

CÉSAR ALEXANDRE BOURSCHIED

**INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO NA AVALIAÇÃO
DO EFEITO DA ARBORIZAÇÃO DE PASTAGEM EM
PASTOREIO RACIONAL VOISIN**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Jucinei José

Comin

Co-orientador: Arcângelo Loss

Florianópolis

2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

BOURSCHEID, CÉSAR ALEXANDRE

INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO NA AVALIAÇÃO DO
EFEITO DA ARBORIZAÇÃO DE PASTAGEM EM PASTOREIO RACIONAL
VOISIN / CÉSAR ALEXANDRE BOURSCHEID ; orientador, Jucinei
José Comin ; coorientador, Arcângelo Loss. -
Florianópolis, SC, 2015.

85 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.
Programa de Pós-Graduação em .

Inclui referências

1. . 2. Pastoreio Racional Voisin. 3. manejo de
pastagens. 4. qualidade do solo. 5. indicadores de
qualidade qualitativos. I. Comin, Jucinei José . II. Loss,
Arcângelo . III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em . IV. Título.

César Alexandre Bourscheid

“Indicadores de qualidade do solo na avaliação do efeito da arborização de pastagens em Pastoreio Racional Voisin”

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Agroecossistemas” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado Profissional em Agroecossistemas.

Florianópolis, 30 de abril de 2015.

Prof. Clarilton Edzard Davoine
Cardoso Ribas, Dr. (UFSC)

Coordenador MPA

Prof. Jucinei José Comin, Dr.
(UFSC)

Orientador/Presidente da
Banca

Banca Examinadora:

Prof. Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho, Dr.
(Universidade Federal de Santa Catarina)

Prof. Ilyas Siddique, Dr.
(Universidade Federal de Santa Catarina)

Prof. Sérgio Roberto Martins, Dr.
(Universidade Federal da Fronteira Sul)

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Jucinei José Comin, orientador, por toda sua dedicação e empenho na construção conjunta e solidária deste saber.

Ao Professor Arcângelo Loss, co-orientador, pela contribuição valiosa de seus conhecimentos na construção conjunta deste saber.

À Universidade Federal de Santa Catarina, por constituir e manter este importante espaço de produção de conhecimentos.

Ao MST/Instituto Educar, toda sua luta em defesa do saber dos camponeses e por oportunizarem a participação neste curso.

À coordenação do Mestrado Profissional pelo permanente empenho na garantia de todas as condições necessárias ao bom desenvolvimento do curso.

Aos professores do Programa no Pós-Graduação em Agroecossistemas pela socialização do conhecimento e oportunidade de aprendizado.

Aos colegas da Turma Egídio Brunetto, pela solidariedade, coletividade e produção conjunta de conhecimentos.

Aos meus familiares, em especial a Janete, Vinícius, Bruno e Isadora, por se empenharem em construir no cotidiano um ambiente de paz, amor e afeto que impulsiona para a dinâmica de produção de conhecimento.

RESUMO

Apesar da importância da atividade leiteira no Brasil, o uso intensivo e as práticas de manejo inadequadas das pastagens e do solo têm sido entraves para se atingir a sustentabilidade da atividade. O Pastoreio Racional Voisin (PRV) é um sistema de manejo das pastagens que busca maximizar a captação da energia solar pelas forrageiras e assim produzir leite à base de pasto de forma eficiente e com balanço de energia positivo, aumentando o potencial produtivo e ambiental do agroecossistema. Quando o PRV é aperfeiçoado com a introdução planejada e criteriosa da tecnologia silvícola, este potencial de produção e preservação ambiental é aumentado. O trabalho foi desenvolvido no município de Redentora, RS para avaliar a sustentabilidade de pastagem manejada sob Pastoreio Racional Voisin com Árvores (PRVCA), sob Pastoreio Racional Voisin sem Árvores (PRVSA) em comparação com área de Floresta Nativa (FN). Adotou-se o processo de avaliação de qualidade do solo por meio de Indicadores de Qualidade Qualitativos (IQS) através do método participativo. Também utilizou-se indicadores físicos densidade do solo (Ds) e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) e químico carbono orgânico total (COT). As amostras de solo foram coletadas em três parcelas do PRVCA, em três no PRVSA, com três repetições para cada parcela, e três repetições em área de Floresta Nativa (FN), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm. O delineamento experimental foi composto por três tratamentos, o PRVCA, o PRVSA, com nove repetições, e o tratamento Floresta Nativa (FN), com três repetições. Os dados de DS, de DMP e COT foram submetidos à Anova e quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas através de t-LSD em nível de 5% de probabilidade. Também foi realizada uma análise estatística multivariada (análise de componentes principais - ACP) com todos os dados obtidos (qualitativos e quantitativos). A avaliação qualitativa do solo por meio dos IQS permitiu evidenciar melhor desempenho na sustentabilidade do PRVCA em comparação ao PRVSA. A avaliação quantitativa, por meio do DMP e COT, também evidenciou a maior sustentabilidade do PRVCA em comparação ao PRVSA. Os indicadores qualitativos e quantitativos indicaram que o PRVCA apresentou desempenho igual ou muito

próximo ao da condição referência (FN), contrastando com o PRVSA, que apresentou desempenho inferior ao da FN. Através da ACP foi possível separar as três áreas avaliadas, sendo o uso da abordagem qualitativa tão eficiente quanto a da quantitativa, pois os dois tipos de indicadores apresentaram resultados semelhantes frente à separação das áreas avaliadas.

Palavras-chave: Pastoreio Racional Voisin, manejo de pastagens, qualidade do solo, indicadores de qualidade qualitativos.

ABSTRACT

Brazil has cattle, sheep and caprine herd, that added represent over 230 million of heads, however the use of inadequate management practices of the pasture and soil have been barrier for reaching sustainability of these livestock activities.

Voisin Rational Grazing is a management system of pastures that searches maximize solar energy capitation by forage, then produce food, and sub products of animal origin to pasture of and efficient way and with positive energy balance, increasing productive and environmental potential of agroecosystem. When Voisin Rational Grazing is improved with planned and careful introduction of forester technology, this potential of production and environmental preservation can be increased. The work was developed in Redentora city, RS to evaluate sustainability of managed pasture under Voisin Rational Grazing with Trees, under Voisin Rational Grazing without Trees in comparison to an area of Native Forest. It was adopted the evaluation process of the quality of the soil by Qualitative Quality Indicators through the participative method. It also was used physical indicators of density of the soil and medium diameter prudent of the aggregates and chemical total organic carbon. The soil samples were collected in three times of Voisin Rational Grazing with Trees, in three at Voisin Rational Grazing without Trees, with three repetitions for each time, and three repetitions in area of Native Forest, in depths of 0-5cm, 5-10cm and 10-20cm. The experimental design was composed for three treatments, Voisin Rational Grazing with Trees, with nine repetitions, and the treatment Native Forest, with three repetitions. The data of soil density, of medium diameter prudent and total organic carbon were subjected to Anova and when the effects were significant, the average were compared through of t-LSD in level of 5% of probability.

It was also done multivariate statistics analyses (analyses of the main components – ACP) with all the obtained data (qualitative and quantitative). The qualitative evaluation of the soil by Qualitative Quality Indicators permitted to evidence better indicators in, Voisin

Rational Grazing with Trees in comparison to Voisin Rational Grazing without Trees.

The quantitative evaluation, by means of medium diameter prudent and total organic carbon, also revealed bigger sustainability of Voisin Rational Grazing with Trees in comparison to Voisin Rational Grazing without Trees. The quantitative and qualitative indicators showed that Voisin Rational Grazing with Trees presented the same or very close performance to the reference condition Native Forest, contrasting with Voisin Rational Grazing without Trees, which presented inferior performance to the Native Forest. Through analyses of the main components, it was possible to separate the three evaluated areas, being the use of the qualitative approach as efficient as the quantitative one, because the two types of indicators presented similar results compared to the separation of the evaluated areas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores de qualidade do solo, escala de valores e características dos indicadores utilizados no trabalho.....	43
Tabela 2 - Valores/notas médios atribuídos para os indicadores de sustentabilidade avaliados em duas épocas (outono e inverno).	59
Tabela 3 - Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura ocorridos desde 1961-1990	60
Tabela 4 - Valores médios de densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados e carbono orgânico total (COT) em áreas de PRV com e sem árvores	68
Tabela 5 - Análise de componentes principais das variáveis analisadas sob sistemas de uso do solo com PRVCA, PRVSA e Floresta.	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Avaliação da qualidade do solo no PRVCA, no PRVSA e na FN no período de outono	58
Gráfico 2 - Avaliação da qualidade do solo no PRVCA, no PRVSA e na FN no período da primavera.	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Redentora	37
Figura 2 - Grupo de Avaliadores.....	39
Figura 3 - Visita de uma parcela do PRVCA.....	41
Figura 4 - Vista de uma parcela do PRVSA, com a atuação dos avaliadores	41
Figura 5 - Abertura da mini-trincheira	45
Figura 6- Identificação de atividade biológica no solo, presença de minhoca e artrópodes	46
Figura 7 - Avaliadora fazendo o teste da resistência a penetração da ponta da faca.	47
Figura 8 - Avaliadora fazendo o teste de infiltração de água no solo. ..	47
Figura 9 - Autor e avaliador avaliando amostra de solo	48
Figura 10 - Avaliadora fazendo teste de odor do solo.....	49
Figura 11 - Avaliador fazendo o teste de odor do solo, na primavera, em PRVSA.....	49
Figura 12 - Pesagem da biomassa forrageira cortada em 1m ² de pastagem.	50
Figura 13 - Coleta e identificação da diversidade vegetal (DV).	51
Figura 14 - Avaliação de agregados do solo.	52
Figura 15 - Avaliador submetendo um torrão à pressão dos dedos.....	52
Figura 16 - Coleta de amostras de solo indeformadas para avaliação de agregados	54
Figura 17 - Análise de agregação em laboratório de análises de solo. CCA/UFSC.	55
Figura 20 - Valores de precipitação pluviométrica par ao mês de outubro de 2014 no RS.....	61
Figura 21 - Animais em pastejo sob parcela de PRV arborizada.....	65
Figura 22 - Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos dados coletados	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
ATER	Assistência Técnica e Extensão Rural
°C	Graus centígrados
Ca	Cálcio
cm ³	Centímetro cúbico
MPA	Movimento dos Pequenos Agricultores
CTC	Capacidade de troca de cátions
Cu	Cobre
Kg m ⁻²	Quilograma por metro quadrado
MIAQS	Método Integrativo de Avaliação da Qualidade do Solo
M.O.	Teor de Matéria Orgânica
P	Fósforo
pH	Potencial de Hidrogênio
PRV	Pastoreio Racional Voisin
Rolas	Laboratório de Análise de Solos, Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC.
SSP	Sistema Silvipastoril

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 AGROECOLOGIA E SUSTENTABILIDADE	23
2.2 PASTOREIO RACIONAL VOISIN E SISTEMAS SILVIPASTORIS	24
2.2.1. As Árvores e a Pastagem	26
2.2.2 Efeito do sombreamento na produção e qualidade das forragens	26
2.2.3 Efeitos do sombreamento nos atributos edáficos.....	28
2.3 QUALIDADE DO SOLO.....	29
2.3.1 Indicadores Qualitativos de Qualidade do Solo.....	30
2.3.2 Indicadores Quantitativos de Qualidade do Solo.....	31
3. OBJETIVOS	35
3.1. OBJETIVO GERAL	35
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	35
4. MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES DA PESQUISA E DO LOCAL.....	37
4.2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DAS PASTAGENS POR MEIO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO.....	40
4.3 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA QUALIDADE DO SOLO	53
4.3.1 Procedimentos Estatísticos	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA	57
5.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA QUALIDADE DO SOLO	67
5.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	70
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	77
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

1. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

A aquisição de leite no Brasil foi de 6,186 bilhões de litros no 1º trimestre de 2014, o que indica aumentos de 8,9% sobre o mesmo período de 2013. Considerando as diferentes regiões, grande parte da aquisição do produto ocorreu no Sudeste do país (41,4%), seguido pelo Sul e Centro-Oeste, que contribuíram com 33,8 e 14,7%, respectivamente. As Regiões Norte e Nordeste participaram com percentuais iguais, sendo de 5,0% para cada uma delas (IBGE, 2014).

Apesar do destaque da atividade leiteira no Brasil, o uso intensivo e as práticas de manejo inadequadas das pastagens e do solo têm sido entraves para se atingir a sustentabilidade da atividade. ARAÚJO et al. (2007) avaliaram a qualidade do solo em área de Cerrado nativo e em áreas sob diferentes usos sob Latossolo Vermelho-Amarelo: pastagem natural, pastagem cultivada, cultivo convencional com culturas anuais e florestamento de pinus, verificaram uma relação estreita e inversa entre a qualidade do solo e a intensidade de uso das áreas. Freitas et al. (2012) estabeleceram índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e Cerrado nativo adjacente em Latossolos através da avaliação integrada de atributos físicos e químicos. Os autores consideraram os ecossistemas naturais, com mínima intervenção antrópica, como a área de referência. Eles detectaram que os sistemas agrícolas apresentaram redução da qualidade do solo em relação aos sistemas nativos, e apenas os sistemas agrossilvopastoris apresentaram valores superiores de qualidade do solo.

O Pastoreio Racional Voisin (PRV) é um “...sistema de manejo das pastagens que se baseia na intervenção humana, nos processos da vida dos pastos e da vida do ambiente” (PINHEIRO MACHADO, 2010, p. 39). Busca-se maximizar a captação da energia solar pelas forrageiras e assim produzir leite à base de pasto de forma eficiente e com balanço de energia positivo, aumentando o potencial produtivo e ambiental do agroecossistema.

O PRV se fundamenta no método racional de manejo do conjunto solo, planta, animal, e propõe condutas de pastoreio direto em rotações de pastagens através da subdivisão da área em parcelas (piquetes). Esta prática possibilita a recuperação do pasto à medida que cada parcela passa por um período de repouso criando as condições necessárias para o rebrote das plantas forrageiras e a recuperação de suas reservas de energia. Condição esta, que garante o fornecimento de

uma boa alimentação aos animais, elemento importante para que haja igualmente boa sanidade ao rebanho. A divisão do campo resulta em aumento da produção, sobretudo em PRV, onde as condutas de manejo do pasto e do gado interagem com a vida do solo. Assim, o sistema de pastagem em PRV incrementa os níveis de fertilidade do solo, fazendo com que, além de produzir mais, tem seus custos de produção reduzidos (PINHEIRO MACHADO, 2004).

Quando o sistema de PRV é aperfeiçoado com a introdução planejada e criteriosa da tecnologia silvícola, este potencial de produção e preservação ambiental é aumentado. Os sistemas florestais proporcionam maior ciclagem dos nutrientes, um dos fatores chave na manutenção dos agroecossistemas, pois os teores de carbono e nutrientes do solo e da fitomassa aérea são importantes na definição do balanço de nutrientes e podem servir de indicadores (STEENBOCK et al., 2013). Dentre os benefícios atribuídos aos sistemas silvipastoris, tem-se o aumento da fertilidade e a conservação do solo, o aumento da qualidade da forragem, a melhoria do conforto térmico para os animais, a diversificação e o aumento de renda (PACIULLO et al., 2014).

Considerando que a qualidade do solo é entendida como capacidade do solo exercer suas funções na natureza, que são: meio para o crescimento das plantas; regulação e compartimentalização do fluxo de água no ambiente; estocagem e promoção da ciclagem de elementos; e tampão ambiental, na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente (Doran, 1997), para que o solo tenha qualidade, faz-se necessário a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o habilitam a exercer suas funções adequadamente (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009). Dado à importância do solo para se ter qualidade ambiental e sustentabilidade dos sistemas agrícolas (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009), torna-se importante avaliar a qualidade do solo.

Diversos autores realizaram estudos de avaliação da qualidade do solo por meio de indicadores qualitativos para a mensuração da sustentabilidade de sistemas agrícolas, com uso de culturas perenes (ALTIERI & NICHOLLS, 2002; FERREIRA LOBO et al., 2009) e culturas anuais (SARANDÓN, 2006; CASALINHO et al., 2007). No entanto, são escassos os trabalhos que avaliam a sustentabilidade de pastagens (SOLDA et al., 2014).

Ademais, o uso de indicadores quantitativos, que integrem as propriedades edáficas e os seus processos; que sejam sensíveis a

variações de manejo e de clima ao longo do tempo e, que sejam acessíveis aos usuários e facilmente aplicáveis a condições de campo (Doran & Parkin, 1994), também permite avaliar a qualidade do solo, monitorar as práticas de manejo e aferir as avaliações qualitativas da qualidade do solo.

Entre os indicadores quantitativos físicos e químicos que atendem as premissas supracitadas e que são frequentemente utilizados para se averiguar os impactos ocasionados no solo em sistemas com pastagens, destacam-se a densidade e agregação do solo e a matéria orgânica do solo (Neves et al., 2007; Araújo et al., 2007; Souza et al., 2009; Loss et al., 2012; Araújo et al., 2012).

A densidade do solo está diretamente relacionada com a estrutura e a porosidade do solo, por tratar-se de propriedades dinâmicas, responsivas ao uso do solo e de fácil determinação (ARSHAD et al., 1996). Além de estarem correlacionadas, esses indicadores são influenciados (positivamente ou negativamente) pelos sistemas de manejo do solo, pelo uso de máquinas agrícolas, pelo pisoteio animal e pelas condições ambientais do meio (ARSHAD et al., 1996; Souza et al., 2009; Loss et al., 2012; Valois et al., 2014).

A estrutura do solo é um dos atributos físicos essencial para o bom desenvolvimento do sistema radicular de todas as plantas, pois exerce influência na disponibilidade de água e ar às raízes das plantas (CRUZ et al., 2003). Este atributo é frequentemente expresso em termos de estabilidade de agregados e é influenciado pelas condições climáticas, atividade biológica, sistemas de manejo e pelas propriedades do solo, tais como composição mineral, textura, matéria orgânica do solo, processos pedogenéticos, atividade microbiana, capacidade de troca catiônica, reserva nutricional e disponibilidade de água (Six et al., 2004; Bronick e Lal, 2005).

Dentre todos os indicadores de qualidade do solo, a matéria orgânica do solo (MOS) é universalmente a mais usada, pois além de satisfazer o requisito básico de ser sensível frente às modificações impostas pelo manejo do solo, ela é ainda fonte primária de nutrientes às plantas e correlaciona-se com a maioria das propriedades do solo, influenciando na infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão (Karlen et al., 1992; Gregorich et al., 1994; MIELNICKZUK, 2008).

Para o desenvolvimento sustentável das pastagens, o solo passa ser o fator determinante para o crescimento das gramíneas e das demais

plantas que ali coabitam, pois os seus atributos físicos e químicos atuam diretamente no processo de estabelecimento e desenvolvimento dessas plantas. Entretanto, o pisoteio dos animais pode afetar negativamente os atributos físicos do solo, com ênfase na agregação, densidade e porosidade. Por outro lado, o conteúdo de MOS oriundo das gramíneas (parte aérea e radicular) pode aumentar a estabilidade dos agregados, diminuir a densidade do solo e ser fonte de nutrientes, influenciando positivamente nos atributos químicos do solo (Araujo et al., 2007; Cordeiro et al., 2008; Pignataro Neto et al., 2009).

Neste contexto, o manejo do solo por meio da arborização de pastagens em Pastoreio Racional Voisin passa a ser um instrumento essencial para ser usado na busca de atividades agropecuárias sustentáveis. Assim, este estudo teve por objetivo avaliar a sustentabilidade de pastagens manejadas sob Pastoreio Racional Voisin com árvores em comparação com Pastoreio Racional Voisin sem árvores, através de indicadores qualitativos e quantitativos de qualidade do solo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AGROECOLOGIA E SUSTENTABILIDADE

Nas últimas décadas os estudos científicos sobre ecologia e agricultura evidenciaram os limites do modelo industrial de produção agropecuária, especialmente devido à elevada quantidade de agrotóxicos (GROVERMANN et al., 2013; SOARES, 2010) utilizados e as perdas de solo e água em função do sistema de manejo adotado (PANACHUKI et al., 2011). Segundo a EMBRAPA, anualmente o consumo de agrotóxicos no Brasil tem sido superior a 300 mil toneladas de produtos comerciais (130 mil ton de i.a.), um aumento de 700% no consumo de agrotóxicos nos últimos quarenta anos, enquanto a área agrícola neste mesmo período aumentou 78%. Sendo que os impactos nos ecossistemas e agroecossistemas produziram efeitos negativos nos biomas, promovendo distúrbios em todas as cadeias alimentares, bem como em toda a dinâmica da vida do planeta, tornando-se visíveis até para quem não tem ligação com o campo (KHATOUNIAN, 2001, 2012).

Porto & Soares (2012) avaliaram que o atual modelo de desenvolvimento hegemônico representa ameaças à sustentabilidade ambiental e à saúde humana. A utilização de recursos naturais vem gerando fortes impactos sobre os serviços dos ecossistemas locais, regionais e globais. Com isso, as inter-relações saúde e ambiente, tornam-se mais complexas e demandam o aprofundamento do debate acerca da sustentabilidade ambiental, da justiça social e atenção à saúde humana. Salientam ainda, que o modelo hegemônico do agronegócio e o uso intensivo de agrotóxicos geram diversas externalidades negativas, ou seja, impactos sociais, ambientais e à saúde humana, que não são incorporados pela cadeia produtiva e são pagos pela sociedade.

Para além da visibilização dos danos à saúde e ao meio ambiente produzidos pelas monoculturas e do uso intensivo de agrotóxicos, é necessário que a produção de conhecimentos incorpore como elemento central a construção e a implementação de alternativas aos sistemas agrícolas convencionais, inclusive através de referenciais e instrumentos de economia, em particular da economia ecológica e abra espaço para a inserção dos camponeses no processo de produção de alimentos livres dessas substâncias. São justamente os camponeses, pequenos agricultores de economia familiar, que estão mais aptos à conversão para sistemas de produção agrícola baseados em princípios

agroecológicos com diferentes níveis de transição (Glieman, 2000). (Glieman, 2000; KHATOUNIAN, 2001).

No primeiro nível tem-se um incremento na eficiência das práticas convencionais para redução no uso e dependência de insumos caros, escassos, ou prejudiciais ao ambiente. Atualmente, a pesquisa agrícola tem se voltado para esta dimensão, resultando em práticas e tecnologias que amenizam o impacto negativo da agricultura convencional. Em um segundo nível há uma substituição de insumos e de práticas convencionais, contaminantes e degradadoras, por alternativas menos nocivas ao ambiente. Neste nível, os agroecossistemas ficam numa situação intermediária, onde começam a aparecer problemas que ocorrem nos sistemas convencionais, iniciando assim, um processo de redesenho do agroecossistema. E por último, no terceiro nível o agroecossistema já assume um novo desenho para potencializar os processos ecológicos numa direção funcional ao homem, que deve ser um guia do processo. A dependência de insumos externos é nula ou muito baixa, e o sistema alcança uma produtividade estável em longo prazo (Glieman, 2000).

2.2 PASTOREIO RACIONAL VOISIN E SISTEMAS SILVIPASTORIS

O sistema de produção de bovinos em Pastoreio Racional Voisin segue princípios compreendidos como leis universais, que são imprescindíveis de serem aplicadas no seu manejo para obtenção dos resultados desejados. São elas a Lei do Repouso, Lei da Ocupação, Lei do Rendimento Máximo e Lei do Rendimento Regular, defendidas por André Voisin em trabalhos e estudos realizados em suas pastagens em Le Talou, na Normandia, França (VOISIN, 1974). Estas leis, quando respeitadas, resultam na melhoria da qualidade do solo, no bom desenvolvimento das pastagens e, conseqüentemente, num melhor desempenho da produtividade do rebanho bovino.

Primeira Lei – Lei do Repouso. Estabelece que o gado não terá acesso à pastagem durante o período de rebrote das plantas e o seu reabastecimento de reservas nutricionais nas raízes. As parcelas da pastagem do PRV ficarão em repouso para que as plantas acumulem reservas suficientes para que possam desenvolver um rebrote vigoroso e então realizar a “labareda de crescimento”, para após um período suficiente de repouso poder ser novamente pastejado pelos animais.

Segunda Lei – Lei da Ocupação. O tempo de permanência do gado numa parcela tem de ser suficientemente curto para que uma mesma planta não seja pastejada duas vezes durante esse período de pastejo. Evita-se assim que as reservas nutritivas acumuladas nas raízes sejam gastas com um rebrote que não poderá realizar ou terá sua “labareda de crescimento” comprometida.

Terceira Lei - Lei do Rendimento Máximo. O animal precisa de facilidade para se alimentar e o alimento deve ter qualidade suficiente para atender às suas necessidades, sendo que as diferenças nas exigências nutricionais dos animais devem ser atendidas.

Quarta Lei – Lei do Rendimento Regular. Os animais não devem permanecer mais que três dias em uma mesma parcela. Os rendimentos serão máximos se a permanência for de um dia.

O correto manejo das pastagens influencia diretamente as condições do solo. Este é a base de todo o processo produtivo agropecuário e da sustentabilidade de um agroecossistema. Conforme afirma Voisin, “da vida do solo depende a vida humana e as civilizações” (VOISIN, 1974 apud PINHEIRO MACHADO, 2004, p.87). “Trata-se, pois, de o ser humano viver, não como um parasita predador do solo, mas com os elementos vivos dele. O solo e a sua fração principal, a MO, são uma associação viva de cuja constituição fazem parte frações inanimadas, que desempenham funções igualmente essenciais, como a estrutura, textura, porosidade, substâncias químicas e muitas outras” (PINHEIRO MACHADO, 2004, p.87).

No manejo de pastagem sob PRV ocorre incrementos no conteúdo de MOS , fator esse que influencia as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. SOLDÁ et al. (2014), avaliando comparativamente a sustentabilidade de dois sistemas de pastagens (Convencional e PRV) com o uso de indicadores de sustentabilidade qualitativos, observaram que os indicadores Estados dos Resíduos Orgânicos e Cor, Odor e Teor de Matéria Orgânica do Solo dos sistemas de PRV foram superiores em relação ao sistema convencional.

Quando a pastagem é manejada sob a presença de árvores, além dos fatores micro-edafoclimáticos produzidos pelas mesmas sob as suas copas, ocorre a incorporação de matéria orgânica adicional proveniente da serapilheira (folhas, ramos, flores e frutos) que caem sobre a pastagem e o solo, podendo-se ainda contabilizar a adição de material orgânico proveniente dos excrementos de animais (gado) e também daqueles que habitam as árvores especialmente os pássaros.

2.2.1. As Árvores e a Pastagem

Ainda são poucos os trabalhos existentes na literatura que avaliaram os efeitos da arborização sobre as pastagens, principalmente na região Sul do Brasil. Quando realizadas, as pesquisas apontam que os solos de pastagem mais próximos das árvores apresentam níveis mais elevados de MOS em comparação àqueles mais afastados das árvores (RAMOS et al., 2013). O interesse na aplicação desse sistema vem crescendo ao longo dos anos, necessitando de mais pesquisas envolvendo a dinâmica de crescimento, interação e de produção dos componentes arbóreo e forrageiro (BERNARDINO & GARCIA, 2009).

Ambientes sombreados, tanto no período de verão como na estação de inverno apresentam produção de matéria seca igual ou maior do que ambientes submetidos a pleno sol. Este comportamento provocado pelo sombreamento das árvores nas pastagens, evidencia que a diminuição da incidência de radiação solar pode favorecer a qualidade e a produção de forrageiras (THOMAS, 2012), bem como alterações nos atributos edáficos (PEZARICO et al., 2013).

Além das condições ambientais do solo, a presença de árvores gera um microclima no sistema, reduzindo a radiação solar e a relação do espectro de luz, podendo tornar a temperatura mais amena, aumentando a umidade do ar, reduzindo a taxa de evapotranspiração e aumentando a umidade do solo (BERNARDINO & GARCIA, 2009). Dessa maneira, a composição arbórea em sistemas silvipastoris resulta em uma série de serviços ambientais que permitem uma alta produção de biomassa vegetal, aumentando a disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes do solo, refletindo na produção e no valor nutritivo da forragem, tornando-se uma alternativa viável para a diversificação e aumento da renda do produtor rural (PACIULLO et al., 2014a).

Neste contexto, o plantio de árvores em sistemas silvipastoris pode resultar em benefícios para o agroecossistema, tanto pela qualidade das forragens, implicações no manejo da pastagem e desempenho na produção animal, como na possibilidade de um maior aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes no solo por conta da melhoria da qualidade física e química do solo (PEZZONI, et al., 2012; PACIULLO et al., 2014b).

2.2.2 Efeito do sombreamento na produção e qualidade das forragens

Além de fornecer conforto térmico e abrigo para os animais, a presença do componente arbóreo nos sistemas silvipastoris pode influir diretamente no desenvolvimento do extrato vegetal herbáceo, ou seja, o uso de árvores em pastagens tem influência direta sobre a qualidade do pasto, possibilitando um aumento na qualidade do material forrageiro (CARVALHO et al., 2002; PEZZONI, et al., 2012). Entretanto, o crescimento de forrageiras tem apresentado resposta variável ao sombreamento. Em associação com as árvores, tem sido observado aumento, redução ou nenhum efeito sobre a produção de forragem, variando conforme as características das espécies, características das árvores e a fatores ambientais, como a competição por água e nutrientes do solo (RIBASKI et al., 2001).

Quando comparado com pastagens em monocultura, as pastagens arborizadas apresentam maior diversidade vegetal, a qual se reflete em uma oferta variada de forragem para os animais, desenvolvimento da fauna e flora nativa e melhores condições para o desenvolvimento de inimigos naturais das pragas e doenças dos componentes do sistema (CARVALHO & XAVIER, 2014). É importante ressaltar que a escolha de forrageiras tolerantes ao sombreamento, interfere diretamente na qualidade e na produção das forragens, tornando-se uma condição essencial nesse sistema. Diversos trabalhos têm sido realizados, permitindo uma melhor orientação na escolha da espécie mais adequada para compor o sistema silvipastoril (SOARES et al., 2009; PACIULLO et al., 2011c).

Carvalho et al. (2002) ao analisarem as concentrações de N nas folhas de gramíneas com e sem sombreamento, observaram que os teores de N foram mais elevados nas folhas de gramíneas que estavam sob a copa das árvores quando comparado com as gramíneas que estavam em áreas sem sombreamento. Além disso, houve maior digestibilidade das gramíneas que permaneceram sob a sombra das árvores, o que demonstra uma melhoria do valor nutritivo das gramíneas provocada pelo sombreamento natural.

Além da melhoria da pastagem, a presença de árvores pode aumentar a diversidade da macrofauna do solo sob suas copas (SILVA, 2008). Essa riqueza de organismos que colonizam o solo exercerá diversas funções no solo, principalmente na parte física e biológica, como o aumento da estabilidade dos agregados do solo em função da presença de minhocas (BLANCHART et al., 2004).

2.2.3 Efeitos do sombreamento nos atributos edáficos

No sistema silvipastoril, o componente arbóreo atua como um extrator de nutrientes do solo em diferentes profundidades e ao mesmo tempo, promove sua ciclagem. Desta maneira, contribui para o enriquecimento do solo que ocorre por conta da deposição do material orgânico proveniente das árvores (folhas, frutos e galhos) que permanece na superfície do solo, onde os nutrientes ficam concentrados de forma diferenciada no perfil do solo, em maiores quantidades na camada superficial (0-10 cm), com posterior decréscimo ao longo do perfil, influenciando os atributos químicos do solo (MORETI et al., 2007; Loss et al., 2014).

O material orgânico que será decomposto pelos organismos do solo até a sua mineralização, posteriormente auxiliará no crescimento das gramíneas e na formação da cobertura vegetal, potencializando os efeitos da adubação no sistema solo-planta (CARVALHO & XAVIER, 2014). Desta maneira, a presença da sombra acaba favorecendo o crescimento das plantas pelo aumento da disponibilidade de N no solo, pois a sombra tem um efeito positivo sobre a atividade microbiana, resultando em maior decomposição da matéria orgânica e ciclagem de N (PEZARINO et al., 2013).

Esta ciclagem de nutrientes que ocorre em sistemas silvipastoris favorece a fixação biológica de N, onde grande parte acaba sendo disponibilizada para os animais. Guenni et al. (2007) ao avaliarem a eficiência do uso da radiação em gramíneas sombreadas, verificaram uma maior eficiência por parte das plantas no SSP, especialmente quando cultivadas em solos deficientes em N. Portanto, as árvores, por possuírem um sistema radicular profundo, absorvem os nutrientes das camadas mais profundas do solo e, por meio da deposição de seus resíduos vegetais e posterior ciclagem nas camadas mais superficiais do solo, acarretam na melhoria da fertilidade do sistema, tornando os nutrientes mais disponíveis para as raízes das gramíneas, com consequente melhorias também na qualidade das forragens (NAIR et al., 2007).

Além da melhoria da fertilidade do solo, a introdução de árvores na pastagem favorece o manejo e conservação do solo e a redução da erosão hídrica. Quando as árvores são mantidas nas pastagens e há a formação de um extrato vegetal sob a copa das árvores que protege a superfície do solo, aumenta sua porosidade e a capacidade

de infiltração e retenção de água (PEZZONI et al., 2012). A ausência de preparo do solo pelo não revolvimento da camada superficial e a presença das árvores em sistemas silvipastoris contribuem para a formação de agregados mais estáveis, ocasionando uma melhoria na qualidade estrutural com a diminuição da densidade do solo e o aumento da macroporosidade na camada superficial, o que favorece as trocas gasosas (WENDLING et al., 2012; PEZARICO et al., 2013).

De modo geral, a diversidade de espécies e a introdução do componente arbóreo no sistema contribuem de forma significativa para a melhoria da qualidade do solo, quando comparado aos sistemas em monocultivo (PEZARICO et al., 2013). É possível detectar estas alterações ambientais e melhorias nos aspectos voltados para a conservação dos recursos naturais em função do manejo adotado através de indicadores de qualidade do solo.

2.3 QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo é definida por Doran & Parkin (1994, p.7) como “a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”. Doran (1997) acrescenta ainda que a qualidade do solo é a capacidade de o solo exercer suas funções na natureza, que são: meio para o crescimento das plantas; regulação e compartimentalização do fluxo de água no ambiente; estocagem e promoção da ciclagem de elementos na biosfera; e tampão ambiental, na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente. Assim, a qualidade do solo pode ser entendida como a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o habilitam a exercer suas funções na natureza (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Para que a produção agrícola seja sustentável, o sistema produtivo deve ser capaz de produzir no tempo sem comprometer a sua capacidade de renovação (GLIESSMAN, 2000). Desta forma, a qualidade do solo é fundamental para a sustentabilidade agrícola, sendo que a relação entre qualidade do solo e sustentabilidade agrícola consiste em o solo cumprir as suas funções, em um processo de produção ambientalmente seguro, economicamente viável e socialmente aceito (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

A qualidade do solo no PRV é resultado do incremento de matéria orgânica e de sua atividade biocenótica, determinado pelo manejo correto do pasto e do rebanho, fatores que influenciam diretamente na composição, formação e sustentabilidade das pastagens (PINHEIRO MACHADO, 2004). A utilização do cultivo de árvores conjuntamente com o pasto tende a melhorar o incremento de matéria orgânica neste sistema, elemento que contribuirá diretamente na melhoria da qualidade do solo e na produtividade da pastagem, tornando o sistema mais sustentável (PEZARICO et al., 2013).

2.3.1 Indicadores Qualitativos de Qualidade do Solo

A atenção crescente que tem sido dada ao conhecimento local dos camponeses resulta do reconhecimento de que os camponeses podem oferecer uma compreensão clara sobre o manejo sustentável dos solos tropicais e que a integração desse conhecimento local com o conhecimento técnico ajuda os extensionistas e cientistas a trabalharem de maneira participativa com os agricultores. Barrios et al. (2006) desenvolveram um guia metodológico para identificar e classificar indicadores locais (qualitativos) de qualidade do solo e relacioná-los com parâmetros técnicos do solo, e assim, desenvolver uma linguagem comum entre os agricultores, extensionistas e cientistas. O objetivo do guia metodológico foi constituir um passo inicial no empoderamento das comunidades locais para monitorarem a qualidade do solo e ajuda-las nas tomadas de decisões quanto às práticas de manejo do solo.

Altieri & Nicholls (2002) utilizaram indicadores qualitativos para comparar a qualidade do solo e a saúde do cultivo de cafezais entre propriedades conduzidas em sistemas orgânicos e em transição entre o convencional para o orgânico na Costa Rica e concluíram que os sistemas de produção orgânica apresentaram maior sustentabilidade. Ferreira Lobo et al. (2009) utilizaram essa abordagem participativa para avaliar os indicadores da qualidade do solo e de sustentabilidade de cafeeiros arborizados e constataram que foi possível incluir os agricultores na pesquisa e na interpretação dos indicadores de qualidade do solo, do cultivo e da diversidade do ambiente, possibilitando uma visão do conjunto e, ao mesmo tempo, dos fatores específicos que poderiam limitar os sistemas de produção.

Casalinho et al. (2007) avaliaram a qualidade do solo através do método integrativo de avaliação da qualidade do solo compondo um

conjunto mínimo de atributos físicos, químicos, biológicos e visuais do solo e verificaram um efeito positivo do sistema de manejo utilizado pelos agricultores sobre a capacidade do solo em exercer suas funções no agroecossistema.

Outro trabalho que adaptou a metodologia de Altieri & Nicholls (2002) foi desenvolvido por Soldá et al. (2014) na região Oeste de Santa Catarina, entre as safras de inverno e verão de 2011 para avaliar a sustentabilidade de dois sistemas com pastagens manejados sob Pastoreio Racional Voisin (SP PRV) em comparação com dois sistemas manejados de forma convencional (SPC), além da realização de análises químicas e físicas do solo. Os autores verificaram que o SP PRV apresentou médias superiores para os indicadores qualitativos estado dos resíduos orgânicos e cor, odor e teor de matéria orgânica em relação ao SPC. A análise de agrupamento separou os sistemas SP PRV e SPC, tanto na estação de verão como na de inverno, demonstrando que os agricultores tiveram sensibilidade semelhante ao ponderar os atributos avaliados em cada sistema. Ao considerar os indicadores em conjunto, o SP PRV também apresentou médias superiores, inferindo-se melhor qualidade do solo no PRV em comparação ao SPC.

Esta metodologia permite medir a sustentabilidade de forma comparativa ou relativa, comparando a evolução de um mesmo sistema através do tempo ou comparando dois ou mais agroecossistemas sob diferentes manejos ou estados de transição. A comparação de vários sistemas permite que um grupo de camponeses possa identificar os sistemas mais saudáveis, tornando-se estes uma espécie de referencial demonstrativo onde os camponeses e investigadores tentam decifrar os processos e interações ecológicas que possivelmente explicam o melhor comportamento destes sistemas (ALTIERI & NICHOLLS, 2002).

2.3.2 Indicadores Quantitativos de Qualidade do Solo

Os sistemas agrícolas que favorecem a qualidade do solo são aqueles que produzem grandes quantidades de biomassa sem revolver o solo. A ausência de revolvimento do solo evita a quebra dos agregados e diminui a perda de elementos químicos e matéria orgânica. Com o fornecimento de biomassa (das raízes e da parte aérea) a biota edáfica terá oferta de alimento para desenvolver-se. Através da interação das plantas e dos demais organismos, a estrutura física do solo será mantida e/ou melhorada e será tanto mais complexa quanto maior for a

quantidade e a diversidade de biomassa vegetal adicionada ao sistema (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

O solo que pode ser considerado ideal para o desenvolvimento das culturas é aquele que tem, ao mesmo tempo, boa capacidade de retenção da umidade e aeração, bom suprimento de calor, e ainda, sem impedimento ao crescimento radicular. Os atributos físicos do solo, densidade, porosidade e resistência à penetração estão intimamente interligados (REINERT & REICHERT, 2006). Esses autores relatam que a densidade do solo é expressa através da quantidade de massa do solo seco por unidade de volume, estando incluídos no volume os sólidos e os poros. Esse atributo pode ser utilizado como indicador do grau de compactação, bem como das alterações da estrutura e da porosidade do solo.

Avaliando a influência do sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) conduzido sob sistema de plantio direto e submetido a diferentes intensidades de pastejo no Cerrado, Souza et al. (2009) concluíram que o sistema de ILP reduziu a porosidade total e aumentou a densidade do solo. Pignataro Neto et al. (2009) avaliaram as alterações nos atributos físicos do solo sob pastagens, com diferentes históricos de uso, tendo como referência o Cerrado nativo. Os autores concluíram que os atributos físicos que mais influenciaram na redução da qualidade do solo foram a densidade do solo, a porosidade total e a resistência mecânica do solo, sendo este último o que melhor refletiu os efeitos do sistema de manejo das pastagens.

A estrutura do solo está associada ao arrançamento das partículas do solo, formando ou não os agregados do solo e o espaço poroso resultante desse arrançamento (Santos et al., 2013). A estrutura do solo é comumente expressa por meio da estabilidade de agregados, sendo que os agregados são compostos por grupos de partículas primárias do solo que se ligam com mais força do que com as partículas adjacentes. A estabilidade de agregados é a capacidade das forças coesivas da estrutura daqueles agregados de suportarem forças de ruptura aplicadas aos mesmos, enquanto a distribuição do tamanho de agregado corresponde ao grau em que aquelas partículas se encontram agregadas (KEMPER & ROSENAU, 1986).

O processo de agregação dos solos é influenciado tanto por fatores bióticos como abióticos. Em relação aos fatores bióticos, os microrganismos têm grande influência, bem como as plantas e outros organismos vivos no solo, que podem produzir compostos que são

acumulados no solo e derivados da ação de organismos heterotróficos sobre a matéria orgânica, como polissacarídeos e substâncias húmicas, os quais têm ação física na aproximação das partículas do solo, e atuam como ligantes físicos, agregantes ou cimentantes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Em diferentes sistemas de manejo no Cerrado sob Latossolo Vermelho-Amarelo em Uberlândia, MG, Wendling et al. (2012) avaliaram a agregação do solo por meio do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP). Os autores encontraram maiores índices de DMP na área natural de Cerrado, seguida da pastagem de braquiária com 3 anos de implantação e a área de semeadura direta (sucessão/rotação com soja, milho e sorgo) com 11 anos de implantação.

O termo Matéria Orgânica do Solo (MOS) engloba os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas (MIELNICZUK, 2008). A MOS é um grande reservatório de nutrientes vegetais e de carbono, e afeta diretamente os atributos físicos, químicos, biológicos e morfológicos do solo. Por isso, o estudo e a compreensão de sua dinâmica são fundamentais para a manutenção da sustentabilidade dos diferentes sistemas agrícolas (Loss, 2011).

Dentre os componentes da MOS que representam bons indicadores de sua qualidade, estão o carbono da fração leve (XAVIER et al., 2006), o carbono lábil (LOSS et al., 2009a) e o carbono da matéria orgânica particulada (LOSS et al., 2009a). A agregação do solo também representa um bom indicador, principalmente os agregados maiores que 2,00 mm (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011).

Avaliando as alterações ocorridas nas frações da MOS, decorrentes da retirada da floresta nativa e subsequente implantação de pastagens (*Urochloa brizantha*) sob Vertissolo e Argissolo no Acre, Loss et al. (2014a) verificaram que o carbono orgânico particulado e a distribuição do carbono das frações oxidáveis foram eficientes para evidenciar que a remoção da cobertura florestal para implantação de pastagens diminui o conteúdo dessas frações da MOS em ambos os solos avaliados.

Loss et al. (2014b) avaliaram os atributos físicos e químicos do solo sob sistemas de uso em Santa Teresa, ES, com lavoura (15 a 20 anos sob preparo convencional do solo), pastagem nativa de capim

colonião (*Panicum maximum*) com 40 anos e cultivo de eucalipto consorciado com capim colonião em sistema silvipastoril, implantado há cinco anos. Os autores concluíram que a introdução de florestas de eucalipto consorciado com pastagem nativa de *Panicum maximum* favorece o aumento do volume total de poros e das frações da MOS (frações húmicas e carbono oxidável) em relação às áreas de pastagem nativa e lavoura.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a sustentabilidade de pastagem manejada em sistema de Pastoreio Racional Voisin com a presença de árvores em comparação a uma pastagem sem a presença de árvores na Região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, a partir de indicadores de qualidade do solo qualitativos e quantitativos.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e aplicar indicadores qualitativos para avaliar a sustentabilidade de pastagem manejada em PRV com parcelas com a presença de árvores em comparação àquelas sem a presença de árvores.
- Aferir a avaliação qualitativa da qualidade do solo a partir de parâmetros químicos e físicos do solo.
- Realizar uma análise de componentes principais com todos os indicadores qualitativos e quantitativos do solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES DA PESQUISA E DO LOCAL

A pesquisa foi desenvolvida na propriedade da família dos camponeses Ivonildo Aldair dos Santos Vieira e Aparecida Borges Batista, que residem na Linha Soledade, município de Redentora, região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, ($-27^{\circ}29'05''\text{S}$, $-53^{\circ}35'18''\text{W}$), sendo ambos militantes sociais do Movimento dos Pequenos Agricultores (MPA). Nesta propriedade foi implantado um sistema de PRV no ano de 2005 em uma área de 4,6 hectares divididos em 54 parcelas mais os corredores. No período de sua implantação já haviam algumas parcelas arborizadas e noutras foram introduzidas árvores. Nas parcelas sem árvores o plantio das arbóreas continua sendo feito, mas ainda existem parcelas sem árvores (a pleno sol).

Figura 1 - Localização do município de Redentora



Fonte: Wikipédia.

Esta região está inserida no bioma Mata Atlântica com características de uma flora densa e diversificada. O relevo da região varia de plano à fortemente ondulado, estando a uma altitude de, aproximadamente, 400 metros acima do nível do mar. Os solos predominantes são Neossolos Litólicos Eutróficos em transição para

Chernossolo Argilúvicos, derivados de derrames basálticos. São solos pedregosos, escuros e com pouca profundidade, não sendo raro o aparecimento de afloramentos rochosos. O clima é quente e úmido, com temperaturas no verão chegando à 35°C e no inverno à 0°C com frequente ocorrência de geadas. A precipitação pluviométrica média anual é em torno de 2.000mm.

A escolha deste local e desta família para realização do estudo levou em consideração o fato de ser representativo das características da região que é predominantemente de pequenos agricultores e que possuem pequenas propriedades (em média de 15 ha), sendo aproximadamente 50% imprópria para a produção agropecuária por ser APP, principalmente por causa da declividade acentuada. Esses camponeses tradicionais se dedicam à produção de bovinos de leite e a sua sustentação econômica depende desta atividade. Também pesou na escolha da área o fato da propriedade ser a primeira da região onde o PRV foi implantado e que se mantém funcionando até os dias atuais.

Com o propósito de avaliar o efeito da presença de árvores no sistema de PRV, adotou-se o processo de avaliação de qualidade do solo por meio de Indicadores de qualidade (IQ) através do método participativo. Para tanto, foi trabalhado com um grupo de oito avaliadores, formado por dois casais de camponeses que possuem PRV silvipastoril (um casal do município de Três Passos/RS e um casal do município de Redentora, estes proprietários do PRV onde a pesquisa foi realizada); dois educandos do Instituto Educar, Escola do MST localizada no município de Pontão/RS (um educando e uma educanda do curso Técnico em Agropecuária - Habilitação em Agroecologia), que desenvolvem atividades de produção e formação em PRV Silvipastoril na área de produção agropecuária da Escola; e dois técnicos do MPA (Movimento dos Pequenos Agricultores) que trabalham com assistência técnica às famílias de camponeses da região.

Figura 2 - Grupo de Avaliadores.



Fonte: acervo de pesquisa.

Na escolha deste grupo de avaliadores utilizou-se o critério de possuírem conhecimento teórico e prático em PRV e Agroecologia, estarem organizados em movimentos sociais do campo e possuírem prática de trabalho em grupo. Ainda outro critério levado em consideração foi a representação de gênero.

O PRV objeto deste estudo, possui 70% do total das 54 parcelas com árvores. Nestas predominam as espécies nativas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.), ariticum (*Rollinia* sp.), louro (*Cordia trichotoma*), angico (*Parapiptadenia rígida*), açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), canela (*Nectandra* sp), cedro (*Cedrela fissilis*), arroeira (*Schinus terebinthifolius*), camboatá (*Matayba guianensis*), guaviroveira (*Campomanesia xanthocarpa*), guabiju (*Myrcianthes pungens*), cactus tuna (*Cereus hildmannianus*), entre outras, típicas do ecossistema do bioma Mata Atlântica da Região Sul do Brasil, além de algumas espécies de árvores exóticas como a nespereira (*Eriobotrya japônica*), pinus (*Pinus* sp.), eucalipto (*Eucalyptus* sp.), bergamoteiras e laranjeiras (*Citrus* sp.). Após a implantação do PRV no ano de 2005 foram

introduzidas árvores das espécies nativa de guajuvira (*Patagonula americana* L.) e exótica nogueira pecan (*Carya illinoensis*).

A pastagem do PRV é formada predominantemente por gramíneas perenes nativas e naturalizadas como a forquilha (*Paspalum notatum*), missioneira (*Axonopus* sp) e a leguminosa pega-pega (*Desmodium incanum*), tradicionalmente existente nos poteiros dos camponeses da região. Com o tempo outras espécies e cultivares de pastagens foram introduzidas como a gramínea tifton (*Cynodon nlemfluensis*). Ocorre ainda a presença de uma grande diversidade de plantas espontâneas nativas e exóticas que coexistem com as plantas forrageiras, algumas contribuindo na alimentação dos animais, outras com propriedades medicinais e, ainda outras com propriedades tóxicas ou agressivas aos animais como a maria-mole (*Senecio* spp), café-bravo (*Palicourea marcgravi*), joá (*Solanum viarum* Dun.), joá-manso (*Solanum fusiforme* L. B), jurubeba (*Solanum paniculatum* L.), mata campo ou assa peixe (*Vernonia ferrugínea* Less.), Caraguatá (*Eryngium* sp), buva (*Eupatorium* sp.), fel-da-terra (*Verbana bonariensis* L.), entre outras. Esta diversidade de espécies vegetais presente na pastagem está relacionada às características do solo e ao manejo da pastagem no PRV, pois ainda tem limites de manejo no que se refere a aplicação das quatro leis universais, sendo inadequado e insuficiente, motivo que leva ao aparecimento de plantas espontâneas indesejadas (PRIMAVESI, 1999). A composição botânica de uma pastagem é produto do seu manejo (VOISIN, 1974).

4.2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DAS PASTAGENS POR MEIO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO

Com o propósito de comprovar que a arborização em PRV melhora a sustentabilidade do sistema, foram utilizados Indicadores de Qualidade do Solo (IQS) a fim de se comparar parcelas manejadas sob PRV com presença de árvores (PRVCA) e sem a presença de árvores (PRVSA), através de métodos qualitativos e quantitativos.

Figura 3 - Visita de uma parcela do PRVCA



Fonte: acervo de pesquisa.

Figura 4 - Vista de uma parcela do PRVSA, com a atuação dos avaliadores



Fonte: acervo de pesquisa.

Vista de uma parcela do PRVSA, com a atuação dos avaliadores.

Através da abordagem participativa da pesquisa, o grupo de avaliadores reuniu-se em três momentos. O primeiro momento foi para a

capacitação dos participantes no dia 10/03/2014 na casa da família dos camponeses onde foram realizados os estudos e trabalhos, a fim de apresentar e discutir o projeto de pesquisa, a metodologia do trabalho, conceitos de sustentabilidade, agroecologia, camponês, campesinato, PRV, sistema silvipastoril e atributos edáficos (densidade, estrutura, agregados, matéria orgânica e fertilidade), bem como os atributos IQS utilizados. Nesta etapa foram discutidos e definidos os IQS que foram aplicados na avaliação qualitativa e, por fim, foram apresentados os procedimentos práticos da metodologia de avaliação dos IQS.

Em seguida foi realizada a atividade prática a campo no PRV com o propósito do grupo de avaliadores conhecerem, exercitarem e se familiarizarem com o método. Percorreu-se um itinerário iniciando-se pelo ambiente arborizado, (PRVCA) e posteriormente pela área de pastagem a pleno sol, (PRVSA). De posse de uma planilha provisória com os atributos IQS, os avaliadores atribuíram valores (notas) para cada item especificado. Para isso abriram-se mini-trincheiras nas parcelas para que os avaliadores analisassem e avaliassem a Atividade Biológica do Solo, Estrutura do Solo e Matéria Orgânica do Solo numa profundidade de até 30 cm. Assim, foi dada sequência a todas as práticas definidas no método de avaliação dos IQS. Os resultados desta atividade foram apresentados na qualificação do projeto.

No segundo e terceiro encontros o grupo de avaliadores reuniu-se novamente com o propósito de realizar as avaliações dos IQS em dois períodos diferentes, para se observar a evolução dos sistemas em escala temporal. O primeiro ocorreu no período do outono (25/04/2014) e o outro na primavera (27/10/2014). Nestes dois encontros, coordenados pelo pesquisador, foi percorrido o itinerário do PRV para realizar os trabalhos de avaliação. Foram avaliadas três parcelas (tratamentos) representativas do PRV com árvore (PRVCA), três parcelas do PRV sem árvore (PRVSA) e uma área de Floresta (FL) adjacente ao PRV, para servir de referência como a situação ideal para os IQS avaliados. Sendo que esta última área (FN) só foi analisada e avaliada uma única vez, na primavera.

Na aplicação do método para avaliar os IQS, utilizou-se uma planilha com a lista dos itens/atributos definidos, aos quais foram atribuídas as respectivas notas/valores (Tabela 1). As notas atribuídas aos IQS variaram de 1 à 10, sendo que o valor 1 corresponde ao nível indesejável, o 5 representa um valor médio a intermediário e o 10 equivale ao nível desejável (próximo ou igual à área de floresta). A

metodologia foi adaptada de acordo com as especificidades locais e outras foram suprimidas em relação ao método proposto por Altieri e Nicholls (2002).

Os IQS definidos foram: (1) Atividade biológica do solo; (2) Compactação e infiltração; (3) Cor, odor e teor de matéria orgânica; (4) Volume e qualidade de biomassa forrageira; (5) Diversidade vegetal; e (6) Estrutura do solo. Na Tabela 1 estão apresentados os indicadores de qualidade do solo, características e valores correspondentes.

Tabela 1 - Indicadores de qualidade do solo, escala de valores e características dos indicadores utilizados no trabalho.

Item	Indicadores de Qualidade do Solo	Valor	Características
1.	Atividade Biológica do Solo (ABS).	1	Ausência de atividade biológica, não se observa minhocas ou artrópodes.
		5	Presença de minhocas e artrópodes.
		10	Alta atividade biológica, com presença abundante de minhocas e artrópodes.
2.	Compactação e Infiltração (CI).	1	Solo muito compactado apresentando alta resistência à penetração da ponta da faca e baixa infiltração da água, pois tem dificuldade da água penetrar no solo.
		5	Presença de compactação, apresentando média resistência à penetração da ponta da faca, com infiltração muito lenta da água.
		10	Solo não compactado, apresentando alta facilidade da ponta da faca penetrar no solo, assim Como a água infiltra facilmente no solo.
3.	Cor, Odor e Teor de Matéria Orgânica (MO).	1	Coloração clara, odor de terra de estrada (cheiro de poeira) e baixo conteúdo de resíduos orgânicos sobre o solo.
		5	Coloração intermediária entre clara e escura, sem odor marcante do cheiro

			de poeira. Percebe-se a presença de resíduos orgânicos recobrando o solo.
		10	Coloração escura, odor de terra fresca (cheiro de terra do mato). É facilmente perceptível a presença de muitos resíduos orgânicos recobrando a superfície do solo.
4.	Volume e qualidade de biomassa forrageira (BF).	1	Pouca quantidade de pasto e baixa qualidade da forragem. As vacas não comem o pasto.
		5	Quantidade e qualidade média de plantas forrageiras. As vacas comem pouco pasto. O pasto não é suficiente para alimentar as vacas.
		10	Alta quantidade e qualidade de plantas forrageiras. Suficiente para alimentar bem as vacas. As vacas comem muito o pasto.
5.	Diversidade Vegetal (DV).	1	Poucas espécies de plantas, com menos que três.
		5	Quantidade média de espécies de plantas, variando entre 4 e 7 espécies.
		10	Várias espécies de plantas, sendo encontradas 8 ou mais espécies.
6.	Estrutura do Solo (ES).	1	Solo com estrutura sem agregados visíveis. Dificuldade de retirar torrão da massa de solo.
		5	Solo solto, apresentando estrutura com poucos agregados visíveis que se desfazem com leve pressão dos dedos.
		10	Solo estruturado e com agregados visíveis, mantendo os agregados intactos após leve pressão com os dedos.

Fonte: Elaboração própria

A escolha do local para fins de avaliação dos IQS levou em consideração que a área era representativa de cada sistema avaliado. Em cada parcela foram abertas mini-trincheiras para coleta das amostras de solo e posterior avaliação dos IQS (Tabela 1), considerando uma circunferência a partir do centro da trincheira com raio de dois metros.

Para avaliação do item 1 (ABS), foram abertas mini-trincheiras em cada parcela avaliada, sendo que a cada escavada para a abertura da mini-trincheira dava-se um pausa para que os avaliadores pudessem observar visualmente e identificar a presença de minhocas e artrópodes no local, quando encontrava-se algum indivíduo, este era coletado por um dos avaliadores e mostrado para os demais, após seguia-se a escavação de abertura da mini-trincheira. Este procedimento se repetia sucessivamente até atingir a profundidade de 30 centímetros.

Figura 5 - Abertura da mini-trincheira



Fonte: acervo de pesquisa.

Figura 6- Identificação de atividade biológica no solo, presença de minhoca e artrópodes



Fonte: acervo de pesquisa.

Identificação de atividade biológica no solo, presença de minhoca e artrópodes.

Na avaliação do item 2 (CI), foi utilizado o método da introdução da faca no solo a fim de se avaliar a resistência deste à penetração da ponta da faca. Ainda neste quesito foi utilizada a técnica de despejar água sobre a pastagem e dentro da trincheira para avaliar o tempo de infiltração de dois litros de água em cada local, com uma superfície plana de aproximadamente 0,20 m² (um palmo).

Figura 7 - Avaliadora fazendo o teste da resistência a penetração da ponta da faca.



Fonte: acervo de pesquisa.

Figura 8 - Avaliadora fazendo o teste de infiltração de água no solo.



Fonte: acervo de pesquisa.

No item 3 (MO), cada avaliador tomava em suas mãos um punhado de terra retirado da trincheira a fim de fazer uma análise visual da amostra, observando-se a cor e a presença de fragmentos de material orgânico (folhas, raízes). Aproximando a amostra do nariz, os avaliadores cheiravam a terra para avaliar o odor existente na amostra, comparando se este odor se assemelhava mais ao cheiro de terra do mato/floresta, ou à poeira, semelhante a terra de estrada.

Figura 9 - Autor e avaliador avaliando amostra de solo



Fonte: acervo de pesquisa.

Figura 10 - Avaliadora fazendo teste de odor do solo.



Fonte: acervo de pesquisa.

Figura 11 - Avaliador fazendo o teste de odor do solo, na primavera, em PRVSA



Fonte: acervo de pesquisa.

No item 4, (BF), além da observação visual para determinar a quantidade e qualidade da forragem, foi utilizado o procedimento de demarcar uma área de 1m², cortar a forragem rente ao solo e pesá-la. O peso fresco foi anotado e comparado com as demais parcelas/tratamentos avaliados. Este item não foi avaliado na floresta por entenderem que não se aplicava para este ambiente

Figura 12 - Pesagem da biomassa forrageira cortada em 1m² de pastagem.



Fonte: acervo de pesquisa.

No item 5, (DV), o grupo de avaliadores coletou exemplares de cada espécie vegetal presente no local, considerando uma distância de 2m de raio a partir da trincheira como centro da circunferência. Posteriormente, as amostras foram contadas para ser atribuído o valor. Da mesma forma que o item 4, não foi avaliado a DV na condição de floresta, por entender que este ambiente é por excelência o local de maior biodiversidade.

Figura 13 - Coleta e identificação da diversidade vegetal (DV).



Fonte: acervo de pesquisa.

No item 6, (ES), os avaliadores coletaram amostras de solo na trincheira, e por meio de observação visual, analisaram a presença e o tamanho dos agregados, submetendo, em seguida, uma parte da amostra destes torrões (agregados) a pressão com os dedos para avaliar a resistência à deformação.

Figura 14 - Avaliação de agregados do solo.



Fonte: acervo de pesquisa.

Figura 15 - Avaliador submetendo um torrão à pressão dos dedos.



Fonte: acervo de pesquisa.

Avaliador submetendo um torrão à pressão dos dedos.

As técnicas utilizadas para a avaliação dos IQS através do método participativo, foram a partir de recursos e instrumentos disponíveis nas propriedades dos camponeses ou ao seu alcance e que sob alguma medida, podendo inclusive, serem improvisados com aquilo que eles dispõem em suas propriedades.

Os dados tabulados (notas/valores médios) serão apresentados em gráficos tipo ameba (radar) para permitir que os valores atribuídos sejam facilmente observados no gráfico a fim de melhor avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade do agroecossistema. Os valores mais próximos do lado externo do gráfico significam que o sistema está mais próximo da sustentabilidade e da área referência (floresta).

4.3 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA QUALIDADE DO SOLO

Ao lado das mini-trincheiras abertas para coleta das amostras e avaliação dos IQS (Tabela 1), também foram abertas outras trincheiras e coletadas amostras para as análises de laboratório, numa distância aproximada de um metro entre as trincheiras. As amostras foram coletadas nas parcelas com PRVCA e PRVSA, mais a área de Floresta, com três repetições compostas de outras três amostras simples, em cada área e por camada (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm). Esta coleta foi feita apenas na estação do outono (Abril/2014).

Os indicadores quantitativos do solo foram usados (avaliados) para se aferir a avaliação da sustentabilidade através dos indicadores qualitativos (Tabela 1). Para este fim, avaliaram-se a densidade do solo, estabilidade de agregados e os teores de carbono orgânico do solo, ambos segundo a metodologia da Embrapa (1997).

Para a determinação da densidade do solo foram coletadas amostras de terra, no sentido horizontal, pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997), sendo a altura de 3,9 cm e diâmetro de 4,1 cm, com volume de 51,46 cm³. Para a avaliação da estabilidade de agregados, também foram coletadas amostras indeformadas de solo nas mesmas camadas, utilizando-se uma pá de corte (Embrapa, 1997).

Figura 16 - Coleta de amostras de solo indeformadas para avaliação de agregados



Fonte: acervo de pesquisa.

Coleta de amostras de solo indeformadas para avaliação de agregados.

As amostras foram devidamente acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Manejo e Classificação de Solos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As amostras foram secas ao ar e, em seguida, destorroadas manualmente, seguindo fendas ou pontos de fraqueza, e passadas em um conjunto de peneiras de malha 8,00 mm e 4,00 mm para obtenção dos agregados do solo, conforme Embrapa (1997).

Dos agregados retidos na peneira de 4,00 mm, pesaram-se 25 g que foram transferidos para uma peneira de 2,00 mm, que compõe um conjunto de peneiras com diâmetro de malha decrescente, a saber: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm, conforme Embrapa (1997). Os agregados inicialmente colocados na peneira de 2,00 mm foram umedecidos com

borrifador de água e, posteriormente, o conjunto de peneiras foi submetido à tamisação vertical via úmida por 15 minutos no aparelho de Yoder. Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com jato d'água, colocado em placas de pétri previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa à 105 °C até a obtenção de massa seca constante. A partir da massa de agregados calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, segundo a Embrapa (1997).

Figura 17 - Análise de agregação em laboratório de análises de solo.

CCA/UFSC.



Fonte: acervo de pesquisa.

Para a quantificação do carbono orgânico total (COT) do solo, nas mesmas profundidades, foram coletadas amostras deformadas de solo. Estas foram secas ao ar e tamisadas em malha de 2,00 mm (Embrapa, 1997). Neste material determinou-se o COT segundo (Tedesco et al., 1995).

4.3.1 Procedimentos Estatísticos

O delineamento experimental foi composto por três tratamentos, sendo o PRV com árvore (PRVCA), o PRV sem árvore (PRVSA) e área de Floresta nativa, todos com três repetições por camada, no caso dos indicadores quantitativos.

Para os IQS, os valores/notas atribuídos pelos oito avaliadores foram primeiramente sistematizados para se obter a média de cada item nas três parcelas avaliadas. Dessa forma, para as áreas de PRVCA e PRVSA (outono e primavera), as notas/valores utilizadas na análise estatística foram oriundas da média de 24 notas por item avaliado (cada avaliador atribuiu uma nota por item, sendo 8 avaliadores por 3 parcelas). Na área da Floresta, delimitou-se apenas uma parcela (área avaliada), trabalhando-se apenas com as notas dos oito avaliadores para cada item avaliado.

Os resultados qualitativos e quantitativos das avaliações da qualidade do solo foram submetidos à análise de variância e quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas através do teste de t-LSD em nível de 5% de probabilidade.

Também foi realizada uma análise estatística multivariada (análise de componentes principais - ACP) com todos os dados obtidos (qualitativos e quantitativos). A ACP é utilizada para reduzir as dimensões dos dados e, conseqüentemente, facilitar a análise por meio do gráfico do círculo de correlações (Herlihy & McCarthy, 2006). Com isso, pode-se inferir se os dados qualitativos serão corroborados pelos dados quantitativos.

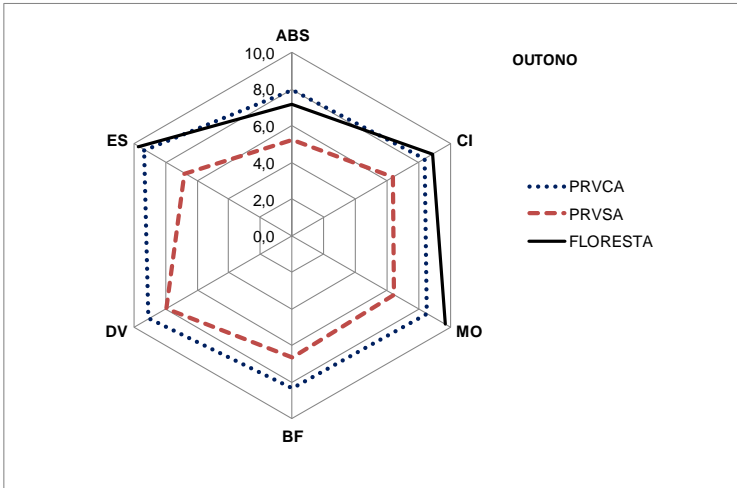
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Verificou-se que o PRVCA foi superior ao PRVSA no período do outono para os seis Indicadores de Qualidade do Solo (IQS): ABS, CI, MO, BF, DV e ES (Figura 2, Tabela 2). Na avaliação da primavera, quatro IQS do PRVCA apresentaram médias superiores ao PRVSA (CI, MO, BF, ES) (Figura 3, Tabela 2). Já os valores de IQS para a ABS e DV foram semelhantes nessa época de avaliação nos dois sistemas.

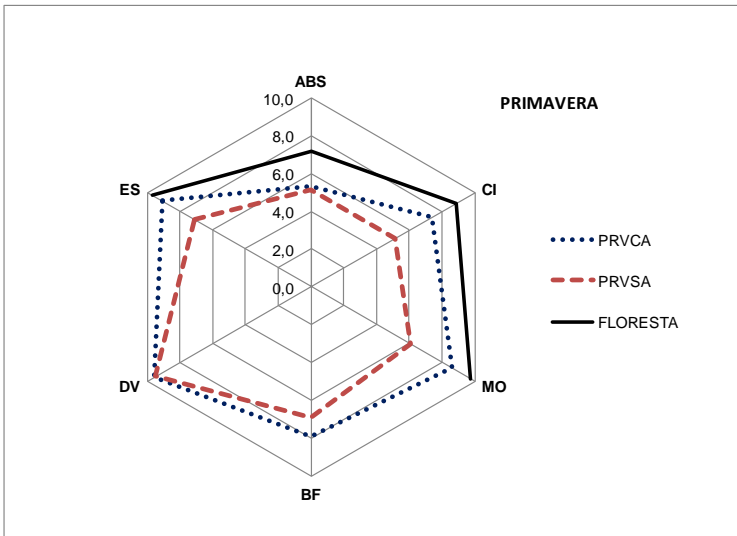
Não se verificaram diferenças nos valores de IQS entre as épocas de avaliação para cada sistema e para qualquer indicador, a exceção da ABS, que foi menor na primavera para PRVCA (Figuras 3, Tabela 2). As médias obtidas pelo PRVCA para os IQS: ABS, CI e ES no outono e MO e ES na primavera não diferiram daqueles da Floresta, considerada referência para condição ideal de sustentabilidade de um agroecossistema (Tabela 2). Os IQSs MO no outono e CI e ABS na primavera, ambos no PRVCA foram inferiores àqueles da Floresta, mas foram superiores aos valores do PRVSA (Tabela 2). Como o PRVCA apresentou desempenho superior ao PRVSA nos dois períodos avaliados, outono e primavera (exceto para ABS e DV, na primavera), tem-se indicativo de que pastagens arborizadas podem ser mais sustentáveis do que aquelas em condição de pleno sol.

Gráfico 1- Avaliação da qualidade do solo no PRVCA, no PRVSA e na FN no período de outono



Fonte: elaboração própria.

Gráfico 2 - Avaliação da qualidade do solo no PRVCA, no PRVSA e na FN no período da primavera.



Fonte: elaboração própria.

Tabela 2 - Valores/notas médios atribuídos para os indicadores de sustentabilidade avaliados em duas épocas (outono e inverno).

Indicadores de qualidade do solo	Sistemas de uso do solo			
	PRVCA	PRVSA	Floresta	CV(%)
Outono				
Atividade biológica do solo	7,93 Aa	5,25 Ba	7,14 A*	20,94
Compactação/Infiltração	8,40 Aa	6,38 Ba	8,85 A	17,14
Matéria orgânica do solo	8,50 Ba	6,41 Ca	9,71 A	9,92
Biomassa forrageira	8,33 Aa	6,68 Ba	NA	17,90
Diversidade vegetal	9,07 Aa	8,13 Ba	NA	11,40
Estrutura do solo	9,32 Aa	6,78 Ba	9,71 A	10,66
Primavera				
Atividade biológica do solo	5,35 Bb	5,10 Ba	7,14 A	22,70
Compactação/Infiltração	7,35 Ba	5,10 Ca	8,85 A	16,64
Matéria orgânica do solo	8,60 Aa	6,05 Ba	9,71 A	16,09
Biomassa forrageira	7,90 Aa	6,92 Ba	NA	8,47
Diversidade vegetal	9,61 Aa	9,49 Aa	NA	7,99
Estrutura do solo	9,08 Aa	7,10 Ba	9,71 A	10,34

Fonte: Elaboração própria

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cada atributo avaliado e dentro de cada estação não diferem entre os sistemas de uso do solo pelo teste t-LSD a 5%. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna para cada atributo avaliado entre as estações e em cada sistema de uso do solo não diferem pelo teste t-LSD a 5%. *Na floresta não foi feita avaliação entre as estações, pois foi feita apenas uma avaliação.

A análise da relação existente entre os IQS matéria orgânica (MO) e atividade biológica do solo (ABS) permite constatar que no PRVSA, nos dois períodos avaliados, as médias atribuídas ao teor de MO no solo ficaram próximas ao valor médio (5,0), considerado o nível mínimo desejável, sendo que esse isso se refletiu na ABS. Como a

existência de MO no solo é condição indispensável para que se desenvolva a fauna edáfica, pois dali ela obtém o seu alimento, era de se esperar que as médias atribuídas para ABS também se mantivessem nestes mesmos parâmetros, como efetivamente foi avaliado (Figuras 2 e 3, Tabela 2). Padrão contrário a este foi observado no PRVCA, sendo verificados níveis (notas) para MO próximos ao da área referência (Tabela 2).

Em relação ao IQS ABS no tratamento PRVCA, a média atribuída na primavera foi menor que aquela do outono (Figuras 2 e 3, Tabela 2). Com base nas observações a campo e análise de informações meteorológicas, verificou-se que este comportamento deve-se à condição de umidade do solo, pois na segunda avaliação, o solo se encontrava mais seco, com baixo teor de umidade devido à escassez de chuva neste período. Este fato pode ser comprovado através das avaliações climáticas da COOPAAERGS (Boletim de dez/2014), que registrou no mês de outubro/2014, na região Noroeste do RS, precipitações pluviométricas abaixo da normal climatológica para o período (Figura 4). Esta situação é atípica quando são comparadas as médias históricas para este período nesta região, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura ocorridos desde 1961-1990

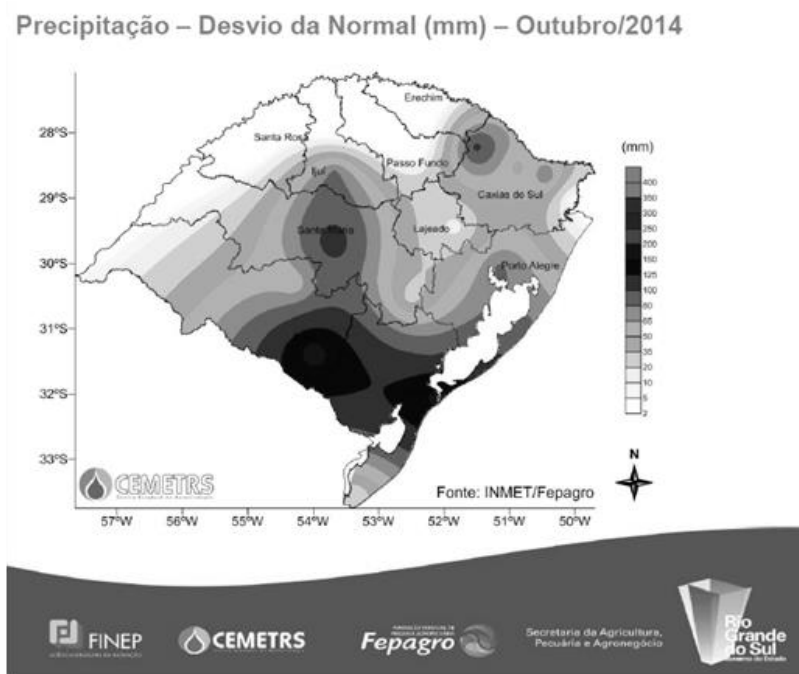
Município: Iraí – RS

Latitude	27,18 S	Longitude	53,23 W	Altitude	247 m	Período	1961- 1990
Mês	T (°C)	P (mm)	ETP	ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	24,7	155	134	100	134	0	21
Fev	24,6	159	120	100	120	0	39
Mar	23,2	130	111	100	111	0	19
Abr	19,4	145	69	100	69	0	76
Mai	15,3	162	41	100	41	0	121
Jun	13,3	149	28	100	28	0	121
Jul	13,4	122	29	100	29	0	93
Ago	15,9	148	43	100	43	0	105
Set	17,4	160	54	100	54	0	106
Out	20,2	175	81	100	81	0	94

Nov	22,1	162	101	100	101	0	61
Dez	23,7	144	126	100	126	0	18
TOTAIS	233,2	1.811	936	1.200	936	0	875
MÉDIAS	19,4	151	78	100	78	0	73

Fonte: INMET

Figura 18 - Valores de precipitação pluviométrica par ao mês de outubro de 2014 no RS.



Fonte: INMET/Fepagro

Na avaliação da primavera verificou-se ausência ou baixa quantidade de minhocas e artrópodes, uma vez que em períodos mais secos (Figura 4_), a fauna edáfica tende a migrar para profundidades maiores ou locais mais úmidos. Observou-se que estes pequenos

animais existiam no solo, pois evidenciou-se grande quantidade de galerias no perfil do solo, que é uma característica de sua presença neste ambiente. A presença de árvores pode aumentar a diversidade da macrofauna do solo sob suas copas (SILVA, 2008), o que foi evidenciado no outono com maior ABS no PRVCA em relação ao PRVSA (Tabela 2), fazendo com que os organismos que colonizam o solo exerçam diversas funções no solo, em especial nas propriedades físicas e biológicas, como o aumento da estabilidade dos agregados (BLANCHART et al., 2004), como será visto mais adiante no item 5.2. (Avaliação quantitativa da qualidade do solo).

Os fatores climáticos, especialmente a temperatura e a umidade, influenciam no comportamento e na dinâmica da população da fauna edáfica, conforme constatou Rosa (2009), que observou diminuição de Collembola, Hymenoptera, Acarina e Coleoptera provocada pelas condições meteorológicas, em período marcado pela ocorrência de estiagem e grande amplitude térmica, proporcionando o aumento da temperatura e perda de umidade do solo. O autor também constatou que solos com maior teor de matéria orgânica favorecem o desenvolvimento de espécies fungívoras da fauna edáfica, pois a MO proporciona condições favoráveis de desenvolvimento de fungos que servem de alimento para estas espécies e que em solos que possuem baixa capacidade de retenção de água, a fauna edáfica é afetada sobremaneira pela falta de umidade.

Para o IQS compactação/infiltração (CI) não se verificaram diferenças para os valores atribuídos entre as épocas avaliadas para o PRVCA e PRVSA (Tabela 2). No entanto, percebe-se nos gráficos tipo radar (Figuras 2 e 3) que as médias atribuídas no outono apresentaram tendência de serem maiores (proporcionalmente) quando comparadas àquelas da primavera. Este comportamento foi influenciado pela escassez de chuva (Figura 4) que diminuiu a umidade no solo, tornando-o mais seco e resistente a penetração da ponta da faca no perfil do solo. Este efeito foi melhor percebido no PRVSA, uma vez que neste ambiente observou-se que o ressecamento do solo foi mais severo e houve maior resistência à penetração da ponta da faca, sendo

evidenciado nos dois períodos avaliados, os menores valores de CI no PRVSA em comparação ao PRVCA (Tabela 2). Na presença de árvores, sob a copa ocorre menor amplitude térmica quando comparado a campo aberto/pleno sol. Com a presença de árvores nas pastagens ocorre a formação de um extrato vegetal sob a copa das árvores que protege a superfície da incidência do sol, aumentando a infiltração, a porosidade e a capacidade de retenção de água (PEZZONI et al., 2012).

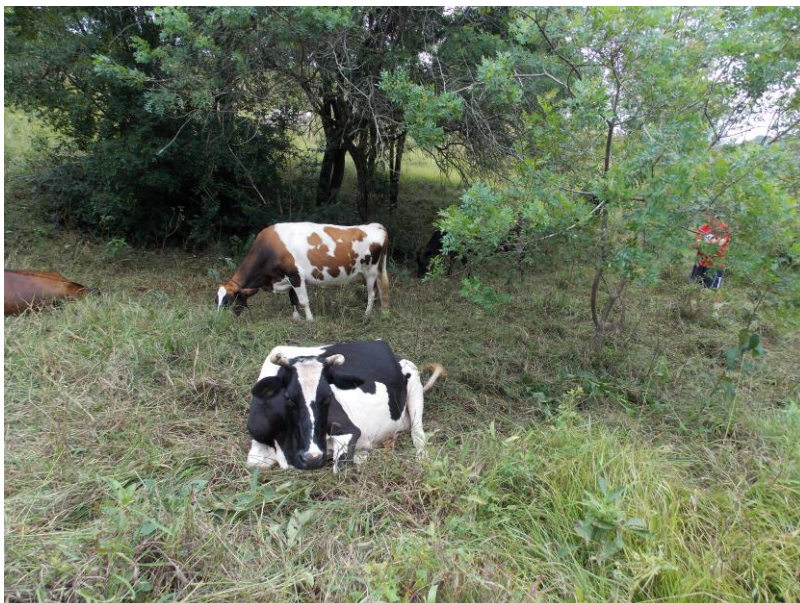
Na avaliação do IQS matéria orgânica do solo (MO) não foram detectadas diferenças para cada sistema entre épocas de avaliação, mas foram encontrados maiores valores para o IQS MO no PRVCA nas duas épocas de avaliação (Figuras 2 e 3, Tabela 2). Solos de pastagem mais próximos das árvores apresentam níveis mais elevados de matéria orgânica quando comparados àqueles mais afastados da copa das árvores (TOMAZ, 2012; RAMOS et al., 2013). Em sistema silvipastoril o componente arbóreo atua como um extrator de nutrientes do solo, enriquecendo o solo em função da deposição do material orgânico proveniente das árvores (folhas, frutos e galhos) que permanece na superfície, onde os nutrientes ficam concentrados de forma diferenciada no perfil do solo, em maiores quantidades na camada superficial (0-10 cm) e diminuindo ao longo do perfil, influenciando os atributos químicos (MORETI et al., 2007).

No que concerne o IQS biomassa forrageira (BF), os valores médios atribuídos nos dois sistemas (PRVCA e PRVSA) não apresentaram diferenças entre as épocas avaliadas, porém foram maiores no PRVCA para cada período avaliado (Tabela 2). Como neste sistema sob PRV os pastos são perenes e os períodos de avaliação ocorreram em épocas quentes, na primeira ainda havia boa quantidade de pasto devido a não ocorrência de geadas, o que permitiu que o pasto perene se mantivesse em bom estágio vegetativo. Também na segunda avaliação, saída do inverno, não houve ocorrência de geadas, algo pouco comum neste local, permitindo que o pasto perene ainda se mantivesse verde. Na comparação entre os sistemas o melhor desempenho no PRVCA pode ser devido à maior produção de biomassa ocasionada pelo sombreamento da copa das árvores. FERREIRA (2012) avaliando o

efeito do componente arbóreo da bracatinga (*Mimosa scabrella*) na qualidade do solo e das forragens em pastagem polifítica sob PRV, observou que ambientes sombreados, tanto no período de verão como na estação de inverno apresentaram produção de matéria seca igual ou maior do que ambientes submetidos a pleno sol. SILVA (2008), em estudo no município de Seropédica – RJ, para avaliar a influência de leguminosas arbóreas na produção e qualidade do capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em pastagens cultivadas num SSP, também concluiu que a presença das arbóreas dispersas na pastagem influenciou positivamente o rendimento e a qualidade da matéria seca da forrageira.

Este comportamento evidencia que níveis de sombreamento podem interferir na melhoria da qualidade do solo e no aumento da produção de biomassa forrageira influenciado por espécies mais ou menos tolerantes ao sombreamento, pois o sombreamento das pastagens por árvores, diminui a incidência de radiação solar sobre elas, influenciando no seu desenvolvimento (Ferreira, 2012). Este autor, ao avaliar o efeito do componente arbóreo da bracatinga na qualidade das forragens em pastagem polifítica sob PRV, verificou que tanto no verão quanto no inverno, a frequência de ocorrência de plantas da família das leguminosas, as quais possuem teor de proteína maior comparado às da família das gramíneas, é maior em ambientes com algum nível de sombreamento.

Figura 19 - Animais em pastejo sob parcela de PRV arborizada.



Fonte: acervo de pesquisa.

Observou-se para o IQS diversidade vegetal (DV), que os valores atribuídos pelos avaliadores foram muito semelhantes em ambos os sistemas (PRVCA e PRVSA), tanto no período de outono quanto da primavera (Figuras 2 e 3, Tabela 2). Tanto o PRVCA como o PRVSA apresentaram diversidade vegetal desejável, isto é, com mais de oito espécies num raio de aproximadamente dois metros do local de avaliação. O que diferenciou um sistema do outro foi as espécies de plantas existentes em cada um. No PRVSA as espécies vegetais identificadas possuíam características mais fibrosas, espinhentas e algumas com propriedades tóxicas para os bovinos, como mata campo, joá, maria mole, caraguatá, entre outras. Já no PRVCA verificou-se a presença de espécies mais favoráveis à condição forrageira e com valor medicinal, predominando o pega-pega (*Desmódium incanum*), tansagem (*Plantago sp.*), e com pouca presença de joá. Mesmo quando esta espécie ocorreu, a densidade foi pequena e as plantas eram maiores,

mais desenvolvidas e suas folhas mais tenras. Apesar da presença de espinhos, estes eram mais moles, a ponto de serem pastejadas pelo gado. No sistema PRVSA o joá apareceu com mais intensidade, maior densidade, e as plantas eram menores e possuíam folhas mais coreáceas, duras, com espinhos mais destacados e mais duros e produziam uma quantidade maior de frutos por planta, quando comparadas às que se desenvolvem sob a copa das árvores. Carvalho et al. (2002) ao analisarem as concentrações de N nas folhas de gramíneas com e sem sombreamento, encontraram teores de N mais elevados nas folhas de gramíneas que estavam sob a copa das árvores em relação às gramíneas que estavam em áreas sem sombreamento. Também constataram maior digestibilidade das gramíneas sob a sombra das árvores, o que demonstra uma melhoria do valor nutritivo das gramíneas provocada pelo sombreamento natural.

SILVA (2008) em seu estudo para avaliar a influência de leguminosas arbóreas na produção, qualidade do capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu verificou que na época seca, em média, a produção de massa seca do capim Marandu no sistema sivepastoril foi 147,3% maior que na pastagem fora da influência da copa das árvores. O autor sugeriu que este resultado possa ser reflexo de uma maior conservação da umidade do solo sob a copa da árvore, ocasionado pelo sombreamento. Também observou que os teores de proteína bruta (PB) nas épocas das águas e seca no sistema silvipastoril, foram, de um modo geral, maiores quanto mais próximos ao tronco com árvores dispersas (43% maior), comparado à pastagem sem a presença de árvores.

Assim, o uso de árvores em pastagens tem influência direta sobre a qualidade do pasto, possibilitando um aumento na qualidade do material forrageiro (CARVALHO et al., 2002; PEZZONI, et al., 2012), mas o crescimento de forrageiras em associação com as árvores, pode aumentar, reduzir ou não sofrer efeito, variando conforme as características das espécies, características das árvores e a fatores ambientais, como a competição por água e nutrientes do solo (RIBASKI et al., 2001).

No PRVCA, em condição de sombreamento, ocorreu uma maior presença de grama-doce (*Paspalum paniculatum* L.), planta que é pouco encontrada na condição de pleno sol, no PRVSA. Esta espécie de gramínea forrageira apresentar boa tolerância ao sombreamento e encontra-se entre as utilizadas no Sul e no Sudeste do Brasil, sendo do conhecimento de muitos camponeses e técnicos. Segundo ALCÂNTARA & BUFARAH (1982), é uma das espécies forrageiras recomendada para utilização em SSP.

Em relação à Estrutura do Solo (ES), não houve diferença em cada sistema em relação às épocas de avaliação (outono e primavera) (Figuras 2 e 3, Tabela 2). Quando comparados os sistemas PRVCA e PRVSA, os valores foram superiores nas duas épocas no PRVCA, que se igualou aos valores da floresta (Tabela 2). PEZZONI et al (2011) em estudo realizado no município de Nioaque-MS onde avaliaram a influência das árvores de Sucupira - Branca (*Pterodon emarginatus*) em atributos físicos do solo e concluíram que a matéria orgânica da serrapilheira interfere de forma positiva nos atributos físicos do solo, melhorando sua qualidade estrutural. Com a presença de árvores nas pastagens há a formação de um extrato vegetal sob a sua copa que protege a superfície do sol, aumenta a infiltração, a porosidade e a capacidade de retenção de água (PEZZONI et al., 2012). O não revolvimento da camada superficial e a presença das árvores em sistemas contribui para a formação de agregados mais estáveis, ocasionando uma melhoria na qualidade estrutural (maiores valores para ES no PRVCA em comparação ao PRVSA), com o aumento da macroporosidade na camada superficial (PEZARICO et al., 2013).

5.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA QUALIDADE DO SOLO

Os menores valores de densidade do solo (Ds) foram observados na área de floresta para as três profundidades avaliadas. Entre as áreas de PRV não foram verificadas diferenças para a Ds (Tabela 4). Os menores valores de Ds na área de floresta estão diretamente associados aos maiores teores de carbono orgânico total

(COT) e a ausência de interferência antrópica nesta área. Todavia, nas áreas com PRV, os valores de Ds superiores aos verificados na área de floresta são decorrentes do uso das áreas por meio do pisoteio animal. Porém, todos os valores de Ds, nas três áreas avaliadas, são considerados não restritivos ao desenvolvimento radicular, pois segundo Reichert et al. (2003), a Ds crítica a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui e/ou impede o crescimento de raízes, para solos argilosos, situa-se entre 1,30 a 1,40 Mg m⁻³.

Tabela 4 - Valores médios de densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados e carbono orgânico total (COT) em áreas de PRV com e sem árvores

Sistemas de uso do solo	Atributos avaliados		
	Ds (Mg m ⁻³)	DMP (mm)	COT (g kg ⁻¹)
		0-5 cm	
PRVSA	1,04 a	4,524 b	19,50 b
PRVCA	0,93 a	4,741 a	21,33 a
Floresta	0,62 b	3,419 c	22,16 a
CV(%)	11,93	2,38	5,45
Valor P	0,0000	0,0000	0,0034
		5-10 cm	
PRVSA	1,11 a	4,482 b	17,66 b
PRVCA	1,06 a	4,712 a	18,16 b
Floresta	0,79 b	3,834 c	20,83 a
CV(%)	3,72	4,13	8,96
Valor P	0,0000	0,000	0,0117
		10-20 cm	
PRVSA	1,11 a	4,123 b	14,05 c
PRVCA	1,00 a	4,763 a	15,84 b
Floresta	0,78 b	4,087 b	20,67 a
CV(%)	11,22	10,26	6,92
Valor P	0,0003	0,0313	0,0000

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de t-LSD a 5%.

Fonte: Elaboração própria

Os valores de Ds encontrados nas áreas com PRV indicam que o uso do solo com forrageiras com e sem árvores, associado ao pastoreio, não está ocasionando compactação do solo, o que seria evidenciado pelos valores de Ds restritivos ao desenvolvimento radicular, conforme relatado por Reichert et al. (2003) e Hamza & Anderson (2005).

Em relação ao DMP, a área de floresta apresentou os menores valores, não diferindo da área de PRVSA para a profundidade de 10-20 cm. Entre as áreas de PRV, os maiores valores foram encontrados no PRVCA em todas as profundidades avaliadas. Os maiores valores de DMP nas áreas de PRV em comparação à floresta (0-10 cm) podem ser decorrentes da maior atividade do sistema radicular das gramíneas. Segundo Torres et al. (2013), os maiores índices de agregação (DMP) em solo argiloso sob pastagem rotacionada de tifton são devidos ao efeito da estruturação do solo por meio do sistema radicular das gramíneas, que por ser mais denso e melhor distribuído nas camadas superficiais do solo, favorecem a formação e estabilização de novos agregados.

Resultados semelhantes ao deste estudo são relatados por Loss et al. (2014). Esses autores avaliaram o DMP dos agregados em solo argiloso em áreas de pastagem e floresta no Paraná, e encontraram maiores valores de DMP para a pastagem (4,132 mm) em relação à floresta (3,934 mm) para a profundidade de 5-10 cm. Os autores concluíram que os maiores índices de DMP na pastagem são decorrentes do sistema radicular bem desenvolvido das gramíneas (*Axonopus compressus*), que exploram um maior volume de solo, acarretando em maior aporte de matéria orgânica via rizo-deposição e morte de suas raízes, com posterior aumento da agregação do solo.

Entre as áreas de PRV, os maiores valores de DMP no PRVCA podem ser decorrentes da maior biomassa forrageira e teores de matéria orgânica, que foram índices de qualidade do solo superiores no PRVCA em comparação ao PRVSA, ambos obtidos através da avaliação qualitativa do solo (Figuras 2 e 3, Tabela 2). Na avaliação quantitativa (Tabela 4), também se evidenciou maiores teores de COT no PRVCA

(0-5 e 10-20 cm), o que pode ser decorrente do efeito da arborização, acarretando em maior biomassa forrageira e, conseqüentemente, maior exploração do solo via sistema radicular, favorecendo o aporte de carbono ao solo e a formação de agregados de maior tamanho e mais estáveis no PRVCA.

Dessa forma, os maiores teores de COT e DMP evidenciados na área de PRVCA em comparação ao PRVSA são decorrentes do maior aporte de resíduos vegetais no PRVCA (resíduos da biomassa forrageira e das árvores) somados à adição dos dejetos bovinos, o que favorece a formação de agregados de maior tamanho, os quais são importantes para a estabilização do carbono ao longo do tempo (Denef et al., 2007). Segundo Mendonça et al. (2001) e Pezzoni et al. (2012), o plantio de árvores em pastagens resulta em benefícios para os componentes do agroecossistema, com destaque para o maior aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.

Na área de floresta, os maiores valores de COT, não deferindo de PRVCA para a profundidade de 0-5 cm, são devidos ao constante aporte e acúmulo de resíduos vegetais que formam a serapilheira, o que mantém o estado estável nas adições e perdas de COT, corroborando com outros trabalhos da literatura em condições semelhante de avaliação (Loss et al., 2014; Bezerra et al., 2013; Pezarico et al., 2013).

5.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Em relação à análise multivariada, os atributos avaliados foram agrupados em cinco fatores principais, e o ajuste do modelo foi capaz de explicar 89,20% das variâncias (Tabela 5). O primeiro componente explicou 56,47% da variabilidade dos atributos do solo das áreas avaliadas. Esse componente (CP1) é constituído pela maioria dos indicadores qualitativos (exceto ABSOU e CIOU) e quantitativos (exceto DMP20 e COT5) que apresentaram escores negativos (MOOU, ESOU, ABSPR, CIPR, MOPR, ESPR, COT10, COT20) e positivos (BFOU, DVOU, BFPR, DVPR, DS5, DS10, DS20, DMP5, DMP10), sendo todos altamente significativos, pois todos os escores são $\geq 0,50$

(COELHO, 2003). A proporção acumulada entre o primeiro e o segundo componente explicou 73,31% da variabilidade acumulada, com acréscimo de 16,83% na proporção acumulada. Para este componente (CP2), tem-se o destaque para os indicadores qualitativos ABSOU, CIOU, ESOU, sendo que todos apresentaram escores positivos e altamente significativos. Ainda em relação ao CP2, para os indicadores quantitativos, o DMP20 e o COT5 apresentaram os maiores escores, sendo respectivamente, positivos e negativos.

Tabela 5 - Análise de componentes principais das variáveis analisadas sob sistemas de uso do solo com PRVCA, PRVSA e Floresta.

Fonte: Elaboração própria

Componentes da variância	Componentes principais (CP)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Autovalores	11,86	3,53	1,48	1,11	0,73
Variabilidade explicada (%)	56,47	16,83	7,09	5,29	3,50
Variabilidade acumulada explicada (%)	56,47	73,31	80,40	85,69	89,20
Variáveis	Correlação com os componentes principais				
ABSOU	-0,22	0,64*	0,62*	-0,08	-0,33*
CIOU	-0,49	0,56*	0,23	-0,20	0,34*
MOOU	-0,73*	0,49	-0,09	-0,36*	0,16
BFOU	0,92*	0,31	0,07	-0,11	-0,02
DVOU	0,96*	0,21	0,08	-0,06	0,00
ESOU	-0,60*	0,59*	-0,04	-0,43*	-0,04
ABSPR	-0,59*	0,05	0,74*	0,17	-0,11
CIPR	-0,72*	0,48	-0,03	0,29	0,21

MOPR	-0,58*	0,49	-0,40*	0,34*	-0,01
BFPR	0,96*	0,20	0,04	0,04	-0,03
DVPR	0,98*	0,12	0,03	0,06	-0,04
ESPR	-0,63*	0,42	-0,36*	0,25	-0,25
DS5	0,90*	-0,20	-0,02	-0,04	0,09
DS10	0,92*	-0,10	-0,06	-0,09	-0,20
DS20	0,78*	-0,07	0,15	0,29	0,39*
DMP5	0,93*	0,25	0,08	-0,04	-0,05
DMP10	0,88*	0,25	-0,11	0,03	-0,21
DMP20	0,27	0,68*	0,08	0,55*	0,01
COT5	-0,48	-0,64*	0,36*	0,19	0,12
COT10	-0,69*	-0,37	0,03	0,14	-0,30*
COT20	-0,86*	-0,43	-0,05	-0,04	-0,09

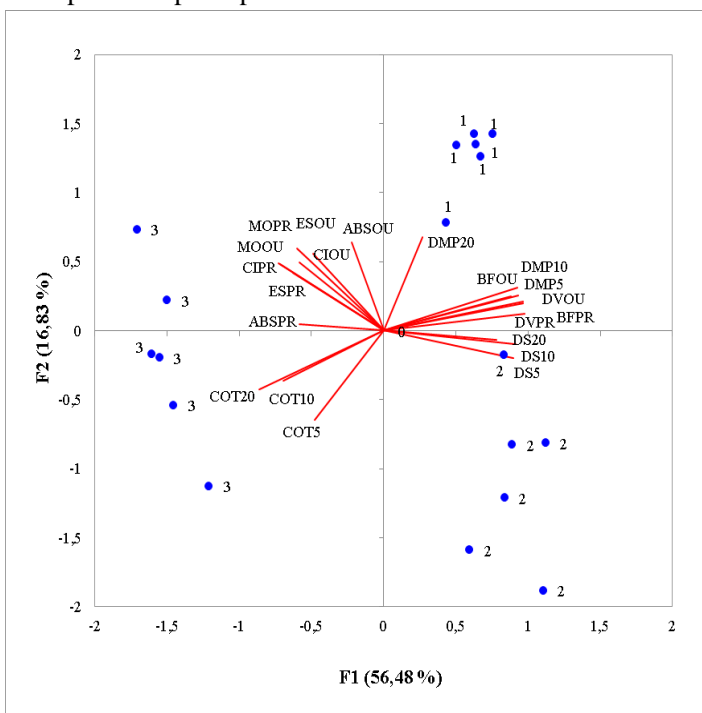
*Caracteres com maiores cargas fatoriais (escores) selecionadas dentro de cada fator. O critério para classificação foi: valor absoluto <0,30, considerado pouco significativo; 0,30–0,49, mediamente significativo; e ≥0,50, altamente significativo, de acordo com Coelho (2003). COT=carbono orgânico total, DS=densidade do solo, DMP=diâmetro médio ponderado de agregados, ABS=atividade biológica do solo, MO=materia orgânica do solo, ES=estrutura do solo, CI=compactação/infiltração, BF=biomassa forrageira, DV=diversidade vegetal, OU=outono, PR-primavera.

Para o componente 3 (CP3), que somado aos CP1 e CP2, explicaram 80,40% da variabilidade acumulada, as variáveis com maiores escores foram os qualitativos ABSOU, ABSPR, MOPR e ESPR, e apenas o quantitativo COT5. Para os demais componentes principais (CP4 e CP5) houve pouca influencia na variabilidade

explicada, com 5,29 e 3,50%, respectivamente, para CP4 e CP5. Os escores apresentados foram pouco significativos ($<0,30$) para a maior parte das variáveis correlacionadas com os componentes CP5 e CP4, sendo observado apenas um escore altamente significativo no CP4 (DMP20=0,55) e o restante dos escores foram medianamente significativos para o CP4 (MOOU, MOPR e ESOU) e CP6 (ABSOU, CIOU, DS20 e COT10) (Tabela 5).

Por meio do diagrama de ordenação construído através da análise de componentes principais (ACP), foi possível verificar a formação de três grupos distintos, sendo um relacionado à área do PRVCA (número 1), outro ao PRVSA (número 2) e a área de Floresta (número 3) (Figura 5).

Figura 20 - Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos dados coletados



Fonte: acervo de pesquisa.

1=PRVCA, 2=PRVSA, 3=Floresta, COT=carbono orgânico total, DS=densidade do solo, DMP=diâmetro médio ponderado de agregados, ABS=atividade biológica do solo, MO=matéria orgânica do solo, ES=estrutura do solo, CI=compactação/infiltração, BF=biomassa forrageira, DV=diversidade vegetal, OU=outono, PR-primavera.

O PRVSA (grupo 2) está mais próximo do indicador quantitativo DS, que apresentou escores altamente significativos e positivos com o CP1 (Tabela 5), ou seja, a área de PRVSA está sendo separada das demais por influência maior da DS e menor interferência do COT e DMP, assim como dos indicadores qualitativos. Este padrão é corroborado pelos menores valores de COT e DMP (Tabela 4) e os menores índices (notas atribuídas) dos indicadores qualitativos (Tabela 2), ambos encontrados na área de PRVSA e Floresta em comparação ao PRVCA. Para os valores de Ds, não foram verificadas diferenças significativas entre as áreas de PRV, porém no PRVSA verificaram-se valores de Ds 11% maiores que no PRVCA (Tabela 4), o que evidencia a separação da área de PRVSA das demais áreas por meio do indicador quantitativo Ds (Figura 5).

A área de floresta, que representa a condição original do solo, separou-se das demais por meio do COT e dos indicadores qualitativos MO, ES, ABS e CI, nas duas estações avaliadas (Figura 5). Isto corrobora os melhores índices qualitativos encontrados nesta área (Tabela 2 e Figuras 2 e 3), assim como os maiores teores de COT (Tabela 4).

A área de PRVCA apresenta estreita relação com o DMP, sendo o DMP20 mais relacionado como eixo F2 (CP2), com escore de 0,68 e para o DMP5 e DMP10, os escores de 0,93 e 0,88, respectivamente, estão mais relacionados ao eixo F1 (CP1). Isso evidencia que esse indicador quantitativo tem alto peso (escores) na separação da área com PRVCA, corroborando com os maiores valores de DMP encontrados em todas as profundidades para o PRVCA (Tabela 4) em comparação ao PRVSA e à Floresta. Entre os indicadores qualitativos, verifica-se maior influência da estação do outono para DV e BF em comparação a esses mesmos indicadores para a estação da primavera. Isto é decorrente das

diferenças encontradas, sendo que no outono, os melhores índices qualitativos foram evidenciados no PRVCA em comparação à primavera, onde para DV e BF, as diferenças foram mínimas ou iguais (Tabela 2).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A avaliação qualitativa do solo por meio dos IQS permitiu evidenciar melhor desempenho na sustentabilidade do PRVCA em comparação ao PRVSA.

A avaliação quantitativa, por meio do DMP e COT, também evidenciou melhor desempenho na sustentabilidade do PRVCA em comparação ao PRVSA.

Os indicadores qualitativos e quantitativos indicam que o PRVCA apresenta desempenho igual ou muito próximo ao da condição referencia (floresta), contrastando com o PRVSA, que apresentou desempenho inferior ao da área de floresta.

Através da ACP pode-se inferir que com os indicadores qualitativos e quantitativos foi possível separar as três áreas avaliadas, sendo o uso da abordagem qualitativa tão eficiente quanto a quantitativa, pois os dois tipos de indicadores apresentaram resultados semelhantes frente à separação das áreas avaliadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M. A. & NICHOLLS, C. I. **Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, Costa Rica, 64:17-24, p. 19 e 24, 2002.

ALTIERI, M. **Agroecologia: Dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. Trad. LOPES, M. M. Editora UFRGS, 5ª Edição. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Porto Alegre, 120 p., 2008.

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3ª Edição, Editora Expressão Popular, AS-PTA, São Paulo, Rio de Janeiro, 400 p., 2012.

BARRIOS, E.; DELVE, R. J.; BEKUNDA, M.; MOWO, J.; AGUNDA, J.; RAMISCH, J.; TREJO, M. T. & THOMAS, R. J. Indicators of soil quality: A South-South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. *Geoderma*, v. 135, p. 248-259, 2006.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. *Sistemas Silvopastoris*. *Revista Florestal Brasileira*, n. 60, p. 67-87, 2009.

BERTON. C.E. **Efeito de diferentes tempos de repouso sobre a parte aérea, sistema radicular e comportamento de pastoreio de vacas leiteiras em uma pastagem polifítica**. Dissertação de mestrado. UFSC Prog. Pós-graduação em Agroecossistemas. p. 94. 2010.

BEZERRA, R. P.M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G. & PERIN, A. Formas de Carbono em Latossolo sob Sistemas de Plantio Direto e Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado, Goiás. *Semina: Ci. Agrár.*, 34:2637-2654, 2013.

BLANCHART, E.; ALBRECHT, A.; CHEVALLIER, T. & HARTMAN, C. 2004. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of Vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique), W.I.). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, 103:343-355.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A. & REICHERT, J. M; Tópicos em ciência do solo. Vol 1 (2007). Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Anual 1519-3934.

CAPORAL, F. R. (org.); COSTABEBER, J. A. & PAULUS, G. Agroecologia uma ciência do campo da complexidade. Brasília. 111 p., 2009.

CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. P. & Xavier, D. F. **Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural.** Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, vol.37 nº5, mai de 2002.

CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F. Sistemas silvipastoris para recuperação e desenvolvimento de pastagens. In: Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica e sustentável. 2014. Embrapa: Brasília, 2014. p. 497-514.

CASALINHO, H. D., et al. Qualidade do Solo como indicador de sustentabilidade de Agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 195-203, abr-jun, 2007.

COPAAERGS, Conselho Permanente de Agrometeorologia Aplicada do Estado do Rio Grande do Sul. **Situação Atual e Prognósticos Climáticos. Boletim de Informações Nº 42, 12 de dezembro de 2014.** Disponível em

<<http://www.emater.tche.br/site/servicos/agrometeorologia.php>>
Acesso em 25 de Fev. 2015.

CORDEIRO, F. L. M. **Efeito do pastoreio racional Voisin na pastagem, no pastoreio e na compactação do solo.** 101f. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

DIAS, P. F.; SOUTO. S. M.; RESENDE. A. S.; URQUIAGA. S.; ROCHA. G. P.; MOREIRA. J. F.; FRANCO. A. A. **Transferência do N fixado por leguminosas arbóreas para o capim Survenola crescido em consórcio.** In: Ciência Rural v. 37 nº 2. Santa Maria. 2007.

DENEF, K., L. Zotarelli, R.M. Boddey & J. Six. 2007. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for

management-induced changes in soil organic in two Oxisols. *Soil Biology Biochemistry* 39: 1165-1172.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, p.1-20, 1994. (Especial, 35).

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

FACINA, T.; Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva/Ministério da Saúde (Brasil). Estimativa 2014 – Incidência de Câncer no Brasil. 64 *Revista Brasileira de Cancerologia* 2014; 60(1): 63. Disponível em <<http://www.inca.gov.br/estimativa/2014/sintese-de-resultados-comentarios.asp>> Acesso em 12 de mar. 2015.

FERREIRA LOBO, J. M.; LIMA, P. C.; LOVATO, P. E./ MOURA, W. M. **Sistema de avaliação participativo de aspectos ambientais e produtivos em agroecossistemas com cafeeiros**. Informe Agropecuário, v. 30, p. 68-79, 2009.

FERREIRA, Thomás Lopes. **A Bracatinga (*Mimosa scabrella*) como componente arbóreo em pastagem polifítica sob pastoreio racional Voisin**. 2012. 169 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2012.

GIRALDO, L.; VÉLEZ. G. **El componente animal en los sistemas silvopastoriles**. *Industrias & Producción Agropecuaria*. Azoodea, Medellín, 1(3): 27-31, 1993.

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

HERNÁNDEZ, M; GUENNI, O. **Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato gramíneo de en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr)**. In: *Zootecnia Tropical*. vol 26(4). p. 439-453, 2008.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Climáticos do Brasil

Disponível em <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php>. Acesso em 08 de mar. 2015.

KEMPER, W.D., ROSENAU, R.C. Aggregate Stability and Size Distribution. In. KLUTE, A. Ed. Methods of soil analysis – Part 1 – Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Madison: Am. Soc. of Agronomy p. 425-442 (Agronomy, 9), 1986.

LABRADOR, J.; GONZÁLVEZ, V. Resiliencia y agricultura ecológica en España. Agroecología y resiliência socioecológica: adaptándose al cambio climático. Editores NICHOLLS ESTRADA, C. I.; OSÓRIO, L.A.R. & ALTIERI, M. A. Medellin – Colômbia, 2013.

LAURINDO, M. C. O.; NÓBREGA, L. H. P.; PEREIRA J. O.; MELO, D.; LAURINDO É. L. **Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo**. Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, v.17 n.5, Setembro / Outubro 2009.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 1992.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 6. ed.- Nova Odessa. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2006. 339 p.

LOSS, A. ; COSTA, E. M. ; PEREIRA, M. G.; Beutler, S. J. . **Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo**. Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata), v. 113, p. 01-08, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. **Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção**. Ciência Rural, v.39, p.1067-1072, 2009b.

MACHADO, L. C. P. **Pastoreio Racional Voisin: tecnologia agroecológica para o terceiro milênio**. 2 ed. Expressão Popular. São Paulo. 376p. 2010.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, OS. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. Revista *Árvore*, Viçosa, v25, n. 3, p. 375-383, maio/jun. 2001.

MIELNICZUK, J. **Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª ed. Porto Alegre, 2008, p. 1-5.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2º Edição. Editora UFLA: Lavras, 2006. 729 p.

MOREIRA, Josino C.; JACOB, Silvana C. **Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo, RJ**. Ciência & Saúde Coletiva. vol.7 no.2 São Paulo 2002.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. B.; CARVALHO, M. P. **Atributos químicos de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 167-175, 2007.

NAIR, V. D.; HAILE, S. G.; MICHEL, G. A.; NAIR, P. K. R. Environmental quality improvement of agricultural lands through silvopasture in Southeastern United States. *Scientia Agricola*, v. 64, n. 5, p. 513-519, 2007.

NASRALA NETO, Elias ; LACAZ, _Francisco Antonio de Castro; PIGNATI, Wanderlei Antonio. **Vigilância em saúde e agronegócio: os impactos dos agrotóxicos na saúde e no ambiente. Perigo à vista!** Ciênc. saúde coletiva vol.19 n.12 Rio de Janeiro Dec. 2014. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232002000200010>>. Acesso em 27 fev. 2015.

PACIULLO, D.S.C.; FERNANDES, P.B.; GOMIDE, C.A.M. et al. **The growth dynamics in Brachiaria species according to nitrogen dose and shade**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.40, n.02, p.270-276, 2011c.

PACIULLO, D.S.C. et al. **Potencial de produção e utilização de forragens em sistemas silvipastoris**. In: Intensificação da produção animal em pastagens. 2014, Anais do 1º simpósio de pecuária integrada. Embrapa: Brasília, 2014a. p. 51-82.

- PACIULLO, D.S.C.; PIRES, M.F.A.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.J.F.; MAURICIO, R.M.; GOMIDE, C.A.M. **Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees.** *Animal*, v.8, p.1264-1271, 2014b.
- PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O.; **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais.** *Rev. Cienc. Agrar.*, v. 56, n. 1, p. 40-47, jan./mar. 2013.
- PEZZONI, T.; VITORINO, A. C. T.; DANIEL, O.; LEMPP, B. Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. *CERNE (UFLA)*, v. 18, p. 293-301, 2012.
- PORFÍRIO, V. S. **Modificações microclimáticas em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta* A. Cunn. ex. R. Br. Na região noroeste do Paraná.** Dissertação de mestrado. UFSC Prog. Pós-graduação em Agroecossistemas. p. 128. 1998.
- PORTO, Marcelo Firpo; SOARES, Wagner Lopes. **Modelo de desenvolvimento, agrotóxicos e saúde: um panorama da realidade agrícola brasileira e propostas para uma agenda de pesquisa inovadora.** *Rev. bras. saúde ocup.* vol.37 no.125 São Paulo Jan./June 2012. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0303-76572012000100004>> . Acesso em 02 mar. 2015.
- RAMOS, L. S. **Eficiência de um sistema silvipastoril em substituição à adubação nitrogenada e a sua relação com a dinâmica da matéria orgânica em solo distrocoeso.** 2013 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sergipe, Curso de Mestrado em Agroecossistemas, São Crsitovão, 2013.
- ROSA, A. S.; DALMOLIN, R. S. D. **Fauna Edáfica em Solo Construído, Campo Nativo e Lavoura Anual.** *Ciencia Rural* vol.39 no.3 Santa Maria May/June 2009.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas.** *Ci. Amb.*, 27:29-48, 2003.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo.** UFSM, 2006.

RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J. V.; RODIGHERI, H. R. Sistemas agroflorestais: aspectos ambientais e socioeconômicos. Informe Agropecuário. V.22, n. 212, p. 61-67, 2001.

SILVA, L. L. G. G. Influência da arborização de pastagens no sistema solo-planta-animal. 2008. 90 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo, Seropédica, 2008.

SOLDÁ, C. C.; COMIN, J. J.; FEISTAUER, D.; FABIANE, K. C.; BERWANGER, A.; COUTO, R. R. Avaliação da Sustentabilidade em Pastagens. Rev. Bras. de Agroecologia. v. 9, n.1, 2014. Aceito para publicação.

SPADOTTO, C. A., GOMES, M. A. F. Árvore do conhecimento. Agricultura e Meio Ambiente - Agrotóxicos no Brasil. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_40_210200792814.html. Acesso em 18 de abril de 2015.

STEENBOCK, Walter et al. Agrofloresta, ecologia e sociedade. Kairós. Curitiba, 2013. 422p.

TEDESCO, M. J. **Análise de solo, plantas e outros minerais**. UFRGS: Depto. de Solos. Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 1995. 174p.

TORRES, J. L. R. ; RODRIGUES JUNIOR, D. J. ; VIEIRA, D. M. S. . Alterações nos atributos físicos do solo em função da irrigação e do pastejo rotacionado. Irriga (UNESP Botucatu), v. 18, p. 558-571, 2013.

VARELA, A. C.; RIBASKI, J.; SILVA, V. P.; SOARES, A. B.; MORAES, A. B.; MORAIS, H.; SAIBRO, J. C.; BARRO, R. S.; POLI, C. H. E. C.; PAULINO, B. M. **Recomendações para a escolha e manejo de plantas forrageiras em sistemas silvipastoris no Sul do Brasil**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2008. Não paginado. (Embrapa Pecuária Sul. Documentos, 76).

VARELA, A. C.; SILVA, V. P.; RIBASKI, J.; SOARES, A. B.; MORAES, A. B.; MORAIS, H.; SAIBRO, J. C.; BARRO, R. S. **Estabelecimento de plantas forrageiras em sistemas de integração floresta pecuária no Sul do Brasil**. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONANELI, R. S. (Ed.). Forrageiras para integração lavoura-

pecuária-floresta na região sulbrasileira. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 283-328.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p. 213-223. 2011.

VOISIN, A. **Produtividade do pasto**. São Paulo. Mestre Jon. 1974. 520 p.

<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos>.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.247-258, 2006.

WIKIPÉDIA. Desenvolvido pela Wikimedia Foundation. Apresenta conteúdo enciclopédico – Mapa com localização do município de Redentora. Disponível em:

< <https://pt.wikipedia.org/wiki/Redentora> >. Acesso em: 23 de março de 2015.