

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção  
Agrícola Familiar



Dissertação

**Estabelecimento de Indicadores da Qualidade da Água  
e do Solo: Uma Construção ao Nível de  
Agroecossistema Familiar e de Base Ecológica**

**Manoela Terra de Almeida**

Pelotas, 2013

**MANOELA TERRA DE ALMEIDA**

**Estabelecimento de Indicadores da Qualidade da Água e do Solo: Uma  
Construção ao Nível de Agroecossistema Familiar e de Base Ecológica**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Sistemas de Produção Agrícola  
Familiar da Universidade Federal de  
Pelotas, como requisito parcial à  
obtenção do título de Mestre em  
Agronomia.

Orientadora:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Cláudia Rodrigues de Lima

Pelotas, 2013

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Cláudia Rodrigues de Lima  
(Departamento de Solos/FAEM/UFPEL)

Prof. Dr. Hélio Debli Casalinho  
(Departamento de Solos/FAEM/UFPEL)

Pesq. Dr.<sup>a</sup> Maria Laura Turino Mattos  
(Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado- Pelotas/RS)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tânia Beatriz Gamboa Morselli  
(Departamento de Solos/FAEM/UFPEL)

## DEDICATÓRIA

Dedico esta vitória alcançada e tão almejada:

À Deus, pois sem “ele” eu nada seria.

Aos meus amados pais Cleisa Terra e Jorge Almeida pelo amor, dedicação e torcida. E por renunciarem seus sonhos em favor dos meus.

Em especial ao meu querido avô Silvio Terra (*in memoriam*), um grande exemplo de amizade, força, sabedoria e fé.

## AGRADECIMENTOS

A minha querida orientadora Ana Cláudia Rodrigues de Lima, pela orientação, apoio, amizade, dedicação, motivação, respeito, confiança e oportunidade de realizar este maravilhoso trabalho.

À Universidade Federal de Pelotas (UFPel), através do Programa de Pós-Graduação Sistemas de Produção Agrícola Familiar (SPAF) pela oportunidade, qualificação profissional e crescimento pessoal proporcionado.

Ao CNPq, pelo suporte através da concessão de bolsa de auxílio financeiro para execução deste projeto.

À família agricultora Scheer, pela oportunidade e confiança.

Ao professor Hélvio Debli Casalinho, pela dedicação e apoio oferecido nas coletas, entrevistas e grande colaboração para execução deste trabalho.

À professora Tânia Beatriz Gamboa Araújo Morselli, por todo auxílio e ensinamentos sobre biologia do solo.

Às queridas Samira Audeh, Daiane Zarnott, Talita Wurdig, Greice Schiavon e Viviane Terra pelo apoio, “troca de saberes” e amizade.

Aos colegas Raul Araújo, Diego da Silva, Tales Amaral, Lucas Santos, Domitila Chagas e Endrigo Lima pelo apoio.

Ao professor Willian Barros pela dedicação e orientação estatística.

Aos laboratoristas Paulo (Física do Solo-UFPel), Rosane e Sérgio (Química do Solo-UFPel), Rosimere e Aline (Laboratório de Química Ambiental–UCPel) e Sérgio (Biologia do Solo-UFPel), pelo apoio e suporte nas análises.

À minha querida e maravilhosa mãe Cleisa, minha melhor amiga e meu grande exemplo de vida, pelo incentivo, estrutura, apoio, amor e torcida.

Ao meu noivo Regis, pelo amor, paciência, compreensão, orações e por sempre estar tão presente nos momentos pessoais e profissionais de minha vida.

À toda minha família e amigos pelas orações e torcida.

Agradeço à Deus, Pai de Bondade, por me conceder tudo que necessito. Por conduzir meu caminho, sempre abençoando e protegendo minha vida.

Muito Obrigada!!!

“Tudo eu posso naquele que me fortalece.”

*"Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende."*

*Leonardo da Vinci.*

## RESUMO

ALMEIDA, Manoela Terra. **Estabelecimento de Indicadores da Qualidade da Água e do Solo: Uma Construção ao Nível de Agroecossistema Familiar e de Base Ecológica.** 2013. 84f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A presente pesquisa foi desenvolvida em uma propriedade agrícola familiar de base ecológica, no município de Morro Redondo/RS. O objetivo geral foi avaliar o desempenho de indicadores da qualidade física, química e biológica do solo e da água. E, a partir disto, construir e propor um conjunto mínimo de indicadores que sirvam como referência na avaliação da sustentabilidade do agroecossistema estudado. Diante do exposto, através de análises multivariadas, identificou-se, portanto, um conjunto mínimo de indicadores de solo e água: macroporosidade, densidade do solo, alumínio, capacidade de troca de cátions, minhocas, nitrogênio microbiano, respiração basal, carbono orgânico, nitrato e coliformes termotolerantes. O uso destes indicadores e sua relação com as práticas de manejo, como auxílio na avaliação e monitoramento da sustentabilidade do agroecossistema, são discutidos neste trabalho.

**Palavras-chave:** Qualidade do Solo, Qualidade da Água e Sistema de Manejo.

## ABSTRACT

ALMEIDA, Manoela Terra. 2013. **Establishing Water and Soil Quality Indicators: A Construction in a Family Ecological Agroecosystem**. 84f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

This research was developed in a family ecological agroecosystem, in Morro Redondo / RS. The objective was to evaluate the performance of physical, chemical and biological soil and water indicators. And from this, constructing and proposing a minimum set of indicators to use as a reference in assessing the sustainability of the studied agroecosystem. Given the above, using the multivariate analysis, it was identified a minimum data set of soil and water indicators: macroporosity, bulk density, aluminum, cation exchange capacity, earthworms, microbial nitrogen, respiration, organic carbon, nitrate and thermotolerant coliform. The potential use of this data set for developing sustainable land management is discussed in this research.

**Keywords:** Soil Quality, Water Quality and Management System.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Área 1- Oleráceas. Área de coleta de amostras de solo Propriedade da família Scheer, Morro Redondo/RS.....	47
Figura 2 Área 2 Pastagem. Área de coleta de amostras de solo. Propriedade da família Scheer, Morro Redondo/RS.....	47
Figura 3 Área 3: Pousio/Oleráceas. Área de coleta de amostras de solo. Propriedade da família Scheer, Morro Redondo/RS.....	48
Figura 4 Área 4: Girassol/Milho. Área de coleta de amostras de solo. Propriedade da família Scheer, Morro Redondo/RS.....	48
Figura 5 Dispersão das áreas da propriedade da família Scheer. Morro Redondo, RS.....	66
Figura 6 Dispersão das áreas na propriedade Scheer. Morro Redondo, RS. 2012.....	67
Figura 7 Análise de correspondência, mostrando a relação entre os principais indicadores de QS, de QA e as áreas do agroecossistema.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Indicadores químicos, físicos e biológicos da qualidade da água e métodos utilizados para sua determinação.....	45
Tabela 2 Classificação da Qualidade da Água de Irrigação.....	46
Tabela 3 Indicadores físicos, químicos, biológicos e microbiológicos do solo e métodos utilizados para sua determinação.....	50
Tabela 4 Valores dos atributos físicos, químicos e microbiológicos da qualidade água, propriedade da família Scheer, Morro Redondo, RS.....	52
Tabela 5 Indicadores biológicos e microbiológicos da qualidade do solo, período 2012, da propriedade da família Scheer. Morro Redondo, RS.....	57
Tabela 6 Valores dos indicadores químicos da qualidade do solo da propriedade da família Scheer. 2012.....	62
Tabela 7 Valores dos indicadores físicos da qualidade do solo da propriedade da família Scheer. 2012.....	64
Tabela 8 Indicadores da qualidade da água e a respectiva ordem de importância das variáveis, conforme a análise de componentes principais..	65
Tabela 9 Ordem de importância das variáveis de qualidade física, química, biológica e microbiológica do solo. Propriedade da família Scheer. 2012...	66
Tabela 10 Correlação das matrizes dos IQS.....	68

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVO.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	17
3.1 Agricultura Familiar.....	17
3.2 Agroecologia.....	18
3.3 Recursos solo e água.....	19
3.4 Qualidade do solo (QS).....	22
3.5 Indicadores de qualidade do solo (IQS).....	24
3.6 Qualidade da água (QA).....	32
3.7 Indicadores de qualidade da água (IQA).....	33
2.9 Sistema de manejo.....	38
4. METODOLOGIA.....	42
4.1 Localização.....	42
4.2 Clima.....	42
4.3 Relevo e Solos.....	42
4.4 Caracterização dos sistemas de manejo nas diferentes áreas analisadas.....	43
4.5 Coleta e Análise de água.....	43
4.5.1 Período e Pontos de Coletas de Amostras.....	43
4.5.2 Procedimento de Coletas.....	43
4.6 Indicadores para avaliação da Qualidade da Água.....	44
4.7 Coleta e Análises de Solo.....	46
4.7.1 Períodos e Pontos de Coletas de Amostras.....	46
4.7.2 Procedimento de Coletas.....	48
4.8 Indicadores de Qualidade do Solo.....	49
4.9 Análise estatística.....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
6. CONCLUSÃO.....	73
7. REFERÊNCIAS.....	74

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade agrícola desenvolvida com bases ecológicas é fundamental para que o desenvolvimento rural possa ser sustentável, e tem se constituído num importante instrumento de luta para que o segmento da agricultura familiar possa se contrapor à exclusão econômica e social e à degradação ambiental gerada pelo atual modelo de desenvolvimento (CASALINHO, 2003).

A agricultura de base ecológica (ABE) é entendida como um processo multilinear de mudança, que ocorre através do tempo, nas formas de manejo dos agroecossistemas, tendo como meta a passagem de um modelo agroquímico de produção à estilos de agricultura que incorporem princípios e tecnologias de base ecológica (CAPORAL e COSTABEBER, 2004).

A ABE caracteriza-se pelo uso de técnicas ecológicas relacionadas à adubação, fertilização e manejo do solo. Para tanto, leva-se em conta as características específicas de cada agroecossistema, como por exemplo, os fatores abióticos: clima típico da região; tipo de solo; umidade; altitude; incidência de luz solar; declividade; incidência de chuva e os fatores bióticos: espécies nativas de plantas; organismos consumidores (herbívoros e carnívoros) e organismos decompositores (fungos e bactérias), onde as atividades se desenvolvem. Entre os princípios dessa agricultura, pode-se citar o aproveitamento dos resíduos orgânicos gerados na unidade produtiva, a eliminação do uso de agrotóxicos e, a minimização da dependência externa por meio da substituição de insumos artificiais por processos biológicos naturais. Sobressaem-se ainda, benefícios como a valorização do “saber fazer” tradicional do agricultor e do seu modo de vida (FINATTO et al., 2010).

É sabido que o solo e a água são recursos naturais essenciais. O primeiro como fator fundamental à produção de alimentos e o segundo como componente bioquímico dos seres vivos e como meio de vida de várias espécies vegetais e animais. Os dois formam o binômio básico da sustentabilidade do homem, seja como componente essencial ou como elementos representativos de valores sociais, culturais e de produção de bens de consumo (PRADO et al., 2010).

Portanto, o solo e a água têm importantes papéis no meio ambiente, são elementos naturais para a produção da vida, bem estar dos seres vivos e manutenção dos ecossistemas naturais. O solo pode ser considerado um filtro natural, fornece nutriente e sustentação para as plantas, além de constituir um sistema complexo de reações e organismos que disponibilizam os nutrientes do solo para o desenvolvimento das plantas. A água é um elemento vital, responsável pelo transporte dos nutrientes e pela manutenção da vida. Dessa forma, a influência do uso do solo e da água sobre o meio ambiente pode ser representada pelas propriedades químicas, físicas e biológicas, desde que sejam utilizados indicadores confiáveis para avaliar a qualidade do solo, da água e ambiental (MOURA, 2010).

Para avaliar a qualidade do solo (QS), é necessário definir indicadores sensíveis ao manejo e de fácil determinação, de forma que possam ser sugeridas modificações nos sistemas de manejo evitando a degradação ambiental. O termo qualidade de água (QA) não se refere a um estado de pureza, mas sim às suas características químicas, físicas e biológicas, em que são estipuladas diferentes finalidades para seu uso (MERTEN e MINELLA, 2002). Assim, para caracterizar a QA são utilizados diversos indicadores que representam essas características (BORGES, 2009).

A avaliação dos indicadores, portanto, têm como objetivo, a indicação sobre a capacidade atual que determinado tipo de solo e a água analisados têm para exercer suas funções básicas no agroecossistema e/ou para verificar se existe uma tendência quanto a essa capacidade estar se mantendo, piorando ou melhorando, sob ação do sistema de manejo que esta sendo utilizado pelo agricultor (CASALINHO et al., 2007).

Os critérios de escolha dos indicadores de QS e QA, no entanto, são dependentes dos objetivos propostos e da escala de avaliação (local, microbacia, regional, e outros). Um critério que deve sempre existir, independente da situação, diz respeito à sensibilidade do indicador ao manejo aplicado no solo (MOURA, 2010).

Os indicadores exercem uma função fundamental na geração de dados para a avaliação de sustentabilidade, indicando a direção, a prioridade das mudanças e direcionando um caminho de proposta para contribuir em um

desenvolvimento mais sustentável. Assim, um estudo com indicadores não apenas proporciona a construção de propostas de agroecossistemas mais adequados, através da transformação de dados em relevantes informações, mas também informações para a construção de estratégias políticas e de planejamento para um desenvolvimento sustentável (VERONA, 2008).

Conjuntos mínimos de indicadores de QS têm sido propostos para escalas de campo (DORAN E PARKIN, 1996; CASALINHO et al., 2007; LIMA et al., 2008; LIMA et al., 2011; LIMA et al., 2013), escalas regional (Brejda et al., 2000a, 2000b), e para as escalas nacionais (SPARLING e SCHIPPER, 2002, 2004; SPARLING et al, 2004). No entanto, atualmente ainda não há consenso sobre um conjunto definitivo de indicadores para o monitoramento da QS, nem sobre a forma como estes indicadores devem ser interpretados (SCHIPPER e SPARLING, 2000). Esta falta de consenso é, em parte, devido ao fato de que a QS é um conceito complexo e que as diferentes condições específicas do local do solo (naturais ou alteradas) podem ser desejáveis, dependendo da finalidade de uso do solo (LIMA et al., 2008).

Com relação a QA encontramos pesquisas onde, avaliam-se indicadores de QA, especificamente, para o consumo humano e para a irrigação (MERTEN E MINELA, 2002; VANZELA, 2004; CASALI, 2008; LIMA 2008; BORGES, 2009, GONÇALVES, 2009; RIBEIRO, 2009). Também encontramos publicações que envolvem pesquisas em solo e água conjuntamente, que definem sistemas agrícolas de forma a proteger estes recursos naturais (NATIONAL ACADEMY PRESS, 1993; LEONARDO, 2003; JUHÁSZ, 2005; MOURA, 2010).

Pesquisas que abordam sobre a QS e a QA em função do sistema de manejo tornam-se válidas para avaliação da sustentabilidade dos sistemas de base ecológica.

Assim, por meio da caracterização do agroecossistema, propõe-se nesta pesquisa definir um conjunto mínimo de indicadores que sirvam como referência para avaliação da qualidade do solo e da água de agroecossistemas.

Sendo assim a presente pesquisa tem como base a seguinte questão:

*“Que conjunto mínimo de indicadores podemos propor para os agricultores, a partir do estudo solo-água-manejo, como auxílio na avaliação e monitoramento da sustentabilidade de seus agroecossistemas familiares de base ecológica?”*

Com este propósito, a presente dissertação se encontra estruturada da seguinte forma:

Introdução: demonstra a justificativa do trabalho e a estrutura da dissertação.

Definição do Objetivo Geral e Objetivos Específicos da pesquisa.

Revisão da Literatura: expõe o conhecimento atual dos principais assuntos que embasam esta dissertação: agricultura familiar; agroecologia; recursos solo e água; indicadores de qualidade do solo; indicadores de qualidade da água; sistema de manejo agroecológico; relação solo, água e sistema de manejo, bem como sobre sustentabilidade agrícola.

Metodologia: relata o material e métodos utilizados para o desenvolvimento do estudo.

Resultados e Discussão: apresenta uma discussão sobre os principais resultados obtidos e suas implicações.

Conclusão: ressalta os resultados da pesquisa.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar em agroecossistema familiar, sob efeito de sistema de manejo de base ecológica, o desempenho de indicadores de qualidade física, química e biológica do solo e da água. E, a partir disto, estabelecer e propor um conjunto mínimo de indicadores de solo e água que sirvam como referência na avaliação da sustentabilidade do agroecossistema de base familiar e ecológica.

### **2.2 Objetivos específicos**

- 1) Avaliar indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da água;
- 2) Através das análises estatísticas multivariadas, definir um conjunto mínimo de indicadores de solo e água e
- 3) Propor para a família agricultora o conjunto de indicadores que servirão como referência na avaliação da sustentabilidade de seu agroecossistema familiar de base ecológica.

### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1 Agricultura Familiar**

Agricultura familiar é a atividade econômica em que os trabalhos em nível de unidade de produção são exercidos predominantemente pela família, mantendo ela a iniciativa, o domínio e o controle do que e como produzir, havendo uma relação direta entre o que é produzido e o que é consumido, ou seja, são unidades de produção e consumo (HILSINGER, 2007).

Os agricultores familiares são essenciais para a população rural quanto urbana, pela ocupação de mão de obra familiar envolvida e a quantidade e qualidade dos produtos oferecidos ao mercado (FINATO E SALAMONI, 2008).

A agricultura familiar apresenta papel fundamental quando abordado o assunto sustentabilidade, destacando-se como produtora de alimentos para a sociedade, como prestadora de serviços ambientais e estreitamente relacionada a situações sociais e econômicas dos países (VERONA, 2008).

Como subsistema inserido em um agroecossistema maior, a agricultura familiar, para ser sustentável deve contemplar parâmetros de sustentabilidade nas dimensões ecológica, social e econômica. No campo ecológico deve ter efeitos negativos mínimos no ambiente, evitando, inclusive, a liberação de substâncias tóxicas ou nocivas; deve preservar a fertilidade do solo; utilizar a água de modo a satisfazer as necessidades hídricas do ambiente e das pessoas, mantendo a estabilidade das reservas; promover a maximização de recursos do agroecossistema através da ciclagem de nutrientes; valorizar e conservar a diversidade biológica. Já em relação ao campo sócio cultural, deve promover a valorização do saber local em todo o processo de desenvolvimento; garantir a equidade no acesso às tecnologias; valorizar o potencial endógeno da comunidade e o controle local e democrático do meio ambiente. E no campo

econômico, deve garantir a reprodução das populações locais com qualidade; garantindo um sistema agroalimentar sustentável (NORENBERG, 2010).

### **3.2 Agroecologia**

A agroecologia surge como uma fusão entre diferentes ciências, como a agronomia e a ecologia (VERONA, 2008), fornecendo uma estrutura metodológica de trabalho para a compreensão mais profunda tanto da natureza dos agroecossistemas como dos princípios segundo os quais eles funcionam. Uma abordagem ultrapassando a visão unidimensional, na qual são integrados os princípios agrônômicos, ecológicos e socioeconômicos à compreensão dos agroecossistemas (ALTIERI, 2004).

Esta forma de fazer agricultura integra e articula conhecimentos de diferentes ciências, assim como o saber popular, permitindo tanto a compreensão, análise e crítica do atual modelo do desenvolvimento e de agricultura industrial, como o desenho de novas estratégias para o desenvolvimento rural e de estilos de agriculturas sustentáveis, desde uma abordagem transdisciplinar e holística (CAPORAL et al., 2004).

A agroecologia é um estudo de processos econômicos e de agroecossistemas e um agente para as mudanças sociais e ecológicas complexas que tenham necessidade de ocorrer no futuro a fim de levar a agricultura para uma base verdadeiramente sustentável (GLIESSMAN, 2001). De acordo com Altieri (2002) a agroecologia visa dar suporte científico ao desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável sob uma abordagem sistêmica dos fatores de produção. Na mesma linha de pensamento, porém a partir de uma base teórica mais voltada para uma abordagem acadêmica, Caporal et al (2002) identificam a agroecologia com um enfoque científico a partir de uma visão interdisciplinar, dando suporte a uma análise multidimensional da sustentabilidade, onde além dos pilares da sustentabilidade anteriormente propostos por autores como Altieri, (1998), quais sejam, o econômico, o ambiental e o social, propõe outras derivações, tais como culturais, éticas e políticas, a partir das quais definem que: “uma agricultura que trata apenas de substituir insumos químicos convencionais por

insumos 'alternativos', 'ecológicos' ou 'orgânicos' não necessariamente será uma agricultura ecológica” (CAPORAL et al, 2002).

Alguns princípios chave que a agroecologia utiliza para o desenho de agroecossistemas sustentáveis são: aumentar a reciclagem da biomassa e otimização da disponibilidade e fluxo balanceado de nutrientes; assegurar condições do solo favoráveis para o crescimento das plantas, em particular através do manejo da matéria orgânica e o aumento da atividade biológica do solo; minimizar as perdas devido a fluxos de radiação solar, ar e água, mediante o manejo do microclima, coleta da água e o manejo do solo através do aumento da cobertura; diversificar específica e geneticamente o agroecossistema no tempo e no espaço; aumentar as interações biológicas e dos sinergismos entre os componentes da biodiversidade promovendo processos e serviços ecológicos chave. Esses princípios podem ser utilizados para o desenho e manejo de qualquer agroecossistema através de diferentes estratégias, que em definitivo são a aplicação prática dos princípios no nível local (REINJNTJES et al., 1992).

A agroecologia provê o conhecimento e a metodologia necessária para o desenvolvimento de uma agricultura que seja, por um lado, ambientalmente adequada e por outro, altamente produtiva, socialmente equitativa e economicamente viável, contribuindo desta forma ao desenvolvimento rural sustentável (ALTIERI, 2006). Também provê a base científica de muitas das denominadas agriculturas alternativas tais como a agricultura biológica, a agricultura natural e a agricultura orgânica.

Portanto, a Agroecologia, mais do que simplesmente tratar sobre o manejo ecologicamente responsável dos recursos naturais, constitui-se em um campo do conhecimento científico que, partindo de um enfoque holístico e de uma abordagem sistêmica, pretende contribuir para que as sociedades possam redirecionar o curso alterado da coevolução social e ecológica, nas suas múltiplas interrelações e mútua influência (CAPORAL et al., 2004).

### **3.3 Recursos solo e água**

O solo tem um importante papel no meio ambiente, onde funciona como integrador ambiental e reator, acumulando energia solar na forma de matéria

orgânica, reciclando água, nutrientes e outros elementos e alterando compostos químicos (LAVKULICH, 1995). Esta importância está também evidenciada visto que um componente fundamental do solo, a matéria orgânica, tem origem no processo da fotossíntese, que transforma gás carbônico, oxigênio, hidrogênio e nutrientes minerais em compostos orgânicos clorofilados, também por ter dois importantes elementos químicos, não existentes no material de origem dos solos, carbono e nitrogênio, incorporados na matéria orgânica, na forma de compostos orgânicos ao longo do tempo de desenvolvimento do solo (RAIJ, 2004). Acrescenta-se, que o solo tem relevante função ecológica influenciando de forma positiva a qualidade ambiental e o funcionamento global da biosfera.

O solo é um dos recursos naturais vitais para o funcionamento do ecossistema terrestre e representa um balanço entre seus componentes químicos, físicos e biológicos para promover a sustentabilidade dos seres vivos que fazem parte dele. Os principais componentes do solo incluem água; minerais inorgânicos em partículas individualizadas nas frações granulométricas areia, silte e argila; formas estáveis da matéria orgânica, derivadas da decomposição pela biota do solo; organismos vivos como minhocas, insetos, microrganismos, algas e nematoides, e gases do ar como  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $NO_3$  (MOURA, 2010).

No caso das atividades relacionadas à agricultura e meio ambiente, as principais funções do solo são: a) prover um meio para o crescimento vegetal e habitat para animais e microrganismos; b) regulação do fluxo de água no ambiente; e c) servir como um tampão ambiental na atenuação e degradação de compostos químicos prejudiciais ao meio ambiente (LARSON e PIERCE, 1994).

A água é um recurso essencial à sobrevivência de todos os seres vivos e o seu fornecimento em quantidade e qualidade é fundamental para a perfeita manutenção da vida humana. Em termos quantitativos, o volume total de água existente na terra é constante e apenas 2,5% deste é água doce. Contudo, da parcela de água doce, somente 0,3% constitui a porção superficial de água presente em rios e lagos, as quais estão passíveis de exploração e uso pelo homem (CASALI, 2008).

No entanto, os recursos hídricos vêm sendo modificados por ação antrópica, o que acaba resultando em prejuízo na qualidade e disponibilidade de água. Devido a isso tem a necessidade crescente do acompanhamento das alterações da qualidade de água, de forma a não comprometer seu aproveitamento múltiplo e minimizar os impactos negativos ao meio ambiente (FRANCO, 2008).

Diante de uma região onde a agricultura irrigada é uma realidade para atender a necessidade hídrica das mais diversas culturas, a má qualidade e redução da disponibilidade hídrica, pode comprometer o desenvolvimento regional. Os fatores que mais influenciam na qualidade da água são o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, bem como o tipo do uso e o manejo do solo. A determinação do uso e ocupação de um recurso hídrico permite a identificação dos diferentes usos do solo e favorece ao planejamento hidro-agrícola e ambiental da área (SANTOS et al., 2011).

O uso intensivo da água na irrigação pode gerar diversos impactos ao ambiente. Telles e Domingues (2006) citam alguns desses impactos ocasionados pela irrigação como depleção excessiva da vazão ou do nível do curso d'água, rebaixamento do lençol freático, salinização do solo, disseminação de doenças de veiculação hídrica e contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Ações antrópicas que acabam interferindo diretamente e/ou indiretamente no uso da água na agricultura irrigada, tanto em termos de quantidade e qualidade. Água de boa qualidade é de extrema importância para obtenção de produtos saudáveis e também no desempenho dos equipamentos de irrigação.

Os impactos da agricultura irrigada podem ser minimizados com a adoção do conceito de desenvolvimento sustentável, para guiar o equilíbrio exato entre a produção e o uso dos recursos naturais. O êxito da agricultura sustentável está no desenvolvimento de metodologias e instrumentos tecnológicos apropriados a cada situação e região, acessíveis e possíveis de serem adotadas pelo agricultor e capazes de promover o aumento de produtividade com mínimo de risco ao meio ambiente (FRANCO, 2008).

### 3.4 Qualidade do solo (QS)

Diversas definições de QS são encontradas na literatura. Este conceito de QS começou a ser elaborado no início dos anos 90 e percepções diferenciadas surgiram desde que o tema foi proposto. Porém, o principal avanço foi o aceite da sociedade acadêmica e não acadêmica à importância de avaliar a QS. O conceito mais simplificado para o termo foi formulado por Larson e Pierce (1991), como sendo “apto para o uso”. Já Doran e Parkin (1994), sugerem uma definição mais completa para QS, e mais usada atualmente, que envolve a capacidade do solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do meio ambiente e promovendo a saúde das plantas e dos animais. Eles propõem em seu ensaio que produção sustentável seja definida em termos de: a) produção de plantas e resistência à erosão; b) qualidade do meio ambiente como função da QS, da água e do ar e, c) saúde humana e animal, abrangendo a concepção de qualidade de alimentos, composição nutricional e segurança alimentar. A partir disso, outros autores definiram a QS como: “Contínua capacidade do solo para atuar como um importante sistema vivo, em diferentes ecossistemas, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade da água e do ar e promovendo a saúde da planta, do animal e do homem” (DORAN et al., 1996).

Um solo vivo pressupõe a presença de variadas formas de organismos interagindo entre si e com os componentes minerais e orgânicos do solo. Essa dinâmica biológica exerce uma função essencial na agregação do solo, de modo a torná-lo grumoso e permeável para o ar e para a água. Além disso, são esses organismos que mobilizam os nutrientes e os disponibilizam para as plantas (PRIMAVESI, 2008).

A QS também pode ser conceituada como a capacidade que um determinado tipo de solo apresenta, em ecossistemas naturais ou agrícolas, para desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à

sustentação de estruturas sócio-econômicas e de habitação humana (DORAN & PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997).

Segundo Doran e Jones (1996), a manutenção da QS, ou mesmo a sua melhoria, é fundamental para a sustentabilidade de agroecossistemas, visando à produção agrícola e à preservação ambiental. O manejo adequado dos solos agrícolas é o principal fator a ser considerado quando se almeja a produção agrícola sustentável, uma vez que os sistemas de preparo e os sistemas de cultivos interferem de modo significativo nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (LISBOA et al., 2012) as quais compõem o tripé sobre o qual se assenta a QS (DORAN e JONES, 1996).

Assim, para avaliar QS deve-se estudar algumas de suas propriedades que podem ser consideradas como indicadores. Um indicador eficiente deve ser sensível às variações do manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, compreensível e útil para o agricultor e, de mensuração fácil e barata (CONCEIÇÃO et al., 2002).

De acordo com Casali (2008), indicadores são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema. Devem ser fáceis de mensurar, possíveis de monitorar e prover uma informação disponível e confiável, e devem ser claros e simples para que se possam entender.

Os indicadores de QS podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos. De maneira geral, os indicadores são elaborados para cumprir com as funções de simplificação, quantificação, análise e comunicação, permitindo entender fenômenos complexos, tornando-os quantificáveis e compreensíveis, de maneira tal que possam ser analisados em um dado contexto e comunicar-se aos diferentes níveis da sociedade (CASALI, 2008).

Portanto, a compreensão do significado de QS implica em manejar esse recurso corretamente, dentro de sua capacidade, e não deixá-lo degradado para as gerações futuras, o que vai ao encontro dos princípios da sustentabilidade (CASALINHO, 2003).

### 3.5 Indicadores de qualidade do solo (IQS)

Como mencionado anteriormente, a seleção de indicadores deve ser baseada em critérios de escolha e adequação. Segundo Schmitz (2003) estes indicadores devem: abranger processos do ecossistema e relacionar-se à modelagens orientadas por processos; integrar processos e propriedades físicas, químicas e biológicas; ser acessíveis a diversos usuários e aplicáveis a condições de campo; ser sensíveis a variações de manejo e clima e se possível fazer parte de bases de solos já existentes.

Com base na relação entre solo e água, abaixo serão listados alguns indicadores de qualidade física, química e biológica do solo, importantes na função de retenção e infiltração de água no solo. Esses indicadores vêm sendo avaliados, indicando mudanças da qualidade do solo e da água em função das práticas de manejo adotadas no agroecossistema.

A qualidade física do solo descreve como o solo permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, córregos e subsuperfície, responde ao manejo e resiste à degradação, permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas, e possibilita o crescimento das raízes (REICHERT et al., 2003).

O conhecimento da qualidade física do solo é de extrema importância para avaliar o nível de degradação imposta pelo uso agrícola e para estabelecer estratégias de utilização e manejo sustentável (LIMA et al., 2007).

#### • Porosidade do solo

Segundo Lima et al. (2007), a porosidade é importante para o adequado crescimento das plantas, que necessitam de uma estrutura que possibilite uma área de contato entre raízes e o solo, que assegure a obtenção de água e nutrientes e um suficiente espaço poroso para o fornecimento adequado de oxigênio.

O espaço poroso do solo é constituído por cavidades de diferentes tamanhos e formas, dependentes do arranjo das partículas sólidas, que influencia na aeração, na condução e retenção de água, na resistência à penetração das raízes das plantas, bem como na sua ramificação e conseqüentemente, no aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis

(TIMM et al., 2009). Segundo Juhász (2005), o espaço poroso do solo é mais importante para o movimento da água no solo do que para a penetração das raízes.

A porosidade reflete o efeito do manejo do solo, podendo sofrer alteração na referida relação macroporosidade e microporosidade, pois frequentemente reduz os poros de maior diâmetro, verificada com o uso do solo, que ocorre devido à quebra de agregados e conseqüentemente entupimentos de poros (AGUIAR, 2008). Os macroporos promovem a circulação de água no solo. Os microporos são responsáveis pela retenção de água. Sob o ponto de vista agrícola, a porosidade exerce, portanto, importância dentre outros fatores, na estimativa da infiltração, da drenagem e do movimento de água e crescimento de raízes (LIMA et al., 2007).

#### • **Densidade do solo**

A densidade do solo é uma propriedade física que reflete a estrutura do solo, que por sua vez definem as características do sistema poroso, sendo um importante indicativo das condições de manejo e, além disso, da permeabilidade e capacidade de armazenamento de água pelo solo. Além de ser um indicador da qualidade, a densidade é utilizada para determinar a quantidade de água e de nutrientes que existe no perfil do solo com base no volume, além de apresentar estreita correlação com a umidade do solo (RESENDE, 2009).

Segundo Resende (2009), o aumento do conteúdo volumétrico de sólidos traduz-se em aumento da densidade do solo e drástica redução da macroporosidade, da quantidade de água prontamente disponível à planta, e da aeração. Essas alterações, além de favorecerem a formação de ambiente redutor, com possibilidade de profundas alterações químicas, comprometem a infiltração de água e a penetração das raízes, tornando os solos mais suscetíveis à erosão.

#### • **Infiltração de água no solo**

A água é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, por isso, seu manejo racional é imperativo na maximização da produção agrícola. As relações entre água e produtividade congregam uma quantidade de variáveis,

pois, o reservatório dessa água é o solo que, temporariamente, a armazena, podendo fornecê-la às plantas conforme suas necessidades (SANTI, 2006).

Segundo Aratani (2008), a quantificação da infiltração de água no solo é considerada de grande utilidade na diferenciação dos efeitos de sistemas de preparo na movimentação de água no perfil.

As variações na velocidade de infiltração estão relacionadas com atributos tais como densidade do solo, macro e microporosidade, portanto, trata-se de um processo físico de extrema complexidade, dado que o solo é um meio heterogêneo, com ampla variabilidade espacial, apresentando características que sofrem alterações diferenciadas no tempo e no espaço (ARATANI, 2008).

#### • **Matéria orgânica**

A matéria orgânica (MO) é um importante indicador de qualidade de solo, pois exerce grande influência sob suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Dentre as propriedades físicas melhora principalmente a estrutura dos solos e estabilidade dos agregados o que resulta em uma melhor resistência do solo à erosão (CASALINHO, 2007). É um indicador que influencia, de forma direta, fatores como estabilidade de agregados, estrutura, infiltração e retenção de água, disponibilidade de nutrientes, atividade microbiana, capacidade de troca de cátions e emissão de gases para a atmosfera. Entretanto, as alterações na MO, em decorrência das práticas de manejo podem ser identificadas somente anos após o emprego periódico destas, de maneira que, se a perturbação for pontual, dificilmente a MO poderá ser utilizada como um indicador dos impactos promovidos (LISBOA et al., 2012)

De acordo com Timm et al. (2009), o termo MO do solo refere-se a todos 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.

O teor de MO é quimicamente muito reativo promotor das populações microbianas que atuam no processo de degradação, atuando na determinação da quantidade de água a ser mantida no solo (NIEWEGLOWSKI, 2006).

Segundo Mendonça et al. (2009), a MO mantém os solos agregados, preservando a porosidade e a capacidade de infiltração. Com a presença de árvores aumenta o aporte de MO nos solos, conservando a umidade, aumentando a capacidade de absorção e infiltração de água, reduzindo o risco de erosão e estimulando a atividade biológica.

Assim, a MO do solo refere-se a todo material orgânico contido no solo, incluindo a liteira, a biomassa microbiana, substâncias orgânicas solúveis em água e a matéria orgânica estabilizada (húmus). Esta propriedade do solo tem sido considerada como indicadora da qualidade do solo em virtude de sua suscetibilidade de alteração em relação às práticas de manejo e por correlacionar-se com a maioria das propriedades do solo (ARAÚJO et al., 2012).

#### • **pH do solo**

O pH controla a solubilidade de nutrientes no solo, exercendo grande influência sobre a absorção dos mesmos pela planta (GOMES et al., 2006).

O pH do solo é um parâmetro de grande importância, notadamente para os solos das regiões tropicais. Grande parte dos solos brasileiros apresenta problemas de acidez e, como principal consequência, pode ocorrer à presença de alumínio e manganês em quantidades tóxicas para as culturas. Aliada à elevada saturação de alumínio, ocorre deficiência de cálcio e magnésio, entre outros. Diante destes problemas, o sistema radicular das plantas desenvolve pouco, limitando a absorção de água e nutrientes (MELLONI et al., 2008).

Os solos podem ser ácidos devido à própria pobreza em bases do material de origem, ou a processos de formação que favorecem a remoção ou lavagem de elementos básicos como potássio, cálcio, magnésio, sódio e outros. Além disso, os solos podem ter sua acidez aumentada por cultivos e adubações. Em ambos os casos, a acidificação se inicia, ou se acentua, devido à remoção de bases da superfície dos colóides do solo. A origem da acidez do solo é causada por lavagem de cálcio e magnésio do solo pela água da chuva ou irrigação, remoção dos nutrientes pelas colheitas e utilização da maioria dos fertilizantes químicos (OLIVEIRA, 2005).

#### • **Capacidade de troca de cátions**

A capacidade de troca de cátions (CTC) representa a medida do poder de adsorção e troca de cátions do solo. A CTC é a quantidade de cátions que

um solo é capaz de reter por unidade de peso ( $\text{cmolc.Kg}^{-1}$  de solo). Constitui-se numa propriedade fundamental para a caracterização do solo e avaliação de sua potencialidade agrícola (RESENDE, 2009).

De acordo com Timm et al. (2009), a CTC está muito relacionada com os teores de matéria orgânica. A CTC reflete o poder de retenção de cátions que o solo tem, sendo que os fatores que alteram o poder de retenção de cátions também alteram a CTC. Por exemplo: se diminuir o teor de MO, também diminuirá a CTC do solo.

#### • Nitrogênio

A maior parte do nitrogênio do solo encontra-se em formas orgânicas que podem ser mineralizadas durante os cultivos por meio da hidrólise enzimática produzida pela atividade da microbiota do solo. A mineralização dos constituintes nitrogenados libera para a solução do solo, íons inorgânicos do nitrogênio, principalmente  $\text{NH}_4^+$  (amônio) e  $\text{NO}_3^-$  (nitrato) (GIANELLO et al., 2000).

As perdas de nitrogênio no solo podem ser: remoção pelas culturas, lixiviação, erosão e volatilização. O nitrogênio excedente na agricultura é emitido para a atmosfera na forma de amônia ou de óxidos de nitrogênio, transportado da superfície do solo para as águas superficiais ou subterrâneas na forma de nitrato e, em menor quantidade, como íon amônio ou compostos nitrogenados orgânicos dissolvidos (AVILA, 2005).

De acordo com Merten et al. (2002), a lixiviação do nitrogênio esta intimamente relacionada com a capacidade de retenção de água e sua taxa de movimentação no solo. O nitrogênio oferece, assim, mais risco de contaminação da água subterrânea quando lixiviado (AVILA, 2005).

#### • Potássio

A disponibilidade de Potássio (K), bem como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes e da CTC do solo, além da ciclagem do nutriente pelas plantas. Em outras palavras, a disponibilidade depende das formas de K presentes e da quantidade armazenada em cada uma dessas formas, aspectos que contribuem na movimentação e dinâmica do K no perfil do solo (WERLE et al., 2008).

- **Fósforo**

Dentre os macronutrientes, o fósforo é o exigido em menor quantidade pelas plantas. Todavia, trata-se do nutriente aplicado em maiores quantidades em adubação no Brasil. A explicação para este fato relaciona-se com sua baixa disponibilidade nos solos do Brasil e, também, com a forte tendência do fósforo aplicado ao solo reagir com outros componentes, formando compostos de baixa solubilidade. Portanto, ao contrário da adubação com os demais nutrientes, com o fósforo existe a necessidade de acréscimos superiores à exigência nutricional das plantas, pois é necessário satisfazer também a exigência do solo, saturando os componentes consumidores do elemento (TIMM et al., 2009).

O fósforo causa grandes impactos ao ecossistema aquático de superfície, sendo o responsável pelo processo de eutrofização das águas (MERTEN et al., 2002). Tem sido frequentemente associado à contaminação ambiental em áreas de elevada concentração de animais e relacionado à contaminação via erosão ou escoamento superficial da água na superfície, em função do alto grau de adsorção nas partículas do solo (NIEWEGLOWSKI, 2006).

A atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 a 30 cm. Nestas camadas, o componente biológico ocupa uma fração de menos que 0,5% do volume total do solo e representa menos que 10% da MO. Este componente biológico consiste principalmente de microrganismos que realizam diversas funções essenciais para o funcionamento do solo. Os microrganismos decompõem a MO, liberam nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradam substâncias tóxicas (KENNEDY e DORAN, 2002).

Os microrganismos possuem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças na QS, característica que não é observada nos indicadores químicos ou físicos. Em alguns casos, alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo (ARAÚJO E MONTEIRO, 2007).

Entre os indicadores de QS alternativos a MO, os indicadores microbianos merecem especial atenção. As comunidades microbianas do solo são responsáveis por inúmeros processos e funções, como a decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes, síntese de substâncias húmicas, agregação e degradação de compostos xenobióticos. Indicadores bioquímicos, como atividade de enzimas, possuem elevado potencial para a avaliação da QS em sistemas agrícolas, por apresentarem alta sensibilidade, permitindo avaliações logo após a ocorrência das perturbações no solo. Também a biomassa microbiana é considerada um bom indicador de qualidade do solo. A análise do teor de carbono (C) e de nitrogênio (N) da biomassa microbiana do solo foi mais sensível para identificar as modificações promovidas por operações de preparo do que avaliações dos teores de C e N total do solo (LISBOA, 2009).

• **Biomassa Microbiana do Solo**

A biomassa microbiana do solo (BMS) possui um papel fundamental na manutenção e produtividade de agroecossistemas, pois constitui um meio de transformação para todos os materiais orgânicos do solo, além de atuar como reservatório de nutrientes para as plantas. A BMS constitui-se num importante componente ecológico, pois é responsável pela mineralização e decomposição dos resíduos vegetais e animais no solo (SCHMITZ, 2003).

A biomassa microbiana é um dos componentes que controlam funções-chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de MO, ou transformações envolvendo os nutrientes minerais. Representa, ainda, uma reserva considerável de nutrientes, os quais são continuamente assimilados durante os ciclos de crescimento dos diferentes organismos que compõem o ecossistema. Conseqüentemente, os solos que mantêm um alto conteúdo de biomassa microbiana são capazes não somente de estocar, mas também de ciclar mais nutrientes no sistema (ARAÚJO E MONTEIRO, 2007).

É preciso avaliar as condições do solo, pois ele reflete o manejo que o agricultor utiliza. O conhecimento da variação da BMS reveste-se de grande importância na avaliação do efeito de sistemas de manejo no processo de degradação do solo (CORRÊA, 2007).

- **Mesofauna e Macrofauna**

A determinação da mesofauna do solo, certamente pode ser uma excelente ferramenta para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas nos sistemas de produção.

Os organismos do solo podem ser classificados conforme seu tamanho corpóreo. Na mesofauna, estão os organismos entre 0,2 e 4 mm, que se movimentam em fissuras, poros e na interface do solo, como por exemplo: os ácaros e colêmbolos, incluindo os proturos, dipluros, tisanuros e pequenos insetos (LAVELLE et al., 1994).

A atividade da mesofauna contribui para a estrutura do solo, criando um ambiente altamente fértil, aumentando consideravelmente a porosidade do solo, por meio da reorganização. Essa ainda influencia indiretamente a fertilidade do solo pela aceleração da mineralização dos nutrientes e a estimulação da atividade microbiana e distribuição de esporos (KROLOW, 2009).

A macrofauna do solo compreende os animais que são facilmente visíveis a olho nu, com o tamanho corporal maior que 1 cm e/ou com o diâmetro do corpo entre 2 mm e 20 mm (LAVELLE et al., 1994).

A macrofauna invertebrada do solo desempenha um papel chave no funcionamento do ecossistema, pois ocupa diversos níveis tróficos dentro da cadeia alimentar no solo e afeta a produção primária de maneira direta e indireta. Os invertebrados do solo alteram, por exemplo, as populações e a atividade de microrganismos responsáveis pelos processos de mineralização e humificação e, em consequência, exercem influência sobre o ciclo da MO e a disponibilidade de água e nutrientes assimiláveis pelas plantas (KROLOW, 2009).

- **Respiração do solo**

A respiração do solo é a oxidação biológica da MO a CO<sub>2</sub> pelos microrganismos aeróbios e ocupa uma posição chave no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres. A avaliação da respiração do solo é a técnica mais frequente para quantificar a atividade microbiana, sendo positivamente relacionada com o conteúdo de MO e com a biomassa microbiana (ARAÚJO E MONTEIRO, 2007).

A medida da respiração do solo é bastante variável e dependente, principalmente, da disponibilidade do substrato, umidade e temperatura. Os microrganismos respondem rapidamente a mudanças nas condições do solo após longos períodos de baixa atividade. Por exemplo, poucos minutos em seguida ao reumedecimento do solo ocorre aumento na respiração e mineralização do C e do N da MO do solo (BROOKES, 1995).

A combinação das medidas da biomassa microbiana e respiração do solo fornecem a quantidade de CO<sub>2</sub> evoluída por unidade de biomassa, denominada quociente metabólico ou respiratório (qCO<sub>2</sub>). O qCO<sub>2</sub> indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo também um sensível indicador para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (ARAÚJO E MONTEIRO, 2007).

### **3.6 Qualidade da água (QA)**

O comprometimento da QA dá-se por uma série de fatores que põe em risco a saúde das populações humana e animal e empobrecem o solo, afetando a economia das regiões. Dentre estes efeitos estão à alteração da qualidade das águas superficiais, a elevação dos custos no tratamento de águas para o consumo humano, o empobrecimento dos solos e o aumento na frequência e magnitude das enchentes (ESTRELA, 2008).

As principais atividades humanas que, cujos impactos nos recursos hídricos, do ponto de vista quantitativo e qualitativo, são relevantes, alterando, portanto, o ciclo hidrológico e a qualidade da água, são: a urbanização, o despejo de esgoto sem tratamento, a construção de estradas, o desvio de rios e construção de canais, a mineração, as hidrovias, a construção de represas, as atividades industriais, a agricultura, a pesca, a piscicultura, a introdução de espécies exóticas, a remoção de espécies críticas, a disposição de resíduos sólidos e o desmatamento nas bacias hidrográficas (BORGES, 2009).

As águas superficiais podem ser poluídas por atividades humanas de duas maneiras. A primeira é por meio de fontes pontuais e o segundo modo são as fontes não pontuais, ou difusas, como o escoamento superficial de áreas urbanas ou agrícolas (AVILA, 2005).

Na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo de água de forma concentrada no espaço, como, por exemplo, a descarga em um manancial de esgotos domésticos e industriais. Já na poluição difusa, os poluentes adentram o corpo de água distribuídos ao longo de toda sua extensão, como é o caso da poluição veiculada pela drenagem pluvial natural (BORGES, 2009).

O primeiro recurso natural que irá sofrer efeitos do uso da irrigação é o recurso hídrico, pois a aplicação desuniforme e incorreta proporciona desperdício de água e de insumos químicos que venham a ser aplicados via irrigação. O solo é outro recurso natural que pode sofrer o impacto destas aplicações excessivas que podem vir a causar tanto a compactação quanto a desagregação de partículas. O escoamento superficial pode causar erosão, transportando sedimentos e nutrientes, retirando a camada superficial e expondo horizontes mais profundos inférteis (TIMM et al., 2009).

O conteúdo de água no solo representa a capacidade do solo em fornecer água para as plantas. A principal fonte de água no solo é a chuva. Porém, uma parcela de água proveniente da chuva é interceptada pelo dossel das árvores, não atingindo a superfície do solo (JUHÁSZ, 2005).

Para classificar os corpos d'água visando assegurar seus níveis de qualidade e conseqüentemente seus usos preponderantes, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), normatizou através da Resolução nº 357 de 2005 as análises de condições e de padrões específicos.

Em termos de qualidade de água para consumo humano, a Portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 2914 de 12/12/2011 é a norma que aborda os procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e estabelece os padrões de potabilidade de água.

### **3.7 Indicadores de qualidade da água (IQA)**

Segundo Von Sperling (1996), os indicadores físicos estão associados aos sólidos presentes na água sendo que, com exceção dos gases dissolvidos, todas as impurezas encontradas no corpo hídrico contribuem para a carga de sólidos.

**• Sólidos**

Em águas naturais, a concentração de sólidos tem origem no processo de erosão natural dos solos e no intemperismo das rochas, impactando sensivelmente os mananciais hídricos que constituem o local de destino das partículas de solo removidas que acabam por alterar as características físicas e químicas da água (ESTRELA, 2008).

A classificação dos sólidos totais presentes na água pode ser determinada por suas características físicas e químicas. A determinação dos sólidos quanto ao tamanho das partículas é considerada pelo autor como o método de classificação mais prático, consistindo na separação, através de um processo de filtração, dos sólidos dissolvidos que se apresentam em dimensões menores dos sólidos em suspensão que apresentam dimensões maiores, ficando retidos em filtros no processo de análise (VON SPERLING, 1996).

O parâmetro físico denominado como sólidos em suspensão é constituído por partículas que apresentem diâmetros superiores a  $10^0\mu\text{m}$ . Definido como um poluente em recursos hídricos tem como principais fontes o esgoto doméstico e a drenagem superficial urbana e rural. Seus possíveis efeitos poluidores são caracterizados por problemas estéticos, formação de depósitos de lodos, adsorção de poluentes e a proteção que oferece a organismos patogênicos (VON SPERLING, 1996).

Os sólidos dissolvidos são constituídos de sais e MO e apresentam diâmetros inferiores a  $10^{-3}\mu\text{m}$ . São provenientes da drenagem superficial de áreas rurais e apresentam como possível efeito poluidor a salinidade excessiva causando prejuízos às culturas irrigadas, tais como toxicidade nas plantas e problemas de permeabilidade no solo (VON SPERLING, 1996). Nas águas naturais, os sólidos dissolvidos estão constituídos por carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos e, principalmente, nitratos de cálcio, magnésio, potássio, pequenas quantidades de ferro, magnésio e outras substâncias (ESTRELA, 2008).

**• Turbidez**

A turbidez como característica física acaba por se constituir em uma inferência da concentração de partículas suspensas na água obtida a partir da passagem de um feixe de luz através da amostra, sendo expressas por meio

de unidades de turbidez (UT), também denominadas unidades de Jackson ou Nefelométrica de turbidez (GONÇALVES, 2009).

Sua origem pode ser natural, como partículas de rocha, argila e silte, algas e outros microrganismos, e/ou antropogênica como despejos domésticos, microrganismos e erosão (VON SPERLING, 1996).

A turbidez limita a penetração de raios solares, restringindo a realização da fotossíntese que, por sua vez, reduz a reposição do oxigênio. A água pode ser turva ou límpida. É turva quando recebe certa quantidade de partículas que permanecem, por algum tempo, em suspensão e podem ser do próprio solo quando não há mata ciliar, ou proveniente de atividades minerais, como portos de areia, exploração de argila, indústrias, ou mesmo de esgoto das cidades. A turbidez por si só, não causa danos, se for natural (GONÇALVES, 2009).

A turbidez tem se mostrado com alta sensibilidade ao manejo físico do solo, sendo, portanto um bom indicador da qualidade da água com relação ao arraste de sedimentos. Os sedimentos transportados pelo escoamento superficial (erosão) têm como destino direto os cursos d'água, interferindo na qualidade da água produzida (LEONARDO, 2003).

#### • **Potencial hidrogeniônico (pH)**

O pH representa a concentração de íons hidrogênio  $H^+$ , dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, sendo que sua faixa de variação é de 0 a 14 (VON SPERLING, 1996).

A medida de pH indica o balanço entre ácidos e bases na água e é a medida da concentração de íons de Hidrogênio na solução. Os valores de pH são indicativos do poder solvente da água, assim, reatividade química de rochas e solos (NIEWEGLOWSKI, 2006). O pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre (GONÇALVES, 2009).

As medidas de pH são de extrema utilidade, pois fornecem inúmeras informações a respeito da qualidade da água. Nas águas naturais as variações deste indicador são ocasionadas geralmente pelo consumo e/ou produção de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), realizado pelos organismos fotossintetizadores e pelos fenômenos de respiração/fermentação de todos os organismos presentes na água, produzindo ácidos orgânicos fracos (GONÇALVES, 2009).

**• Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica é uma expressão numérica da capacidade que uma água apresenta de conduzir a corrente elétrica. Representa uma medida indireta da concentração de poluentes por indicar a quantidade de sais existentes na coluna de água que estão relacionados com as concentrações iônicas e com a temperatura do corpo hídrico (CETESB, 2003 apud ESTRELA, 2008).

De acordo com Estrela (2008), os sais presentes na água de irrigação podem ser provenientes, além das fontes primárias (rocha e o solo), da água de drenagem e intrusão salina. A qualidade da água de irrigação pode variar segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos que são encontrados em quantidades pequenas, porém muitas vezes significativas. Levados pelas águas de irrigação, os sais se depositam e se acumulam no solo.

Para a irrigação, o principal problema do excesso de sais na água é que após a sua deposição no solo, estes se acumulam à medida que a água é evaporada ou consumida pelas culturas podendo resultar em salinização do solo (ESTRELA, 2008).

Portanto, os efeitos negativos da salinidade estão diretamente relacionados ao crescimento e rendimento das plantas e, em casos extremos, na perda total da cultura. Pode, inclusive, prejudicar a própria estrutura do solo, pois a absorção de sódio pelo solo, proveniente de águas dotadas de elevados teores deste elemento, poderá provocar a dispersão das frações de argila e, conseqüentemente, diminuir a permeabilidade do solo (LIMA et al., 2010).

**• Nitrato**

O nitrogênio é essencial aos organismos vivos porque é um dos mais importantes constituintes das proteínas. Nas formas de nitrito e nitrato que são fontes inorgânicas de nitrogênio, é importante para plantas e organismos transformarem o nitrogênio inorgânico em orgânico (LIMA, 2008).

No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia, nitrito e nitrato (ROMA, 2008).

O problema que vem afetando a qualidade da água em todo mundo é a presença de substâncias químicas nocivas ao homem e aos animais. No meio rural, podemos destacar a presença de nitratos, pois a adubação das culturas

com adubos químicos e orgânicos pode levar ao aparecimento desses compostos químicos na água de abastecimento (MAXIMO, 2009).

A contaminação da água por nitrato é frequente, devido ao uso de fertilizantes químicos na agricultura e dos dejetos de animais domésticos. Por outro lado, tem sido demonstrado que práticas de fertilização orgânica produzem colheitas com níveis mais baixos de nitrato, quando comparados aos das colheitas convencionais (SANTOS et al., 2005).

O nitrato é considerado a principal forma de nitrogênio associada à contaminação da água pelas atividades agrícolas. Isso ocorre pelo fato de este ser fracamente retido nas cargas positivas dos colóides, tendendo a permanecer mais em solução, principalmente nas camadas superficiais do solo, nas quais a MO acentua o caráter eletronegativo da fase sólida (repelindo o nitrato). Na solução do solo, este elemento fica muito propenso ao processo de lixiviação e ao longo do tempo pode haver considerável incremento de seus teores em águas profundas (JADOSKI, 2010).

A presença de agentes patogênicos e a possibilidade de transmissão de doenças veiculadas pela água é um aspecto de grande relevância em relação à qualidade da água. No entanto, a detecção desses agentes, como protozoários, vírus e bactérias é muito difícil, dada as suas baixas concentrações em uma amostra de água (CORRÊA, 2007).

#### • **Coliformes**

O grupo dos coliformes é constituído por bactérias em forma de bacilo, gram-negativas, não formadoras de esporos, facultativas, que fermentam a lactose com produção de ácido e gás, dentro de 48 horas, à temperatura de 35 °C (APHA, 1998). Este grupo pode ser dividido em coliformes totais e coliformes fecais (termotolerantes), que são utilizados na avaliação de condições higiênico-sanitárias do ambiente. Os coliformes fecais abrangem os gêneros *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*, sendo a *Escherichia coli* o principal indicador de contaminação fecal, pois é um habitante comum do trato intestinal de homem e animais. Sua detecção indica a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos (CARGNIN et al., 2006). No meio rural, as principais fontes de abastecimento de água são os poços rasos e nascentes, fontes bastante susceptíveis a contaminação (MAXIMO, 2009).

Quando se objetiva conhecer a qualidade higiênico-sanitária da água é importante realizar análises microbiológicas tanto durante o período de chuva como no período de estiagem. Em muitas ocasiões existe uma relação direta entre a quantidade de chuva e a profundidade das águas subterrâneas. A chuva facilita o transporte de bactérias patogênicas, que chegam ao solo através da deposição inadequada de resíduos orgânicos no meio rural, até as águas subterrâneas e esses agentes podem sobreviver, nessas águas, colocando em risco a saúde dos consumidores (MAXIMO 2009).

Segundo Maximo (2009), a água de escoamento superficial, durante o período de chuva é o fator que mais contribui para a mudança da qualidade microbiológica da água. A precipitação tem um efeito determinante na contaminação de águas subterrâneas por microrganismos, promovendo a penetração destes no solo pela ação de arraste provocado pela água da chuva.

A persistência dos coliformes no solo depende de fatores como o tipo e a densidade dos microrganismos nos dejetos, condições físico-químicas do solo, condições atmosféricas, interações biológicas e métodos de aplicação dos dejetos no solo (CARGNIN, 2006).

## **2.9 Sistema de manejo**

### **• Relação solo, água e sistema de manejo**

O manejo dos agroecossistemas, numa perspectiva voltada à sustentabilidade, passa pelo uso racional dos recursos naturais, como o solo, por meio do aumento da eficiência da ciclagem e retenção de nutrientes no sistema. Para isso deve-se considerar a disponibilidade de nutrientes no solo e a capacidade do sistema gerar biomassa vegetal fertilizante (FERREIRA, 2005).

Quantificar as alterações que ocorrem nas propriedades do solo, devido à intensidade de seu uso e manejo, tem sido uma ferramenta muito utilizada para monitorar a QS, contribuindo para tornar os sistemas de produção mais sustentáveis (MOURA, 2010).

Uma das principais metas da pesquisa em manejo de solos é identificar e desenvolver sistemas de manejo adaptados às condições edafoclimáticas,

sociais e culturais regionais. Do ponto de vista técnico, o sistema de manejo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da QS e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas em longo prazo (RESENDE, 2009).

A QA é função das condições naturais, do uso e do manejo do solo. É afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica. A interferência do homem como na aplicação de agroquímicos no solo, contribui na introdução de compostos na água, alterando a sua qualidade (GONÇALVES, 2009).

Ademais, o uso intensivo da água na irrigação pode gerar diversos impactos ao ambiente. Telles e Domingues (2006) citam alguns desses impactos ocasionados pela irrigação como depleção excessiva da vazão ou do nível do curso d'água, rebaixamento do lençol freático, salinização do solo, disseminação de doenças de veiculação hídrica e contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Essas ações antrópicas acabam interferindo diretamente e/ou indiretamente no uso da água na agricultura irrigada, tanto em termos de quantidade e qualidade. Água de boa qualidade é de extrema importância para obtenção de produtos saudáveis e também no desempenho dos equipamentos de irrigação (FRANCO, 2008).

#### ● **Sustentabilidade de agroecossistemas**

A sustentabilidade na agricultura é tratada como “capacidade de um agroecossistema se manter produtivo através do tempo superando, por um lado às tensões ecológicas e por outro, as pressões de caráter socioeconômico”, observando que agroecossistema é um ecossistema artificializado pela ação humana para obter produtos com finalidades alimentares e de mercado. A sustentabilidade, no entanto, não é algo estático ou fechado em si mesmo, mas faz parte de um processo dinâmico que interage e está em movimento na busca do equilíbrio das estratégias de desenvolvimento nas dimensões econômicas, sociais e ambientais (CAPORAL e COSTABEBER, 2000).

Segundo Altieri (2004) a sustentabilidade agrícola pode ser definida como um conjunto de requisitos agroecológicos a satisfazer em qualquer unidade produtiva, independentemente de seu manejo, nível econômico, e

outras diferenças. Se esses requisitos são mensurados com iguais indicadores, seus resultados são comparáveis no mesmo agroecossistema ou entre diferentes agroecossistemas ao longo do tempo.

Desta forma as noções de sustentabilidade existentes, apesar das imprecisões conceituais, incorporam definições requisitos em comum, como: a manutenção em longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola, o mínimo de impactos sobre o meio ambiente, retornos adequados aos produtores, otimização da produção das culturas com menor dependência de agroquímicos, satisfação das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais (BARBOSA LOPES, 2001).

É importante definir que agroecossistemas são sistemas ecológicos modificados pelo ser humano para produzir comida, fibra ou outro produto agrícola. Eles têm frequentemente estrutura e dinâmica complexa, mas sua complexidade surge primeiramente da interação entre os processos socioeconômicos e ecológicos. Os estudos sobre agroecossistemas se concentram nos fluxos de energia e ciclos de materiais e fornecem uma compreensão valiosa dos agroecossistemas. Entretanto, eles apenas vêem uma parte da sua complexidade e oferecem pouco subsídio para a compreensão necessária. Neste contexto, os agroecossistemas podem ser caracterizados por um conjunto de propriedades dinâmicas, que não apenas descreve o seu funcionamento essencial, como também fornecem critérios capazes de gerar empregos na evolução de projetos do desenvolvimento da agricultura, em todos os níveis de intervenção (RESENDE, 2009).

Para Altieri (2002), os agroecossistemas são considerados como ecossistemas de cultivo relativamente simples, onde a principal unidade funcional, ou seja, o componente principal é representado pelas plantas cultivadas. Já para Gliessman (2000), o conceito de agroecossistema permite analisar um local de produção agrícola com ferramentas teórico-metodológicas fundamentadas na ciência ecológica.

Promover a sustentabilidade de um agroecossistema depende de que seu manejo leve a otimização de processos como a disponibilidade e equilíbrio no fluxo de nutrientes, a proteção e conservação da superfície do solo, a preservação e integração da biodiversidade, e a exploração da adaptabilidade

e complementaridade no uso dos recursos genéticos vegetais e animais. O objetivo é, portanto, trabalhar com sistemas agrícolas complexos onde as interações ecológicas e sinergismos entre os componentes biológicos dos sistemas, criem, eles próprios, a fertilidade do solo, a produtividade e a proteção das culturas (ALTIERI, 2002). Para Gliessman (2001), através da avaliação da sustentabilidade de um agroecossistema se pode identificar características específicas dos agroecossistemas que constituam peças-chave em seu funcionamento e determinar em que nível ou condição esses parâmetros devem ser mantidos para que o funcionamento sustentável possa ocorrer.

Segundo Ferreira (2005), um sistema sustentável de uma área agrícola deve incorporar a proteção dos recursos bióticos e abióticos, enquanto mantém um nível aceitável da economia local e alcança condições sociais satisfatórias. A complexidade da sustentabilidade, dada ao seu caráter multifuncional, permite que se assuma que esta nunca será alcançada na sua plenitude, mas esforços devem ser realizados no sentido de aproximar-se dela. A sustentabilidade pode ser vista como uma construção social, por conseguinte, é um processo regional exclusivo, não podendo ser reduzida a um conjunto de medidas tecnológicas focadas para a questão ambiental. Ela necessita de um sistema político mais descentralizado, o qual respeita a identidade regional e um controle local para os investimentos. Portanto, os métodos de avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas possuem uma dificuldade na determinação de limites, pois o agricultor está inserido em uma comunidade e em uma rede de inter-relações.

Portanto, a aproximação dos sistemas de produção agrícola com os ecossistemas naturais visa aumentar esta riqueza de interações biológicas e sinergismos, subsidiando a fertilidade do sistema com o aumento da eficiência na ciclagem e retenção de nutrientes e da resiliência dos sistemas, fortalecendo-os diante dos impactos climáticos ou advindos de desequilíbrios de populações de insetos ou de ocorrências de doenças (FERREIRA, 2005).

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 Localização**

A pesquisa foi desenvolvida em uma propriedade agrícola familiar, localizada no distrito Rincão da Caneleira, no município de Morro Redondo-RS, entre as coordenadas geográficas de 31° 32' 23.4" Sul e 052° 37' 40.9" Oeste. A propriedade possui uma área de aproximadamente de 37 ha. Este agroecossistema encontra-se em um processo de transição agroecológica há onze anos. A família agricultora desenvolve os seus trabalhos com sistemas diversificados de produção de base ecológica, principalmente, os sistemas de produção que compreendem os cultivos anuais de milho, feijão, frutíferas e oleráceas. Bem como avicultura colonial, leite e produtos processados (doces, cucas e pães). A comercialização dos produtos é realizada diretamente pela família agricultora através de feiras com produtos ecológicos nos municípios de Morro Redondo, Canguçu e Pelotas.

### **4.2 Clima**

De acordo com a classificação de Köppen, o local de estudo encontra-se sob a influência do tipo climático Cfa, mesotérmico, caracterizado por temperaturas moderadas, com média de temperatura anual de 17°C a 19°C, verões quentes e ocorrência de geadas no inverno. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano e a média anual é de 1400 mm (IBGE, 2006).

### **4.3 Relevo e Solos**

O relevo regional varia de ondulado a forte ondulado, com predomínio de vegetação de mata ou arbustiva rala (IBGE, 2006). As áreas avaliadas compreendem basicamente duas classes de solos, o Argissolo e o Neossolo, podendo-se também encontrar afloramentos rochosos. Estas classes foram identificadas através do mapa de solos elaborado a partir de levantamentos realizados pela EMBRAPA (2006).

#### **4.4 Caracterização dos sistemas de manejo nas diferentes áreas analisadas**

As principais práticas de manejo utilizadas e espécies cultivadas nas diferentes épocas de coletas são assim descritas:

Área 1- Cultivo de oleráceas – práticas de adubação com esterco de peru e de bovinos e cama de aviário, e adição de trichoderma.

Área 2 – Pastagem cultivada de aveia preta;

Área 3 – Pousio e cultivo de oleráceas - práticas de adubação com esterco de peru e cama de aviário, e adição de trichoderma;

Área 4 – Cultivo de girassol e milho – práticas de adubação com esterco bovino; e subsolagem.

Em ambas as áreas houve aplicação de calcário, cinza de casca de arroz e pó de rocha, além do preparo do solo ter sido feito com práticas de tração animal e mecânica.

#### **4.5 Coleta e Análise de água**

##### **4.5.1 Período e Pontos de Coletas de Amostras**

As amostragens foram realizadas, em três estações do ano (verão, outono e primavera), nos meses de janeiro, maio e outubro de 2012, nos diferentes pontos de captação que abastece o sistema de irrigação para as áreas de cultivo e na casa da propriedade, (água para consumo).

##### **4.5.2 Procedimento de Coletas**

As amostras foram coletadas manualmente, por meio da submersão de frascos a uma profundidade de 15 centímetros.

Os recipientes usados para a coleta e acondicionamento das amostras foram devidamente esterilizados.

As amostras destinadas às análises físicas e químicas foram coletadas em frascos com capacidade de 1 litro, constituído por matéria polímero de cor branca e opaca. Para as amostras destinadas às análises biológicas foram utilizados frascos de vidro, com capacidade de 200 mL. Os frascos

devidamente esterilizados foram cedidos pelo Laboratório de Química Ambiental (LQA), sendo todos eles preparados em função das especificidades e exigências de coleta de cada um dos parâmetros a ser determinado, bem como identificados com numeração referente ao ponto de coleta e, conseqüentemente, transcritos em planilha de campo.

No campo, as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo para a preservação das amostras e após encaminhadas para análise laboratorial.

#### **4.6 Indicadores para avaliação da Qualidade da Água**

Os indicadores selecionados para avaliar a qualidade da água (QA) foram definidos a partir de uma revisão bibliográfica, levando-se em consideração alguns critérios como: aqueles que são mais utilizados, aqueles que pudessem refletir uma relação entre solo-água-sistema de manejo, bem como, aqueles sensíveis ao manejo, reconhecidos cientificamente e pelos agricultores.

As análises dos indicadores da QA foram realizadas de acordo com a metodologia analítica (Tab. 1) descrita no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), no Laboratório de Química Ambiental (LQA), pertencente à Universidade Católica de Pelotas (UCPEL), localizado no município de Pelotas/RS.

**Tabela 1:** Indicadores químicos, físicos e biológicos da qualidade da água e métodos utilizados para sua determinação.

Indicadores de Qualidade da Água	Método	Referência
<b>Químicos</b>		
pH	Determinação através do phmetro	(APHA, 2012)
CE	Determinação através do condutivímetro	(TEDESCO et al., 1995)
Nitrato disponível	Destilação	(TEDESCO et al., 1995)
<b>Físicos</b>		
Turbidez	Determinação através do turbidímetro	(APHA, 2012)
ST	Filtragem	(APHA, 2012)
SS		
SD		
<b>Biológicos</b>		
Coliformes totais	Substrato enzimático <i>Colilert</i>	(APHA, 2012)
Coliformes fecais		

\*pH: potencial hidrogeniônico; CE: condutividade elétrica ST: sólidos totais; SD: sólidos dissolvidos; SS: sólidos suspensos.

#### 4.7 Avaliação da Qualidade da Água

A tabela 2 apresenta a classificação da QA de irrigação proposta por Vanzela (2004), descrevendo os indicadores utilizados na caracterização da QA e assim como os limites estabelecidos de acordo com as classificações.

**Tabela 2:** Classificação da qualidade da água de irrigação.

Classificação	Limites Estabelecidos			Referência
	Baixo	Médio	Alto	
Sólidos Suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	< 50	50 – 100	> 100	Nakayama & Bucks (1986)
Sólidos Dissolvidos (mg.L <sup>-1</sup> )	< 500	500 – 2.000	> 2.000	
pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 0,8	
Turbidez (UNT)	Até 40	-	> 40	Resolução nº 357/05 do CONAMA (2005): águas classe I
Condutividade elétrica (µS/cm a 25°C)	< 250	250 - 750	750 – 2.250	U.S.D.A. Agriculture Handbook nº 60

## 4.7 Coleta e Análises de Solo

### 4.7.1 Períodos e Pontos de Coletas de Amostras

Da mesma forma que ocorreram as coletas das amostras de água, as coletas das amostras de solo foram realizadas, em três estações do ano (verão, outono e primavera), nos meses de janeiro, maio e outubro de 2012. Os solos foram avaliados em quatro áreas, onde se encontram os principais sistemas de produção da propriedade, abaixo detalhadas.

Área 1: oleráceas (Fig. 1); área 2: pastagem (Fig. 2); área 3: pousio/oleráceas (Fig. 3) e área 4: girassol/milho (Fig. 4).



**Figura 1:** Área 1- oleráceas. Área de coleta de amostras de solo Propriedade da família Scheer, Morro Redondo/RS.



**Figura 2:** Área 2- pastagem. Área de coleta de amostras de solo. Propriedade da família Scheer, Morro Redondo/RS.



**Figura 3:** Área 3- pousio/oleráceas. Área de coleta de amostras de solo. Propriedade da família Scheer, Morro Redondo/RS.



**Figura 4:** Área 4- girassol/milho. Área de coleta de amostras de solo. Propriedade da família Scheer, Morro Redondo/RS.

#### 4.7.2 Procedimento de Coletas

Para avaliação da qualidade do solo (QS) foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, em três pontos aleatórios ao longo de cada área. As amostras indeformadas, foram coletadas com auxílio de anéis, na profundidade de 0-10 cm, para as análises físicas do solo. A partir do momento

de coleta, as amostras deformadas foram acondicionadas em sacos plásticos e utilizadas para a determinação de granulometria (%areia, %silte e %argila) e qualidade química, biológica e microbiológica do solo. Todas as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas para a preservação das mesmas até serem destinadas ao laboratório especializado para os procedimentos específicos de cada análise.

#### **4.8 Indicadores de Qualidade do Solo**

Assim como foi feita a escolha dos indicadores para avaliar a QA, os indicadores para avaliar a QS foram definidos a partir de uma revisão bibliográfica, levando-se em consideração alguns critérios como: aqueles que são mais utilizados, aqueles que pudessem refletir uma relação entre solo-água-sistema de manejo, aqueles sensíveis ao manejo, bem como reconhecidos cientificamente e pelos agricultores (Tab. 3).

**Tabela 3:** Indicadores físicos, químicos, biológicos e microbiológicos do solo e métodos utilizados para sua determinação.

<b>Indicadores</b>	<b>Métodos</b>	<b>Referências</b>
<p><b>Físicos</b></p> <p>Densidade do Solo (DS) Porosidade total, Macroporosidade e Microporosidade Granulometria (%areia, %silte e %argila) Velocidade Infiltração de água</p>	<p>Anel volumétrico</p> <p>Método do densímetro</p> <p>Método do cilindro</p>	<p>Embrapa, 2011</p> <p>USDA-ARS, 1998</p>
<p><b>Químicos</b></p> <p>pH</p> <p>Ca, Mg e Al Acidez trocável (H+Al) K e P CTC efetiva Matéria Orgânica (MO) Na, Cu, Zn, Fe, Mn</p>	<p>Determinação através do phmetro</p> <p>Extração com KCl Acetato de cálcio Uso do extrator de Mehlich Soma de cátions Oxidação da MO Extração com HCl 0,1M</p>	<p>Tedesco et al., 1995</p>
<p><b>Biológicos</b></p> <p>Mesofauna (Ácaros e Colêmbolos) Macrofauna (Minhocas)</p>	<p>Funil de Tüllgren</p>	<p>Bachelier, 1963</p> <p>USDA-ARS, 1998</p>
<p><b>Microbiológicos</b></p> <p>Carbono da biomassa microbiana (CBM) Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) Carbono orgânico (C. org) Matéria Orgânica (MO) Respiração Basal</p>	<p>Método de oxidação com dicromato</p> <p>Dicromato em meio ácido Walkley-Black Titulação HCl</p>	<p>Tedesco et al., 1995</p> <p>Stotzky (1965)</p>

As análises das amostras de solo (Tab. 3) foram realizadas nos laboratórios de química, física, biologia e microbiologia do Departamento de Solos Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.

#### **4.9 Análise estatística**

Para avaliação das análises estatísticas foram realizadas comparações de médias e análise multivariada. A comparação de médias foi feita pelo teste de LSD a 5% de probabilidade, referentes às variáveis de indicadores de qualidade do solo e água utilizando o programa Statistix 9.0.

A análise estatística multivariada ocorreu através da Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Agrupamento (AA), ambas com o auxílio do programa GENES versão 9.0 (Cruz, 2006) e, também, através da Análise de Correspondência (AC), com auxílio do programa SAS (KHATTREE & NAIK, 2000).

## 5. Resultados e Discussão

De acordo com os padrões de qualidade da água (QA) para irrigação (Tab. 2), estabelecidos por Nakayama & Bucks (1986) apud Vanzela (2004), as concentrações de sólidos em suspensão (SS) e de sólidos dissolvidos (SD) apresentaram baixos resultados em todas as áreas avaliadas da propriedade, com exceção da área G1 Irrigação (G1I) que apresentou teores médios de SS (Tab. 4). Estas baixas concentrações deve-se, provavelmente ao manejo ecológico do solo, que exige o mínimo de revolvimento do mesmo, influenciando as fontes de captação de água e assim evitando danos à QA. Segundo Timm et al. (2009) dentre estas práticas, a manutenção da vegetação ciliar, atua como uma barreira física entre os sistemas terrestres e aquáticos, reduzindo as perdas de solo pela erosão, o assoreamento dos açudes e a possibilidade de contaminação dos cursos d'água por sedimentos e resíduos.

**Tabela 4:** Valores dos atributos físicos, químicos e microbiológicos da qualidade água, propriedade da família Scheer, Morro Redondo, RS.

Áreas	IQA								
	Físicos				Químicos			Microbiológicos	
	ST	SD	SS	T	pH	CE	N	CT	CF
	.....mg.L <sup>-1</sup> .....			UNT	.....	µS/cm	mg.L <sup>-1</sup>	bactérias.100 mL <sup>-1</sup>	
<b>G1 Fonte</b>	252	210	42	86	6,8	52	0,3	615	58
<b>G1 Irrigação</b>	285	213	72	214	6,7	52	0,4	1317	16
<b>G3 Fonte</b>	143	134	9,0	6,0	7,1	84	0,5	1.458	497
<b>G3 Irrigação</b>	130	124	5,7	2,3	7,0	95	0,3	946	207
<b>Casa</b>	85,0	78,0	6,7	0,3	6,1	59	0,7	537	1

ST: sólidos totais; SD: sólidos dissolvidos; SS: sólidos suspensos; T: turbidez; pH: potencial hidrogeniônico; CE: condutividade elétrica; S: salinidade; N: nitratos; CT: coliformes totais e CF: coliformes fecais.

A concentração de SD (Tab.4) da água destinada ao consumo humano, ficou dentro do limite permitido pela Portaria do Ministério da saúde nº 2914/2011 que é 1000 mg L<sup>-1</sup>. Resultado que discorda do estudo de Casali (2008), que pesquisou sobre a QA destinada ao consumo humano das escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul, e obteve valores altos de SD, exemplificando que águas com um teor elevado de SD têm

implicações negativas, como gosto prejudicado e maiores chances de queima de resistências elétricas e entupimento de tubulações.

As concentrações de sólidos totais (ST), em todas as áreas da propriedade, apresentaram-se dentro do limite aceitável (até 500 mg.L<sup>-1</sup>) para irrigação, conforme a Resolução CONAMA 357/2005, Classe 1.

Com relação ao valor do pH de águas destinadas ao consumo humano, este deve ser mantido na faixa de 6,0 a 9,5, conforme a Portaria do Ministério da saúde nº 2914/2011. E também os valores de pH, encontraram-se dentro dos limites aceitáveis para irrigação (Tab. 4).

Em relação ao indicador turbidez (T), nas áreas G1 Fonte (G1F) e G1 Irrigação (G1I), apresentaram-se altos valores e nas demais áreas apresentaram-se valores dentro dos padrões de QA estabelecidos para irrigação (até 40 UNT). A T está associada ao excesso de sólidos e da carga orgânica e à presença de material em suspensão na água como argilas, detritos orgânicos, que impedem a passagem de luz, sendo muito utilizado para inferir-se sobre a perda da qualidade do solo (LEONARDO, 2003). Na área G1F, constataram-se animais que ficam em torno do açude usado como fonte de captação nesta área. Provavelmente os resíduos gerados por estes animais estão influenciando os altos valores de T.

O baixo valor de T obtido nas amostras de água da casa da família encontrou-se dentro dos padrões para consumo, de acordo com a Portaria do MS nº 2914/2011. Valores de T inferior a 5,0 UNT são os aceitáveis em água para consumo humano, mas é recomendável que a T seja a mais baixa possível. Segundo Leonardo (2003), a água destinada ao consumo deve ter T inferior a 5 UNT, porque o material em suspensão pode servir de proteção a microrganismos patogênicos presentes na água (LEONARDO, 2003).

Os valores do indicador CE (Tab. 4), de acordo com os padrões estabelecidos pelo *United States Salinity Laboratory Staff – Agriculture Handbook nº 60*, os quais são encontrados em Vanzela (2004), apresentaram-se baixos e foram classificados como de baixo risco a causar salinização no solo.

A CE da água é a sua capacidade de conduzir corrente elétrica, expressando a concentração total de sais solúveis ou a salinidade. A principal

consequência do aumento da concentração total de sais solúveis de um solo é a elevação do seu potencial osmótico, o que prejudica as plantas em virtude da redução do teor de água disponível no solo (LIMA, 2008).

O nitrato é a principal forma de nitrogênio encontrada nas águas. Concentrações de nitratos superiores a  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  demonstram condições sanitárias inadequadas, pois esta principal fonte de nitrogênio, são decorrentes de dejetos humanos e animais (MOURA, 2010).

Com relação as concentração do indicador nitrato (Tab. 4) obteve-se um valor muito baixo na água para o consumo dos agricultores. Resultado aceitável pela Portaria do Ministério da saúde nº 2914/2011, onde permite valores de até  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ . O consumo de águas com concentração de nitrato acima de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  aumentam as chances do desenvolvimento de doenças como metemoglobinemia, principalmente, em crianças, também ao câncer e nascimento de bebês com deficiências motoras e/ou mentais (CASALI, 2008).

As concentrações de nitrato na água para irrigação, apresentaram-se baixas e também dentro dos limites para irrigação (até  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Tab. 4). Estas baixas concentrações de nitrato encontrados no agroecossistema também podem estar relacionados com as práticas de manejo do solo. Como exemplo, a adubação realizada com resíduos orgânicos ao invés de adubação com agroquímicos e uréia. Segundo Jadoski et al. (2010), um exemplo de potencial de liberação de nitrato para a solução do solo é adubação com uréia  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , que é um dos principais tipos de adubo nitrogenado formulado empregado na agricultura, o qual apresenta 45% de nitrogênio (N) solúvel em água. No solo, o nitrogênio da uréia transforma-se em amônia ( $\text{NH}_3$ ) gasosa e nitrato.

Esta influência da variável nitrato, nas áreas avaliadas é positiva, visto que este indicador manteve-se dentro dos padrões de potabilidade e irrigação da água.

Íons de nitratos por não serem retidos na fase sólida do solo, geralmente ficam dissolvidos em sua solução, e podem ser lixiviados em maior ou menor grau, em função da percolação da água ao longo do perfil do solo, reduzindo sua disponibilidade para as plantas, com riscos de contaminação das águas de superfície e subsuperfície (JADOSKI et al., 2010). Assim, os baixos valores de nitrato, apresentados nesta pesquisa, podem também estar relacionados com a

velocidade de infiltração Moderadamente Rápida que a camada superficial solo estudado possui.

Em todas as águas analisadas no agroecossistema em estudo, detectou-se a presença de coliformes totais (CT) e coliformes fecais (CF). Conforme a Resolução CONAMA 357/2005, Classe 1, a irrigação de frutas que nascem rentes ao solo e são consumidas cruas, sem remoção de película exige um elevado padrão de QA a ser usada, porém, Mattos (2003), descreveu que a aplicação da água diretamente sobre o sistema radicular diminui a contaminação de folhas e frutos, caracterizando a irrigação localizada por gotejamento como um dos métodos mais seguros, quando o objetivo é evitar a contaminação de produtos agrícolas por organismos patogênicos de veiculação hídrica.

Nas áreas da propriedade encontravam-se instalados sistemas de irrigação por gotejamento, onde existia cobertura plástica sobre o solo e ocorria o contato da água de irrigação com as folhas e frutos. E a água captada na fonte era aplicada diretamente nas áreas agrícolas.

As bactérias do grupo CF são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal. Estas bactérias termotolerantes reproduzem-se ativamente a 44,5 °C são capazes de fermentar o açúcar e estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente. Por isso o uso destas bactérias como indicativo de poluição sanitária, mostra-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme total (MOURA, 2010). Nas áreas observam-se a presença de animais (vacas, cães, dentre outros) no entorno das fontes de captação, fato que pode justificar os percentuais elevados de coliformes fecais detectados nas amostras de água analisadas (Tab. 4).

A água consumida pela família agricultora apresentou contaminação por CT e CF, encontrando-se fora dos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria do Ministério da saúde nº 2914/2011. Conforme esta portaria, em amostras individuais procedentes de sistemas alternativos de abastecimento (poços, fontes, nascentes e outras formas de abastecimento sem distribuição canalizada), somente será tolerada a presença de coliformes totais na ausência de *E. coli*. No entanto, segundo Casali (2008) deve-se investigar a origem da

fonte de contaminação, tomar as providências imediatas de caráter corretivo e preventivo e, subsequentemente, realizar nova análise de coliformes.

A contaminação microbiológica da água também tem uma relação positiva com a falta de manutenção e limpeza dos sistemas de captação e de armazenamento de água. Quanto maior o prazo sem limpeza das caixas de água, por exemplo, maior será a possibilidade deste tipo de contaminação (CASALI, 2008).

Também se ressalta a prática muito utilizada em sistemas de manejo de base ecológica, como a aplicação de resíduos orgânicos de origem animal (esterco bovino, ovino e de aves). Estes resíduos quando mal manejado, torna-se problemático, pois, contribui para a contaminação microbiológica da água. Resíduos orgânicos no solo aumentam o risco da contaminação das águas subterrâneas, sendo, maximizado nos períodos chuvosos, quando ocorre o transporte deste material para os rios e fontes. E este risco pode acentuar-se no momento que tivermos a oportunidade de analisar o entorno das propriedades ou, com uma visão mais ampla, considerando a Bacia Hidrográfica onde o agroecossistema se encontra no ambiente. A água de escoamento superficial, durante o período de chuva, é o fator que mais contribui para a mudança da qualidade microbiológica da água (CASALI, 2008). Este escoamento superficial pode ser influenciado e facilitado pelo relevo ondulado, característica comum da paisagem onde o agroecossistema estudado é inserido.

A adubação orgânica de origem animal, provavelmente, influenciou na presença dos microrganismos fecais. Como foi dito anteriormente, ressalta-se também a presença de CF, na casa da propriedade, onde a água é consumida pela família. Neste caso, um tratamento de água adequado solucionaria o problema de contaminação.

Uma alternativa para a obtenção de uma água de qualidade para o consumo dessa família agricultora é por meio de um tratamento simplificado de água. A Embrapa Instrumentação Agropecuária, localizada em São Carlos, SP, desenvolveu um aparelho simples e barato para clorar água. O Clorador é um sistema que visa o saneamento básico no agroecossistema, é eficiente e pode ser montado pelo próprio agricultor. Sua finalidade é clorar a água em

propriedades rurais. Sendo assim, a água clorada poderá evitar doenças comuns, como: diarreia, hepatite, tifo e salmonelose. O consumo de água clorada na proporção correta não é prejudicial à saúde e combate à contaminação por fezes humanas e de animais (EMBRAPA, 2013).

Na avaliação da qualidade do solo (QS), cabe salientar que foi determinada a velocidade de infiltração da água no solo, avaliada pelo método de USDA-ARS (1998), feita na ocasião das coletas e classificada como Moderadamente Rápida.

Ademais, analisou-se também a granulometria (%areia, %silte e %argila) do solo nas áreas coletadas. A classe textural do horizonte superficial do solo foi classificada como Franco Argilo Arenosa.

Quando os indicadores da QS foram avaliados, os microrganismos tornaram-se os mais sensíveis indicadores de mudanças na QS, pois possuem a capacidade de dar respostas muito rápidas a mudanças no solo, característica que não é observada nos indicadores químicos ou físicos. Em alguns casos, alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo (ARAÚJO et al., 2007).

Os indicadores microbiológicos da QS, avaliados no agroecossistema apresentaram teores baixos de carbono orgânico (C.org), de matéria orgânica (MO) e de respiração basal (RB) (Tab. 5).

**Tabela 5:** Indicadores biológicos e microbiológicos da qualidade do solo, em 2012, da propriedade da família Scheer. Morro Redondo, RS.

Biológicos			Microbiológicos				
População de Ácaros	População de Colêmbolos	População de Minhocas	Cmic	Nmic	C.org	MO	Respiração Basal
.....Ind.cm <sup>-3</sup> .....			.....mg.Kg <sup>-1</sup> .....		g.100g <sup>-1</sup>	mg.Kg <sup>-1</sup>	µg CO <sub>2</sub> .g <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>
125	107	2	452,3	49,23	1,8	2,5	0,38

Cmic: carbono microbiano da biomassa; Nmic: nitrogênio microbiano da biomassa; C.org: carbono orgânico; MO: matéria orgânica; Ind.m<sup>-2</sup>: indivíduos por metro quadrado.

A redução de C.org é atribuída a baixa qualidade da MO, que provoca estresse na microbiota do solo, tornando-a incapaz de utilizar totalmente o

C.org (CARDOSO et al., 2009). Monteiro e Gama-Rodrigues (2004) relatam que a eficiência da biomassa microbiana na imobilização de carbono e nitrogênio está diretamente relacionada com a qualidade da MO. Araújo et al. (2007) discutem que, ao acelerar a decomposição de resíduos orgânicos diminui-se o tempo de resistência da MO no solo, remetendo em perda de carbono no sistema e maior emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

As maiores adições de carbono ocorrem em sistemas com culturas de cobertura, o que evidencia o seu potencial em aumentar as adições de carbono ao solo. Práticas de manejo como a adição de plantas de cobertura e de resíduos culturais ao solo são realizadas na propriedade estudada, mas, constata-se que não estão sendo eficazes para o aumento dos teores de C.org e MO neste sistema de base ecológica (AMADO et al., 2001).

Jackson et al., (2003) afirmam, que tanto o C.org do solo quanto o C da biomassa microbiana (C.mic) têm sido utilizados como indicadores de alterações da QS e da sustentabilidade de agroecossistemas, uma vez que estão associados às funções ecológicas do ambiente e são capazes de refletir as mudanças de uso do solo. Esse menor valor de C.org, segundo Simões et al. (2010), ocorre pela limitação de acúmulo de MO no solo, devido à alta taxa de decomposição e, ainda, à textura arenosa do solo, como observado neste estudo. Este resultado com relação à classe textural do solo, também corroboram com Bayer et al. (2000), que trabalharam em um solo de textura franco argilo arenosa, onde constataram menor proteção do teor de C.org. promovida por aquela granulometria em relação a um solo mais argiloso.

Segundo Larson e Pierce (1994) as taxas de mudanças da biomassa podem indicar, em longo tempo, a QS. Os solos que mantêm um alto conteúdo de biomassa microbiana são capazes não somente de estocar, mas também de ciclar mais nutrientes no sistema.

Segundo Karlen et al. (1994) as práticas de manejo que adicionam ou mantêm C. org. no solo parecem estar entre as importantes para restabelecer, manter ou melhorar a QS. Esta sensibilidade da MO às alterações no manejo do solo está, no entanto, relacionada com a camada do solo onde ela é avaliada. Isso porque a MO particulada existente na superfície do solo é a mais lábil de toda a MO do solo e, portanto, é a fonte de C.org mais sensível às

mudanças nas condições do solo. Deste modo, considerando essas particularidades, a MO tem sido considerada como um importante indicador de fertilidade e de QS (LEONARDO, 2003).

A MO possui diferentes funções, e a importância de cada uma varia com o tipo de solo, clima e uso da terra. Em geral, a função mais importante da MO é a reserva de nitrogênio e outros nutrientes necessários para o crescimento das plantas, e por consequência, o da população humana. Outras funções que poderiam ser citadas são: a formação de agregados estáveis, a proteção da superfície do solo, a manutenção das amplas funções biológicas incluindo a imobilização e liberação de nutrientes, a oferta de sítios de troca catiônica e a estocagem de carbono (MARION, 2011).

Apesar da MO encontrar-se numa faixa de apenas 1 a 6% em porcentagem de peso na maioria dos solos, quando esta é bem manejada, a quantidade e qualidade da MO levam a um aumento mais eficaz na disponibilidade de nutrientes e na diversidade biológica, além de melhorar as propriedades físicas e químicas do solo (ALTIERI, 2002).

Os resultados dos indicadores biológicos (Tab. 5) avaliados mostraram uma boa atividade de ácaros e colêmbolos no agroecossistema. Este resultado deve-se, provavelmente, as práticas de manejo de base ecológica (rotação de culturas, incorporação de MO, plantas de cobertura) que favorece a atividade destes organismos como componentes importantes da QS. Segundo Rieff (2010), ácaros e colêmbolos contribuem para a avaliação da sustentabilidade de práticas de manejos em sistemas agrícolas, sendo utilizados como indicadores de alterações na QS.

Estes resultados concordam com Morselli (2011) que afirma, de maneira geral, um sistema de manejo adequado das áreas de cultivo pode levar ao aumento da densidade populacional da fauna edáfica de modo a auxiliar na recuperação futura da estrutura e da fertilidade destas áreas, levando ao melhor desempenho das plantas sem o uso de agroquímicos.

Segundo Barros et al. (2003), a utilização de plantas de coberturas, por exemplo, contribuem para o aumento da adição de resíduos orgânicos ao solo e é outra forma de manejo adequado do solo, que aumenta a seu potencial produtivo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Quanto maior o acúmulo de biomassa no solo maior a recuperação e manutenção das propriedades biológicas, aumentando assim a diversidade da fauna edáfica.

Estudando a relação dos indicadores biológicos, Silva et al. (2011) verificaram que a maioria dos organismos da fauna edáfica, melhorou o solo devido, principalmente, à mobilização de nutrientes, fragmentação dos resíduos orgânicos e à mistura com o solo mineral, favorecendo a incorporação da matéria orgânica. Ademais, estes organismos desempenham também um importante papel na aeração e permeabilidade do solo, através de galerias construídas, facilitando a penetração das raízes.

A fauna do solo, que além de instrumento avaliador, também desempenha funções importantes no solo, como a formação de galerias que modificam a porosidade no solo e contribui com a aeração e permeabilidade, também é responsável pela liberação dos componentes inorgânicos, mineralização (DUCATTI, 2002).

O entendimento do solo como um corpo vivo significa considerar que todos os seus processos e componentes estão funcionalmente bem integrados. Portanto, a vida do solo e os seus processos vitais são expressos e regulados pela biota do solo. A regulação da biota: microrganismos (bactérias, fungos, actinomicetos e algas); microfauna (protozoários); mesofauna (colêmbolos, ácaros e nematóides) e macrofauna (minhocas, diplópodes ou miriápodes, insetos grandes), sobre a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, degradação de poluentes químicos e a sua forte influência sobre a estrutura do solo, fazem com que esses microrganismos e organismos e esses processos sejam naturalmente escolhidos como indicadores da QS (LEONARDO, 2003).

Nos estudos de Lima et al. (2007), as áreas orgânicas apresentaram expressiva diversidade biótica tanto no que se refere às plantas cultivadas como às nativas e à fauna, esta última estimulada pela total ausência de agrotóxicos, sendo constatada presença abundante de organismos pertencentes à macro e mesofauna do solo. Resultados destes autores corroboram com os resultados encontrados nesta pesquisa, onde se constata

uma presença significativa de organismos da mesofauna (ácaros e colêmbolos) do solo em áreas sob o sistema de base ecológica.

As áreas avaliadas sofreram influência no indicador minhocas, ocorrendo uma baixa população destes organismos no solo. Este resultado pode ser explicado, devido à baixa concentração de MO no solo. As minhocas apresentam a habilidade em proteger a matéria orgânica através da ingestão, aumentando a atividade microbiana e liberando a matéria orgânica decomposta envolvida por estruturas biogênicas nos coprólitos e nas galerias, e distribuição do húmus no solo (LAVELLE E SPAIN, 2001; BARETTA, 2007).

O indicador população de minhocas possui um apelo especial aos agricultores, por ser fácil de visualizar e coletar, podendo servir como indicador da cobertura vegetal, do uso, do manejo da QS e seu potencial produtivo (BROWN E DOMÍNGUEZ, 2010).

Esta baixa existência das minhocas, provavelmente, refere-se também aos teores baixos de C.org constatados neste estudo. De acordo com Lavelle et al. (2001), a qualidade e quantidade de MO produzida e depositada dentro do solo e na sua superfície, e o tipo e combinação de plantas usadas ou presentes no ecossistema, são importantes determinantes das populações e diversidade de minhocas em um determinado local. Agroecossistemas com proteção da superfície do solo e maior aporte de recursos orgânicos tendem a ter maiores populações de minhocas.

A comunidade de minhocas presente em um solo depende de várias características intrínsecas e extrínsecas do solo como: condições edáficas (tipo de solo, minerais predominantes, temperatura, pH, conteúdo de MO, umidade, textura e estrutura, tipo de vegetação e cobertura, históricas (especialmente humana, mas também geológica), topográficas (posição fisiográfica, inclinação) e climáticas (precipitação, temperatura, vento, umidade relativa do ar) do local (REYNOLDS & JORDAN 1975, LAVELLE 1996).

Os indicadores químicos de QS (Tab. 6), de acordo com interpretação referente ao manual de fertilidade do solo, apresentaram: teores de concentração da capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (Sat. B) e MO baixos; de pH e Cálcio (Ca), médios; teores de Magnésio (Mg), Fósforo (P) e Potássio (K) altos; teores dos micronutrientes Cobre (Cu), Zinco

(Zn), Ferro (Fe) e Manganês (Mn) muito altos (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004).

De um modo geral, a maioria dos trabalhos apontam para um aumento no teor de P, K, Ca e Mg na camada mais superficial do solo para sistemas de manejo que visam a sustentabilidade do solo (SOUZA e ALVES, 2003; OLIVEIRA et al., 2004; MERTEN e MIELNICZUK, 1991). Resultados que corroboram com os teores de P, K, Mg e Ca avaliados no agroecossistema em questão.

**Tabela 6:** Valores dos indicadores químicos da qualidade do solo da propriedade da família Scheer. 2012.

Químicos														
pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC ef	Sat. B	MO	P	K	Na	Cu	Zn	Fe	Mn
água 1:1	.....cmolc/dm <sup>3</sup> .....					.....%.....		.....mg/dm <sup>3</sup> .....			.....mg/dm <sup>3</sup> .....			
5,5	3,9	1,36	0,4	4,4	5,9	57	2,4	42,4	134,7	12,2	3,06	4,3	1875	32,7

pH: potencial hidrogeniônico em água; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: alumínio; H+Al: acidez; CTC efetiva: Capacidade de troca de cátions; Sat. B: Saturação de bases; MO: Matéria Orgânica; P: Fósforo; K: Potássio; Na: sódio; Cu: Cobre; Zn: Zinco; Fe: Ferro e Mn: Manganês.

Ressalta-se aqui o teor baixo de MO considerando, desta forma, que este resultado não expressa o efeito das práticas de manejo de base ecológica, que deveria aumentar o teor de MO no solo. De acordo com Mielniczuk (1999), para detectar aumento no teor de MO no solo, é necessária adição contínua de elevadas quantidades de material orgânico.

Como observado anteriormente, baixos teores geralmente ocorrem também pela limitação de acúmulo de C.org no solo, devido ao menor aporte de liteira, à alta taxa de decomposição e, ainda, à textura arenosa do solo (SIMÕES et al., 2010).

A rotação de culturas é uma das práticas de manejo necessária para aumentar o conteúdo de MO, melhorar a fertilidade e a produtividade do solo. A quantidade de resíduos vegetais provenientes desta prática varia largamente, dependendo da cultura e da forma da colheita (CALEGARI, 2002). Observa-se em relação ao sistema de manejo adotado, que a rotação de culturas é

realizada pela família agricultora por mais de onze anos, mas não está tendo o efeito satisfatório em relação ao aumento de MO no solo.

O incremento em MO no solo é um processo lento, o que exige um período de tempo geralmente longo para acontecer, sendo imprescindível que se elimine o revolvimento do solo e se utilizem culturas de cobertura com elevado aporte de massa seca. Fatores como: pedológicos (textura), temperatura e umidade do solo, tipo de preparo, sistemas de sucessão, rotação de culturas e condições climáticas, afetam o conteúdo e a capacidade de incremento da MO do solo (MIELNICZUK et al., 2003).

Em relação à baixa concentração da CTC efetiva, Lima et al. (2007), também encontraram em todas as áreas, cultivadas com algodão orgânico e convencional baixos teores de CTC, indicando que a matéria orgânica aplicada ou o tempo de manejo orgânico não foi suficiente para alterar a capacidade dos solos em reter cátions.

Nas áreas avaliadas, encontraram-se teores altos dos micronutrientes, Cobre (Cu), Zinco (Zn), Ferro (Fe) e Manganês (Mn) (Tab. 6). Já Silveira et al. (2002), encontram baixos teores dos mesmos micronutrientes em Latossolo Vermelho perférrico, textura argilosa, cultivado com milho no verão e feijão no inverno. Para estes autores esta deficiência de Cu, Zn, Fe e Mn, é verificada em solos com altos teores de MO, pois, em decorrência da sua ação quelante sobre estes íons, a medida que ela se decompõe, ocorre a liberação dos micronutrientes. Assim, a presença de MO no solo está associada com a disponibilidade, a quantidade e a retenção de alguns micronutrientes no solo, como Cu e Zn (SILVEIRA et al., 2002).

Na fase de transição para o sistema de base ecológica é acompanhada por mudanças no comportamento das propriedades químicas do solo e nos processos que afetam a sua fertilidade, enquanto as diferenças fundamentais observadas, ambas qualitativas e quantitativas, no fluxo e na distribuição dos nutrientes dependem do uso de plantas de cobertura e da aplicação de compostos e de esterco animal. Práticas estas que foram adotadas no sistema de produção da propriedade (CLARK et al., 1998).

Com relação aos indicadores físicos do solo, altos valores de porosidade total (Pt) e de macroporos (Ma) e um baixo valor de densidade (DS) foram encontrados (Tab. 7).

Observa-se nas áreas avaliadas do agroecossistema, a ausência do tráfego de máquinas para o preparo do solo, o não revolvimento do solo, o uso de adubos orgânicos como esterco de peru e bovino e a rotação de culturas, provavelmente colaboraram para a diminuição da DS e o aumento da Pt, resultando assim na melhor estruturação e qualidade física do solo. Segundo Resende (2009), solos sem revolvimento apresentam densidades menores, conseqüentemente estes possuem maior capacidade de retenção de água e as culturas, assim, terão capacidade de se desenvolver melhor.

**Tabela 7:** Valores dos indicadores físicos da qualidade do solo da propriedade da família Scheer. 2012.

Físicos						
Porosidade total	Macroporosidade	Microporosidade	Densidade do solo	Areia	Silte	Argila
.....%.....						
49,47	29,41	27,23	1,35	63,18	10,81	26,0

Os solos das áreas estudadas se caracterizam por apresentar textura Franco Argilo Arenosa. Associado a esta característica natural destes solos, são usados adubos orgânicos como esterco, que provavelmente poderiam colaborar para baixos valores de DS encontrados e altos valores de Ma. O efeito do teor MO na redução da DS tem sido também demonstrado em vários estudos dentre os quais se destacam os de Soane (1990); Rasmussen & Collins (1991); Franzen et al. (1994); Pikul & Zuzel (1994); Dao (1996) e Thomas et al. (1996). Entretanto, aqui neste estudo não se pôde constatar.

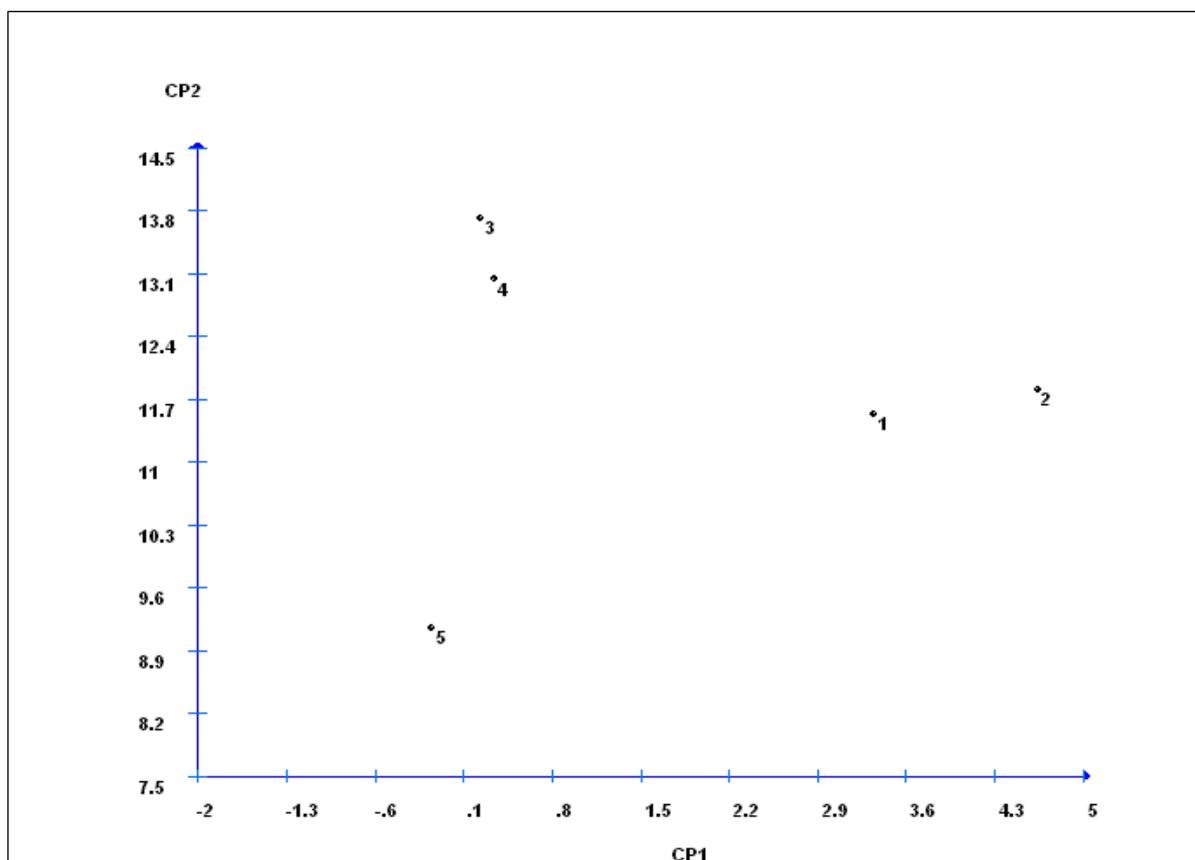
De acordo com a Análise de Componentes Principais (ACP), apresenta-se na tabela 8, a partir da combinação das áreas e variáveis, a ordem de importância das variáveis referentes aos indicadores de qualidade da água (IQA). Os indicadores microbiológicos de QA foram os que obtiveram maiores influências nas áreas avaliadas, seguidos dos físicos e dos químicos.

**Tabela 8:** Indicadores da qualidade da água e a respectiva ordem de importância das variáveis, conforme a análise de componentes principais.

Ordem de Importância	Indicadores de Qualidade de Água
1°	Coliformes fecais (CF)
2°	Nitrato
3°	Condutividade elétrica (CE)
4°	Coliformes totais (CT)
5°	Turbidez (T)
6°	Sólidos suspensos (SS)
7°	Sólidos dissolvidos (SD)
8°	pH
9°	Sólidos totais (ST)

A ACP revelou as variáveis de maior importância, aquelas que mais influenciaram para diferenciar as áreas avaliadas do agroecossistema, que foram os indicadores CF e Nitratos.

Neste contexto, a figura 5 mostra a dispersão das áreas em função das variáveis (indicadores de QA) avaliadas. Onde mostram a proximidade dos pontos 3 (G3F) com o 4 (G3I), dos pontos 1 (G1F) com o 2 (G1I), e já o ponto 5 (Casa) bem distinto dos demais pontos.



**Figura 5:** Dispersão das áreas da propriedade da família Scheer. Morro Redondo, RS. Ponto 1: G1F; Ponto 2: G1I; Ponto 3: G3F; Ponto 4: G3I e Ponto 5: Casa

Da mesma forma que foi feita a análise com os IQA, de acordo com a ACP, apresenta-se na tabela 9, a partir da combinação das áreas e variáveis, a ordem de importância das variáveis referentes aos indicadores de qualidade do solo (IQS).

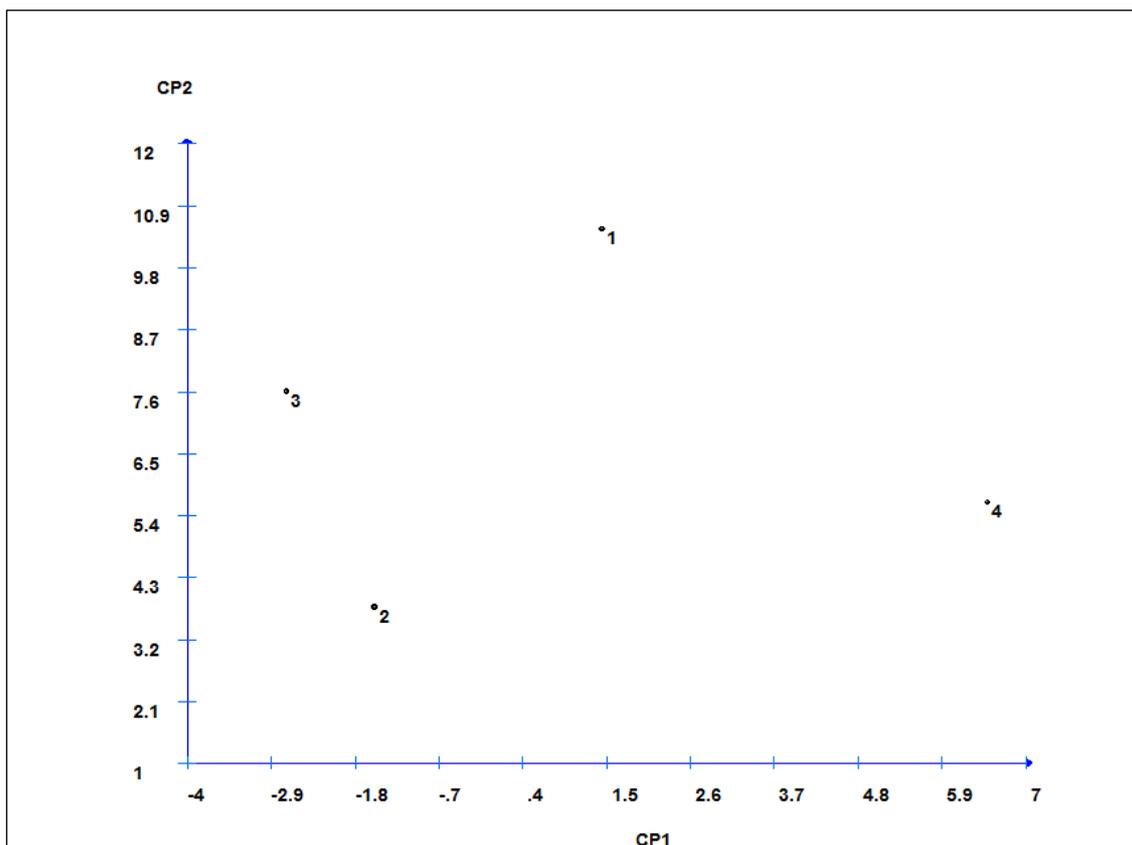
**Tabela 9:** Ordem de importância, através da ACP, das variáveis de qualidade física, química, biológica e microbiológica do solo. Propriedade da família Scheer. 2012

Ordem de Importância	IQS Físicos	IQS QUÍMICOS	IQS Biológicos	IQS Microbiológico
1°	Macroporosidade	Alumínio	Minhocas	Nitrogênio microbiano
2°	Densidade do solo	CTC efetiva		Respiração Basal
3°	-	-		Carbono orgânico

\*IQS: indicadores de qualidade do solo.

Nesta pesquisa, a ACP identificou as variáveis microbiológicas como sendo as que influenciaram na diferenciação das áreas com relação à QS, pois, obtiveram uma quantidade maior de indicadores em relação às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo estudadas nas áreas (Tab. 10). Resultados que concordam com os estudos de Leonardo (2003); Silveira et al. (2004); Campos et al. (2007); Acosta-Martínez et al. (2007) e Facci (2008), onde através da ACP, verificaram que os indicadores microbiológicos também foram identificadas como potenciais indicadores para o monitoramento da QS. Na pesquisa de Facci (2008), a ACP serviu para distinguir as áreas em função do manejo do solo e determinar quais são os indicadores importantes para caracterizá-las.

A figura 6 mostra a dispersão das áreas em função das variáveis da QS. Observa-se que os pontos: 1- Área 1 oleráceas; 2 – Área 2 pastagem; 3- Área 3 pousio/oleráceas e 4- Área 4 girassol/milho são bem distintos. O ponto 3 é intermediário entre os pontos 1 e 2 e o ponto 4 é o mais distinto entre eles.



**Figura 6:** Dispersão das áreas na propriedade Scheer. Morro Redondo, RS. 2012.

Aprofundando um pouco mais, segundo a Análise de Correlação, utilizando o Teste de Mantel, apresenta-se na tabela 10, a relação geral dos indicadores, através do índice de correlação das matrizes.

**Tabela 10:** Correlação das matrizes dos IQS.

Matrizes	Índice de correlação
F x Q	0,24
F x B	0,49
F x M	0,59
Q x B	0,40
Q x M	0,16
B x M	0,69

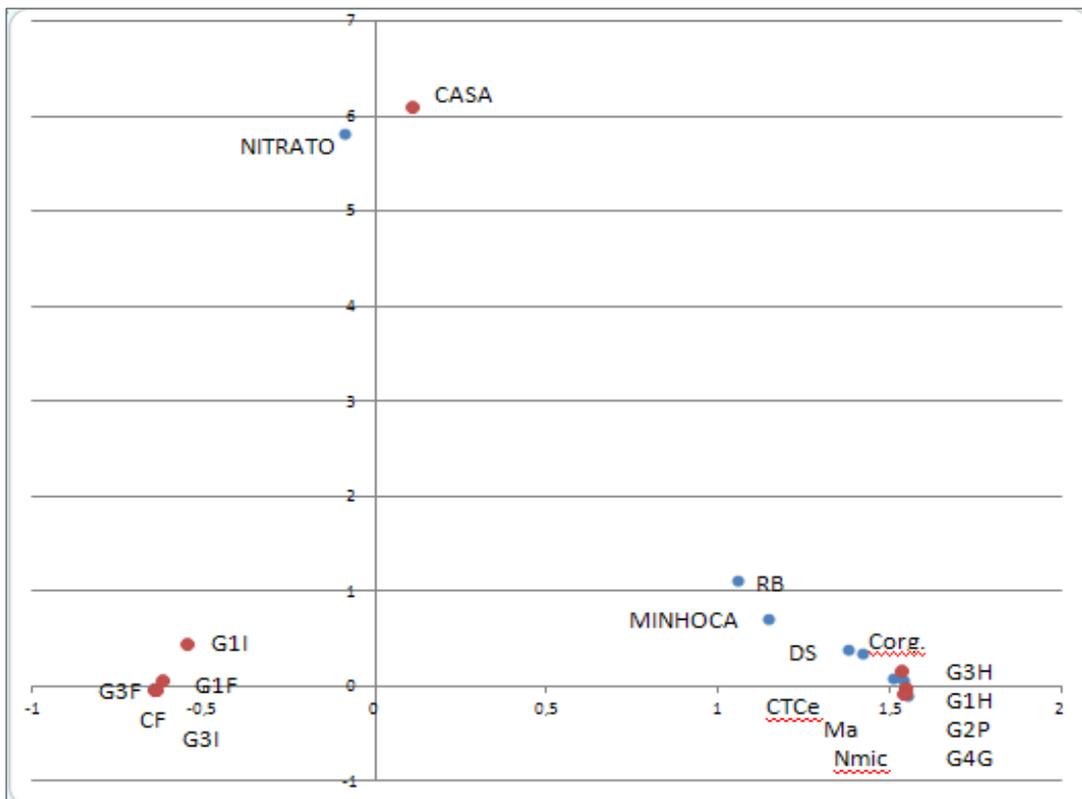
F: físicos; Q: químicos; B: biológicos; M: microbiológicos e IQS: indicadores de qualidade do solo.

A análise de correlação que considera as matrizes de dissimilaridade, devido ao Teste de Mantel, mostrou a correlação das matrizes: F x Q – não significativa; F x B – correlação maior que F x Q, porém não significativa; F x M – não significativa; Q x B – não significativa e Q x M – menor correlação, porém não significativa e B x M – maior correlação, mas, não significativa.

Nesta análise observa-se que os indicadores biológicos são os que têm maior correlação com os indicadores microbiológicos. De acordo com o índice de correlação, a ordem crescente das correlações é a seguinte: Q x M, F x Q, F x B, F x M, B x M, porém com correlações não significativas.

Retornando as análises de componentes principais (ACP), considerando as áreas e variáveis de solo e de água, constata-se a identificação de dez variáveis principais, as quais mais influenciaram na diferenciação das áreas em termos de QS e QA no agroecossistema em questão: macroporosidade, densidade do solo, alumínio, capacidade de troca de cátions efetiva, minhocas, nitrogênio microbiano, respiração basal, carbono orgânico, nitrato e coliformes termotolerantes. Estas variáveis identificadas, através da estatística multivariada, farão parte, portanto, do conjunto mínimo de indicadores do solo e da água, que será proposto para os agricultores deste estudo.

A partir da identificação da cesta de indicadores do solo e da água, que se mostraram sensíveis às práticas de manejo pelo sistema de base ecológica, realizou-se a Análise de Correspondência (AC), com o objetivo de apresentar, e entender a relação entre os indicadores pertencentes a esta cesta e as áreas de estudo (Fig. 7).



**Figura 7:** Análise de correspondência, mostrando a relação entre os principais indicadores de QS, de QA e as áreas do agroecossistema.

\*G1I: área G1 Irrigação; G1F: área G1 Fonte; G3I: área G3 Irrigação; G3F: área G3 Fonte; CF: coliformes fecais; RB: respiração basal; DS: densidade do solo; CTCe: Capacidade de troca de cátions efetiva; Ma: macroporosidade; Nmic: Nitrogênio microbiano; Corg.: carbono orgânico; G3H: área Pousio/Oleráceas; G1H: área Oleráceas; G2P: área Pastagem; G4G: área Girassol/Milho.

A análise, portanto, apresentou as seguintes relações: na área casa o nitrato é o indicador de QA que está influenciando; nas áreas G1 Irrigação (G1I), G1 Fonte (G1F), G3 Irrigação (G3I) e G3 Fonte (G3F), é o indicador coliformes fecais (CF). Já nas áreas G3H pousio/oleráceas (G3H), G1 oleráceas (G1H), G2 pastagem (G2P) e G4 girassol/milho (G4G) são os indicadores de QS C.org, o N.mic, a Ma, a CTC, a DS, a população de minhocas e a RB.

Constataram-se, novamente, através desta análise, que os indicadores microbiológicos são fundamentais para avaliação da QS, seguido dos físicos, químicos e biológicos. Segundo Lisboa (2009), indicadores microbiológicos constituem-se em importantes ferramentas para a determinação da QS, tendo em vista que os microrganismos desempenham papéis-chave em atributos

como a ciclagem de nutrientes, na agregação do solo e na decomposição de resíduos. Estes indicadores são susceptíveis a variações de acordo com as práticas de manejo adotadas, indicando que o agroecossistema pode estar evoluindo para um aumento ou redução da QS.

Observa-se nesta pesquisa que os indicadores microbiológicos (RB, Nmic e Corg), influenciaram na QS em todas as áreas avaliadas. Mas, seus baixos valores encontrados (Tab. 5) revelam que o sistema de base ecológica ainda não está sendo muito eficiente.

Um dos indicadores biológicos mais importantes é a biomassa microbiana do solo, que é a parte viva da MO do solo, pois atua como agente da transformação bioquímica dos resíduos adicionados ao solo e compostos orgânicos e como reservatório de nutrientes (CARNEIRO et al., 2009).

De acordo com Facci (2008), que pesquisou os indicadores microbiológicos da QS sob diferentes usos do solo, a atividade dos organismos é considerada um atributo positivo para a QS, sendo a RB um indicador sensível da decomposição de resíduos, do ciclo metabólico do C.org. do solo e de distúrbios do ecossistema. Entretanto, conforme Morris (2007), uma alta taxa de RB, pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera.

No caso dos indicadores físicos de QS, aqueles que mais influenciaram nas áreas avaliadas, foram a DS e Ma. As áreas que apresentaram menores valores de DS registram maior porosidade total do solo. Morris (2007), também encontrou, em sua pesquisa, valores baixos de DS, em áreas sob o cultivo orgânico, há dez anos, devido à prática de manejo adotada como a rotação de culturas.

O indicador CTC efetiva, foi o que influenciou na qualidade química do solo. Observam-se seus baixos valores, que possivelmente, referem-se ao baixo teor de MO e C.org. Segundo Mielniczuk (2008), a elevação da CTC está relacionada com a elevação dos teores de MO no solo.

Nas áreas desta pesquisa além das práticas de manejo, também se deve levar em consideração a classe textural do solo, que apresenta uma textura superficial mais arenosa, fato esse, que também pode influenciar na QS. Segundo Marion (2011), de modo geral os solos arenosos tendem a ter

baixo teor de MO, baixa fertilidade natural, reduzida capacidade de reter umidade e nutrientes, baixo teor de CTC e alta permeabilidade. Solos com esta textura exigem precisão no controle e manejo da água, geralmente incluindo irrigações mais frequentes, adubação adequada e equilibrada, quantidades mais frequentes e mais baixas de nutrientes por aplicação.

Os indicadores dinâmicos da QS estão sujeitos a alterações em espaços de tempo, sendo que a fração estável da MO pode mudar em anos ou em décadas, enquanto que o pH e a fração lábil da MO podem mudar em meses ou anos, entretanto a biomassa microbiana, a taxa de respiração, as taxas de mineralização de nutrientes e a Ma podem mudar em horas ou dias. Assim, a manutenção e/ou a melhoria da dinâmica da QS envolve principalmente aqueles atributos e/ou indicadores que estão mais sujeitos a alterações, perdas, esgotamentos e poluição, e são fortemente influenciados por práticas agronômicas (MARION, 2011).

Já na área casa o indicador que está influenciando na QA é o Nitrato. O baixo valor apresentado por este indicador deve-se as práticas de manejo, como a adição de resíduos orgânicos ao invés de resíduos químicos, que favorece o baixo risco de contaminação das águas por nitrato. Segundo Piovesan et al. (2009), concluíram que a aplicação de fertilizantes químicos causou aumento na concentração de nitrato na água, com valores da concentração de nitrato acima do limite máximo permitido pela legislação brasileira, indicando o potencial poluidor desta prática, principalmente em solos.

Portanto, pode-se ressaltar nesta pesquisa que as práticas de manejo de base ecológica, principalmente referentes ao uso frequente e intensivo de diferentes tipos de adubos orgânicos, em associação com a rotação de culturas, adubação verde, policultivos e a eliminação completa do uso de agrotóxicos, podem influenciar, levando em consideração as particularidades de cada sistema, na QS, na QA e, assim na sustentabilidade do agroecossistema.

Porém, os indicadores que compõe a cesta, propostos para avaliar a sustentabilidade deste agroecossistema, revelam que há necessidade de melhorias das práticas de manejo utilizadas pela família agricultora, nesta

etapa de transição agroecológica. O baixo teor da MO, em especial, chama a atenção para a QS estudados. Em relação à QA o alerta maior se refere à presença de coliformes fecais, nas águas que são utilizadas para irrigação das culturas e, também, para o consumo da família.

Os resultados da avaliação da QS evidenciaram que de acordo com o sistema estudado, considerando as práticas de manejo desenvolvidas, o solo apresentou, no geral, boas condições físicas, químicas e biológicas, porém, com alguns problemas específicos como o baixo teor de C.org. e o baixo teor de MO. Estes problemas são considerados relevantes na construção, e na transição, de agroecossistemas de base ecológica. Fica evidente a necessidade do aperfeiçoamento das práticas de manejo nestes sistemas agrícolas. Técnicas de manejo que influenciam positivamente sobre a QS, são reconhecidas como alternativas viáveis na busca da sustentabilidade dos solos agrícolas.

É neste contexto que o modelo de produção baseado na Agroecologia é de grande interesse para a sociedade, uma vez que esse sistema é baseado no uso de tecnologias de produção de baixíssimo impacto aos recursos hídricos (MERTEN E MINELLA, 2002). A agricultura poderá ser norteadada pela agroecologia por possuir fundamentos científicos e metodológicos para promover a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e também por ter uma base epistemológica que reconhece a interdependência existente entre o sistema social e o sistema ecológico, ou seja, a cultura antrópica em evolução com o ambiente natural. (SILVA et al., 2011).

## **6. CONCLUSÃO**

Sugere-se, a partir dos resultados obtidos, que a qualidade do solo e a qualidade da água, em agroecossistema familiar de base ecológica, podem ser avaliadas através de um conjunto mínimo dos seguintes indicadores: macroporosidade, densidade do solo, alumínio, capacidade de troca de cátions efetiva, minhocas, nitrogênio microbiano, respiração basal, carbono orgânico, nitrato e coliformes termotolerantes.

## 7. REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; MIKHA, M.M.; VIGIL, M.F. Microbial communities and enzyme activities in soil under alternative crop rotation compared to wheat-fallow for Central Great Plains. **Applied Soil Ecology**, v.37, p.41-52, 2007.
- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 89 p. Dissertação. (*Magister Scientiae*). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG, 2008.
- ALTIERI, Miguel. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**, Guaíba: Agropecuária Ed., 2002. 592 p.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4a ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 110p.
- ALTIERI, M.; NICHOLLS, C. Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. p. 141. In: MOURA, E.G.de e AGUIAR, A. das C.F. (org.). **O desenvolvimento rural como forma de ampliação dos direitos no campo: princípios e tecnologias**. São Luiz – MA: UEMA – Universidade Estadual do Maranhão, 2006. 286p.
- AMADO, T. J. C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 189-197, 2001.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 th ed. APHA, Washington, 1998. 1190p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 nd ed. APHA, Washington, 2012.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, July./Sept. 2007.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J. & LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:1099-1108, 2007.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. 2012. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. v.5, n.1 jan/abr. 2012.
- AUDEH, S. J. S.; LIMA, A. C. R.; CASALINHO, H. D.; SCHIAVON, G. A.; SILVA, J. B.; CARDOSO, J. H. Uso das terras e o desenvolvimento da agricultura familiar de base ecológica no território Sul do Rio Grande do Sul. **Cadernos de Agroecologia**, v.6, n.2, p.1-7, 2011.
- AVILA, V. B. **Relação entre o uso e manejo do solo em uma bacia rural e contribuição de nitrogênio, fósforo e sedimentos a corpos hídricos**. 130 p. Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia Brasília/DF, 2005
- BACHELIER, G. La vie animale dans les sols. **O.R.S.T.O.M.**, Paris. 1963. 279p.

BARBOSA LOPES, S. Arranjos Institucionais e a Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais: uma proposição metodológica. Dissertação de Mestrado. Desenvolvimento Rural. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo**. 2007. 159f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo, São Paulo.

BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E. C. M.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, Jena, v.47, p.273-280, 2003.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:599-607, 2000.

BORGES, L. B. **Avaliação da Qualidade da Água do Córrego Samambaia, Goiânia/GO.** Lucas Bernardes Borges - Anápolis: Universidade Estadual de Goiás- Mestrado em Engenharia Agrícola, 2009.

BREJDA, J.J., D.L. KARLEN, J.L. SMITH, AND D.L. ALLAN. 2000a. Identification of regional soil quality factors and indicators: II. Northern Mississippi Loess Hills and Palouse Prairie. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 64:2125–2135.

BREJDA, J.J., T.B. MOORMAN, D.L. KARLEN, AND T.H. DAO. 2000b. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 64:2115–2124.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.

BROWN, G. G. & DOMÍNGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas – o 3º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETAO3). **Acta Zoológica Mexicana**. Número Especial 2: 1-18. 2010.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. **Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 19:121-126, 1995.

CAMPOS, A.; OLESCHKO, K.; ETCHEVERS, J. Exploring the effect of changes in land use on soil quality on the eastern slope of the Cofre de Perote Volcano (México). **Forest Ecology and Management**, v.248, p. 174-182, 2007.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: perspectivas para uma nova Extensão Rural. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre: v.1, n.1, p.16-37, jan./ mar. 2000.

CAPORAL F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia: enfoque científico e estratégico para apoiar o desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2002. (Série Programa de Formação Técnico-Social da EMATER/RS. Sustentabilidade e Cidadania, texto 5).

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia e Extensão Rural: contribuições para a promoção do desenvolvimento rural sustentável**. Brasília: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004. 166 p.

CASALI, A. C. **Qualidade da Água para Consumo Humano Ofertada em Escolas e Comunidades Rurais da Região Central do Rio Grande do Sul**. 173p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). 2008.

CASALINHO, H. D. **Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas**. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2003. 187p.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S.; **Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas**. Revista Brasileira Agrociência, Pelotas. V. 13, n. 2, p. 195-203, abr-jun, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: SBCS-CQFS, 2004. 400p.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; SPAGNOLLO, E.; GRAPEGGIA G. J.; ACOSTA, J.A.A. **Indicadores de qualidade do solo visando à avaliação de Sistemas de manejo**. In: XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e Água, Cuiabá-MT, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357 de 17mar. 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília,DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

CORRÊA, I. V. **Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas em transição agroecológica na região sul do Rio Grande DO Sul**. 77 p. Dissertação. (Mestre em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, 2007.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p. 1105-1112, 2003.

CRUZ, C.D. **Programa GENES: estatística experimental e matrizes**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 480p.

DAO, T.H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a paleustoll. **Agron. J.**, 88:141-148, 1996.

DORAN, J. W., PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D. C., BEZDICEK, D. F., STEWARD, B. A(eds.).**Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA. American Society of Agronomy, 1994, p. 3-21 (Spec.Public, 35).

DORAN, J.W; SARRANTONIO; M LIEBIG, M.A; HALVORSON, J.J. **On-farm assessment of soil Quality and health**. In. DORAN, J.W.; JONES, AJ. Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of America Special Publication Number 49, 1996. p.83-105.

DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison, SSSA, 1996. 411p. (SSSA Special Publication, 49).

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and Sustainability: managing the biotic component of Soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, n.1, p.3- 11, 2000.

DUCATTI, F. **Fauna edáfica em fragmentos florestais em áreas reflorestadas com a espécie da mata atlântica**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura, "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2002. 70p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 225 p.

ESTRELA, C. C. **Variabilidade espacial e temporal da qualidade da água de irrigação no sistema de produção de morango em propriedades familiares no município de Turuçu-RS**. 97p. Dissertação (Mestre em Ciências)-Programa de Pós-Graduação em Sistemas de produção Agrícola Familiar. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

FACCI, L. D. **Variáveis microbiológicas como indicadoras da qualidade do solo sob diferentes usos**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical. Campinas, SP. 2008

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:991-996, 1999.

FERREIRA, J. M. L. **Indicadores de qualidade do solo e de sustentabilidade em cafeeiros arborizados**. 107p. Dissertação. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

FERREIRA, J. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-93. 2010.

FINATTO, R. A.; SALAMONI, G. Agricultura Familiar e Agroecologia: Perfil da Produção de Base Agroecológica do Município de Pelotas/RS. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia. 2008.

FRANCO, R. A. M. **QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO COQUEIRO NO NOROESTE PAULISTA**. Dissertação. 103 p. Faculdade de Engenharia da UNESP. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira/SP. 2008.

FRANZEN, H.; LAL, R. & EHLERS, W. Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical alfisol. **Soil Till. Res.**, 28:329-346, 1994.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; MONTEIRO, M. T. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serrapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28. P. 819-826, 2004.

GIANELLO, C.; CAMARGO, E.; REICHMANN, E.; TEDESCO, M. J. Avaliação da disponibilidade do nitrogênio do solo estimada por métodos químicos. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:93101, 2000.

GLIESSMAN, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Editora da Universidade - UFRGS, 2000.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: Processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. 653p. 2001.

GOMES, M. A. F., FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, 2006.

GONÇALVES, E. M. **Avaliação da qualidade da água do rio Uberabinha – Uberlândia – MG**. 159 p. Dissertação (Mestre em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

HILSINGER, R. **Os efeitos do Pronaf no setor primário de São Lourenço do Sul, RS – 1996/2006**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFRGS – Instituto de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário: agricultura familiar primeiros resultados**. 265p, 2006.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. V.3. n.1. Jan.- Abr. 2010.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. **Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality**. *Geoderma*, 114: 305-317. 2003.

JUHÁSZ, C. E. P. **Relação solo-água-vegetação em uma topossequência localizada na Estação Ecológica de Assis, SP**. 105 p. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP. 2005.

KARLEN, D. L. ; MAUSBACH, M. J. ; DORAN, J. W. ; CLINE, R. G. ; HARRIS, R. F. ; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, Madison. v. 61, p. 4–10, 1997.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: BITTON, G. (Org.) **Encyclopedia of Environmental Microbiology**. New York: John Wiley & Sons. p. 3116-3126. 2002.

KHATTREE, R. & NAIK, D.N. **Multivariate data reduction and discrimination with SAS software**. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 2000. 558 p.

KROLOW, D. R. V. **Estudo da macro e mesofauna do solo em um sistema de produção de base ecológica**. 75 p. Tese (Doutor em Ciências área do conhecimento: Produção Vegetal). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS. 2009.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystems function. In: **Transactions of the 15th World Congress of Soil Science**. Inaugural and state of the art conferences. ISSS, Acapulco, México, 1994. p. 189-220.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**. 33:3-16, 1996.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. **Soil Ecology**. Dordrecht: Kluwe Academic Pub, 2001. 654p

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 37-51.

LAVKULICH, L.M, Soil: The Environmental Integrator. In: **POWTER, C.B; ABBOUD, S.A; Mc GILL, W.B**, Environmental Soil Science: Anthropogenic Chemicals and Soil Quality Criteria, Brandon, Canadian Society of Soil Science, 1995,p1-43.

LEONARDO, H. C. L. **Indicadores de qualidade do solo e da água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue, região oeste do estado do Paraná**. 131 p. Dissertação (Mestre em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP. 2003.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R. Qualidade física do solo: indicadores quantitativos. **Documentos 196**. Embrapa Clima Temperado. Pelotas/RS, 2007.

LIMA, H. V.; OLIVEIRA, T. S.; OLIVEIRA, M. M.; MENDONÇA, E. S.; LIMA, P. J. B. F. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:1085-1098, 2007.

LIMA, W. S. **Qualidade da água em Ribeirópolis - SE: o açude do cajueiro e a barragem do João Ferreira**. 119 p. Dissertação (Mestre). Universidade federal de Sergipe. São Cristóvão Sergipe, 2008.

LIMA, W. S. **Qualidade da água em Ribeirópolis - SE: o açude do cajueiro e a barragem do João Ferreira**. 119 p. Dissertação (Mestre). Universidade federal de Sergipe. São Cristóvão Sergipe, 2008.

LIMA, J. A. J.; SILVA, A. L. P. **Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010.

LIMA, A.C.R.; HOOGMOED; W., BRUSSAARD, L. Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set. **J. Environ. Qual.** 37, 623–630. 2008.

LIMA, A.C.R.; HOOGMOED, W.; BRUSSAARD, L. Farmers' assessment of soil quality in rice production systems. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences** 58, 31–38. 2011.

LIMA, A.C.R.; BRUSSAARD, L; TOTOLA, M.R; HOOGMOED, W.B; GOEDE, R.G.M. 2013. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology (Print)**, v. 64, p. 194-200, 2013.

LISBOA, B. B. **Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo em sistema de manejo**. Dissertação. 84 p. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande de Sul. Porto Alegre/RS. 2009.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores Microbianos de Qualidade do Solo em Diferentes Sistemas de Manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 36:45-55, 2012.

MARION, L. F. Avaliação da qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares em sistema de cultivo convencional e de bases ecológicas, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul. 2011. 85p.

MATTOS, Karen Maria da Costa. **Viabilidade da irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola**. 2003. 168p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

MAXIMO, A.C. N. F. **Água subterrânea da microbacia hidrográfica do córrego rico como fator de risco à saúde humana em propriedades rurais e urbanas no município de Jaboticabal/SP**. Dissertação. (Mestre em Medicina Veterinária Preventiva). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus Jaboticabal. Jaboticabal/SP, 2009.

MELLONI, R; PERREIRA, E. G. M; ALVARENGA, M. I. N. Indicadores da qualidade do solo. **Informe agropecuário**, v.29, n 244, maio/junho. Belo Horizonte. p.17-29. 2008.

MENDONÇA, L. A. R.; VÁSQUEZ, M. A. N.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, J. F.; FRANCA, R. M.; VÁSQUEZ, E. M. F. FRISCHKORN, H. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.14, n.1, jan/mar 2009.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent.** Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002.

MIELNICZUCK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. Cap.1, p.1-6.

MIELNICZUK, J; **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais: Matéria orgânica e a Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas**. Porto Alegre: **Metrópole**, 2008.

- MIELNICZUK, J. et al. **Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo.** In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Ed.) Tópicos em Ciência do Solo, vol. 3. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 209 – 248.
- MORSELLI, T. B. G. A. **Biologia do Solo.** Programa de Pós-graduação em Agronomia e Pós-graduação em Sistema de produção agrícola familiar. Departamento de solos e Departamento de Fitotecnia. Pelotas. FAEM. UFPEL. 139p. 2011.
- MORRIS, M. L. M. Avaliação da qualidade do solo em sistema orgânico de cultivo. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. 2007. 82p.
- MOURA, L. N. A. **Indicadores de qualidade do solo e da água em áreas de preservação permanente da microbacia do Ribeirão do Gama, Distrito Federal.** Dissertação. Faculdade de agronomia e Veterinária. 146 p. Universidade de Brasília. Brasília/ DF, 2010.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation for crop production St. Joseph: ASAE, 1986. 383p.
- NATIONAL ACADEMY PRESS. **Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture.** 542 p. Washington, D.C. 1993.
- NIWEGLOWSKI, A. M. A. **Indicadores de Qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Toledo – PR.** Dissertação (Mestre). Pós- Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.
- NÖRENBERG, E. M. **História e evolução da associação de desenvolvimento comunitário dos produtores rurais de morro redondo: uma contribuição para a sustentabilidade da agricultura familiar.** Dissertação. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo/RS, 2010.
- OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, mar./abr. 2004.
- OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, K. J. G.; MOREIRA, F. P. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, Goiás**, ISSN 1808-8597, v.1, n.1, p. 01-12, ago. 2005.
- PIOVESAN, R. P. et al. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** . 2009, vol.33, n.4, pp. 757-766.
- PIKUL, J.L. & ZUZEL, J.F. Soil crusting and water infiltration affected by long-term tillage and residue management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:1524-1530, 1994.
- PRIMAVESI, A. M. Agroecologia e Manejo do Solo. **Agriculturas - v. 5 - no 3 - setembro de 2008.**

RAIJ, B.V, Solo e Meio Ambiente, In **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, Santa Maria, 2004

RASMUSSEN, P.E.& COLLINS, H.P. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. **Adv. Agron.**, 45:93-134, 1991.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. F. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. 20 p. Ciência e Ambiente. 2003.

RIEFF, G. G. **Monitoramento de ácaros e colêmbolos com potenciais indicadores biológicos de qualidade do solo**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal Do Rio Grande do Sul. 2010. 71p.

REIJNTJES, C.; HAVERKORT, B.; WATERS-BAYER, A. **Farming for the future**. An introduction to low external Input and sustainable agriculture. Netherlands. Macmillan/ILEA, 1992.

REINERT, J.D.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; SUZUK, L. E. A. S. **Qualidade física do solo**. 23 p. Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

RESENDE, S. C. **Sistemas de manejo e sucessão de culturas na qualidade do solo nos tabuleiros costeiros sergipano**. 2009. 120p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas, Área de Concentração em Sustentabilidade em Agroecossistemas), Universidade Federal do Sergipe, Sergipe, 2009.

REYNOLDS, J. W. & G. A. JORDAN. 1975. A preliminary conceptual model of megadrile activity and abundance in the Haliburton Highlands. **Megadrilogica**. 2: 1-9.

ROMA, T. Z. **Avaliação quali-quantitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em suas áreas de recarga**. 61 p. Monografia (Tecnólogo em Gestão Ambiental). Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes. INCONFIDENTES/MG, 2008.

SANTI, A. L.; AMADO, T, J. C.; SCHENATO, G. L.; PES, L. Z.; DELLAMEA, R. B. C.; PIZUTTI, L. Infiltração de água no solo, em áreas com diferentes potenciais de produtividade e manejadas com técnicas de agricultura de precisão. 2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. **ConBAP**. São Pedro, SP – ESALQ/USP. 2006

SANTOS, G. O.; HERNADEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; FEITOSA, D. G.; BARBOSA, G. G.; LIMA, R. C. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade de água para fins de irrigação no Córrego do Ipê, noroeste do Estado de São Paulo. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR. INPE p.1263. 2011.

SANTOS, J. S.; BECK, L.; WALTER, M.; SOBCZAK, M.; OLIVIO, C. J.; COSTABEBER, I.; EMANUELLI, T. Nitrito e nitrito em leite produzido em sistemas convencional e orgânico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 25(2): 304-309, abr.-jun. 2005.

- SCHMITZ, J. A. K. **Indicadores Biológicos de qualidade do solo**. 2003. 176p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.
- SCHIPPER, W.; BETTJEMAN, L. A.; R, HILL. 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: Practical lessons from a 6-year trial. **Agric. Ecosyst. Environ.** 104:523–534
- SCHIPPER, L. A.; G. P. SPARLING. 2000. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 64:300–311.
- SILVA, R. C. S.; ALMEIDA, J. C. R.; BATISTA, G. T.; FORTES NETO, P.; Os indicadores físicos,químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. **Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais**, p. 1-13, 2011.
- SILVEIRA, P. M.; CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetidos a sistemas de preparo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília. v. 37, n. 9. 2002
- SILVEIRA, R.B.; MELLONI, R.; PEREIRA, E.G. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no sul de Minas Gerais. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 2, n.2, p.21-29, 2004.
- SIMÕES, S. M. O.; ZILLI, J. E.; COSTA, M. C. G.; TONINI, H.; BALIEIRO, F. C. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acacia mangium* no Cerrado de Roraima. **Acta Amazônica**. VOL. 40(1) 2010: 23 - 30
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 1, p.133-139, jan./fev. 2003.
- SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. **Soil Till. Res.**, 16:179-201, 1990.
- SPARLING, G. P.; L. A. SCHIPPER. 2002. Soil quality at a national scale in New Zealand. **J. Environ. Qual.** 31:1848–1857.
- SPARLING, G. P. CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia e Extensão Rural**: contribuições para a promoção do desenvolvimento rural sustentável. Brasília: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004. 166 p.
- STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, 1965. v.2. p.1151-1572.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).
- TELLES, D. D.; DOMINGUES, A.F. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editoras, 2006. cap.10, p.325-364.

TIMM, L. C.; TAVARES, V. E. Q.; REISSER, J. C.; ESTRELA, C.C. **Morangueiro Irrigado: aspectos técnicos e ambientais do cultivo**. 1. ed. Pelotas: Ed. da Universidade Federal de Pelotas, 2009. 163p.

THOMAS, G.W.; HASZLER, G.R. & BLEVINS, R.L. The effects of organic matter and tillage on maximum compactibility of soils using the proctor test. **Soil Sci.**, 161:503-508, 1996.

USDA-ARS Soil quality test kit guide, **Soil Quality Institute**, USDA/ARS.1998.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, 19:703-107, 1987.

VANZELA, Luiz Sergio. **Qualidade de água para a irrigação na microbacia do córrego Três Barras no município de Marinópolis, SP**. 2004. 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

VERONA, L. A. F. **Avaliação de sustentabilidade em agroecossistemas de base familiar e em transição agroecológica na região sul do Rio Grande do Sul**. 193p. Tese. (Doutor em Ciências área de concentração: Produção Vegetal). Universidade Federal de Pelotas – UFPEL- Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pelotas, 2008.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.743-7 55, 2009.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2297-2305, 2008.