoteio de herbívoros, as espécies adquiriram mecanismos de defesa tornando-se adaptadas ao desenvolverem estruturas de resistência a esses fatores, conseguindo regenerar suas populações rapidamente. Isso ocorre especialmente em gramíneas rasteiras (rizomatosas ou estoloníferas) que conseguem recuperar a sua biomassa foliar rapidamente após ser removida pelo pastejo e conseguem se manter mesmo sob condições de uma alta intensidade de pastejo (OVERBECK et al., 2015 b). A rebrota dessa vegetação se dá principalmente pelas gemas que estão protegidas abaixo do nível do solo, presentes em órgãos subterrâneos como os rizomas (FIDELIS 2008).

O desenvolvimento das plantas depende de diversos fatores ambientais, sendo a temperatura o principal elemento meteorológico que o afeta. Com a utilização de algumas estratégias de manejo, podem-se proporcionar melhores condições de crescimento às espécies com diferentes ritmos morfogênicos, sendo o intervalo entre pastoreio uma alternativa para permitir um acúmulo de temperatura tal que possibilite a emissão de folhas até o retorno do animal ao perfilho pastejado, preconizando a regeneração da planta e possibilitando a seleção animal (CARVALHO et al., 2009). Assim, as características morfogênicas como taxa alongação foliar e duração de vida

da folha, podem ser utilizados como intervalos de desfolhação, beneficiando os diferentes grupos funcionais de espécies, conforme será explicado na metodologia.

A remoção da parte aérea das espécies vegetais que compõem os campos, afeta proporcionalmente o desenvolvimento de suas raízes, sendo a redução da matéria seca de raízes proporcional à intensidade de pastejo (RODRIGUES et al., 2010). Havendo uma diminuição nos órgãos de reservas e portadores das gemas, pode ocasionar perda de potencial de regeneração da vegetação campestre (FIDELIS et al., 2009). A biomassa subterrânea dos Campos Sulinos tem grande importância na produtividade primária destes campos, sendo fundamental levar em conta não só os mecanismos envolvidos na dinâmica da vegetação aérea, quando estudos sobre a vegetação dos campos, mas também a biomassa subterrânea (FIDELIS et al., 2009).

Segundo BENGOUGH et al. (2000), sendo o solo um sistema complexo, apresenta variações relativas às suas características e que restringem a distribuição do sistema radicular, como umidade, distribuição de nutrientes, compactação e temperatura. Além disso, a variação que ocorre no solo quanto as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo também pode resultar em informação variável quanto a distribuição no sistema radicular (VASCONCELOS et al., 2003), pois, segundo SMITH et al. (2005) as raízes alteram a forma e a dimensão quando submetidas a diferentes condições de solo.

Apesar da importância que o estudo do sistema radical apresenta, ainda é pouco difundida na pesquisa científica devido às dificuldades em acessar os materiais (FONTOURA, 2014). Considerando a importância e a necessidade de reduzir o tempo, a mão-de-obra e os custos dos métodos tradicionais de análise de raiz, MUÑOZ-ROMERO et al. (2010), consideraram a técnica de *minirhizotron* um método alternativo de avaliação. Trata-se de um método não destrutivo que permite o acompanhamento do crescimento das raízes ao longo do tempo (DANNOURA et al., 2008) pela captura de imagens através da interface transparente de um tubo de acrílico.

2.4. Método *Minirhizotron*

Existem inúmeros métodos de análise de raízes, porém a escolha do método depende do objetivo da pesquisa e da cultura em questão, bem como os meios onde

ela se desenvolve. Esses métodos podem ser de forma direta ou indireta, sendo ainda, os diretos mais comumente usados.

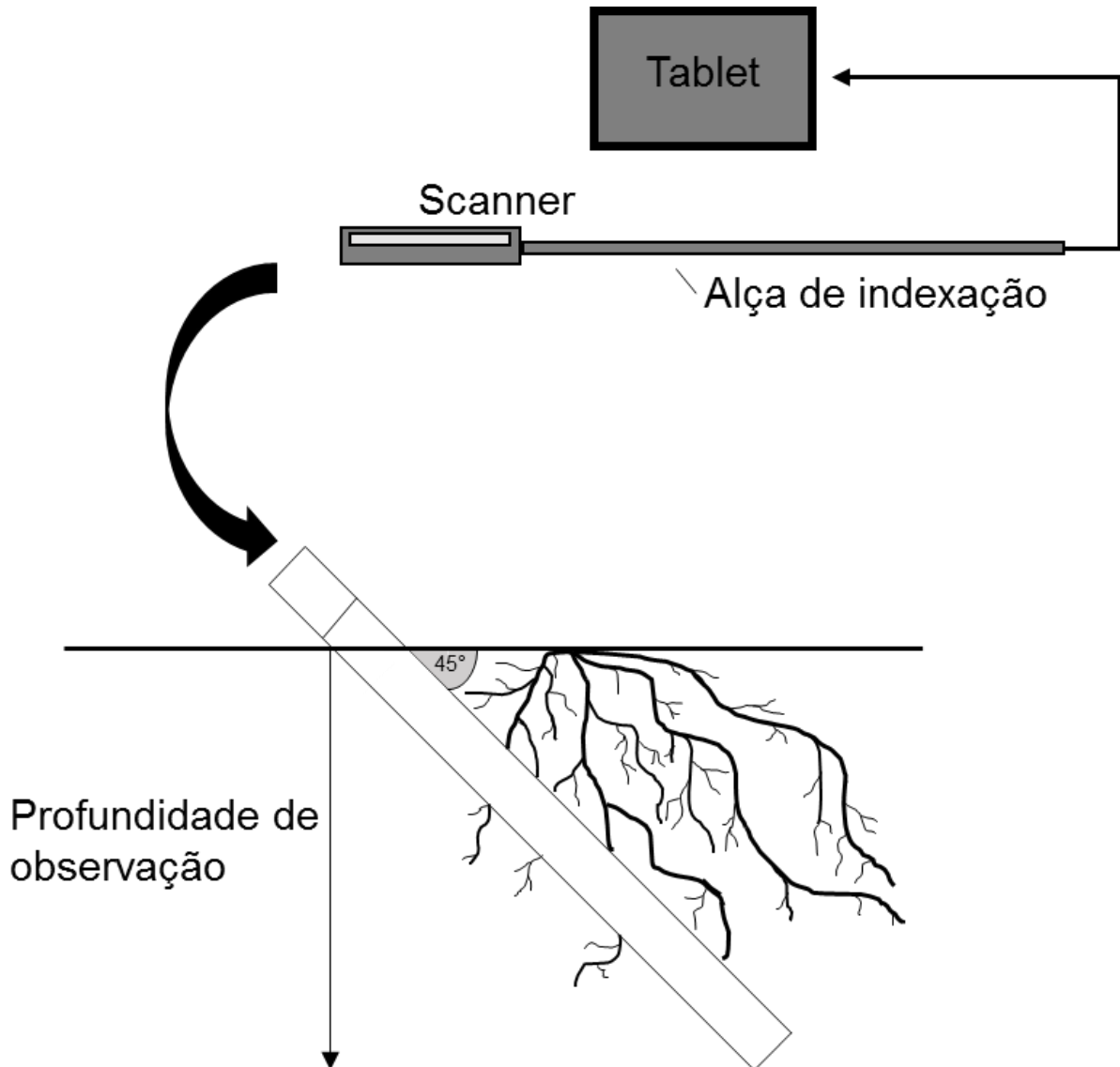
São comumente empregadas técnicas que avaliam diretamente o sistema radicular da planta que têm grande mobilização de solo e significativa amostragem de material vegetal, o que caracteriza métodos trabalhosos e que requerem muito tempo (ENCIDE-OLIBONE et al., 2008). Apesar dos avanços nas últimas cinco décadas, os métodos mais utilizados para amostragem de raízes são técnicas de escavação e coletas sequenciais de solo (MAEGHT et al., 2013).

A técnica com utilização de Minirhizotron surge como alternativa a métodos destrutivos de análise do sistema radical de plantas. Esse método de observação contínua em tubos tem sido utilizado como referência na última década para estudos da dinâmica radicular (LAMBAIS, 2015). O sucesso desta técnica tem sido evidente também quando utilizado para “quantificação de processos demográficos radiculares e na sua relação com a dinâmica da água” (KATAYAMA et al., 2000), resposta à desfolhação em gramíneas (EMBRAPA 2007, p. 12), sequestro de carbono (EMBRAPA 2007, p. 12), concentração de CO₂ na atmosfera (FITTER et al., 1997) e na identificação de mecanismos de controle do crescimento de raízes (HENDRICKS et al., 2006).

Alguns métodos baseados em amostragem destrutiva são confiáveis para quantificar biomassa radical, porém geram incertezas ao avaliar a rotatividade de raízes no tempo por serem necessários locais diferentes de amostragem, como no caso dos métodos *Ingrowth core* e *Sequential root coring* (MAJDI et al., 2005; LUKAC, 2012; MAJDI, 1996).

O sistema de análises de raízes é denominado de Minirhizotrons, atualmente são utilizados os desenvolvidos pela CID (CID Bio-Science Inc., Camas, WA, EUA) (WALLANDER et al., 2013), conectados por cabos USB a computadores. Esse escâner é inserido em tubos de acrílico previamente instalados no perfil do solo, para obtenção de imagens desse perfil, como mostra a figura 1. Após coletadas as imagens, estas são analisadas por aplicativos computacionais e utilizadas para quantificar o crescimento radicular, caracterizar a morfologia das raízes e suas interações com alguns organismos no solo (REWALD; EPHRATH, 2013).

Figura 1 - Configuração de Minirhizotron inserido em ângulo de 45° no solo. As imagens são capturadas por escâner conectado a um laptop. As alças de indexação permitem o posicionamento do escâner dentro do tubo de acrílico.



Fonte: adaptado de ESHEL & BEECMAN, 2013.

Uma das vantagens do método, é o acompanhamento de um mesmo segmento de raiz ao longo de um período de tempo. Liao et al. (2015) quando comparou dois métodos de análise de raízes para a cultura do milho, concluiu que tanto no método do monólito de solo como no Minirhizotron a taxa de crescimento da densidade de comprimento de raiz (RLD) diminuía a medida que a profundidade do solo aumentava. Este considerou a técnica de Minirhizotron um método confiável para estudar de forma não destrutiva o crescimento de raiz, mesmo que nesse experimento a técnica tenha subestimado a RLD nos estágios de grãos leitosos e maduros e superestimado a RLD

no pendoamento. Sindt (2017) cita como limitações do método Minirhizotron o tempo dispendido na análise das imagens, o que se justifica pelo trabalho envolvido na análise de imagens da amostra obtida. Ainda, Johnson et al. (2001) explicam que a redução no número de imagens analisadas por tubo pode aumentar a variação nos dados, principalmente em sistemas lenhosos perenes, o que não é preocupante para sistemas anuais visto que a mortalidade de raízes é baixa até o final da estação (REES et al., 2005).

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINSON, D. Root characteristics: Why and what to measure. In: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C. van NORDWIJK, M.; PELLERIN, S. & van de GEIJN, S.C. (Eds). **Root methods: A handbook**. Berlin, Springer-Verlag, 2000. p. 1-32.
- BEHLING, H.; JESKE-PIERUSCHKA, V.; SCHÜLER, L. e PILLAR, V.P. (2009) - Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: Pillar, V.P.; Müller, S.C.; Castilhos, Z.M.S.; Jacques, A.V.A. (Eds.) - **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, p. 13-25.
- BILENCA D.N. & MIÑARRO F.O. **2004**. *Identificación de áreas valiosas de pastizal em las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires.
- BÖHM, W. 1979. *Methods of studying root systems*. Springer Berlin Heidelberg, New York.
- BOLDRINI, I. I. Biodiversidade dos Campos Sulinos, I Simpósio de Forrageiras e Produção Animal. Porto Alegre: **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, p. 11-24, 2006.
- BOLDRINI, I. I. A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**, 2009, Brasília: MMA, 2009. cap 4, pp. 63-77.
- CARVALHO, P.C.F. et al. Lotação Animal em Pastagens Naturais: políticas, pesquisas, preservação e produtividade. In: **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2009, v. . p. 214-228.
- CECATO, U. et al. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em Coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 644-650, 2001.
- CID BIO-SCIENCE. **CI-690 RootSnap! Operations Manual**. Washington: CID, 2011, 24p.

CID BIO-SCIENCE. **In-Situ Root Imager CI-600 Instruction Manual**. Washington: CID, 2010, 35p.

CRUZ, P. et al. Leaf Traits as Functional Descriptors of the Intensity of Continuous Grazing in Native Grasslands in the South of Brazil. **Rangeland Ecology & Management**, v. 63, n. 3, p. 350-358, 2010.

DANNOURA, M.; KOMINAMI, Y.; OGUMA, H.; KANAZAWA, Y. The development of an optical scanner method for observation of plant root dynamics. **Plant Root** (short report), p. 14-18, 2008.

EMBRAPA, 2007. O sistema minirhizotron no estudo da dinâmica de raízes / João de Deus Gomes dos Santos Junior... [et al.]. – Planaltina, DF : **Embrapa Cerrados**, 2007. Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111 ; 203

ENCIDE-OLIBONE, A. P.; OLIBONE, D.; ROSOLEM, C. A. Atividade radicular da soja: definição de um método. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 899- 903, mar./abr. 2008.

ESHEL, A; BEECKMAN, T. **Plant roots: the hidden half**. Taylor & Francis Group, 2013.

FIDELIS A., MÜLLER S., PILLAR V.D. & PFADENHAUER J. 2006. Efeito do fogo na biomassa aérea e subterrânea dos Campos Sulinos. In: **Desafios e oportunidades do Bioma Campos frente à expansão e intensificação agrícola** (ed. Campos XRG). EMBRAPA – Clima Temperado Pelotas.

FIDELIS A. 2008. Fire in subtropical grasslands in Southern Brazil: effects on plant strategies and vegetation dynamics. Chair of Vegetation Ecology, Technische Universität München, Freising, p. 151.

FIDELIS, A.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; PFADENHAUER, J. (2009) – A importância da biomassa e das estruturas subterrâneas nos Campos Sulinos. In: Pillar, V.P.; Müller, S.C.; Castilhos, Z.M.S.; Jacques, A.V.A. (Eds.) - **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, p. 88-100.

FITTER, A. H.; GRAVES, J. D.; WOLFENDEN, J.; SELF, G. K.; BROWN, T. K.; BOGIE, D.; MANSFIELD, T. A. Root production and turnover and carbon budgets of

two contrasting grasslands under ambient and elevated atmospheric carbon dioxide concentrations. **New Phytologist**, v. 137, p. 247-255, 1997.

FONTOURA, R. C. **Variação estacional de atributos funcionais de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de fertilidade do solo**. 2014, 93f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

HENDRICKS, J. J.; HENDRICK, R. L.; WILSON, C. A.; MITCHELL, R. J.; PECOT, S. D.; GUO, D. Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 40-57, 2006.

IBGE 2004. Mapa da vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil. IBGE. <http://www.ibge.gov.br>

JACKSON, R.B.; MOONEY, H.A.; SCHULZE, E. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **1997**, *94*, 7362–7366.

JOHNSON, M.G.; TINGEY, D.T.; PHILLIPS, D.L. and STORM, M.J. 2001. Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environ. Exp. Bot.* **45**(3): 263–289.

KATAYAMA, K.; ITO, O.; ADU-GYAMFI, J. J.; RAO, T. P. Analysis of relationship between root length density and water uptake by roots of five crops using minirhizotron in the semi-arid tropics. **Jarq**, v. 34, n. 2, p. 81-86, 2000.

KOBIELA, B.; BIONDINI, M. and SEDIVEC, K. 2016. Comparing root and shoot responses to nutrient additions and mowing in a restored semi-arid grassland. **Plant Ecol.**: 217:303–314.

KUINCHTNER, B. C. **Manejo de pastagem natural em pastoreio rotativo no período de outono/inverno**. Programa de pós-graduação em Zootecnia - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

LAMBAIS, G. R. **Produção e mortalidade de raízes finas em plantações de *Eucalyptus grandis* cultivados em Latossolos (Itatinga – SP)**. 2015. 141 f. Tese Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

LEVA, P. E.; AGUIAR, M. R.; OESTERHELD, M. Underground ecology in a Patagonian steppe: Root traits permit identification of graminoid species and classification into functional types. **Journal of Arid Environments**, London, v. 73, n. 4-5, p. 428–434, 2009.

LIAO, R. et al. Root growth of maize as studied with minirhizotrons and monolith methods. 2015. **Archives of Agronomy and Soil Science**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2014.1003812>. Acesso em: 12 ago. 2019.

LUKAC, M. (2012) Fine root turnover, In: Mancuso S, editor. **Measuring Roots**: Springer, Berlin. pp. 363–373.

MAEGHT, J.L.; REWALD, B.; PIERRET, A. How to study deep roots – and why it matters. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, p. 1-14, 2013.

MAJDI, H. Root sampling methods: applications and limitations of the minirhizotron technique. 1996. **Plant and Soil**. v. 185. p. 255–258. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02257530>. Acesso em: 17 jul. 2019.

MAJDI, H. et al. Measuring fine root turnover in forest ecosystems. 2005. **Plant and Soil**. v. 276. p. 1 – 8. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/226473651_Measuring_Fine_Root_Turnover_in_Forest_Ecosystems. Acesso em: 17 jul. 2019.

MUÑOZ-ROMERO, V.; BENÍTEZ-VEGA, J.; LÓPEZ-BELLIDO, L.; LÓPEZBELLIDO, R. J. Monitoring wheat root development in a rainfed vertisol: Tillage effect. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 3, 182-187, 2010.

OVERBECK, G. E.; PODGAISKI, L. R.; MÜLLER, S. C. (2015 a) – Biodiversidade dos Campos. In: PILLAR, V. De P. & LANGE, O. **Os Campos do Sul**. Rede Campos Sulinos – UFRGS. Porto Alegre, 2015. p.43-50.

OVERBECK, G.E.; BOLDRINI, I. I.; CARMO, M. R. B. d.; GARCIA, E. N.; MORO, R. S.; PINTO, C. E.; TREVISAN, R.; ZANNIN, A. (2015 b) - Fisionomia dos Campos. In: PILLAR, V. De P. & LANGE, O. **Os Campos do Sul**. Rede Campos Sulinos - UFRGS. Porto Alegre, 2015. p. 31-42.

PINTO, C. E. et al. Comportamento ingestivo de novilhos em pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 319-327, 2007.

POLOMSKI, J.; KUHN, N. Root Research methods. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Orgs.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 295- 322.

QUADROS, F.L.F. de; et al. Uso de tipos funcionais de gramíneas como alternativa de diagnóstico da dinâmica e do manejo de campos naturais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006.

QUADROS, F. L. F.; TRINDADE, J. P. P.; BORBA, M. A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais. In: **Campos Sulinos – conservação e uso sustentável da biodiversidade**, 2009, Brasília: MMA, 2009. cap. 15. pp.88-100.

REES, R. M.; BINGHAM, I. J.; BADDELEY, J. A. and WATSON, C. A. 2005. The role of plants and land management in sequestering soil carbon in temperate arable and grassland ecosystems. **Geoderma** 128(1–2): 130–154.

REWALD, B.; EPHRATH, J.E. Minirhizotron techniques. In: ESHEL, A.; BEECKMAN, T. (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. 831 p.

RODRIGUES, C. A. G.; GOMES, K. E.; CAMPONOGARA, T.; AROSEMENA, D. R. Avaliação do sistema radicular e de rizomas de um campo natural diferido em Bagé, RS. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 17 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 10). ISSN 1806-3322.

SINDT, M. R., **Impact of phosphorus placement on corn rooting dynamics under long-term strip-tillage**. 2017. 103 p. Thesis (Master of Science) - Kansas State University, Manhattan, Kansas, 2017.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2-3, p. 169–183, 2005.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 849-858, 2003.

WALLANDER, H.; EKBLAD, A.; GODBOLD, D. L.; JOHNSON, D.; BAHR, A.; BALDRIAN, P.; BJÖRK, R. G.; KIELISZEWSKA-ROKICKA, B.; KJØLLER, R.; KRAIGHER, H.; PLASSARD, C.; RUDAWSKA, M. Evaluation of methods to estimate production, biomass and turnover of ectomycorrhizal mycelium in forests soils – A review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 57, p. 1034-1047, 2013.

3. ARTIGO

3.1 RESUMO

DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICAL DE UMA PASTAGEM NATURAL DO BIOMA PAMPA MANEJADA SOB DIFERENTES INTERVALOS DE DESCANSO

O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento do sistema radical de espécies nativas do bioma Pampa sob dois intervalos entre desfolhações e mensurar a distribuição desse sistema radical em profundidade utilizando imagens digitais. O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria, Depressão Central do Rio Grande do Sul, onde foram avaliados dois intervalos de desfolha baseados em soma térmica: 375 graus-dia (GD) e 750 GD em duas épocas de coleta (primavera e verão) e três camadas do solo: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm. Foram realizados cortes do material vegetal acima do solo para simular o pastejo animal a cada soma térmica. Um escâner era introduzido em tubos de acrílico instalados no solo a fim de coletar imagens em 360°. Essas imagens foram importadas pelo software de análises de imagens RootSnap. Os dados exportados foram submetidos a análise multivariada de ordenação, análise de agrupamento e análise variância por testes de aleatorização. Não foram encontradas diferenças entre os intervalos avaliados para comprimento total, volume total e diâmetro médio de raízes. Foram encontradas diferenças para comprimento, área e volume entre profundidades, sendo os maiores valores na profundidade intermediária. Entre períodos foram encontrados maiores valores para área, volume e diâmetro, na primavera, e a área de raízes foi maior no intervalo de 375 GD. Esses resultados se justificam pela forte relação existente entre as variáveis radicais avaliadas e a composição florística que sofre influência de fatores antrópicos e ambientais.

Palavras-chave: Gramíneas. Manejo. Minirhizotron. Raízes. Tratamentos.

3.2 ABSTRACT

DISTRIBUTION OF THE RADICAL SYSTEM OF A NATURAL GRASSLAND OF PAMPA BIOME MANAGED UNDER DIFFERENT REST INTERVALS

The objective of this study was to evaluate the development of the radical system of native species of the Pampa biome under two intervals between defoliation and to measure the distribution of this radical system in depth using digital images. The experiment was carried out at the Federal University of Santa Maria, Depressão Central of Rio Grande do Sul, where two defoliation intervals based on thermal sum were evaluated: 375 degree days (DD) and 750 DD in two periods (spring and summer) and three soil depths: 0-20 cm, 20-40. cm, 40-60 cm. Above-ground plant material was cut to simulate animal grazing at each thermal sum. A scanner was introduced into the ground-mounted acrylic tubes to collect 360 ° images. These images were imported to RootSnap image analysis software. The exported data were subjected to multivariate ordination analysis, cluster analysis and variance analysis by randomization tests. No differences were found between defoliation intervals for total length, total volume and mean root diameter. Differences were found for the variables length, area and volume between depths, being higher values for intermediate depth. Between periods, higher values were found for the area, volume and diameter in spring and a higher area were recorded at 375 DD. These results are justified by the strong relationship between the radical variables evaluated and the floristic composition that is influenced by anthropic and environmental factors.

Keywords: Grasses. Management. Minirhizotron. Roots. Treatments.

3.3 INTRODUÇÃO

Só no estado do Rio Grande do Sul (RS) é possível observar a presença de dois biomas dos seis existentes no território nacional, são eles bioma Mata Atlântica e Pampa. O primeiro situado na região do planalto gaúcho e no estado de Santa Catarina é caracterizado geralmente por vegetação florestal de araucárias, enquanto o segundo está localizado apenas no Rio Grande do Sul nas regiões da Depressão Central, Serra do Sudeste e Campanha (OVERBECK et al., 2015). Ocupando cerca de 63% da superfície terrestre do estado (IBGE, 2004) é representado principalmente por pastagens naturais. O Pampa possui ainda continuidade nos territórios argentino, paraguaio e a totalidade do território uruguaio.

A vegetação dos nossos Campos Sulinos pode até parecer homogênea, mas ao analisarmos mais especificamente, só nos campos da Região Sul são conhecidas 2600 espécies que pertencem a 89 famílias diferentes. Dessas, 2150 espécies ocorrem no bioma Pampa, onde a estrutura que mais caracteriza essa vegetação é formada por gramíneas (BOLDRINI et al., 2015). Essas gramíneas podem ter hábito de crescimento prostrado, como o *Paspalum notatum* e o *Axonopus affinis*, como também espécies com hábito de crescimento cespitoso (formadoras de touceiras) como no caso da *Aristida laevis* e *Sorghastrum* spp. Esses campos são a base da alimentação pecuária no Rio Grande do Sul, que conta hoje com um rebanho de aproximadamente treze milhões de cabeças (INFORMATIVO NESPRO & EMBRAPA PECUÁRIA SUL, 2018).

Muito se estuda sobre a biomassa aérea de plantas, ficando o sistema radical em segundo plano devido às dificuldades encontradas em acessar seu conteúdo. São através deste que as plantas obtêm água e nutrientes necessários para seu desenvolvimento. Ressalta-se ainda que dependendo das interações que ocorrem entre as espécies e o modo como são manejadas, o sistema radical responde de diferentes formas sendo de suma importância seu estudo. Para tal, levando em consideração a importância e necessidade de métodos alternativos que reduzissem o tempo, mão de obra e os custos envolvidos pelos métodos tradicionais, MUÑOZ-ROMERO et al. (2010) propuseram o método do Minirhizotron como uma alternativa não destrutiva de avaliação desses sistemas radicais. Eshel e Beeckman (2013) também apontam o método como uma oportunidade para o estudo de pelos radiculares, visto que o advento da imagem digital aperfeiçoa a eficiência, o tempo e

os custos envolvidos na captura e análises de imagens, tornando-se estas o padrão entre os estudos para quantificar a arquitetura e enraizamento em estudos com raízes em sistemas naturais e agrícolas. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento do sistema radical de espécies nativas do bioma Pampa sob dois intervalos entre desfolhações, mensurando a distribuição desse sistema em profundidade correlacionando-o com a composição florística existente na área.

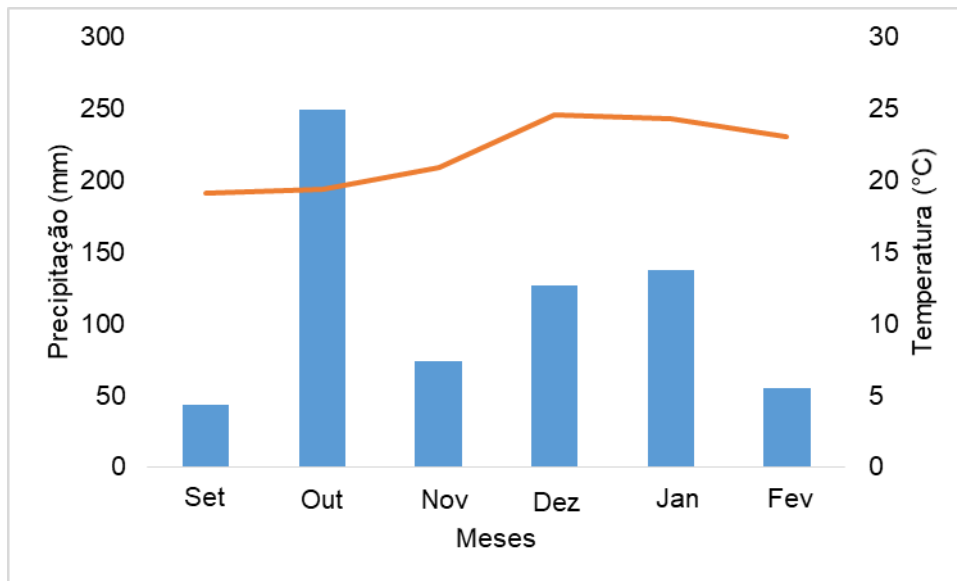
3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização da área

O experimento foi realizado em uma área experimental pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, que está sob responsabilidade do Laboratório de Ecologia de Pastagens Naturais (LEPAN). A área experimental está localizada no município de Santa Maria, Depressão Central do Rio Grande do Sul (coordenadas 29°43'29,97" S 53°45'36,91" W). A altitude do município é de 95m do nível do mar, o clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa) segundo Köppen (MORENO, 1961). O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2018).

A área experimental é ocupada por pastagem natural sem registros nem indícios a campo de atividades de preparo do solo para fins agrícolas, sendo utilizada para cria e recria de bovinos de corte desde 1970 (QUADROS e PILLAR, 2001). A área total é de 24 hectares (ha) onde no ano de 2010 foram alocados distintos tratamentos de intervalo entre pastoreio rotativo. A temperatura (°C) média e precipitação dos meses avaliados podem ser observados na Figura 2 e a análise química do solo se encontra na Tabela 2.

Figura 2 - Médias mensais de temperatura (°C) e precipitação pluviométrica (mm) dos períodos primavera/verão 2017, 2018.



Fonte: o autor.

Tabela 2 - Análise química do solo no início de experimento.

Gleba	Profundidade	Argila	pHH ₂ O	P (mg/L)	K (mg/L)	M.O. (%)
375	0-20	22	4,7	11,1	36	1,9
375	20-40	26	4,7	4	20	1,6
750	0-20	24	4,6	5,3	36	1,8
750	20-40	29	4,6	4,6	24	1,4
Gleba	Profundidade	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)	Saturação bases(%)	Saturação Al(%)
375	0-20	2,5	1,188	0,429	11,1	59,5
375	20-40	3,5	0,874	0,223	7,8	76,1
750	0-20	3,2	1,156	0,403	10,7	65,3
750	20-40	4,8	1,076	0,312	7	77,4

3.4.2 Tratamentos

Os tratamentos avaliados foram intervalos de desfolhação definidos por duas somas térmicas: 375 e 750 graus-dia (GD) que correspondem à duração de alongação foliar dos grupos de gramíneas de captura de recursos (375 GD) e conservação de recursos (750 GD) e a soma térmica foi obtida através do somatório da temperatura

média diária ($ST = \sum TMD$). O intervalo 375 GD considera soma térmica necessária para alongação de duas folhas e meia de espécies com hábito de crescimento prostrado como o *Axonopus affinis* Chase e *Paspalum notatum* Flügge, competidoras por recursos, pertencentes aos grupos funcionais A e B, conforme classificação de Quadros et al, (2006). Enquanto o intervalo de 750 GD considera a soma térmica necessária para a alongação de uma folha e meia de espécies com hábito de crescimento cespitoso como *Aristida laevis* (Nees) Kunth e *Saccharum angustifolius* (Nees), armazenadoras de recursos, pertencentes aos grupos funcionais C e D.

A soma térmica foi obtida através do somatório da temperatura média diária ($ST = \sum TMD$). Ela foi calculada pela soma das temperaturas médias observadas a cada hora pela estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e obtida através da equação: $TMD = [(T^{\circ}Mx + T^{\circ}Mn) / 2]$; onde $T^{\circ}Mx$ é a temperatura máxima diária ($^{\circ}C$) e $T^{\circ}Mn$ é a temperatura mínima diária ($^{\circ}C$). Para o cálculo da soma térmica não foi descontada a temperatura base, pois no período experimental, as temperaturas mínimas são superiores à temperatura basal.

3.4.3 Escolha do local

O local escolhido para realização das avaliações preconiza incidência das espécies *Andropogon lateralis* (Nees) Hack, *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum* em 70% da composição, pois, segundo análise de Seibert (2015), essas espécies ocorrem em ambos os tratamentos entre as principais componentes da área. Nesses locais foram colocadas as seis transecções de um metro de comprimento por meio metro de largura para avaliação, que estavam caracterizados por manchas de composição de estrato baixo como resultado do manejo adotado na área. As espécies citadas estão enquadradas nos grupos de tipos funcionais A e B segundo teor de matéria seca e área foliar específica (QUADROS et al., 2009), sendo que *Axonopus affinis* é do tipo funcional A, *Andropogon lateralis* e *Paspalum notatum* são do tipo funcional B, pois, no referente estudo a espécie *Andropogon lateralis* está em estrato baixo, sendo historicamente pastejada, apresentando características que a enquadram no grupo funcional B.

3.4.4 Instalação do experimento

O experimento foi instalado no ano de 2015, as transecções foram caracterizadas de acordo com: A) análise química completa do solo (percentagem de argila; classe textural; pH em água; índice SMP; teores de P e K disponíveis; MO; Al,

Ca e Mg trocáveis; saturação por bases; saturação por Al; CTC efetiva e CTC pH 7,0; teores de S, Cu, Zn e B) no Laboratório de Análise de Solos – Rotina (UFSM), com estratificação do solo em 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm por meio de pá-de-corte (BISSANI et al., 2008); B) análise física do solo (resistência à penetração, densidade, permeabilidade do ar, macro e microporosidade do solo) no Laboratório de Física de Solos (UFSM), sendo o solo estratificado em profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm; C) composição vegetacional pelo método BOTANAL (TOTHILL et al., 1992); D) biomassa de raízes no perfil por meio de coleta em monólito de solo; E) biomassa de parte aérea com coleta do material acima do solo dentro do quadro de avaliação de 0,25 m².

Os orifícios para posicionamento dos tubos foram inseridos em um ângulo de 45° em relação à superfície, sendo utilizado perfurador de solo com uma broca de caracol duplo de 6 cm de diâmetro e 80 cm de comprimento em julho de 2015. Estes tubos possuem dimensão de 7 cm de diâmetro externo e 6 cm de diâmetro interno, com comprimento no interior do solo de 70 cm. A diferença entre o diâmetro da broca e do tubo é para proporcionar mínima superfície entre o tubo e o solo, diminuindo o efeito da facilitação de crescimento das raízes nesta interface. Foram instalados seis tubos de acrílico por tratamento avaliado, totalizando doze tubos instalados na área. Considerando que os tubos eram sujeitos a danos por pisoteio ou quebra acidental pelos animais, esses foram protegidos com gaiolas de exclusão de 2 m². Para simular o efeito do pastejo, essas áreas eram cortadas com tesoura de esquilar a 5 cm do solo, a cada soma térmica dos tratamentos. Essas áreas foram submetidas a cortes de desfolhação nos intervalos dos tratamentos ao longo do período de acomodação dos tubos, considerado como de 12 meses. Após esse período, as gaiolas permaneceram excluídas de cortes, até o início desse experimento.

3.4.5 Período avaliado

As avaliações ocorreram nos períodos de primavera e verão dos anos 2017 e 2018, onde em cada tratamento (375 GD e 750 GD) foi escolhido um piquete representativo e alocadas seis repetições dos tubos de acrílico no campo. As avaliações se deram no dia 20 de setembro do ano de 2017 para o tratamento 375 GD representando a primavera e no dia 26 de setembro para o tratamento 750 GD. No verão, foram realizadas nos dias 12 de janeiro do ano de 2018 para o tratamento 750 GD e 23 de janeiro para o tratamento 375 GD.

3.4.6 Composição florística

As avaliações de composição florística se deram nas datas de 18 de setembro de 2017 e 27 de fevereiro de 2018, ou seja, antes de iniciar as coletas por imagens e logo após o seu término. A composição florística foi avaliada com a utilização do método BOTANAL (TOTHILL et al., 1992), sendo a biomassa aérea estimada visualmente e definida por padrões que representam a variação de massa dentro dos quadros de avaliação de 0,25 m². Foi considerada a disponibilidade de matéria seca total, a contribuição dos cinco principais componentes e a frequência relativa dos demais componentes da vegetação nativa para avaliação que foi realizada através da dupla amostragem. Os dados foram anotados em planilha de campo e posteriormente repassados a planilha eletrônica de cálculos automatizada (MARTINS e QUADROS, 2004) com adaptações de MARTINS et al. (2007). Em cada tratamento foram feitas seis estimativas visuais da massa de forragem e seis cortes rentes ao solo em quadros de 0,25 m², os quais foram utilizados para calibrar as estimativas visuais por regressão linear entre estas e os valores cortados.

3.4.7 Sistema radical

A dinâmica de crescimento de raízes foi observada utilizando o Minirhizotron (SMIT et al., 2000), que é um mecanismo não destrutivo de estudo de raízes in situ. O escâner CI-600 In-Situ Root Imager (CID, Inc., USA) foi introduzido nos tubos a cada soma térmica completa (375 e 750 GD) coletando imagens digitais em 360 graus a cada 20 cm de profundidade no solo, sendo as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. As imagens obtidas foram importadas e analisadas com o software de análise de imagem de raiz 690 RootSnap (CID, Inc., USA). Nas imagens foram analisadas as épocas de início e final de experimento através do software 690 RootSnap (CID, Inc., USA) e comparadas diferenças de comprimento total de raiz, área total de raízes, volume total de raízes e diâmetro médio de raízes entre tratamentos.

3.4.8 Análise estatística

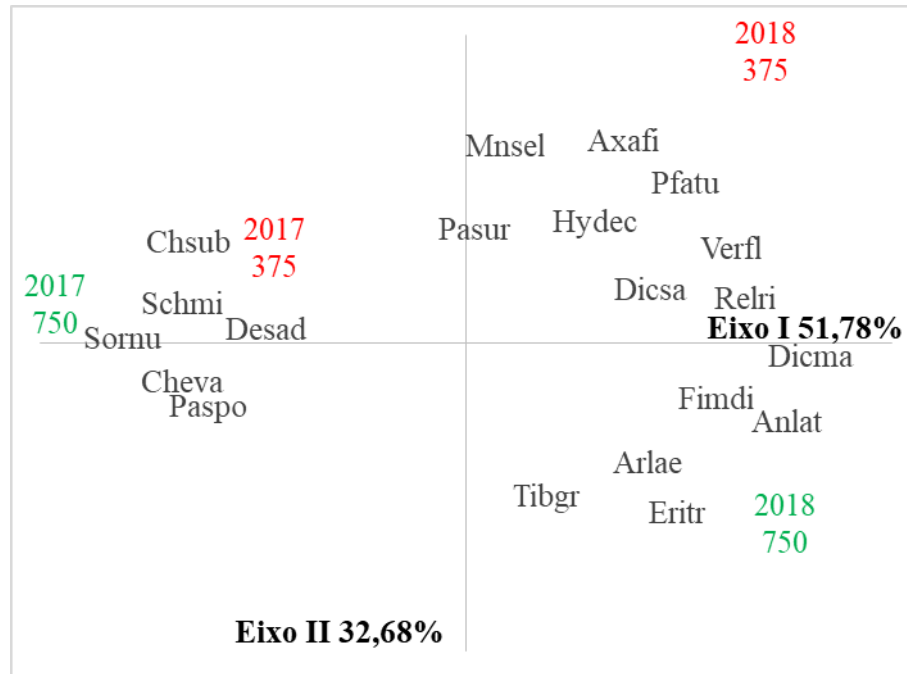
Os dados coletados referentes à dinâmica de crescimento de raízes foram submetidos à análise multivariada de ordenação pelo método de coordenadas principais, análise de agrupamento e análise de variância por testes de aleatorização, com a distância euclidiana como medida de semelhança, utilizando-se o programa MULTIV (PILLAR, 2004). Para a análise multivariada de ordenação e análise de variância por testes de aleatorização foram utilizados todos os valores exportados das

imagens, porém a fim de facilitar a visualização e interpretação dos diagramas e reduzir o número total de unidades, o diagrama de ordenação e análise de agrupamento foram montados com os valores médios de cada tratamento por período e profundidade.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram encontradas diferenças entre os tratamentos 375 e 750 GD para todas as variáveis analisadas: comprimento total de raiz, volume total, área total e diâmetro médio de raízes. Isso pode ser justificado pelos intervalos adotados entre desfolha serem próximos para esse tipo de avaliação, apresentando uma composição florística semelhante. Esse fato está também associado às gaiolas de exclusão necessárias para evitar os possíveis danos causados pelos animais aos tubos de acrílico. Como a área avaliada estava dentro dessas gaiolas e essas ficaram sem cortes para que fossem utilizadas para avaliações, houve aumento do material vegetal. Devido a isso, na primavera, além do diferimento no campo que influenciou o acúmulo de material vegetal no mesmo, houve um grande acúmulo de material vegetal dentro das gaiolas de exclusão e conseqüentemente nas repetições, predominando espécies de estrato alto, formando touceiras no campo e nas repetições. Assim, a composição vegetal nesta época foi semelhante para ambos os tratamentos, conforme diagrama de ordenação apresentado na Figura 3. Foi necessário então, para dar início as avaliações, que fossem realizadas roçadas nos tratamentos.

Figura 3 - Diagrama de ordenação representando as trajetórias dos tratamentos 375 GD e 750 GD no Eixo I e Eixo II em função da composição florística no início e final das avaliações do sistema radical.

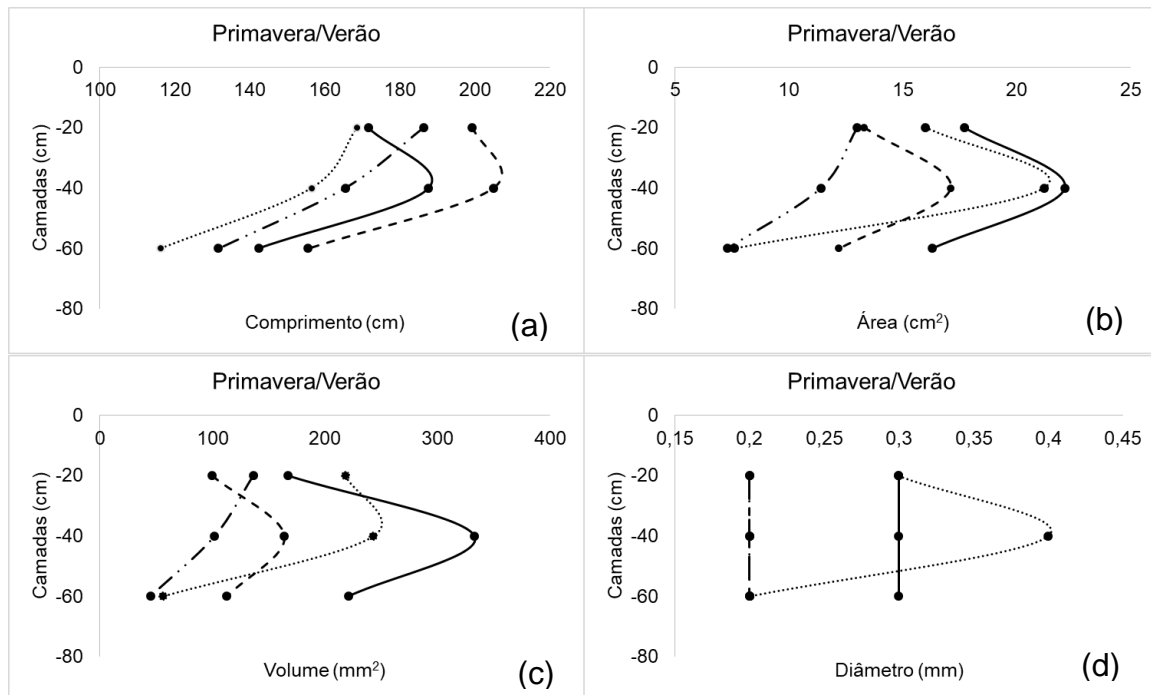


Fonte: o autor.

Legenda: 2017 375= período de primavera (primeira avaliação) do tratamento de rotação curta; 2017 750= primavera e tratamento de rotação longa; 2018 375= verão (última avaliação) e tratamento curto; 2018 750= verão e tratamento longo. Espécies: Chsub= *Chascolytrum subaristata*, Schmi= *Schizachyrium microstachyum*, Desad= *Desmodium adscendens*, Sornu= *Sorghastrum nutans*, Cheva= *Chevreulia acuminata*, Pasp= *Paspalum polyphyllum*, Mnsel= *Mnesithea selloana*, Axafi= *Axonopus affinis*, Pfatu= *Pfaffia tuberosa*, Hydec= *Hypoxis decumbens*, Pasur= *Paspalum urvillei*, Verfl= *Vernonia flexuosa*, Dicsa= *Dichantheium sabulorum*, Relri= *Relbunium richardianum*, Dicma= *Dichondra macrocalyx*, Fimdi= *Fimbristylis diphylla*, Anlat= *Andropogon lateralis*, Arlae= *Aristida laevis*, Tibgr= *Tibouchina gracilis*, Eitr= *Erianthus trini*.

As avaliações de sistema radical se deram concomitantes às avaliações de taxa de acúmulo de forragem, respeitando um mesmo intervalo de cortes para ambos os intervalos, 375 GD. O que pode também ter influenciado as espécies presentes no verão. Os resultados referentes ao comprimento, área, volume e diâmetro do sistema radical são apresentados na Figura 4.

Figura 4- Comportamento das variáveis comprimento de raízes, área de raízes, volume e diâmetro de raízes nas camadas 20, 40 e 60 cm no perfil do solo.



Legenda: —●— primavera tratamento 375 GD; primavera tratamento 750 GD; -●- verão tratamento 375 GD; —●— verão tratamento 750 GD.

O comprimento de raízes foi diferente apenas entre as camadas analisadas ($P < 0,05$), sendo registrado um decréscimo no comprimento de raiz ao longo do perfil do solo (Figura 4a). As variáveis radicais tenderam a diminuir com o aumento da profundidade do solo, sendo a camada de 20 – 40 cm a de maior concentração de raízes em volume, área e diâmetro. Isso vai ao encontro do constatado por Bonin et al. (2013), quando estudou as características de crescimento de raízes em campos estabelecidos dominados por gramíneas C4 e manejados para pastoreio de bovinos e produção de biomassa na Virgínia, Estados Unidos (EUA). Esses autores indicaram que para todas as variáveis (área de superfície, volume, comprimento e diâmetro) os valores diminuiriam conforme aumentava a profundidade, sendo avaliadas as profundidades de 0-50 cm da superfície. A área de raízes (Figura 4b) apresentou diferenças entre as estações do ano, com maiores valores para a primavera, independente dos intervalos de corte. Além disso, os menores valores de área foram registrados na maior profundidade; O volume de raízes (Figura 4c) também diferiu quando comparado entre estações ($P < 0,004$), sendo na primavera encontrados os

maiores valores. Isso pode estar relacionado a presença de raízes de diferentes idades nessa época do ano, pois, como visto anteriormente é a estação de desenvolvimento de gramíneas hibernais. Borin et al. (2013) descrevem também que o maior crescimento de raízes se deu durante os períodos de primavera e outono amostrados durante sua avaliação.

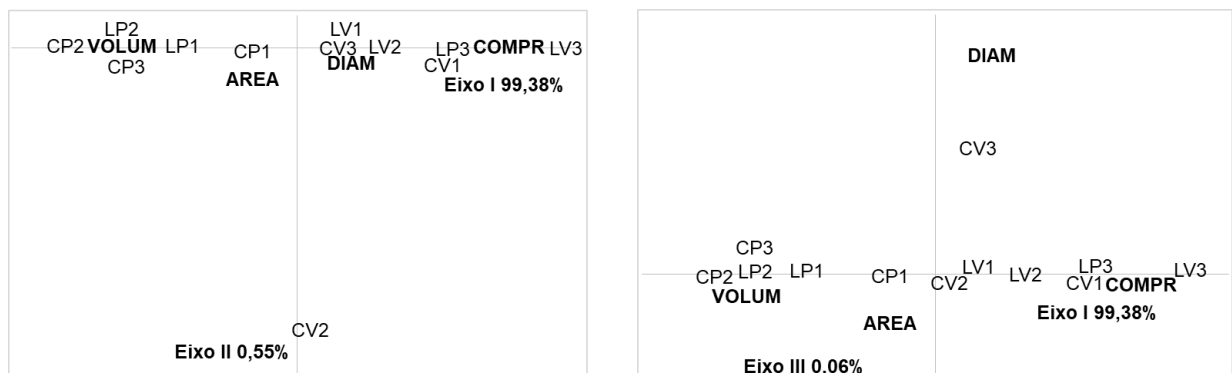
Na Figura 4d podemos observar diferença significativa entre o diâmetro nas estações avaliadas ($P < 0,01$), onde na primavera as raízes avaliadas apresentaram maiores valores, não diferindo entre profundidades. Os intervalos de corte apresentaram valores de diâmetro semelhantes, sendo que as linhas do verão estão sobrepostas. Devido a grande diversidade de espécies encontradas no campo nativo, esse ambiente é fortemente caracterizado pela presença de espécies de ciclo metabólico C3 e C4 convivendo em um mesmo ambiente. É na primavera que ocorre o desenvolvimento das gramíneas hibernais, com metabolismo fotossintético C3, já no verão, quando se tem as maiores temperaturas anuais, ocorre então a emissão das inflorescências de gramíneas C4 e outras espécies presentes no campo nativo. Nessa época é possível observar em questão de um mês completa alteração no aspecto da vegetação (BOLDRINI, 2015).

A composição química do solo também é um fator determinante dos resultados. Pode se observar que na primavera, a composição florística existente na área avaliada era diferente de quando fora instalado o experimento, onde na escolha do local preconizou a incidência de 70% da vegetação representada por *Andropogon lateralis*, *Axonopus affinis* e *Paspalum notatum*. A composição florística foi distinta ainda, no verão mesmo que apresentando contribuição das espécies *Axonopus affinis* e *Andropogon lateralis*, representando o desenvolvimento de outras famílias botânicas além das Poaceae. Trata-se de um solo com baixa fertilidade natural, com valores de fósforo que variam de médio a muito baixo conforme aumenta a profundidade do solo para o tratamento 375 GD e de médio a baixo no tratamento 750 GD e potássio que varia de baixo a muito baixo nas camadas de 20 cm e 40 cm respectivamente para o tratamento 375 GD e se mantém em níveis baixos no tratamento 750 GD (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004). Este solo apresenta diminuição de saturação por bases nas camadas mais profundas e aumento dos teores de alumínio, o que pode ter influenciado a redução das variáveis analisadas conforme aumentava a profundidade. É importante levar em conta, que esses fatores não agem sozinhos,

sofrendo também a influência do clima com períodos mais secos no verão, o que levou a presença de espécies adaptadas à essas condições como no caso as da família das Poaceae como o *Andropogon lateralis* e *Aristida laevis* que apresentam rota fotossintética C4 (OVERBECK, 2015).

Na figura 5 está representado o diagrama de ordenação, onde é possível observar um agrupamento entre tratamentos e repetições (legendas na Figura 5) em função dos atributos de raízes analisados. Observamos a distinção de três grupos, separados em função de uma análise de agrupamentos e descritos nessa figura. O primeiro grupo é formado pelos tratamentos LP1, CP2, CP3 E LP2 que possuem maior relação com o volume de raízes. O segundo grupo LV3, LV2, CV1 e LP3 relacionados mais diretamente com comprimento e, o terceiro grupo CP1, CV2, CV3 e LP1 que está relacionado a área e diâmetro de raízes.

Figura 5 - Diagramas de ordenação mostrando a distribuição das repetições de acordo com as variáveis nos eixos I e II (diagrama A) e eixos I e III (diagrama B).



Legenda: DIAM – diâmetro; VOLUM – volume; COMPR – comprimento; AREA – área. Das repetições: CP1 – tratamento 375, primavera, profundidade 0-20 cm; CP2 – tratamento 375, primavera, profundidade 20-40cm; CP3 – tratamento 375, primavera, profundidade 40-60 cm; LP1 – tratamento 750, primavera, profundidade 0-20 cm; LP2 – tratamento 750, primavera, profundidade 20-40cm; LP3 – tratamento 750, primavera, profundidade 40-60 cm; CV1 – tratamento 375, verão, profundidade 0-20 cm; CV2 – tratamento 375, verão, profundidade 20-40 cm; CV3 – tratamento 375, verão, profundidade 40-60 cm; LV1 – tratamento 750, verão, profundidade 0-20 cm; LV2 – tratamento 750, verão, profundidade 20-40 cm; LV3 – tratamento 750, verão, profundidade 40-60 cm.

Nos diagramas A e B observa-se que as repetições apresentam correlações maiores com o eixo I (diagrama A), sendo formados grupos entre os tratamentos de acordo com os atributos mais correlacionados a esse eixo, o comprimento e o volume

que são atributos inversamente relacionados. No diagrama B podemos observar mais claramente que esse agrupamento se justifica pelo manejo que estava sendo realizado nos quadros onde eram feitas as coletas de imagens. O histórico de manejo da área com os distintos tratamentos mostra que a maior influência do tratamento 750 GD se dá pela composição florística e não em alterações no sistema radical.

As raízes identificadas neste experimento possuíam menos de 2 mm de diâmetro, o que as classifica como raízes finas (JACKSON et al., 1997). O diâmetro foi semelhante para ambos os tratamentos, com maiores valores na primavera ($P < 0,011$). A área total da superfície de raiz foi mais alta na profundidade 20-40cm no período de primavera ($P < 0,032$) e maior volume de raiz na profundidade 20-40cm na estação da primavera ($P < 0,004$). Os valores encontrados para este experimento podem estar estritamente relacionados ao manejo da área, pois, a mesma se mantinha em exclusão até início do experimento, apresentando maiores valores entre as variáveis estudadas no período de primavera, sendo necessários cortes do material acima do solo simulando as alterações realizadas pelo pastejo durante a continuidade das avaliações até o verão. Este pode ser fator limitante na causa dessas mudanças no volume da raiz que, conseqüentemente afetou o diâmetro (MOUSEL et al., 2014). No trabalho realizado por Bonin et al. (2013) ao contrastar uma área em exclusão com uma sob pastejo, os autores relatam que o pastejo animal reduzia o volume e diâmetro das raízes. O mesmo foi encontrado neste experimento quando realizados cortes do material vegetal (simulação de pastejo) durante o período avaliado, houve redução dos valores de diâmetro do período de primavera para o verão ($P < 0,01$) e os resultados de ambos os experimentos concordam com afirmações que sugerem que a baixa frequência de pastejo pode estimular os tecidos de raízes (MILCHUNAS et al., 1993).

Os campos do bioma Pampa apresentam várias fisionomias, que são caracterizados por diferentes fatores como o manejo, solo, clima e características geomorfológicas na composição de sua vegetação (OVERBECK, 2015). Assim, observamos no presente estudo, que a estrutura do sistema radical que compõem esses campos sofre influência, principalmente, do manejo que é realizado na área, associado à outros fatores, como solo, clima, relevo.

4.6 CONCLUSÃO

A metodologia de Minirhizotrons permite mensurar a distribuição do sistema radical de espécies nativas do bioma Pampa. Não foram encontradas diferenças entre os tratamentos 375 GD e 750 GD para os atributos comprimento total, área total, volume total e diâmetro médio de raízes. Porém, constatou-se que a distribuição do sistema radical está relacionada à composição florística existente na área e esta depende do manejo de desfolhação adotado e de fatores como a fertilidade do solo.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOLDRINI, I. I.; OVERBECK, G. & TREVISAN, R. Biodiversidade de plantas. In: PILLAR, V. de P & LANGE, O. **Os Campos do Sul**. Rede Campos Sulinos – UFRGS. Porto Alegre, 2015. p. 52-61.

BONIN, C.; FLORES, J.; LAL,R. and TRACY, B. Root Characteristics of Perennial Warm-Season Grasslands Managed for Grazing and Biomass Production. *Agronomy*. USA, **2013**, 16, 508 – 523.

CONFORTIN, A. C. C. **Dinâmica de crescimento de gramíneas nativas do Rio Grande do Sul submetidas a dois intervalos entre pastoreio**. 2012. 103 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

IBGE 2004. Mapa da vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil. **IBGE**. <http://www.ibge.gov.br>

INFORMATIVO NESPRO & EMBRAPA PECUÁRIA SUL: bovinocultura de corte no Rio Grande do Sul – Ano 4, n. 1 (2018) – Porto Alegre, RS. 2018 – Semestral.

JACKSON, R.B.; MOONEY, H.A.; SCHULZE, E. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **1997**, *94*, 7362–7366.

MARTINS, C. E. N ; QUADROS, F. L. F. . BOTANAL: desenvolvimento de uma planilha eletrônica para avaliação de disponibilidade de matéria seca e composição florística de pastagens. In: reunión del grupo técnico regional del cono sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área tropical y subtropical - Grupo Campos, 2004, Salto. **Memorias...**, 2004. v. 1, p. 229-231.

MARTINS C. E. N. et al., Implementação do componente espacial na planilha eletrônica BOTANAL. In: IV Congresso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales e I Congreso del Mercosul sobre Manejo de Pastizales Naturales, 2007, Vila Mercedes. Congreso Nacional Sobre Manejo de Pastizales Naturales. Vila Mercedes: **Anais...**Universidad Nacional de San Luis, v. 1. p. 1-1. 2007.

MILCHUNAS, D.G.; LAUENROTH, W.K. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecol. Monogr.* **1993**, *63*, 327–366.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 41p., 1961.

MOUSEL, E.M.; SCHACHT, W.H.; ZANNER, C.W.; MOSER, L.E. Effects of summer grazing strategies on organic reserves and root characteristics of big bluestem. *Crop Sci.* **2005**, *45*, 2008–2014.

MUÑOZ-ROMERO, V.; BENÍTEZ-VEGA, J.; LÓPEZ-BELLIDO, L. & LÓPEZ-BELLIDO, R. J. (2010). Monitoring wheat root development in a rainfed vertisol: tillage effect. *European Journal of Agronomy*, *33*, 182-187.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 41p., 1961.

OVERBECK, G.E.; BOLDRINI, I. I.; CARMO, M. R. B. d.; GARCIA, E. N.; MORO, R. S.; PINTO, C. E.; TREVISAN, R.; ZANNIN, A. (2015) - Fisionomia dos Campos. In: PILLAR, V. De P. & LANGE, O. **Os Campos do Sul**. Rede Campos Sulinos - UFRGS. Porto Alegre, 2015. p. 31-42.

PILLAR, V. D. **Multivariate Exploratory Analysis (MULTIV). Randomization Testing and Bootstrap Resampling**. Versão 2.3.7. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2004. <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/>

QUADROS, F. L. F.; PILLAR, V. D. P. Dinâmica vegetacional em pastagem natural submetida a tratamentos de queima e pastejo. **Ciência Rural**, v. 31, n. 5, p. 863 - 868, 2001.

QUADROS, F.L.F. de; et al. Uso de tipos funcionais de gramíneas como alternativa de diagnóstico da dinâmica e do manejo de campos naturais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006.

QUADROS, F. L. F.; TRINDADE, J. P. P.; BORBA, M. A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais. In: **Campos Sulinos – conservação e uso sustentável da biodiversidade**, 2009, Brasília: MMA, 2009. cap. 15. pp.88-100.

RODRIGUES, C. A. G.; GOMES, K. E.; CAMPONOGARA, T.; AROSEMENA, D. R. Avaliação do sistema radicular e de rizomas de um campo natural diferido em Bagé, RS. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 17 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 10). ISSN 1806-3322.

SEIBERT, L. **Efeito do pastoreio rotativo sobre a composição florística e estrutural de uma pastagem natural do bioma Pampa, Santa Maria, RS**. 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SMIT, A. L.; GEORGE, E.; GROENWOLD, J. Root Methods Handbook. **Springer**, p.235-272, 2000.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004. 400 p.

STRECK, E. V.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre, Emater/RS, 222p, 2008.

TOTHILL, J. C. et al. BOTANAL – A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. 1. Field sampling. **Tropical Agronomy Technical Memorandum, Queensland**, n. 78, 1992. 24 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A - RESULTADOS ENCONTRADOS VIA TESTES DE ALEATORIZAÇÃO REALIZADOS ATRAVÉS DO SOFTWARE MULTIV.

Resultados encontrados via testes de aleatorização realizados através do software MULTIV.

Fonte variação	COMPRIMENT		ÁREA		VOLUME		DIÂMETRO	
	SQ(Q)	P *	SQ(Q)	P *	SQ(Q)	P *	SQ(Q)	P *
TRAT:								
Entre grupos	8456.8	0.216	223.31	0.058	41055	0.164	0.00032323	0.932
Contrastes:								
1 -1	8456.8	0.204	223.31	0.082	41055	0.169	0.00032323	0.935
PER:								
Entre grupos	4734.6	0.326	325.54	0.035	1,56E+09	0.004	0.11879	0.009
Contrastes:								
1 -1	4734.6	0.359	325.54	0.032	1,56E+09	0.004	0.11879	0.011
PROF:								
Entre grupos	27694	0.079	527.77	0.023	1,19E+09	0.076	0.011212	0.756
Contrastes:								
1 -1 0	27.841	0.956	100.81	0.303	48180	0.191	0.0036364	0.773
1 0 -1	21517	0.044	165.75	0.071	14545	0.308	0.0020455	0.814
0 1 -1	19996	0.055	525.09	0.011	1,16E+09	0.024	0.011136	0.583
TRAT x PER	113.47	0.885	0.10127	0.974	5948.8	0.633	0.00032323	0.894
TRAT x PROF	2107.7	0.83	94.323	0.519	66955	0.233	0.048677	0.29
PER x PROF	322.94	0.963	67.597	0.629	24561	0.606	0.011212	0.753
TRAT x PER x PROF	117.03	0.989	55.074	0.702	11868	0.78	0.030677	0.484

Entre grupos	43546	0.712	1293.7	0.106	4,26E+09	0.075	0.22121	0.382
Dentro de grupos	3,00E+05		3862.7		1,17E+10		0.98	
<hr/>								
Total	3,44E+09		5156.4		1,60E+10		1.2012	