



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – POSAGRO

ARIANE EVALD

**QUALIDADE DO SOLO NA CULTURA DO ARROZ CULTIVADO EM VÁRZEA
RORAIMENSE**

Boa Vista – Roraima, 2016

ARIANE EVALD

**QUALIDADE DO SOLO NA CULTURA DO ARROZ CULTIVADO EM VÁRZEA
RORAIMENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, como pré-requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração Produção Vegetal.

Orientador

Professor: Dr. Valdinar Ferreira Melo

Co-orientador: Paulo Roberto Ribeiro Rocha

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

E92q Evald, Ariane.
Qualidade do solo na cultura do arroz cultivado em várzea
roraimense / Ariane Evald. – Boa Vista, 2016.
85f. : il.

Orientador: Dr. Valdinar Ferreira Melo.
Coorientador: Dr. Paulo Roberto Ribeiro Rocha.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

1 – Atividade enzimática. 2 – Microbiologia do solo. 3 –
Indicadores do solo. 4 – solos da Amazônia. I – Título. II – Valdinar
Ferreira Melo (orientador). III – Rocha. Paulo Roberto Ribeiro

ARIANE EVALD

**QUALIDADE DO SOLO NA CULTURA DO ARROZ CULTIVADO EM VÁRZEA
RORAIMENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, como pré-requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração Produção Vegetal.

Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo
Orientador / Curso de Agronomia – UFRR

Prof. Ph.D. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
Universidade Federal de Viçosa-UFV

Dr. Edmilson Evangelista da Silva
EMBRAPA Roraima

Prof. Dr. Plinio Henrique Oliveira Gomide
Curso de Agronomia – UFER

Dr. Roberto Dantas de Medeiro
EMBRAPA Roraima
Programa de Pós-Graduação em Agronomia – UFRR

*Aos meus pais, Francisca Lavanhole
Evald e Ailton Evald, por terem dado
o melhor de si para proporcionar
uma vida mais digna para meus
irmãos e eu.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, pelas pessoas maravilhosas que coloca em meu caminho e principalmente, por acalmar minha alma nos momentos de desespero.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima pela formação e à CNPq pela bolsa concedida.

Ao Projeto Pró-Amazônia da CAPES pelo financiamento da pesquisa.

Aos meus pais, que desde cedo me ensinaram a buscar os meus sonhos.

À minha mãe Francisca Lavanhole pelo seu carinho, é em seus abraços que encontro o refúgio e aconchego que preciso.

Ao meu pai Ailton Evald, por me ensinar que a honestidade é a maior qualidade que se pode ter, agradeço, principalmente, pela segurança do seu abraço.

Aos meus irmãos, Viviane Evald e José Ailton Evald, pelas brincadeiras que me faz recordar o quão bom é ser criança e pelo amor incondicional e o companheirismo de sempre, obrigada por me permitir aprender o valor do amor fraterno, amo muito vocês.

Ao meu cunhado Paulo Goncalves de Abreu, por sempre está disposto a me ajudar.

Ao meu sobrinho Vitor Daniel Evald de Abreu, por me mostrar que o sorriso de uma criança é a conquista mais valiosa que se pode alcançar.

À minha amiga de todas as horas, Viviane Pereira Fernandes e o seu marido Cleomar Rastke, qualquer adjetivo que eu venha usar será pouco para expressar o quão importante vocês são para mim, então, simplesmente, direi obrigada por me ensinar o valor de uma amizade sincera.

Aos meus tios João Evaldo e Neuza Evaldo e meus primos Júlio Evaldo e Juliana Evaldo pelo amor e acolhida de sempre.

Ao meu orientador Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo, pela confiança, por ter acreditado no meu trabalho, obrigada por todo o ensinamento em sala de aula e conversas diárias, sou muito grata pelo seu apoio, sem ele não teria conseguido.

À Professora Ednalva Dantas Rodrigues da Silva Duarte, obrigada pelas conversas sempre precisas e sabias, por me acolher e acompanhar, te admiro muito como profissional e pessoal maravilhosa que és.

Ao meu Co-orientador Prof. Dr. Paulo Roberto Ribeiro Rocha pelo apoio e comentários precisos durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao meu querido amigo Sonicley da Silva Maia, obrigada por me ouvir e sempre me alegrar com suas piadas, pelo seu companheiros e amizade, é pessoas como você que torna o mundo um lugar mais agradável e feliz para se viver.

Aos amigos da NUPAGRI, Ednalva, Semiramys, Ithalo, Luciana, Taiane, Bárbara, Daniel, Tiago, Ronilson e demais, que me proporcionaram momentos de aprendizagem e descontração, durante o trabalho.

Ao Ithalo de Castro Espindola pela ajuda durante a pesquisa, obrigada por arrumar as amostras do meu jeito, mesmo que não fosse da sua forma, apenas para que eu não confundisse.

À Semiramys Moreira Silva por me ensinar as técnicas do laboratório, obrigada pela paciência e ajuda.

Um agradecimento especial a Anna Bárbara de Souza Cruz que me incentivou e apoiou em momentos decisivos durante o mestrado.

À Luciana Barros, obrigado pelo aprendizado proporcionado durante nossas conversas, entre uma análise e outra.

Aos funcionários da coordenação do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Ismael Consta, pelo apoio sempre.

Por todos os professores que contribuíram para minha formação.

Ao Rafael Prado que me acolheu quando cheguei na cidade, obrigada.

Aos colegas e amigos que me acolheram aqui, Fernanda Ramalho, Edgley Soares, Antônio, Rosinaldo Ferreira e Carla Ribeiro de vocês levarei momentos inesquecíveis que tivemos morando juntos.

Aos amigos Auriane Dutra da Silva e João Luiz Monteiro pelo carinho, amizade e apoio.

Ao Ricardo Bardales pela sua ajuda imprescindível na estatística do trabalho.

Um agradecimento especial ao meu primeiro professor, Sebastião Rosa da Silva, foi durante uma demonstração simples do processo fotossintético em uma aula na terceira série que despertou, ainda mais, a minha curiosidade em aprender.

Aos membros da Banca de avaliação, Prof. Ph.D. Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Dr. Edmilson Evangelista da Silva, Prof. Dr. Plínio Henrique Oliveira Gomide e o Dr. Roberto Dantas de Medeiros.

Obrigada!

“Aqui está o grande problema de Galileu: encontrar uma língua que seja falada ao mesmo tempo pela natureza e pelos homens. Se essa língua for descoberta, poderemos entender o que a natureza está falando”.

Rubem Alves

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 08 |
| 2 JUSTIFICATIVA | 09 |
| 3 OBJETIVOS | 11 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL | 11 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 11 |
| 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 12 |
| 4.1 A CULTURA DO ARROZ | 13 |
| 4.2 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DE ARROZ | 13 |
| 4.2.1 Irrigação contínua | 14 |
| 4.2.2 Irrigação intermitente..... | 14 |
| 4.3 QUALIDADES DO SOLO | 15 |
| 4.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO | 17 |
| 4.3.1 Carbono Orgânico Total | 18 |
| 4.3.2 Indicadores Químicos | 19 |
| 4.3.3 Indicadores Microbiológicos | 20 |
| 4.3.4 Indicadores Bioquímicos | 22 |
| CAPÍTULO 1 - QUALIDADE DO SOLO NA CULTURA DO ARROZ EM VÁRZEA COM DIFERENTES TEMPOS DE CULTIVO CONTINUADO | 24 |
| 5.1 RESUMO | 24 |
| 5.2 ABSTRACT | 25 |
| 5.3 INTRODUÇÃO..... | 26 |
| 5.4 MATERIAL E MÉTODOS..... | 28 |
| 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 33 |
| 5.6 CONCLUSÕES | 50 |
| CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE ARROZ DE VÁRZEA | 51 |
| 6.1 RESUMO | 51 |
| 6.2 ABSTRACT | 52 |
| 6.3 INTRODUÇÃO..... | 53 |
| 6.4 MATERIAL E MÉTODOS..... | 55 |
| 6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 60 |
| 6.6 CONCLUSÕES | 71 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 72 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 73 |
| ANEXO | 82 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de arroz tem grande impacto ambiental e social em todo o mundo, tanto que em 2004 a FAO instituiu o Ano Internacional do Arroz, com o tema, “arroz é vida” (ANGHINONI; GENRO JR., 2005). No estado de Roraima, a rizicultura, é a única produção agrícola efetivamente bem estabelecida (CORDEIRO *et al.*, 2007). O estado possui uma área de várzea de cerca de 160 mil hectares em grande parte com aptidão para cultivo (BARBERENA; MEDEIROS; BARBOSA, 2011).

A procura por uma agricultura mais rentável e ao mesmo tempo sustentável, traz desafios para os profissionais da área agrícola, visto a crescente demanda por alimentos com o crescimento populacional e os impactos negativos que a agricultura em larga escala pode proporcionar ao meio ambiente.

O solo tem papel fundamental na biosfera terrestre, sendo fundamental para a qualidade de vida humana, produtividade agrícola e para o equilíbrio dos ecossistemas naturais (FILHO *et al.*, 2007). O estudo da qualidade do solo, em sistemas agrícolas propõe mensurar as modificações ocorrentes no solo com a antropização, nos diferentes manejos agrícolas, partindo da premissa que, quando os sistemas naturais são modificados para ambientes agrícolas, os atributos do solo são alterados, o que modifica também a qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994).

O solo desempenha múltiplas funções no ambiente como: fonte de substrato para produção agrícola, regulador dos fluxos de água, gases e energia, filtro e tampão para materiais descartados (DORAN; PARKIN, 1994; LARSON; PIERCE, 1994). A preocupação com a preservação de sua qualidade ganhou proporções mundiais no ano de 2015, quando a ONU (Organização das Nações Unidas) a partir de resoluções propostas pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) instituiu o referido ano como o ano internacional do solo, com o intuito de incentivar e mobilizar a sociedade para a importância do solo como parte fundamental do meio ambiente e chamar a atenção para os perigos da degradação do mesmo.

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivos, avaliar a qualidade do solo em função de diferentes tempos e manejos de cultivos de arroz em comparação a vegetação nativa e avaliar a qualidade do solo no plantio de arroz sob diferentes manejos de irrigação e duas cultivares, em relação a vegetação nativa no estado de Roraima.

2 JUSTIFICATIVA

A crescente demanda populacional por alimento requer aumento na produção, evitando, porém, a abertura de novas áreas. Deste modo, a busca por sistemas produtivos que visam a sustentabilidade agrícola tem sido o desafio mais recente.

Para alcançar essa sustentabilidade, é necessário o conhecimento do dinamismo que ocorre tanto nos sistemas agrícolas como nos naturais, comparado a dinâmica ecológica de ambos. Nesse contexto, o conhecimento do comportamento dos sistemas naturais, é de suma importância para o desenvolvimento de técnicas agrícolas sustentáveis, já que aqueles conseguem manter-se ao longo do tempo.

Nesse contexto, os estudos dos indicadores de qualidade do solo vêm sendo usados para compreender essa dinâmica que ocorre nos sistemas de cultivo agrícolas. Isso porque, estes indicadores têm se mostrado sensíveis a mudanças que possa ocorrer no sistema de manejo do solo.

Nos últimos anos têm sido crescentes os estudos com indicadores de qualidade do solo a nível de Brasil (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005; CARNEIRO *et al.* 2009; LIMA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2012; CHERUBIN *et al.*, 2015). Pesquisas com indicadores de qualidade do solo no cultivo de arroz têm sido realizadas, tanto no campo nacional (LIMA *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2013), quanto no exterior (BHADURI *et al.*, 2014) em plantio de arroz na Índia, (LI *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2015) na China, os quais tem estudado o estabelecimento de um conjunto mínimo de dados que possa inferir a qualidade do solo nas áreas de várzeas.

No entanto, informações a respeito desses indicadores em ambientes de várzeas, principalmente no estado de Roraima, são inexistentes, sendo necessários estudos que correlacionem os atributos de solo auxiliando no monitoramento desses sistemas de produção.

A rizicultura apresenta-se como a mais bem estabelecida atividade agrícola no estado de Roraima (CORDEIRO *et al.*, 2007). Sua introdução no Estado ocorreu nos anos 40, quando este ainda era Território Federal de Roraima, praticada por agricultores maranhenses (SAKAZAKI; ALVES; LOPES, 2008). No entanto, precisou de mais de três décadas para esta atividade atingir patamar comercial, a qual foi alcançada com o início do cultivo mecanizado nas áreas de cerrado, utilização de insumos agrícolas, preparo do solo e colheita mecanizada. Este avanço tecnológico foi introduzido pelos migrantes da região sul do Brasil (CORDEIRO, 2001).

Com a implementação do programa PROVÁRZEA em 1981, o cultivo de arroz expandiu-se para novas áreas, as quais foram cultivadas com sementes melhoradas e adotou-

se novas técnicas de mecanização e sistematização da área de cultivo, havendo, assim, o incremento na produtividade (SAKAZAKI; ALVES; LOPES, 2008).

A área de várzea do Estado compreende 160 mil hectares, com a maioria apresentando aptidão agrícola para o cultivo do arroz irrigado, onde predominam solos hidromórficos, incluindo as classes de Plintossolos, Gleissolos, Planossolos e Neossolos Flúvicos, margeando os rios Surumú, Cotingo, Mau, Tacutú, Uraricoera, Branco e Mucajáí, cujas indicações de sistemas agrícolas destas várzeas tem que levar em consideração às propriedades físicas e químicas, as condições climáticas e as exigências ecológicas das culturas (MELO; VALE JÚNIOR; UCHÔA, 2010). Na safra de 2014/15 a área cultivada correspondeu a 12 mil hectares, com produtividade média de 6,5 ton ha⁻¹, a maior da região norte, mostrando assim, o potencial que o Estado tem para aumentar sua produção.

O Estado apresenta potencial para a expansão da cultura, no entanto faz-se necessário o conhecimento das possíveis alterações que a rizicultura proporciona ao solo para que, com base nestas informações, se possa promover melhorias no manejo deste cultivo, visando o aumento na produtividade e a sustentabilidade do sistema agrícola.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade do solo por meio de atributos químicos, microbiológicos do solo, em função do tempo de cultivo contínuo de cultivo de arroz irrigado, comparado a vegetação nativa.

Avaliar a qualidade do solo por meio de atributos químicos, microbiológicos do solo, no plantio de arroz sob diferentes manejos de irrigação, comparado a vegetação nativa.

Identificar indicadores sensíveis a mudanças proporcionadas ao solo, com o cultivo do arroz ao longo do tempo.

Identificar indicadores sensíveis a mudanças ocasionadas ao solo, com os diferentes manejos de água no cultivo do arroz de várzea.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar propriedade química fundamentais do solo, tais como: Macronutrientes (P, K, Ca^{2+} , Mg^{2+}), pH do solo, teores de Al^{3+} e H^+ ;
- Avaliar o carbono orgânico total e nitrogênio total do solo.
- Avaliar algumas propriedades físicas: densidade do solo e textura.
- Avaliar propriedade microbiológica do solo tais como: Biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico e quociente microbiano.
- Avaliar propriedade bioquímicas do solo tais como: fosfatase ácida e urease.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A CULTURA DO ARROZ

O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz, na safra 2014/2015 colheu 12.448.600 toneladas, um aumento de 2,7% na produção em relação à safra passada (CONAB, 2015), concentrando, principalmente, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso.

O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz do Brasil, na safra 2014/15 foram produzidas 8.624.800 toneladas do grão e a produtividade média obtida foi de 7,7 t ha⁻¹, com área semeada de 1.120.100 hectares (CONAB, 2015). Nos últimos anos a produtividade do arroz irrigado aumentou em mais de 2,0 t ha⁻¹. Entre os fatores responsáveis por esse avanço destacam-se o manejo, época de semeadura, controle precoce de plantas daninhas, irrigação e adubação, cultivares modernas com maior potencial produtivo e também projetos de alta tecnologia como o Projeto 10 do IRGA (SCHOENFELD *et al.*, 2013).

O arroz por ser uma cultura que apresenta grande adaptabilidade às mais variadas condições de solo e clima, é caracterizado pelo grande potencial de aumento de produtividade (NASCENTE, 2011). No Brasil, o arroz é produzido sob diferentes sistemas de cultivo (MOLOZZI, 2006). Atualmente, os principais sistemas de cultivo de arroz em várzea, utilizados pelos produtores locais, são a irrigação por inundação contínua, com semeadura a lanço (principal) ou em linhas, e o sistema de várzeas úmidas, sendo, este último, somente utilizado no período chuvoso (CORDEIRO *et al.*, 2010).

Em Roraima o arroz é uma das poucas cadeias produtivas efetivamente estabelecida, sendo que o agronegócio do arroz, tem participação efetiva na geração de emprego, renda e no Produtor Interno Bruto (PIB) (CORDEIRO *et al.*, 2007). Esta cultura foi introduzida em Roraima quando este ainda era Território Federal de Roraima, sendo trazida pelos agricultores maranhenses em 1944 (SAKAZAKI; ALVES; LOPES, 2008). No entanto, apenas no ano de 1977, quando migrantes da região sul do Brasil iniciaram o cultivo mecanizado no preparo do solo e colheita e utilização de insumos agrícolas nas áreas de savana, foi que a exploração da cultura atingiu escala comercial (CORDEIRO, 2001).

Em 1981/82, com a implementação do programa PROVÁRZEA do Governo Federal, que incentivava a utilização de áreas de várzeas em todos os Estados brasileiros, utilizando o saneamento agrícola, drenagem e irrigação, promoveu-se o incentivo ao aproveitamento das áreas de várzeas existentes no então Território de Roraima (SAKAZAKI; ALVES; LOPES, 2008), que correspondem a aproximadamente 160 mil hectares de várzeas,

mapeados em região de savana, onde a rizicultura corresponde a 80% da área cultivada no Estado. O programa proporcionou a incorporação de novas áreas para a produção, uso de sementes melhoradas e adoção de novas técnicas de mecanização e sistematização da área de cultivo (CORDEIRO *et al.*, 2004).

O cultivo de arroz em Roraima é realizado basicamente em várzeas (80%). As maiores lavouras ocupam áreas acima de 1.000 hectares/ano, localizadas nos municípios de Boa Vista, Cantá, Bonfim, Normandia e Pacaraima (SAKAZAKI; ALVES; LOPES, 2008).

4.2 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DE ARROZ

O arroz irrigado é cultivado sob inundação do solo, a partir da fase de desenvolvimento inicial da cultura. A utilização de uma lâmina de água sob o solo confere benefícios a cultura do arroz, como melhor controle de plantas daninhas (CORRÊA *et al.*, 1997) e maior disponibilidade de nutrientes na solução do solo (PONNAMPERUMA, 1972).

O pH do solo é alterado no processo de alagamento, o que pode proporcionar um aumento na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Segundo Silva e Ranno (2005) na maioria dos casos o alagamento do solo proporciona aumento no pH alcançando valores de 6,0, permanecendo estável a partir de 30 dias após o alagamento, há também a solubilização de óxidos de ferro liberando íons Fe^{2+} para a solução do solo, aumentando sua concentração. Com esse processo parte do P adsorvido pelos óxidos de ferro são liberados, proporcionando um aumento da concentração desse nutriente na solução do solo.

Outros nutrientes como, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ também têm suas concentrações aumentadas na solução do solo como o processo de redução do Fe^{3+} , isso porque Fe^{2+} na solução do solo pode deslocar parte desses cátions que estavam adsorvidos na fase sólida, aumentando sua disponibilidade para as plantas (VAHL, 1999), desta forma após a colheita do arroz inundado pode encontrar baixos teores desses nutrientes no solo, devido estes terem sido exportados pelas culturas.

No entanto, apesar dos benefícios a prática de irrigação pode causar problemas na produção, como por exemplo, a perda de nutrientes no sistema pela lixiviação. Para Santos, Fageria e Zimmermann (2002) a água percolada no perfil do solo é principal responsável pelas perdas de nutrientes. A lixiviação é o transporte de nutrientes da zona radicular para camadas mais profundas do solo, tornando-os indisponíveis às culturas. A lixiviação é afetada pelos atributos físicos (textura, estrutura, profundidade do perfil e, principalmente, porosidade) e químicos (CTC e o pH) do solo, onde solos com alta CTC proporcionam maior

capacidade de adsorção dos cátions, diminuindo à lixiviação (SANTOS; FAGERIA; ZIMMERMANN, 2002).

São dois os principais sistemas de irrigação no plantio de arroz, irrigação contínua e irrigação intermitente.

4.2.1 Irrigação contínua

Esse manejo de irrigação é caracterizado pela entrada contínua de água na lavoura de arroz, o que diminui problemas com déficit hídrico e confere melhor controle de plantas daninhas (STONE, 2005).

O uso de uma lâmina de água contínua sob o solo tem sido bastante questionada devido o excessivo uso da água. Segundo Stone (2005), este método causa maior demanda de água para a irrigação ocasionada pelo escoamento superficial. Além disso pode ocasionar contaminação ambiental com os resíduos da cultura como os agrotóxicos na solução e/ou adsorvidos a coloides do solo em suspensão e adubos (WATANABE *et al.*, 2007).

O escoamento superficial assim como a percolação da água no perfil do solo carrega os nutrientes que estão presentes na solução do solo para fora da área de cultivo, no primeiro caso, ou para fora do alcance das raízes das plantas, no segundo exemplo. Desta forma, tem sido buscado manejos mais eficientes no uso da água.

4.2.2 Irrigação intermitente

A busca no uso mais sustentável da água na agricultura, coloca a irrigação intermitente como o melhor manejo de irrigação na produção de arroz, onde o sistema mantém a mesma produtividade que o sistema contínuo (BELDER, 2004), com economia de água para irrigação (STONE, 2005).

O sistema de irrigação intermitente é iniciado com uma lâmina de água que é repostada conforme as perdas por evapotranspiração e percolação no solo. No entanto, o solo mantém-se sempre em saturação (MEZZOMO, 2009). Isso confere ao sistema uma redução no consumo da água, além de não haver problemas com o escoamento superficial de água (STONE, 2005), o que pode diminuir as perdas de nutrientes.

Santos, Fageria e Zimmermann (2002) realizaram estudo durante três anos, com diferentes manejos de irrigação (contínua durante todo o ciclo e inundação intermitente na fase vegetativa, seguida de inundação contínua nas fases reprodutiva e de maturação) na cultura do arroz, com diferentes manejos de adubação potássica e observaram que os

diferentes manejo da água influenciaram os valores de pH, saturação por alumínio, a soma de bases e os teores de cálcio, potássio e fósforo, onde os valores de pH do solo, em ambos os manejos de água, foram superiores ao determinado no início do estudo. A saturação por alumínio foi 47% superior na irrigação contínua do que na irrigação intermitente na fase vegetativa.

Santos, Fageria e Zimmermann (2002), também observaram que os teores de Ca^{2+} ao longo do perfil do solo, no manejo contínuo, formaram maiores do que os encontrados no manejo intermitente, na fase vegetativa, o que mostra, segundo os autores, maior lixiviação naquele manejo. Os teores de K^+ encontrado no manejo intermitente na fase vegetativa foram maiores do que na irrigação contínua (32 mg kg^{-1} , 21 mg kg^{-1} , respectivamente) também foi encontrado maiores teores de K^+ na camada abaixo de 40 cm no manejo contínuo, caracterizando assim, maior lixiviação do nutriente no manejo de irrigação contínuo.

Bhaduri *et al.* (2014) testaram na Índia três manejos de irrigação (submersão contínua, irrigação após 1 dia de drenagem e irrigação após 3 dias de drenagem) em arroz e concluíram que a irrigação após 3 dias de drenagem pode ser usada para melhorar a qualidade do solo.

4.3 QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo (QS) ou saúde do solo, começou a ter atenção do meio científico na década de 1990, após o trabalho pioneiro de Lal e Pierce em 1991 no qual os autores alertavam para a importância da QS na sustentabilidade ambiental e agrícola (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Ao falar em qualidade do solo, pensa-se em sustentabilidade dos sistemas agrícolas, o qual pode ser definido como a capacidade que o sistema possui em se manter ao longo do tempo. Sistemas agrícolas com essas características apresentariam capacidade de sustentar a diversidade biológica, qualidade ambiental bem como a saúde das plantas e animais, alcançando assim, a sustentabilidade do sistema, como também maior produtividade (MONTEIRO, 2005).

No entanto, para conservar o solo inicialmente é preciso conhecê-lo, o que não parece ser uma missão de fácil realização. O solo é um corpo nativo e dinâmico (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011), funcionando como um sistema aberto, que tem como base os princípios da termodinâmica do não-equilíbrio, o qual trabalha afastado do equilíbrio, tornando o sistema muito mais complexo, portanto, difícil de ser compreendido.

Não há um acordo na literatura sobre a definição de qualidade do solo, portanto, não há consenso nos padrões conceituais para inferir a qualidade do solo. Porém, os pesquisadores da área concordam que a qualidade do solo deve ter como referências as funções que o mesmo desempenha nos ecossistemas naturais. Larson e Pierce, (1994) e Karlen *et al.* (1997) propuseram, que as funções básicas do solo são: servir como meio para o crescimento das plantas, regular e compartimentalizar o fluxo da água no ambiente, estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera e servir como tampão ambiental. Maia (2013), de uma forma resumida define que a qualidade do solo é avaliada em função das várias características que o solo exerce no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Araújo *et al.* (2012) afirmaram que a qualidade do solo dependerá da extensão em que este funcionará para o benefício humano, levando em consideração a composição nativa do solo, e as relações com as práticas intervencionistas do homem. Para esses autores a qualidade do solo está na capacidade que este possui em atender as necessidades humanas. No passado, o Instituto Rodale, nos Estados Unidos fez da frase “a saúde das pessoas está intimamente relacionada à saúde do solo”, a sua filosofia de trabalho, dando a entender que a qualidade de vida humana está interligada com a saúde do solo, visto que este regula ciclos vitais na manutenção da vida no planeta, como o ciclo da água e dos nutrientes (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Doran e Parkin (1994) propuseram o conceito de QS mais aceito e conhecido no meio científico até os dias atuais, o qual foi modificado mais tarde por Doran (1997): Para os autores “Qualidade do solo é a capacidade que um solo possui de funcionar dentro dos limites de um ecossistema nativa ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”. Em outras palavras, pode se dizer que QS é a conexão das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o capacita a exercer suas funções em plenitude.

Conservar a qualidade do solo a um nível desejável tornasse uma questão muito complexa, visto que são inúmeros os fatores que a influenciam, como o clima, solo, planta, manejo humano e as interações entre estes (CHAUDHURY *et al.*, 2005; LIMA *et al.*, 2013; CHERUBIN *et al.*, 2015). Para Chaudhury *et al.* (2005) o desafio torna-se maior ainda em sistemas de cultivo de arroz, devido ao preparo do solo e as práticas de irrigação usadas.

4.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

A partir da percepção da importância da QS Larson e Pirce (1994) propuseram um conjunto mínimo de variáveis químicas, físicas e biológicas, que monitoradas ao longo do

tempo, podem ser capazes de detectar alterações da qualidade do solo em função do manejo adotado, esses parâmetros foram denominados como indicadores de qualidade do solo (IQS).

Indicadores de qualidade do solo podem ser caracterizados como propriedades, processos e características físicas, químicas e biológicas que podem ser quantificadas possibilitando o monitoramento de mudanças a médio e longo prazo, no estado de qualidade de um determinado solo (KARLEN *et al.*, 1997).

Um bom indicador deve atender requisitos básicos como: ser sensível a mudanças ocorrentes, tanto no manejo do solo como no clima; ser de fácil mensuração; economicamente viável; aplicável no campo, tanto por técnicos como por produtores; ser avaliado tanto por métodos quantitativos como qualitativos (DORAN; ZEISS, 2000).

No entanto, a avaliação da qualidade do solo é complexa (VEZZANI e MIELNICZUK, 2011; CHERUBIN *et al.*, 2015), assim sendo a mesma deve ser realizada em função de um conjunto de indicadores e suas inter-relações (LIMA *et al.*, 2008; CARNEIRO *et al.*, 2009; VEZZANI e MIELNICZUK, 2011), haja vista já ter sido observado que indicadores isolados são insuficientes para elucidar a perda ou o ganho de QS dos cultivos de determinado solo (CARNEIRO *et al.*, 2009). Para esses autores o uso de análise multivariada, foi relevante, auxiliando a constatação de qual manejo do solo é mais sustentável. No entanto, deve-se levar em consideração que, melhor que descobrir qual indicador ou quais conjuntos de indicadores responderiam melhor as mudanças no manejo do solo, é descobrir como manter ou melhorar a qualidade do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Vale ressaltar, que no solo existem inúmeras inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos (CARNEIRO *et al.*, 2009; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011), ou seja, esses compartimentos do solo não funcionam isolados, todos interagem entre si. Assim sendo, essas propriedades em conjunto, controlam os processos e os aspectos do solo relacionados à sua variação no tempo e no espaço, onde uma alteração na estrutura do solo afeta a relação com os microrganismos do solo, afetando assim a biologia deste (CARNEIRO *et al.*, 2009).

Para Doran e Zeiss (2000) IQS é apenas “um meio para atingir o fim”, onde o fim, é simplesmente o manejo dos sistemas agrícolas com base nos princípios da sustentabilidade.

Lima *et al.* (2008) citam que um número menor de atributos deveria ser usado para monitorar a qualidade do solo, e que um conjunto mínimo de dados pode ser estabelecido como sendo limite crítico para alertar mudanças no uso e manejo da terra.

4.4.1 Carbono Orgânico do Solo (COS)

A preocupação com o aquecimento global, resultante das emissões de gases que promovem o efeito estufa, entre eles o dióxido de carbono (CO_2), tem sido uma crescente preocupação não só no meio científico, como também para a população em geral. Estima-se que 1500 Pg de carbono (C) estão armazenados na camada de 100 cm de solo e que cerca de 600 Pg encontra-se na vegetação, esses valores juntos, representam uma quantidade três vezes maior que o C encontrado na atmosfera, o que leva a inferir que alterações na vegetação nativa e solo, por meio de práticas agrícolas, proporcionam aumento na emissão de gases para a atmosfera, o que contribui para o efeito estufa (CERRI *et al.*, 2006).

Costa *et al.* (2008) afirmam que o conteúdo de C no solo depende da relação entre as adições (C fotossintetizado pelas plantas) e as perdas para atmosfera (C resultantes da oxidação microbiana do C orgânico a CO_2). A presença de carbono no solo está diretamente associada com a manutenção da matéria orgânica do solo (MOS), já que esta é composta, em média de 58% de C (SILVA; SÁ MENDONÇA, 2007). Portanto, a preservação de carbono na matéria orgânica (MO) é uma importante estratégia para minimizar a concentração de CO_2 na atmosfera (BAYER *et al.*, 2004).

O C no solo pode concentrar em frações lábeis ou estáveis da MO, que podem ter implicações na maior ou menor liberação de C para atmosfera, bem como nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Por apresentar essas características a MOS tem sido apontada como indicador sensível a mudanças no solo (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005; COSTA *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2013; CHERUBIN *et al.*, 2015).

A MOS encontra-se inserida no conjunto de variáveis citadas por Larson e Pirce (1994) como indicador chave da qualidade do solo, sendo apontada como a principal propriedade indicadora da sustentabilidade dos sistemas de cultivo, com maior relevância em solos tropicais (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005; MIELNICZUK, 2008). Nessas condições, os fatores climáticos (temperatura e umidade) atuam intensamente, e os solos são bastante intemperizados, assim sendo, a MO constitui o atributo com grande influência na capacidade de troca catiônica (CTC), retenção de água e estruturação do solo e biológica do solo (MIELNICZUK, 2008).

Lima *et al.* (2008) trabalharam com um conjunto de 29 indicadores de qualidade do solo em cultivo de arroz em diferentes sistemas (cultivo mínimo, pré-germinado e convencional) e quatro diferentes texturas do solo (20, 20-40, 40-60 e > 60% de argila) no Rio Grande do Sul, onde concluíram que a matéria orgânica foi o principal indicador de qualidade do solo, tanto para os manejos como para as classes texturais. O mesmo comportamento foi encontrado por Cherubin *et al.* (2015) que trabalharam com indicadores físicos, químicos e

biológicos de um LATOSSOLO sob diferentes manejos (plantio direto, escarificação e cultivo mínimo) e fertilizantes (sem fertilização, 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos e fertilização mineral), onde constataram que a matéria orgânica é o indicador mais responsivo na degradação da qualidade do solo.

Silva *et al.* (2012) estudaram o comportamento da matéria orgânica no Médio do Vale do Paraíba do Sul (RJ), em solo de áreas agrícolas (cultura anual e perene), florestais e pastagem e concluíram que em áreas agrícolas, ocorrem redução nos valores de COS do solo em relação aos das áreas de pasto e florestas.

Em estudos feitos por Vergutz *et al.* (2010) nas mudanças da MOS causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrossilvopastoril (SASPs) com eucalipto, foi observado que o estoque total de C orgânico no solo, na linha de plantio, foi mantido ao longo do tempo, enquanto que na entrelinha houve tendência de perda inicial de C, sem que esses estoques retornassem aos valores originais, no final do décimo ano estudado. Verificaram que, em cerca de 3 anos, a camada de 0–10 cm atingiu sua perda máxima de C, com diminuição de 44,70 % em relação ao estoque original de C. Após este período de 3 anos, o estoque de C mostrou recuperação, porém sem alcançar os valores originais no décimo ano de introdução dos SASPs.

Li *et al.* (2013) avaliaram atributos de qualidade de solo em cultivo de arroz em solos subtropicais na China e observaram que a MOS foi o principal indicador de qualidade do solo, os autores chegaram a recomendar adubação com adubos orgânicos na região para que ocorra um incremento da MOS.

4.4.2 Indicadores Químicos

A adoção do modelo de monocultivo como prática agrícola que adota a adubação e correção dos solos, traz alterações químicas na camada superficial do solo, geralmente com intensidade proporcional ao emprego de máquinas nos sistemas (SILVA *et al.*, 2011).

Dentre os atributos químicos mais utilizados como indicadores da qualidade do solo, encontra-se o pH, Alumínio, Cálcio, Magnésio, Potássio, trocáveis, Fósforo disponível, Nitrogênio e micronutrientes. A qualidade química do solo tem grande relevância, por estar intimamente relacionada com a nutrição das plantas, conseqüentemente com a produtividade dos sistemas agrícolas (ALVARENGA; DAVIDE, 1999).

Li *et al.* (2013) correlacionaram um conjunto mínimo de indicadores de qualidade do solo, com valores médios de: pH: 5,04; MO: 34,6 g kg⁻¹, NT: 1,97 g kg⁻¹; fósforo total: 0,56 g kg⁻¹; potássio total: 15,7 g kg⁻¹; N disponível: 175 mg kg⁻¹; P disponível: 21,2 mg kg⁻¹; K

disponível: 74 m kg⁻¹; não K⁺ trocável: 181 m kg⁻¹; CTC: 8,71; areia: 33,9%; silte: 50,1 %; argila: 16,0%; B disponível: 0,227 m kg⁻¹; Mo disponível: 0,188 m kg⁻¹; Si disponível: 268 m kg⁻¹ e S disponível: 31,9 m kg⁻¹, com a produção de arroz na China, a partir de amostragens de solo, de mesma classe, em 114 propriedades. Dentre os indicadores estudados, os autores observaram a correlação de alguns atributos químicos como: pH, nitrogênio total (NT), nitrogênio disponível, fósforo disponível, potássio disponível, com a produção de arroz no país.

Os atributos químicos: N, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e CTC foram relacionados ao primeiro conjunto de dados de componente principal em estudo realizado por Lima *et al.* (2008), em produção de arroz no RS, mostrando a sensibilidade desses atributos na avaliação de qualidade de solo. No referido estudo, também foi identificado que o potencial de acidificação (pH) representou com 73% o terceiro conjunto de componente principal de qualidade do solo, enquanto que o P foi inserido no quinto conjunto de dados, representando 78% deste.

Liu *et al.* (2015) em estudo feito na china, em três áreas de produção de arroz (alta, média e baixa produtividade), definiram um conjunto mínimo de indicadores, incluindo neste NT e P disponível, relatando que os baixos níveis de NT e P na área de baixa produção de arroz (0,84 mg kg⁻¹ e 4,70 mg kg⁻¹, respectivamente), foram os maiores limitantes na produção, em comparação a área de maior produção (1,03 mg kg⁻¹ e 8,10 mg kg⁻¹, respectivamente).

4.4.3 Indicadores Microbiológicos

Estudos que levam em consideração os processos biológicos ocorrentes nos solos são imprescindíveis para compreender os processos ecológicos envolvidos nos sistemas (ISLAM; WEIL, 2000), visto a sua alta sensibilidade a qualquer alteração no ambiente, sendo o primeiro a sofrer alterações recorrentes a mudanças no solo e o último a se reestabelecer.

Para Cunha *et al.* (2011) através dos atributos biológicos é possível medir a condição de desequilíbrio ou equilíbrio em que se encontra um determinado ambiente, tornando assim uma ferramenta útil para mensurar os efeitos positivos e negativos sobre a qualidade do solo e a sustentabilidade das práticas agrícolas. Mendes *et al.* (2012) citam que os microrganismos do solo são os principais atores que regulam a ciclagem dos nutrientes.

Práticas de manejo do solo que visam favorecer o aporte de MOS, contribuindo assim para melhorias nas propriedades biológicas do solo, como plantio direto, adubação orgânica e adubação verde, têm sido recomendadas (CUNHA *et al.*, 2011; LI *et al.*, 2013;

CHERUBIN *et al.*, 2015), visto que são os organismos os responsáveis pelas grandes transformações físicas e químicas no solo.

Araújo *et al.* (2012) citam que os indicadores microbiológicos de qualidade dos solos mais utilizados são: biomassa microbiana, nitrogênio mineralizável, respiração microbiana do solo e o quociente metabólico. Para os autores estes atributos são importantes tanto no que se refere à ciclagem dos nutrientes, como também na estimativa da capacidade do solo para o crescimento vegetal, pois as propriedades biológicas do solo atuam diretamente nessa função do solo.

Para Lima *et al.* (2013) as variáveis biológicas do solo são importantes na avaliação da qualidade do solo, por serem sensíveis as mudanças que ocorrem no manejo do solo. Os atributos biológicos são afetados, principalmente, pela quantidade e qualidade de MO no solo, umidade e temperatura do solo.

A matéria orgânica viva do solo está estimada em torno de 4% do COT, sendo dividida em raízes (5-10%), macrorganismo ou fauna do solo (15-30%) e por fim, os microrganismos (60-80%) (SILVA; SÁ MENDONÇA, 2007). Por ser o componente vivo da MOS e representar a maioria deste, a biomassa microbiana do solo (BMS) pode ser indicada como o principal atributo de qualidade biológica, tendo em vista que, os microorganismos são os principais responsáveis pela decomposição dos resíduos orgânicos, com influência na ciclagem dos nutrientes, fluxo de energia no solo e reserva lábil de C no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SILVA; SÁ MENDONÇA, 2007).

A respiração basal do solo (RBS) é um parâmetro complementar a determinação da biomassa do solo, este indica a atividade microbiana através do fluxo de CO₂ por hora, medido em um volume de solo conhecido (LISBOA *et al.*, 2012). No entanto, para Anderson e Domsch (1993), o quociente metabólico (qCO₂), definido pela razão entre a respiração basal por unidade de biomassa microbiana do solo por unidade de tempo, é ainda mais eficiente que C-BMS e a RBS. Para os autores, à medida que a C-BMS se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos CO₂ é perdido pela respiração o que acarreta maior volume de C incorporada aos tecidos microbianos, resultando na diminuição do qCO₂. Segundo Mercante *et al.* (2008) o qCO₂ apresenta variações sensíveis, permitindo seu uso como indicadores da qualidade do solo.

A razão entre C da biomassa microbiana e C orgânico do solo é denominada quociente microbiano (*qMIC*) (ANDERSON; DOMSCH, 1993). As variações em *qMIC* refletem o padrão do aporte de matéria orgânica do solo, a eficiência da conversão do C microbiano, as perdas de C do solo e a estabilização do C orgânico pelas frações minerais do

solo (CUNHA *et al.*, 2011). O $qMIC$, em condições normais, varia de 1 a 4 %, e valores inferiores a 1 % podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (JAKELAITIS *et al.*, 2008). Resumidamente, pode-se dizer que o índice $qMIC$ indica se o conteúdo de C no solo está se mantendo estável ou variando, ou em outras palavras, é o teor de matéria orgânica morta (resíduo vegetal, animal, etc.) que está sendo transformado em matéria orgânica viva (biomassa microbiana).

Lima *et al.* (2008) encontraram relação positiva da BMS e RBS dentro do primeiro grupo de variáveis estudadas em plantio de arroz e várzea RS. No entanto, o qCO_2 não teve representatividade positiva em nenhum dos cinco grupos de componentes principais encontrados no estudo.

4.4.4 Indicadores bioquímicos

A atividade das enzimas do solo tem se destacado como um ótimo indicador de qualidade em sistemas tropicais por apresentar uma boa sensibilidade (LISBOA *et al.*, 2012; LOPES *et al.*, 2013). As atividades enzimáticas constituem um papel essencial na ciclagem de nutrientes, mudanças na qualidade do solo e no grau de degradação deste, devido às sensibilidades das enzimas a pequenas mudanças nos solos (PAJARES *et al.*, 2011).

As enzimas catalisam as transformações que foram feitas no solo pela biomassa microbiana (CARNEIRO *et al.*, 2008), influenciam nos ciclos dos elementos no solo e desempenhando papel importante na decomposição da matéria orgânica, catalisando a quebra das estruturas orgânicas em compostos orgânicos de menor peso molecular. Isso facilita a mineralização e a ciclagem dos nutrientes, participando do catabolismo dos componentes biológicos e minerais, sendo suas atividades relacionadas com a MO, propriedades físicas, químicas e com a biomassa microbiana do solo (CARVALHO, 2005; ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

Estas substâncias são sintetizadas principalmente pelos organismos, sendo que e as condições que favorecem a atividade microbiana, como a presença de vegetação (rizosfera), temperatura e umidade adequada, proporcionam maior atividade enzimática (CARVALHO, 2005), influenciando na transferência de energia, qualidade ambiental e produtividade das culturas.

A urease (ureia amido-hidrolase - EC 3.5.1.5) é a enzima que catalisa a hidrólise da ureia em dióxido de carbono e amônia, respectivamente (KANDELER; GERBER, 1988). Essa enzima é produzida pelas bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou originada de restos vegetais (REYNOLDS *et al.*, 1987). Em estudos com diferentes plantas de cobertura

(capim-mombaça, milho em consórcio com braquiária, sorgo granífero e estilosantes) e sistemas de preparo do solo (plantio direto e convencional), Lanna *et al.* (2010) verificaram, que a intensidade do efeito do material orgânico na atividade da urease é dependente tanto da disponibilidade da matéria orgânica, como fonte energética para os microrganismos, como também da facilidade de decomposição desta matéria orgânica.

Já a fosfatase ácida está presente no ciclo do fósforo, tendo maior desempenho em solos com pH ácido (TABATABAI, 1994). Mendes *et al.* (2012) observaram correlação positiva dos teores de carbono orgânico com a atividade da fosfatase ácida em condições naturais de cerrado, cuja atividade é aumentada em áreas preservadas, isso porque a fosfatase é responsável pela ciclagem de fósforo orgânico (Po), transformando-o em fósforo inorgânico (Pi). Quando o nível de Pi aumenta no solo, a fosfatase tem sua atividade reduzida (CARNEIRO *et al.*, 2004).

Silva *et al.* (2012) estudando atributos biológicos e bioquímicos em diferentes áreas (floresta secundária em estágio inicial de sucessão, floresta secundária em estágio médio de sucessão, floresta secundária em estágio avançado de sucessão, pasto, agricultura perene e agricultura anual) e estações do ano (seca, chuvosa) observaram que no período seco a floresta secundária, em estágio inicial de sucessão, apresentou a mesma atividade enzimática da fosfatase ácida que a pastagem e ambas apresentaram a maior atividade da fosfatase ácida, na referida época, correlacionado positivamente com os teores de carbono no solo. Os mesmos autores observam também correlação positiva da atividade da enzima com os teores de carbono da biomassa microbiana CBM ($r=0,78$; $p=0,03$), em ambas as épocas estudadas.

Liu *et al.* (2015), em estudo feito na china em três áreas de produção de arroz (alta, média e baixa produtividade), observaram diferença estatística entre as áreas de produção para a atividade da urease e fosfatase ácida, sendo que, a área de alta produção apresentou a maiores atividades enzimáticas (médias de: $20,8 \text{ mg NH}_4^+-\text{N kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $521 \text{ nmol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente), com diferença de 42 e 26,6%, respectivamente, em relação a área de menor produtividade (médias de: $12,1 \text{ mg NH}_4^+-\text{N kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $382 \text{ nmol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente).

Lima *et al.* (2008) avaliaram em cultivo de arroz um conjunto mínimo de dados para estabelecer a qualidade do solo, e observaram que a fosfatase ácida foi inserida no primeiro conjunto de componentes principais, apresentando desta forma alta sensibilidade às alterações ocorrentes no solo cultivado com arroz.

CAPÍTULO 1 – QUALIDADE DO SOLO NA CULTURA DO ARROZ EM VÁRZEA COM DIFERENTES TEMPOS DE CULTIVO E MANEJO CONTINUADO

RESUMO

A busca por uma agricultura sustentável, tem promovido o desenvolvimento de pesquisas na área de solo que visam compreender o comportamento que o mesmo apresenta em relação aos diferentes manejos e culturas. Um grande número de pesquisadores tem focado seus esforços na identificação de atributos do solo que sejam mais eficientes em inferir a qualidade do solo em função das alterações que venham a ocorrer. Objetivou-se com o presente estudo avaliar a qualidade do solo por meio de atributos químicos, físicos, microbiológicos e bioquímicos do solo, em área com diferentes tempos de cultivo de arroz. A pesquisa foi realizada em cinco áreas de diferentes anos de cultivo de arroz (1º, 3º, 8º, 13º e 25º) comparadas a uma área de vegetação nativa. Foram feitas coletas de solo na profundidade de 0-10 cm, sendo separadas em duas subamostras, uma para análise química e outra para microbiológica e bioquímicas as quais foram armazenadas sobre refrigeração. Em laboratório foram avaliados os atributos físicos (textura e densidade do solo) e os químicos: carbono orgânico do solo (COS), nitrogênio total (NT), P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺+ H⁺ e pH, foram calculados a CTC e a relação C/N. Os atributos microbiológicos avaliados foram: carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração microbiana do solo (RBS), coeficiente metabólico (qCO_2) e coeficiente microbiano ($qMIC$). Avaliou-se também as atividades das enzimas fosfatase ácida e urease. Os diferentes anos de cultivo de arroz diferiram significativamente da área de vegetação nativa na maioria dos indicadores avaliados, apresentando maior expressividade, principalmente, nas variáveis COS, NT, P, C-BMS e fosfatase ácida. Na análise de componentes principais foi observado a formação de dois grupos de componentes principais (CP). O COS, C-BMS, NT foram as principais variáveis da CP1, os indicadores fosfatase ácida, Mg²⁺ e P foram as variáveis de maior expressividade na CP2. O solo é inicialmente alterado de forma abrupta com a conversão de vegetação nativa para cultivo de arroz, no entanto, após oito anos de cultivo, o solo apresentou uma recuperação quanto aos teores de carbono, níveis de P e atividade da fosfatase ácida.

Palavras-chave: Atividade enzimática, microbiologia do solo, indicadores do solo, solos da Amazônia.

CHAPTER 1 - SOIL QUALITY OF WATERLOGGED PADDY SOIL IN A CROPPING CRRONOSEQUENCE

ABSTRACT

The search for sustainable agriculture has promoted the development of research in the soil field aimed at understanding the behavior that soil presents in response to different managements and crops. A large number of researchers has focused its efforts on identifying soil properties that are more efficient in inferring soil quality due to soil changing as result from use and management. The aim presented in this study was to evaluate the soil quality by chemical properties, soil microbiological and biochemical in an area with waterlogged rice cultivation under different years of cropping. The areas have the following rice cultivation times (1, 3, 8, 13 and 25 years) compared to a nature area (reference). Composite samples with four replications were collected at 0-10 cm depth. They were separated into two sub-samples, one for chemical analysis and one for microbiological and biochemical analysis, which were stored under cooling. In the laboratory the chemical attributes evaluated were: soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), P available, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} exchanges, $Al^{3+}+H^+$ exchanges and pH, and calculated the CEC, and C/N ratio. The microbiological attributes were: microbial biomass carbon (MBC), microbial respiration (MR), calculated the CO_2 coefficient (qCO_2) and microbial coefficient ($qMIC$). The enzymes activities of acid phosphatase and urease were evaluated. The different years of rice cultivation were significantly different from the nature area in most of the soil indicators assessed, with higher expressivity, especially to SOC, NT, P, CBM and acid phosphatase variables. In the principal component analysis was observed the formation of two main groups of components (CP). SOC, C-BMS and NT were the main variables of the CP1, the acid phosphatase indicators, Mg^{2+} and P were the variables of greater expressiveness in CP2. The abrupt shift in soil quality from nature area converted to rice cultivation decreased the soil quality, but after 8 years of rice cropping the soil presented an improvement in soil quality.

Keywords: enzymatic activity, soil microbiology, soil indicators, Amazon soils.

5.3 INTRODUÇÃO

A constante necessidade de aumentar a produção de alimentos para suprir as demandas populacionais tem acarretado diversos problemas ambientais no solo, interferindo diretamente na sua qualidade, o que resulta na perda de funções ecossistêmicas (SILVA, *et al.*, 2011).

A rizicultura é uma das poucas cadeias produtivas realmente estabelecidas no estado de Roraima, com participação efetiva na geração de empregos, renda e no PIB do Estado (CORDEIRO *et al.*, 2007). Cerca de 80% do arroz produzido no Estado é cultivado em solos de várzeas (SAKAZAKI; ALVES; LOPES, 2008). As áreas de várzeas no Estado correspondem cerca de 160.000 hectares, mapeados em região de savana, e a sua grande maioria com aptidão agrícola para o cultivo do arroz irrigado (BARBERENA; MEDEIROS; BARBOSA, 2011). No entanto, estes sistemas não têm sido investigados quanto às alterações que ocorrem no solo, podendo está havendo desequilíbrio na qualidade do solo e no rendimento da cultura.

A qualidade do solo começou a ser estudada por Lal e Pierce em 1991, com alerta feita pelos autores, sobre a importância da QS para a sustentabilidade ambiental e agrícola (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Doran e Parkin (1994) propuseram o conceito de QS mais aceito e conhecido no meio científico até os dias atuais, o qual foi modificado mais tarde por Doran (1997): Para os autores “Qualidade do solo é a capacidade que um solo possui de funcionar dentro dos limites de um ecossistema nativo ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”. Em outras palavras, pode se dizer que QS é a conexão das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o capacita a desempenhar suas funções na plenitude.

Com os avanços dos estudos de QS iniciou-se uma busca por indicadores que melhor respondessem às alterações que ocorrem no solo em consequência dos manejos e culturas utilizados, denominados indicadores de qualidade do solo (IQS). Larson e Pirce (1994) propuseram um conjunto mínimo de variáveis químicas, físicas e biológicas que, monitoradas ao longo do tempo, podem ser capazes de expressar as alterações da qualidade do solo em função do manejo adotado.

A avaliação da QS pode ser considerada complexa, isso porque o sistema solo é aberto e dinâmico buscando o equilíbrio na sua entropia, estimulando assim, a busca por um IQS que responda às inter-relações que existem no sistema solo (LIMA *et al.*, 2008;

CARNEIRO *et al.*, 2009; VEZZANI e MIELNICZUK, 2011; CHERUBIN *et al.*, 2015), haja visto que indicadores isolados são insuficientes para elucidar a perda ou o ganho de QS dos cultivos de determinado solo (DORAN; PARKIN, 1994; CARNEIRO *et al.*, 2009; MENDES *et al.* 2009; KARLEN *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2015), tornando-se imprescindível a avaliação da combinação ou correlação de diferentes atributos do solo, o que tem sido feito por meio do uso de análise multivariada (LIMA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2015). Mendes *et al.* (2009) ressaltaram que um bom indicador de qualidade do solo é aquele que possui a capacidade de responder às mudanças que venham a ocorrer no sistema.

Lima *et al.* (2008) e Lima *et al.* (2013) buscaram encontrar um conjunto mínimo de indicadores que pudessem expressar a qualidade do solo em cultivo de arroz no Rio Grande do Sul, e seus estudos mostraram maior expressividade dos atributos microbiológicos e MOS, como um conjunto mínimo de variáveis possíveis para avaliar QS no cultivo de arroz. Liu *et al.* (2015) corroborou com os estudos anteriores, indicando a avaliação de NT, P, fosfatase ácida, bactérias totais e fungos micorrízicos, como um conjunto mínimo de variáveis para avaliar a QS no cultivo de arroz na China.

A MO e os atributos microbiológicos do solo (CBM, RB, qCO_2 e $qMIC$) e mais recentemente a atividade enzimática (urease, fosfatase ácida e alcalina e β -glicosidase) são os indicadores mais relacionados com a qualidade do solo (SILVA *et al.*, 2012; VANEGAS *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2015), por apresentarem alta sensibilidade, até mesmo com pequenas mudanças no manejo do solo.

Os estudos dos processos biológicos que ocorrem nos solos são relevantes para entender os processos ecológicos envolvidos nos sistemas. A avaliação da biomassa microbiana do solo pode ser indicada como o principal atributo de qualidade microbiológica, sendo este indicador responsável por medir a quantidade de microrganismos presentes no solo, já a respiração basal microbiana é utilizada como um complemento de estudo da biomassa microbiana, já que aquela mensura a atividade dos microrganismos (ARAÚJO *et al.*, 2012). Por sua vez, as enzimas têm participação essencial nos ciclos dos elementos no solo, já que desempenham papel importante nas transformações da matéria orgânica e na disponibilidade de nutrientes (CARVALHO, 2005).

Os atributos químicos, como teor de macro e micronutrientes, pH e CTC, também são usados como indicadores de qualidade, visto sua importância na nutrição das culturas (ALVARENGA; DAVIDE, 1999). Lima *et al.* (2008) e Liu *et al.* (2015) obtiveram respostas expressivas de pH, CTC, N, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} em seus estudos quanto a qualidade do solo.

Nos últimos anos têm sido crescentes os estudos com indicadores de qualidade do solo a nível de Brasil (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005; CARNEIRO *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2012; CHERUBIN *et al.*, 2015). Pesquisas com indicadores de qualidade do solo no cultivo de arroz tem sido realizada, tanto no campo nacional Lima *et al.*, 2008; Lima *et al.*, 2013, quanto no exterior; Bhaduri *et al.* (2014), em plantio de arroz na Índia, Li *et al.* (2013) e Liu *et al.* (2015) na China, os quais têm estudado o estabelecimento de um conjunto mínimo de dados que possa inferir a qualidade do solo nas áreas de várzeas. No entanto, informações a respeito desses indicadores em ambientes de várzeas cultivadas com arroz no estado de Roraima são pouco conhecidas, ou inexistentes, sendo necessário estudos que correlacionem os atributos de solo, auxiliando no monitoramento desses sistemas.

Com base no exposto anteriormente e tendo em mente que a busca por um IQS que possam mensurar a QS ainda é incipiente no estado de Roraima, principalmente, em cultivo de arroz. Na presente pesquisa, o objetivo foi avaliar a qualidade do solo, por meio dos atributos físicos, químicos, microbiológicos e bioquímicos do solo, em função do tempo de cultivo contínuo de arroz irrigado, comparado a vegetação nativa.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

Para o presente estudo foi utilizado área de plantio comercial de arroz, de uma propriedade particular, fazenda Paraíso, situada no município de Bonfim, nordeste de Roraima, coordenadas de referência: 3° 19' 01,56'' N, 60° 23' 43,65'' W (Figura 1). O clima da região é tropical chuvoso, tipo AW (KÖPPEN-GEIGER), com precipitação anual de 1500 a 2000 mm, com temperatura média de 27,5°C. O solo foi classificado como GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2013), apresentando as seguintes características nos primeiros 10 cm: Teor de argila: 599 g kg⁻¹; silte 381 g kg⁻¹; areia 20 g kg⁻¹; C orgânico 10,7 g kg⁻¹; pH (H₂O) 4,6; P 22 mg kg⁻¹ (Mehlich-1); N 1,3 g kg⁻¹; Ca⁺² 1,3 cmol_c kg⁻¹; Mg⁺² 1,4 cmol_c kg⁻¹; K⁺ 0,13 cmol_c kg⁻¹; Na⁺ 0,10 cmol_c kg⁻¹; S 2,9 cmol_c kg⁻¹; Al⁺³ 2,4 cmol_c kg⁻¹; H⁺ 5,2 cmol_c kg⁻¹; T 10,5 cmol_c kg⁻¹.

Manejo da área de estudo

As áreas avaliadas foram: áreas de cultivo de arroz de primeiro (Ar1), terceiro (Ar3), oitavo (Ar8), décimo terceiro (Ar13) e vigésimo quinto (Ar25) ano de cultivo. O cultivo de arroz consiste no sistema de plantio semi-direto após o primeiro ano de implantação da cultura, sendo que para plantio de primeiro ano adota-se o preparo convencional do solo, o qual consiste em duas passagens de grade, uma niveladora, uma plainagem e uma passagem de rolo para o destorroamento final do solo, por fim, são feitas as curvas de níveis na área e construção das taipas.

No primeiro ano de cultivo foi aplicado calcário (2 toneladas por ha^{-1}), a fim de atender as necessidades nutricionais da cultura para os nutrientes cálcio e magnésio, sendo aplicado a intervalo de quatro anos, ou seja, a próxima aplicação de calcário ocorrerá no quarto ano de cultivo da área.

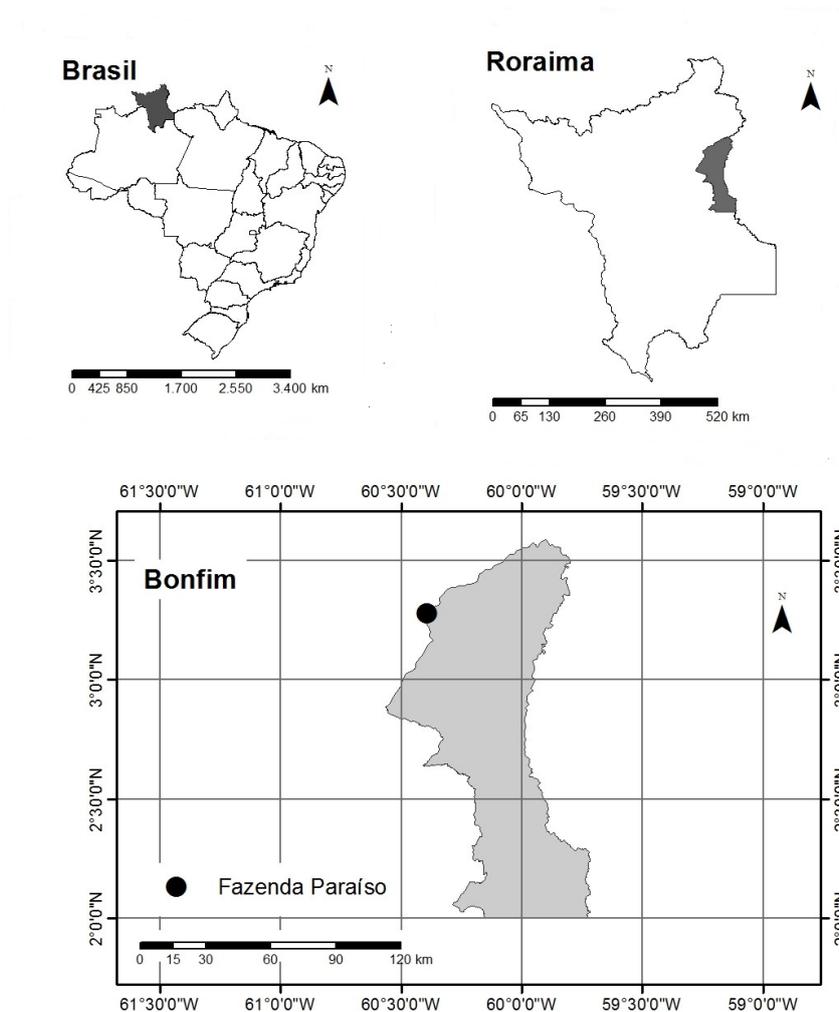


Figura – 1. Localização da área de estudo.

Em situações de grandes perturbações do solo, irregularidades superficiais por problemas de umidade durante a colheita, operações de gradagens e nivelamento são realizadas. Na tabela 1, encontra-se a descrição do preparo do solo das áreas estudadas nos últimos cinco anos. Essa característica de cultivo é mencionada por Lima *et al.* (2008), no estado do RS em cultivo de arroz, o qual classifica com plantio semi-direto.

Tabela 1: Manejo do solo e produção de arroz ($t\ ha^{-1}$) dos últimos cinco anos de cultivo das áreas estudadas

| Tratamentos | Ar1 | Ar3 | Ar8 | Ar13 | Ar25 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Safra | | | | | |
| Manejo do solo | | | | | |
| 2014/2015 | Convencional | Direto | Direto | Direto | Direto |
| 2013/2014 | - | Convencional | Direto | Direto | Convencional |
| 2012/2013 | - | Convencional | Convencional | Direto | Direto |
| 2011/2012 | - | - | Convencional | Convencional | Convencional |
| 2010/2011 | - | - | Convencional | Convencional | Convencional |
| Safra | | | | | |
| Calagem (calcário dolomítico PRNT 85%) | | | | | |
| 2014/2015 | Calagem | - | Calagem | Calagem | Calagem |
| 2013/2014 | - | - | - | - | - |
| 2012/2013 | - | Calagem | - | - | - |
| 2011/2012 | - | - | - | - | - |
| 2010/2011 | - | - | Calagem | Calagem | Calagem |
| Safra | | | | | |
| Produção ($t\ ha^{-1}$) | | | | | |
| 2014/2015 | 7,9 | 7,05 | 7,1 | 7,0 | 7,0 |
| 2013/2014 | - | 6,95 | 7,0 | 6,9 | 6,7 |
| 2012/2013 | - | 7,05 | 7,1 | 6,9 | 6,75 |
| 2011/2012 | - | - | 6,9 | 6,8 | 6,6 |
| 2010/2011 | - | - | 6,75 | 6,5 | 6,4 |

A variedade cultivada foi a IRGA 424, com espaçamento entre linhas de 20 cm e com aproximadamente 25 sementes por metro linear, totalizando $120\ kg\ ha^{-1}$ de sementes. A adubação de plantio constitui-se $500\ kg\ ha^{-1}$ de NPK, da fórmula 5-25-25 (5% de N, 25% de P_2O_5 e 25% de K_2O). Em cobertura utiliza-se ureia, $300\ kg\ ha^{-1}$, sendo está dividida em três aplicações de $100\ kg\ ha^{-1}$ (1º aplicação: 15 dias após o plantio; 2º aplicação: 40 dias após o plantio; 3º aplicação: 60 dias após o plantio). Após a colheita, a área com a soca da cultura é pastejada pelo gado de corte da fazenda, permanecendo assim até o próximo plantio.

Amostragem do solo

As amostragens de solo foram realizadas no mês de março, logo após a colheita. Para a coleta das amostras foram demarcados quadrantes de $100\ x\ 100\ (10.000\ m^2)$ em cada área, as quais foram subdivididas em quatro parcelas de $50\ x\ 50\ (2.500\ m^2)$, constituindo assim as

repetições de cada tratamento. Em cada parcela foram obtidas três amostras compostas a partir de três amostras simples de solo, formando assim três amostras compostas de cada parcela, com quatro repetições por tratamento. Como tratamento controle, foi usada uma área de vegetação nativa (ArN) como referência, cuja vegetação apresentava uma camada de serapilheira em torno de 5 cm.

As amostragens foram feitas na camada de 0-10 cm, coletadas com o auxílio de pá de corte, divididas em duas amostras, uma para análise química e a outra para as análises microbiológicas e bioquímicas, sendo que para essas últimas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos em caixa térmica para o transporte até o laboratório de solos da Universidade Federal de Roraima. No laboratório, as amostras foram acondicionadas sob refrigeração com temperatura variado de 4°C a 7°C até a realização das análises.

Foram realizadas também amostragens para densidade do solo, utilizando o método do anel volumétrico com anel de 100 cm², em triplicatas em cada parcela.

Análises de Solo

Para a realização das análises, microbiológicas e bioquímicas, as amostras foram peneiradas em malha 2 mm, retirando os fragmentos vegetais por catação, com auxílio de pinça. Já as amostras para análises químicas foram preparadas terra fina seca ao ar (TFSA), após a secagem, estas foram passadas em peneira com malha 2 mm e armazenadas em sacos plásticos até a realização da análise no laboratório de solos, CCA, UFRR. Na tabela 2 estão apresentados os indicadores estudados, os métodos utilizados para suas respectivas avaliações e suas respectivas referências.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Além disso, os dados foram comparados com os obtidos no solo de vegetação nativa (testemunha), aplicando o teste de Dunnett ($p < 0,05$). As análises foram realizadas utilizando o software Sisvar versão 5.5 (FERREIRA, 2011). Para tais análises o delineamento experimental utilizado foi o de blocos aleatorizados, com quatro repetições.

Foi realizado também análise estatística multivariada por meio da análise canônica, utilizando todas as variáveis do estudo, para avaliar quais variáveis seriam mais responsivas aos sucessivos anos de cultivos de arroz. Para a realização desta foi reduzido o conjunto de dados em combinações lineares, gerando os escores das duas primeiras variáveis canônicas que explicam mais de 80% da variação total, conforme recomendado por Cruz e Regazzi

(1994). Esses escores foram projetados em gráficos bidimensionais. Além dessa técnica, foi ainda utilizado o método de agrupamento de Tocher, com o propósito de discriminar os anos de cultivos que apresentaram maior similaridade. As análises foram realizadas com o auxílio do programa Info-Gene versão 2012 (DI RIENZO *et al.*, 2013).

Tabela 02: Indicadores físicos (textura e densidade do solo), químicos, microbiológicos e bioquímico do solo e os respectivos métodos utilizados para a sua determinação

| Indicador | Extrator | Método | Referência |
|---|--|---|--|
| Química | | | |
| Carbono orgânico | Dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) | Walkley-Black | Modificado Embrapa (2009) |
| Fósforo disponível | Extrator Mehlich ⁻¹ | Espectrofotometria UV-Visível | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Potássio disponível | Extrator Mehlich ⁻¹ | Fotometria de chama | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Nitrogênio total | Digestão H_2SO_4 | Método Kjeldahl | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Cálcio e Magnésio (trocáveis) | KCL 1mol L ⁻¹ | Absorção Atômica | Embrapa (2009) |
| Alumínio + Hidrogênio (trocáveis) | Acetato de cálcio KCL 1mol L ⁻¹ ----- | Titulometria Titulometria Diferença entre Al+H e Al | Tedesco <i>et al.</i> (1995) Tedesco <i>et al.</i> (1995) Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| pH (H₂O) | H ₂ O (1:2,5) | Potenciometria | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Estoque de C superficial | ----- | Teor de C multiplicado pela densidade a 0,1 m | Blake & Hartge (1986) |
| Estoque de N | ----- | Teor de N multiplicado pela densidade a 0,1 m | Blake & Hartge (1986) |
| Microbiológico | | | |
| Carbono da biomassa microbiana (C-BMS) | Clorofórmio/Sulfato de potássio | Fumigação e extração | Vance <i>et al.</i> (1987); Tate <i>et al.</i> (1988) |
| Respiração basal do solo (RBS) | CO ₂ evoluído com extração pelo NaOH | Titulometria (HCL 0,5 mol L ⁻¹) | Jenkinson; Powlson (1976) |
| Quociente metabólico (qCO₂) | ----- | Razão RBS e C-BMS | Anderson; Domsch, (1993) |
| Quociente microbiano (qMíc) | ----- | Razão entre o C-BMS e o COS | Anderson; Domsch, (1993) |
| Bioquímica | | | |
| Fosfatase ácida | <i>p</i> -nitrofenol-fosfato | Espectrofotometria | Tabatabai (1994) |
| Urease | Método do salicilato | Espectrofotometria | Kandeler, E.; Gerber, H (1988); |
| Física | | | |
| Densidade | | Anel Volumétrico | Blake; Hartge (1986) |
| Textura | Pipeta | Agitador de Wagner | Gee; Bauder (1986) |

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Indicadores químicos de qualidade do solo

Os atributos químicos do solo apresentaram variação significativa ($p < 0,05$) entre os diferentes anos de cultivo e destes em relação a vegetação nativa (Tabela 03).

O pH do solo diferiu da área de referência (4,15) apenas na Ar25 anos de cultivo (4,53), a qual apresentou maior pH (Tabela 3). No entanto, apesar das demais áreas não terem apresentado diferença significativa da ArN, todas as áreas apresentaram maiores valores de pH que a área de referência, permitindo inferir que as práticas de manejo adotadas no cultivo do arroz, ao longo do tempo proporciona melhorias no pH do solo. É válido lembrar que pH baixo, como os encontrados no presente estudo, não influenciam negativamente na cultura do arroz, visto que o efeito do alagamento promove a estabilização do pH do solo próximo a neutralidade, promovendo, também, aumento de Fe^{2+} e Mg^{2+} na solução, características comuns aos solos de várzea.

O fósforo no solo apresentou comportamento diferente dos encontrados no COS e NT em relação a área nativa, visto que para o referido nutriente o cultivo contínuo das áreas proporcionou incremento de P no solo (Tabela 3), exceto, para área de primeiro ano, a qual não diferiu da área nativa. A área Ar25 anos de cultivo teve um acréscimo nos teores de P de aproximadamente 120 mg kg^{-1} , em relação a ArN. Esta diferença acentuada pode ser atribuída às adubações feitas em cada ano de cultivo.

Com a comparação entre os anos de cultivo, observou-se que com a longevidade do cultivo das áreas há um incremento nos teores de P no solo ao longo do tempo. Esse comportamento é explicado pelo fato do fósforo ser um nutriente de baixa movimentação no solo, de modo que, com consecutivas adições há tendência do nutriente se acumular no solo. O resultado encontrado no trabalho expressa a importância de avaliar os teores desse nutriente como IQS em áreas de cultivos de longa duração, principalmente, em regiões tropicais, onde o nutriente apresenta históricos de baixos teores, se destacando como o principal nutriente que limita a produção nessas regiões.

Tabela 3: Atributos químicos de qualidade de um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico sob área de vegetação nativa e cultivo de arroz inundado, com diferentes tempos de cultivo continuado e manejos (0 – 10 cm de profundidade)

| Tratamentos | Variáveis | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|---|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| | pH H ₂ O | P mg kg ⁻¹ | K ⁺ mg kg ⁻¹ | Ca ⁺² cmol _c kg ⁻¹ | Mg ⁺² cmol _c kg ⁻¹ | Al ⁺³ cmol _c kg ⁻¹ | H ⁺ cmol _c kg ⁻¹ | CTC cmol _c kg ⁻¹ | COS g kg ⁻¹ | N total g kg ⁻¹ | Relação C/N |
| Ar1 | 4,23 ab | 5,48 c | 68,17 b* | 0,23 c | 0,03 b* | 1,37 bc* | 2,97 b* | 1,80 c* | 4,64 c* | 0,63 b* | 7,37 a |
| Ar3 | 4,02 b | 43,58 bc* | 89,56 a | 1,19 b* | 0,22 a* | 1,85 ab* | 4,50 a* | 3,49 b | 7,22 ab* | 0,91 ab* | 7,93 a |
| Ar8 | 4,48 a | 77,27 b* | 68,00 b* | 1,99 a* | 0,28 a* | 2,36 a* | 4,68 a* | 4,81 a* | 7,99 a* | 1,08 a* | 7,39 a |
| Ar13 | 4,40 ab | 82,98 b* | 52,81 b* | 1,08 b* | 0,27 a* | 1,34 bc* | 4,02 ab* | 2,82 bc | 6,28 abc* | 0,94 ab* | 6,68 ab |
| Ar25 | 4,53 a* | 127,09 a* | 65,79 b* | 0,69 bc* | 0,28 a* | 0,94 c* | 4,05 ab* | 2,07 c* | 5,29 bc* | 1,07 a* | 4,95 b |
| CV (%) | 4,48 | 27,86 | 13,77 | 25,95 | 18,07 | 23,28 | 15,78 | 17,72 | 16,85 | 19,66 | 13,45 |
| ArN | 4,15 | 7,03 | 92,19 | 0,19 | 0,11 | 3,22 | 6,63 | 3,75 | 10,73 | 1,86 | 6,17 |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); e as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da mata nativa pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$)

Em estudo feito por Li *et al.* (2013) em cultivo de arroz na China, o autor destaca que apesar do P não ter sido classificado entre o principal conjunto de indicadores de qualidade do solo, o nutriente é sempre tido como um dos limitantes na produção da cultura. Liu *et al.* (2015), em estudo feito na China em três áreas de produção de arroz (alta, média e baixa produtividade), relataram que os baixos níveis de P na área de baixa produção de arroz levam aos maiores limitantes na produção. A produção de arroz tem sido limitada fortemente pela baixa disponibilidade de fósforo, principalmente em solos tropicais (HEDLEY *et al.*, 1994). Os mecanismos envolvidos na mobilização e solubilização de P na rizosfera de arroz são: a diminuição do pH da rizosfera, que estimula a solubilidade do fósforo para as plantas de arroz, onde há formação de complexos de citrato-metal-P solúveis ou quelantes de íons metálicos que o imobilizam (JIANGUO; SHUMAN, 1991; KIRK *et al.* 1999).

O teor de potássio disponível da área de referência não diferiu estatisticamente da área de três anos de cultivo (Tabela 3), no entanto, todos os tratamentos foram mais baixos em comparação com a ArN, cujos valores se mantiveram em torno do limite crítico para a cultura do arroz irrigado (60 mg kg^{-1}) CQFS-RS/SC (2004). Quanto a comparação entre as áreas de cultivo, houve diferença estatística apenas da área de terceiro ano em relação as demais. Observa-se também, que não há uma tendência de linearidade nos teores de K^+ , como os apresentados no P e N. Este efeito pode ser explicado pelas diversas formas em que o potássio pode estar no solo. O potássio que é extraído tanto por soluções ácidas ou soluções salinas (NACHTIGALL; VALL, 1991; CASTILHOS; MEURER, 2002) não se apresenta boa correlação com a cultura do arroz irrigado, uma vez que o suprimento de K^+ pode ocorrer por fontes não trocáveis em função do alagamento que libera potássio associado às micas, complexado a Fe^{2+} e Mn^{2+} (BARBER, 1995). É possível que a liberação de K^+ das formas estruturais de feldspatos e micas e de K^+ retido nas entre camadas de alguns argilominerais 2:1 expansivos, consideradas as formas não trocáveis, podem atuar como fontes desse nutriente às plantas, conforme Castilhos *et al.* (2002). A compreensão da relação material de origem, mineralogia e fertilidade do solo, e a falta de métodos de rotina para análise mineralógica quantitativa exata dos solos tem sido um dos principais obstáculos no caminho de avançar além das avaliações qualitativas destes relacionamentos (ANDRIST-RANGE *et al.*, 2010), cujo conhecimento do estoque e do potencial de biodisponibilidade de K do solo são de fundamental importância nos sistemas de uso da terra.

Há também na literatura relatos sobre a lixiviação de potássio em plantio de arroz irrigado, principalmente com o manejo contínuo de água no solo (STONE; MOREIRA; FILHO, 1990; SANTOS; FAGERIA; ZIMMERMANN, 2002). Em trabalhos realizados por

SANTOS; FAGERIA; ZIMMERMANN (2002) a lixiviação de K^+ atingiu até 80 cm de profundidade, com maiores concentrações na camada de 40 cm.

Quanto aos teores de Ca^{2+} , apenas a área de primeiro ano não diferiu estatisticamente nos teores de Ca^{2+} da ArN (Tabela 3). Nas áreas de Ar3, Ar8, Ar13 e Ar25 houve incremento de Ca^{2+} com o cultivo de arroz em relação a área de referência, sendo que o oitavo ano de cultivo apresentou maior teor de Ca^{2+} comparado às demais áreas (Tabela 03). Os resultados encontrados podem ser explicados pela realização de calagem coincidente na safra do estudo, como também, pelo referido tratamento ter apresentado os maiores valores de COS. Para os teores de Mg^{2+} , a Ar1 apresentou valores bem inferiores aos da ArN. As demais áreas apresentaram entre si comportamento estatístico igual, no entanto, foram superiores à ArN. Lima *et al.* (2008) observaram que a avaliação de Ca^{2+} e Mg^{2+} está inserida no principal conjunto de dados em cultivo de arroz avaliados em várzea do RS. Os solos de várzeas possuem características ácidas o que correlacionam com baixos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (PROVAM, 1996), portanto com a aplicação de calcário os níveis desses nutrientes tendem a elevar seus teores no solo.

Os valores de Al^{3+} e H^+ de todas as áreas de cultivo diferiram estatisticamente da área de referência (Tabela 03), apresentando concentrações menores desses. Esse resultado demonstra que a prática de calagem adotada no manejo do cultivo de arroz, com finalidade de fornecer Ca^{2+} e Mg^{2+} , principalmente, foi eficiente na neutralização teores de Al^{3+} e H^+ da solução do solo.

Os anos cumulativos de cultivo e o manejo empregado influenciaram na diminuição dos teores de Al^{3+} no solo, visto que a área de 25 anos apresentou menor teor de alumínio ($0,94 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) em relação as demais áreas (Tabela 3). Quanto aos valores de H^+ , observou-se menor concentração na Ar1 de cultivo ($2,97 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), em relação às demais áreas. Esse comportamento pode estar relacionado aos teores de COS, visto que a área de primeiro ano apresentou menores valores de COS ($4,64 \text{ g kg}^{-1}$), comparado às demais áreas. No processo de decomposição da matéria orgânica há a liberação de íons H^+ , o que proporciona a acidificação do solo, o que torna compreensível que as áreas que apresentaram maiores teores de COS, Ar3 e Ar8 ano ($7,22$ e $7,99 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente), apresentem valores mais elevados de H ($4,50$ e $4,68 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente).

Quanto a CTC, as áreas de primeiro, oitavo e vigésimo quinto ano diferiram estatisticamente da área de vegetação nativa (Tabela 3), no entanto, apenas a área de oito anos de cultivo apresentou maior valor de CTC ($4,81 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), em relação a referência ($3,75 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), as demais áreas apresentaram menor CTC em relação a área de referência, tal

resultado já era esperando, visto que foi a área de oito anos que apresentou os maiores valores de Ca^{2+} e Al^{3+} , assim como maior teor de COS, o qual influencia na maior presença de cargas negativas no solo, aumentando assim a adsorção de cátions em tais cargas. Liu *et al.* (2015) observaram maiores valores de CTC em solos com maior produção de arroz na China, quando este foram comparados com solos de média e baixa produção e estes valores se correlacionam com os teores de COS.

A relação C/N não apresentou diferença das áreas de cultivo em relação a ArN (Tabela 3), no entanto, diferiu estatisticamente entre si, com a Ar25 apresentando menor relação C/N (4,95). Este resultado está relacionado com os valores de COS e N, onde a referida área apresentou maior teor de N ($1,07 \text{ g kg}^{-1}$), comparado com as demais áreas de cultivo, e baixo teor de COS ($5,29 \text{ g kg}^{-1}$), o que explica o resultado encontrado, uma relação baixa de C:N apresenta uma mineralização mais rápida. Fatores que contribuem para a relação C:N é a composição das plantas no local, teor de N encontrado em relação a C, como também o uso de adubações de base nitrogenada, o que aumenta os níveis de N em relação aos de C, visto que o N é utilizado pelos microrganismos como fonte de energia, conseqüentemente quanto maior o teor de N maior atividade microbiana.

Estoque de Carbono e Nitrogênio no Solo

Na figura 2A está representado em forma gráfica o estoque de C das seis áreas estudadas. A vegetação nativa apresentou maior estoque de C em relação às áreas cultivadas, que com o passar dos anos apresentaram tendência de acúmulo de COS, sendo que a área de oito anos que apresentou maior estoque de COS. As áreas de Ar13 e Ar25 anos apresentaram um decréscimo no teor de COS. Esses resultados podem ser explicados, na área de Ar25 anos, pelas alterações no manejo do solo, já que nos três últimos anos fez-se necessário o uso de sistematização mecânica da área. Cherubin *et al.* (2015) enfatizam que com a adoção do plantio convencional as mudanças nos teores de COS e MOS são mais impactantes, tornando-se mais visíveis. Na área ArN é esperado um maior aporte de C por apresentar uma composição vegetal diversificada, com materiais com diferentes níveis de resistência a decomposição em relação as áreas cultivadas e raízes em diferentes profundidades.

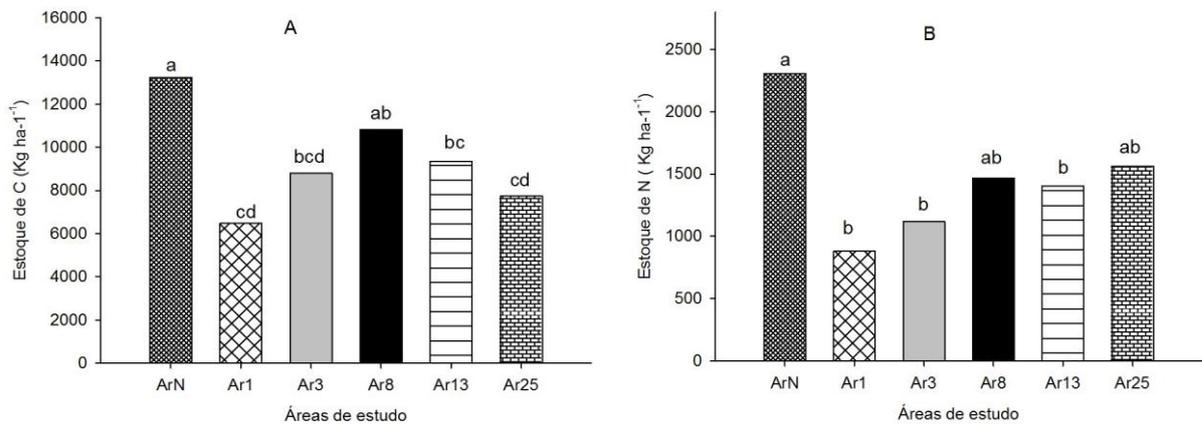


Figura 2 – Estoque de carbono (A) e nitrogênio (B) de um GLEISSOLO HÁPLICIO Tb Distrófico típico sob área de vegetação nativa e cultivo de arroz inundado com diferentes tempos de cultivo continuado e manejos

Os resultados desse estudo destacam o COS como um indicador útil de qualidade do solo. Outros estudos feitos por pesquisadores como Conceição *et al.* (2005); Vezzani e Mielniczuk (2011) e Cherubin *et al.* (2015) também observaram que a antropização ocasiona a diminuição dos teores de COS no solo. Cherubin *et al.* (2015) enfatizam, ainda, que os conteúdos de COS são influenciados pelos manejos do solo. No presente estudo houve uma redução de 57% dos teores de carbono na conversão da vegetação nativa para cultivo de primeiro ano, enquanto que os cultivos consecutivos apresentaram recuperação dos teores de carbono, com 72% de incremento de carbono no oitavo ano, quando comparado ao primeiro. Esse comportamento foi obtido por Conceição *et al.* (2005) em experimento de longa duração no Sul do Brasil em um Argissolos.

A perda no estoque de carbono, na conversão da ArN para o cultivo de arroz na Ar1 foi de 6,76 t C ha⁻¹. Essa mudança abrupta no estoque de C no solo é ocasionada pelo preparo do solo para o cultivo, onde o revolvimento do solo ocasiona a exposição do mesmo a altas temperaturas, proporcionando assim a decomposição acelerada do material orgânico. A MO, antes protegida pelos agregados dos solos, tem sua mineralização acelerada pelos efeitos da mecanização, com a ação do clima e microrganismo.

No entanto, a diferença da ArN para a Ar8 (área com maior estoque de C) foi 2,4 t ha⁻¹ de C, o que evidencia ganhos de COS ao longo dos anos de cultivo. Silva e Sá Mendonça (2007), relatam a fragilidade de sistemas tropicais quando estes sofrem mudanças em sua cobertura vegetal, apontam que a dinâmica do C é mais rápida nesses sistemas e que a produtividades de sistemas tropicais são dependentes de elevadas entradas de taxas de ciclagem de C. O fato do arroz ser uma Poaceae com sistema radicular fasciculado bem

desenvolvido, com muitos pelos radiculares, pode ser um fator contribuinte para a recuperação de carbono ao longo dos anos de cultivo. Segundo Vezzani e Mielniczuk (2011) as raízes contribuem para a estruturação do solo, que com o passar dos anos tende a se reestruturar, resultando em maior proteção da MO dos agentes decompositores.

A MOS é constituída em média, de 5% de N e 58% de C (SANTOS, 2007), portanto, a preservação da MO nos sistemas de cultivo é uma importante estratégia para minimizar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera (BAYER *et al.*, 2004).

Estima-se que 1500 Pg de C estão armazenados na camada de 100 cm de solo e que cerca de 600 Pg encontra-se na vegetação, esses valores juntos representam uma quantidade três vezes maior que o C encontrado na atmosfera, o que leva a inferir que alterações na vegetação nativa e solo, por meio de práticas agrícolas, proporcionam aumento na emissão de gases para a atmosfera, o que contribui para o efeito estufa (CERRI *et al.*, 2006).

O estoque de N total, assim como COS, apresentou diferença estatística de todos os tratamentos em relação a vegetação nativa (Figura 2B), o cultivo de arroz influenciou de forma negativa os teores de NT.

Os consecutivos anos de cultivos elevaram o estoque de NT no solo, visto que a Ar25 e Ar8 anos foram as que apresentaram maiores teores de NT, enquanto que a Ar1 de cultivo foi o tratamento de menor estoque de NT no solo. Esse resultado pode ser explicado pela aplicação de N (300 kg ha^{-1}) em todos os anos de cultivo, o que agrega maior teor de N na composição da MO. Os teores de NT também estão relacionados com os de COS, sendo que os maiores valores de COS apresentam maiores teores de NT. Para Conceição *et al.* (2005), o COS e NT, avaliados na camada de 0–5 cm, apresentaram eficiência em demonstrar o impacto de sistemas de manejo sobre a QS.

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas e é na atmosfera que se encontra a maior concentração de N presente no planeta (N_2), cerca de 78%, no solo a concentração de N é baixa, sendo estocado na maior parte na forma orgânica cerca de 98% (CANTERELLA, 2007), desta forma, manter bons índices de MO no solo resulta manutenção de N no sistema. A manutenção de nitrogênio no sistema solo influencia a ciclagem de nutrientes através da decomposição da MO, onde alta taxas proporciona uma decomposição rápida, o que requer então um equilíbrio entre níveis de N e C na composição da MOS.

Indicadores Físicos

Os resultados mostraram que houve aumento de densidade do solo nas áreas de cultivo em relação a área de vegetação nativa (Tabela 4), com diferença significativa da ArN para as áreas de 13 e 25 anos de cultivo, mostrando que o aumento do tempo de cultivo tende a aumentar sua densidade, o que é explicado pelo tráfego de máquinas agrícolas por mais tempo e pelo pisoteio de animais, colocados para pastejo após a colheita, resultando em quebra da estrutura do solo em superfície e compactação. De acordo com Munareto *et al.* (2010), o cultivo de arroz implica em mudanças estruturais o que direciona o solo a uma compactação gradual, resultando em maior densidade do solo. Além disso os autores afirmam que o manejo mecânico nesse cultivo pode ser o principal responsável pelo aumento da densidade do solo. Nunes *et al.* (2002) também relacionam o processo de preparo da área para o cultivo do arroz, com o intensivo uso de máquinas com o aumento de densidade do solo.

Tabela - 4: Densidade do solo e textura de um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico sob área de vegetação nativa e cultivo de arroz inundado, com diferentes tempos de cultivo continuado e manejos

| Tratamento | Variáveis | | | |
|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|------------|
| | Densidade do solo | Argila | Silte | Areia |
| | --Mg m ⁻³ -- | ----- g kg ⁻¹ ----- | | |
| Ar1 | 1,40 ab | 231,30 c* | 708,30 a | 60,50 b |
| Ar3 | 1,25 b | 349,20 bc | 347,70 b* | 303,20 a* |
| Ar8 | 1,35 ab | 624,70 a* | 355,80 b* | 195,00 b |
| Ar13 | 1,49 a* | 452,20 b | 503,50 ab | 44,30 b |
| Ar25 | 1,47 a* | 318,90 bc | 584,40 b | 101,80 b |
| CV (%) | 5,88 | 19,15 | 19,16 | 65,92 |
| ArN | 1,24 | 37,42 | 60,39 | 2,2 |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05); e as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da vegetação nativa pelo teste de Dunnett (p<0,05)

Os menores valores de densidade nas áreas Ar3 (1,25 g dm⁻³) e Ar8 (1,35 g dm⁻³) ano podem ser atribuídos aos maiores teores de COS encontrado nessas áreas (Tabela 3), uma vez que a presença de MO, proporciona ao solo maior porosidade e conseqüentemente, menor densidade ao solo (WEIL; BRADY, 2016). Segundo Beutler *et al.* (2004), em condições de campo, a produtividade da cultura do arroz de sequeiro pode ser reduzida em valores de

densidade próximos a $1,63 \text{ Mg m}^{-3}$. Contudo, não se constam na literatura, níveis críticos de densidade do solo em sistemas de cultivo de arroz por inundação.

O aumento da densidade do solo pode trazer problemas para o desenvolvimento da cultura, pois tem como consequência a diminuição dos espaços porosos do solo e aumento da compactação, resistência a penetração e a diminuição da aeração. Solos densos dificultam o desenvolvimento das raízes das plantas, podendo ocasionar diminuição na produção (HAMZA; ANDERSON, 2005). Entretanto, a compactação do solo de forma isolada não deve ser considerada fator limitante para a adoção do sistema de cultivo de arroz, em várzeas úmidas, visto que solos de várzeas, normalmente permanecem a maior parte do ciclo da cultura, saturados (MEDEIROS; SOARES; GUIMARÃES, 2005).

Beutler *et al.* (2012), citam que com o alagamento do solo, ocorre no início do perfilhamento e aprofundamento do sistema radicular das plantas, sob essa condição a compactação do solo não apresenta grandes influências negativas no crescimento radicular, isso porque com a inundação do solo sua resistência é minimizada. Com o processo de umedecimento, o solo apresenta consistência semifluida, com baixa coesão entre as partículas e menor resistência à deformação e penetração das raízes (WEIL; BRADY, 2016).

Em estudos com disponibilidade de NPK em diferentes níveis de compactação ($1,11 \text{ kg dm}^{-3}$; $1,15 \text{ kg dm}^{-3}$; $1,19 \text{ kg dm}^{-3}$; $1,23 \text{ kg dm}^{-3}$; $1,27 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,31 \text{ kg dm}^{-3}$), e água (solo saturado, solo com 75 a 70% de água; solo com 50 a 40% de água), em um Neossolo Flúvico sob cultivo de arroz, Medeiros; Soares; Guimarães (2005), constataram que quando aumentavam-se os níveis de água no solo os níveis de compactação tinham menor influência na disponibilização de P e K^+ para a cultura de arroz, o que levaram os autores a inferir que o acúmulo dos teores de P e K^+ na parte aérea do arroz tiveram maior influência da disponibilidade de água no solo do que pelos níveis de compactação. Os referidos autores também relataram que a produção de massa seca da parte aérea das plantas foram mais influenciadas pelo teor de água no solo do que os níveis de compactação. Portanto, o aumento da densidade do solo nas áreas de cultivo de arroz em relação a vegetação nativa pode vir a ser desejado, visto a necessidade de manter a lâmina de água constante sob o solo, o que além de melhorar a exportação dos nutrientes pela cultura, pode levar a uma economia de água na produção, promovido pela minimização de perdas de água por percolação no sistema.

Quanto a textura do solo, a porcentagem de argila diferiu estatisticamente entre os anos de cultivo, onde o oitavo ano de cultivo foi o que apresentou maior porcentagem de argila (60,47 %) e a área de primeiro ano foi a que apresentou menor porcentagem de argila

(23,13 %), sendo essas as áreas que apresentaram diferença estatística em relação a vegetação nativa.

Observou-se que as áreas, de uma forma geral, apresentaram elevados teores de argila e silte, apenas a área de terceiro ano de cultivo apresentou valores similares para as três frações do solo. Esta variação na granulometria das áreas estudadas pode ser atribuída a adições de sedimentos (areia) transportado do rio, tanto pelo sistema de irrigação como pelo processo de inundação que ocorre nas áreas no período chuvoso. Mudanças na textura do solo não ocorrem por meio de práticas de manejos, mas pode ocorrer alterações na textura do solo ocasionadas por adições de matérias ao sistema (WEIL; BRADY, 2016). Isso fica evidente no presente estudo, principalmente pelo fato da camada estudada ser de 0-10 cm, a qual é mais sujeita a alterações por adição sedimentares.

A área de oitavo ano foi a que apresentou maiores teores de COS, Ca⁺², Mg⁺² e CTC, o que está relacionado aos maiores valores de porcentagem de argila encontrados nesta área. O inverso do desempenho foi verificado na Ar1, a qual apresentou menores porcentagem de argila. Solos com maiores teores de argila são mais reativos, ou seja, possuem maiores capacidade de adsorção de nutrientes e água (WEIL; BRADY, 2016).

Indicadores Microbiológicos

Os indicadores microbiológicos apresentaram variação significativa ($p < 0,05$), exceto o qCO_2 , entre as áreas de diferentes anos de cultivo (Tabela 5).

O C-BMS foi influenciado negativamente com a introdução do plantio de arroz na área, onde todas as áreas de cultivo diferiram estatisticamente da área referência, apresentando menores valores de C-BMS (Tabela 5). Entre as áreas de cultivo, a Ar3 ano apresentou maior C-BMS (193,80 mgC kg⁻¹) e a Ar1 foi a de menor valor de biomassa (73,06 mgC kg⁻¹). Foi observado uma redução de cerca de 54% entre a área que apresentou maior C-BMS (Ar3) como a área de referência.

Para D'Andréa *et al.* (2002) o fato da biomassa microbiana apresentar valores mais elevados em área de vegetação nativa é um reflexo particular do sistema, já que a microbiota do solo nos sistemas naturais é estimulada pelo contínuo fornecimento de materiais orgânicos de diferentes composições, o que lhe proporciona matéria orgânica em diferentes estágios e graus de decomposição. A maior diversidade de compostos orgânicos depositados na rizosfera, contribui favoravelmente à sobrevivência e crescimento dos diferentes grupos de microrganismos do solo. Diante dessas condições é esperado que solos sob vegetação de cerrado nativo ou vegetações nativas de forma geral, em conjunto com a ausência de

perturbações antrópica, apresente maiores teores de biomassa microbiana, indicando o maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ecossistema.

Tabela - 5: Indicadores microbiológicos de um GLEISOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico sob área de vegetação nativa e cultivo de arroz inundado, com diferentes tempos de cultivo continuado e manejos (0-10 cm)

| Tratamentos | Variáveis | | | |
|-------------|--------------------------------------|--|--|-------------|
| | C-BMS (mgC kg ⁻¹ solo) | RBS (mg kg ⁻¹ h ⁻¹ de CCO ₂) | qCO ₂ (mg kg ⁻¹ h ⁻¹ de C-CO ₂ do CBM) | qMic % |
| Ar1 | 73,06 b* | 4,43 b* | 0,07 a | 1,58 a* |
| Ar3 | 193,80 a * | 16,15 ab | 0,09 a | 2,59 ab* |
| Ar8 | 169,04 ab* | 18,14 a | 0,11 a | 2,16 ab* |
| Ar13 | 154,90 ab* | 12,34 ab | 0,08 a | 2,59 ab* |
| Ar25 | 159,62 ab* | 14,63 ab | 0,09 a | 3,15 a |
| CV (%) | 32,41 | 39,75 | 41,37 | 29,26 |
| ArN | 424,10 | 14,99 | 0,04 | 3,94 |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); e as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da vegetação nativa pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$)

Outro fator que influencia nos baixos teores de biomassa microbiana no solo sob cultivo pode estar relacionado com a inundação da área para o plantio do arroz, segundo Moreira e Siqueira (2006), há menor abundância de microrganismos em condições anóxicas que em ambientes aeróbicos. No entanto, observa-se um considerável aumento no C-BMS no terceiro ano de cultivo. Powlson *et al.* (1987) infere que após alteração ocorridas no solo, a biomassa microbiana passa por oscilações buscando atingir um novo equilíbrio. Quando o valor de qCO₂ aumenta indica condições de stress e o abaixamento destes valores indicam economia na utilização de energia que refletem ambiente estável, próximo das condições de equilíbrio (TÓTOLA; CHAER, 2002).

A RBS apresentou um decréscimo no primeiro ano de cultivo de aproximadamente 29% em relação a área de vegetação nativa (Tabela 05), já as demais áreas não apresentaram diferença estatística em relação a vegetação nativa. Em comparação entre os anos de cultivo, observou-se que a área de oitavo ano apresentou maior RBS (18,14 mg kg⁻¹h⁻¹ de C-CO₂) e área de primeiro ano a menor respiração basal (4,43 mg kg⁻¹ h⁻¹ de C-CO₂), esse resultado está relacionado tanto com os teores de COS (7,99, 4,64 g kg⁻¹, respectivamente), como com os de C-BMS (169,04 e 73,06 C-BMS mgC. kg⁻¹ solo, respectivamente). Silva *et al.* (2012) obtiveram correlação positiva e significativa ($r=0,95$; $p=0,002$) entre a RB e o COS do solo,

uma correlação que é esperada, já que a atividade microbiana está relacionada com a disponibilidade de material energético (COS). A alta RBS pode significar tanto uma boa atividade microbiana, em função do material orgânico da adição, como também uma desordem ecológica pelo excesso de água (D'ANDRÉA *et al.*, 2002). Por isso, é justificado a importância de se usar uma área de vegetação nativa como referência (SILVA *et al.*, 2012).

O indicador qCO_2 não diferiu estatisticamente entre as áreas de cultivo de diferentes anos, assim como não houve diferença desta para a ArN (Tabela 5). O resultado do presente estudo corrobora os encontrados por Lima *et al.* (2008), que não constaram nenhuma representatividade desse atributo como indicador de qualidade do solo no cultivo de arroz, sendo que o qCO_2 não encaixou em nenhuma dos cinco grupos de componentes principais encontrado pelos autores. No entanto, a não variação desse atributo, tanto entre os anos como destes em relação a vegetação nativa, expressa a estabilidade biológica presente em cada uma das áreas, isso porque a não alteração no qCO_2 , principalmente comparando as áreas cultivada com a área de vegetação nativa. O qCO_2 é definido pela razão entre a respiração basal por unidade de tempo pela unidade de biomassa microbiana do solo. Anderson e Domsch (1993), consideram o qCO_2 mais eficiente que o C-BMS e a RBS para observar alterações em sistemas de cultivo. Para os autores, à medida que BMS se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos CO_2 é perdido pela respiração o que acarreta maior volume de C incorporada aos tecidos microbianos, resultando na diminuição do qCO_2 . Segundo Mercante *et al.* (2008) o qCO_2 apresenta variações sensíveis, permitindo seu uso como indicadores da qualidade do solo.

O índice $qMIC$ foi mais elevado na ArN, diferindo estatisticamente das demais áreas de cultivo (Tabela 5), exceto da Ar25. Entre os diferentes anos de cultivo a Ar25 é a que apresentou maior índice $qMIC$ (3,15 %). Todos os índices encontrados no presente estudo estão dentro dos valores que são considerados normais, que variam entre 1 a 4 % (JAKELAITIS *et al.*, 2008), podendo inferir assim, que a transformação do COS em C-BMS, ou a mineralização do COS estão com os valores dentro dos limites tolerados, apesar de estarem menores que a ArN.

Indicadores Bioquímicos

A atividade da fosfatase ácida apresentou diferença estatística da área referência para as áreas de cultivo, exceto da Ar3 (Tabela 6). As Ar8, Ar13 e Ar25 apresentaram maiores atividades da fosfatase (407,38, 430,33 e 442,75 mg p-nitrofenol kg^{-1} solo h^{-1} , respectivamente) que a ArN (365,53 mg p-nitrofenol kg^{-1} solo h^{-1}). Já a Ar1 ano obteve valor

inferior a ArN (322,85 mg p-nitrofenol kg⁻¹ solo h⁻¹) apresentando diferença estatística. Estes resultados estão relacionados com os teores de COS, C-BMS e fósforo orgânico, pois, segundo Silva *et al.* (2012) existem correlações positiva da fosfatase ácida com os teores de COS ($r=0,88$; $p=0,01$) e os teores de C-BMS ($r=0,78$; $p=0,03$) tanto em condições úmidas quanto em condições secas.

Tabela 6: Indicadores bioquímicos de um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico sob área de vegetação nativa e cultivo de arroz inundado, com diferentes tempos de cultivo continuado e manejos

| Tratamentos | Variáveis | |
|-------------|---|---|
| | Fosfatase ácida mg p-nitrofenol kg ⁻¹ solo h ⁻¹ | Urease mg NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ solo h ⁻¹ |
| Ar1 | 322,85 c* | 10,34 a * |
| Ar3 | 358,12 bc | 10,61 a |
| Ar8 | 407,38 ab* | 22,77 a |
| Ar13 | 430,33 a* | 13,59 a |
| Ar25 | 442,75 a* | 12,02 a |
| CV (%) | 4,51 | 49,99 |
| ArN | 365,53 | 23,08 |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$); e as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da vegetação nativa pelo teste de Dunnett ($p<0,05$)

Entre as áreas de diferentes anos de cultivo, a Ar13 e Ar25 apresentaram as maiores atividades da fosfatase ácida, já a Ar1 foi a que mostrou menor atividade. Esse comportamento é explicado pelos teores de COS, C-BMS e Po (fosforo orgânico) das referidas áreas. O P em concentrações mais elevadas nas Ar8, Ar13 e Ar25 anos, podem representar o P residual na forma orgânica, resultante da incorporação dos restos da cultura (resíduo vegetal da cultura que fica na área), dessa forma há presença de teores de Po (fósforo orgânico) maiores na matéria orgânica de áreas que tem maiores teores de Pi (fósforo inorgânico), o que favorece a maior atividade da fosfatase que se correlaciona positivamente com o Po no solo.

A atividade da urease só diferiu estatisticamente da ArN na área de cultivo de primeiro ano (Tabela 6). Entre as áreas de cultivo não houve diferença estatística. No entanto, é possível observar maior atividade da urease nas áreas de maior teor de COS e NT (10,73 e 7,99 g kg⁻¹ de COS e 1,86 e 1,08 g kg⁻¹ de NT, respectivamente), que foram a área de vegetação nativa (23,08 mg NH₄⁺ kg⁻¹ solo h⁻¹) e área de cultivo de oito anos (22,77 mg NH₄⁺ kg⁻¹ solo h⁻¹). Os maiores teores de N encontrados no solo estão na forma orgânica, para sua

disponibilização é necessário que ocorra a hidrólise do N orgânico para o N disponível para as plantas, e essa hidrólise é mediada, dentre outras, pela atividade da urease, desta forma é esperado que ocorra maior atividade da enzima em áreas com maiores estoques de COS (CARVALHO, 2005). Lanna *et al.* (2010) apontam que uma alta atividade da urease está relacionada a uma alta população de microrganismos ureolíticos o que promoverá perdas elevada de amônia por volatilização. A atividade da urease é aumentada com a adições de ureia no solo e essa perda pode ser acrescida com a junção com variáveis como: temperatura, pH do solo, umidade, aeração, etc. (CARVALHO, 2005). A avaliação da atividade de urease no solo torna-se relevante por mensurar o potencial que o solo possui na transformação N orgânico em mineral, o que indica o princípio da mineralização do N (CARVALHO, 2005; LANNA *et al.*, 2010), no entanto deve-se ter parcimônia ao inferir qual o processo que está ocorrendo (CARVALHO, 2005).

Liu *et al.* (2015), em estudo feito na china em três áreas de produção de arroz (alta, média e baixa produtividade), observaram diferença significativa entre as áreas de produção para a atividade da urease e fosfatase ácida, sendo que, a área de alta produção apresentou maior atividade de ambas enzimas (20,8 mg NH₄⁺ kg⁻¹ solo h⁻¹ e 521 mg *p*-nitrofenol kg⁻¹ solo h⁻¹, respectivamente), com diferença de 42 e 26,6%, respectivamente, para a área de menor produtividade (12,1 mg NH₄⁺ kg⁻¹ solo h⁻¹ e 382 mg *p*-nitrofenol kg⁻¹ solo h⁻¹, respectivamente). Os autores relacionaram a alta produtividade com os teores de N e P, nutrientes que são hidrolisados pelas respectivas enzimas.

Análise de Componentes Principais (ACP)

Com a análise de componentes principais, foi possível separar os anos de cultivo que mais se assemelham, assim como as variáveis mais representativas para cada área estudada (Figura 3), obtendo dois componentes principais (CP), com variância acumulada de 71%, sendo que a CP1 teve uma representatividade de 43,3% e a CP2 de 27,7%, geralmente, a variação acumulada recomendada é de 80%, no entanto, segundo Regazzi (2001) na área de solos, basta selecionar os primeiras componentes que acumulam uma percentagem de variância explicada, igual ou superior a 70%. Isso devido à complexidade da interação entre as propriedades do solo.

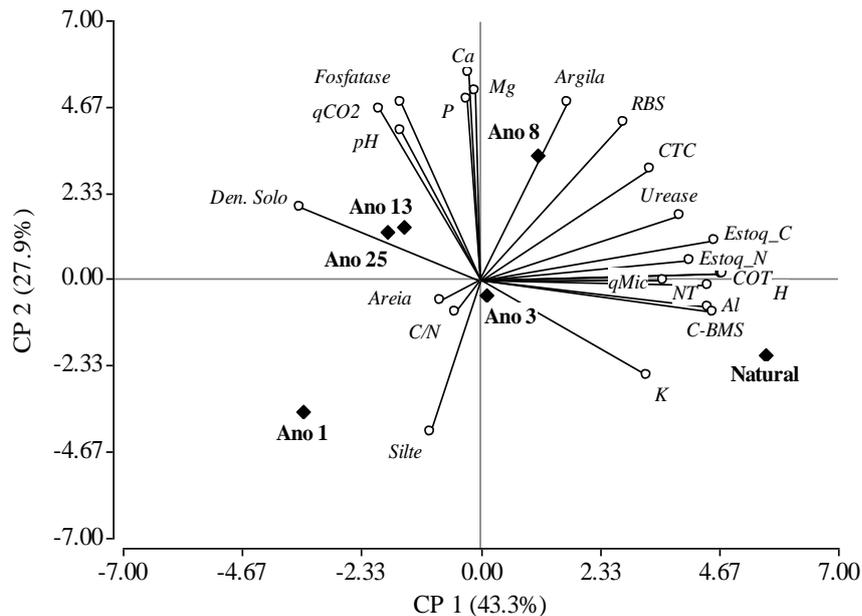


Figura 3: Diagramas de ordenação feitos a partir da análise de componentes principais dos atributos físicos, químicos, microbiológicos e bioquímicos de um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico sob área de vegetação nativa e cultivo de arroz inundado, com diferentes tempos de cultivo continuado e manejos.

O CP1 foi formado pelas variáveis, COS (0,99), H^+ (0,99), estoque de C (0,96), C-BMS (0,96), NT (0,94), Al^{+3} (0,94), estoque de N (0,86), urease (0,82); $qMIC$ (0,75), CTC (0,70) e K^+ (0,68), sendo estas as variáveis mais representativas da área de vegetação nativa e de terceiro ano de cultivo. As variáveis COS, C-BMS, NT, estoque de C, Al^{+3} e H^+ apresentaram alta correlação entre si (acima de 94%). A interação entre as variáveis COS, C-BMS, NT, estoque de C, foram mencionadas anteriormente, destacando principalmente, a importância do COS nas respostas e interações com a maioria dos atributos do solo, principalmente os atributos microbiológicos.

A área de oitavo ano teve uma relação intermediária, sendo representada pelas variáveis da CP2, mas com uma variação próxima à CP1. Este resultado indica uma aproximação entre as áreas ao longo dos anos de cultivo, sendo que o teor argila foi o atributo de correlação com os demais atributos e com a área de oito, confirme os resultados observados na tabela 4, onde as porcentagens de argila formaram maiores na presente área.

A área de primeiro não se correlacionou com nenhuma dos componentes, assim como a variável C/N e areia. A densidade do solo teve correlação negativa com a CP1 (-0,74) e o silte correlação negativa com a CP2 (-0,64).

A ACP evidenciou a relação entre as variáveis COS, C-BMS, NT com a enzima urease, a qual foi discutido anteriormente. Outro resultado que é maximizado na ACP é a relação das variáveis K^+ e Al^{3+} com a área de vegetação nativa, visto a expressivas estas duas variáveis na referida área.

O CP2 foi composto pelas variáveis: Mg^{+2} (0,94), Ca^{+2} (0,86), fosfatase ácida (0,83), P (0,81), argila (0,81), qCO_2 (0,78), respiração basal (0,71) e pH (0,68), as áreas representativas dessas variáveis foram Ar13 e Ar25 anos. Nesse agrupamento foi possível observar com maior clareza a relação da atividade da fosfatase ácida com o fósforo, como também dimensionar a representatividade desses dois indicadores nas duas áreas mais antigas de plantio (Ar13 e Ar25).

Liu *et al.* (2015) constataram, por meio do uso de ACP, que as variáveis NT, P, fosfatase ácida e total de bactéria, são variáveis mínimas que devem ser usadas para inferir QS no cultivo de arroz de várzea na China. Estes autores consideraram em estudos feitos em três diferentes áreas de cultivo de arroz, baixa, média e alta produtividade, que os baixos níveis de NT, P e atividade microbiológica presentes no solo, são os fatores que limitaram a produtividade de arroz na China.

Lima *et al.* (2008) e Lima *et al.* (2013) constataram que os indicadores microbiológicos (C-BMS, fosfatase ácida e alcalina, β -Glicosidase, RBS) e químicos (COT, CTC, NT, Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3}) foram classificadas como principais componentes de indicadores de qualidade do solo em cultivo de arroz no RS. Lima *et al.* (2013) destacaram a importância de avaliação de indicadores biológicos e MO na QS no cultivo de arroz, visto a sensibilidade maior destes atributos em seus estudos.

O presente estudo corrobora os dados de Lima *et al.* (2008) e Lima *et al.* (2013), evidenciando a similaridade que os atributos biológicos, principalmente, C-BMS, $qMic$, urease e fosfatase ácida, como também o COS e NT, apresentam em termo de resposta aos sistemas de uso do solo, mostrando-se sensíveis a alterações ocorridas no solo. Liu *et al.* (2015) indicaram um conjunto mínimo de dados que devem ser analisados para avaliar QS em arroz alagado na China, incluindo NT, P, fosfatase ácida, bactérias totais e fungos micorrizos.

Com a análise de conglomerados foi gerado um dendrograma (Figura 4), no qual é possível observar as áreas que se assemelham. Houve a formação de quatro grupos: grupo 1 formado pela ArN, o grupo 2 formado pelas áreas de Ar3 e Ar8, grupo 3 formado pelas áreas de Ar13 e Ar25, e o grupo quatro pela Ar1. É notável, tanto na figura de CP (Figura 3), quanto no dendrograma (Figura 4) que as áreas Ar1 como a ArN apresentam-se isoladas, com poucas semelhanças entre si.

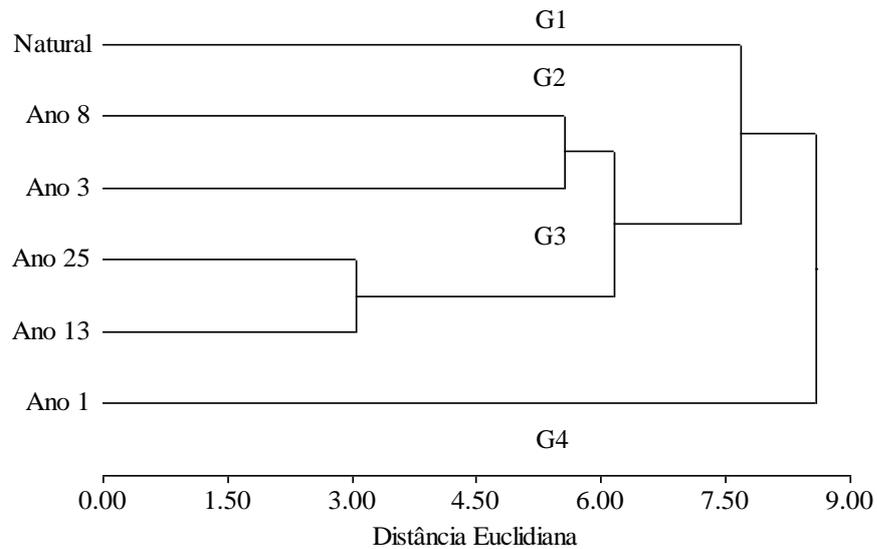


Figura 04: Dendrograma gerado a partir da análise de conglomerados mostra o agrupamento das áreas que apresentaram maior afinidade nas variáveis estudadas.

As áreas Ar25 e Ar13 foram as mais semelhantes entre si, decorrência das recorrentes semelhanças entre as variáveis estudadas em tais áreas. As áreas Ar8 e Ar3 também formaram um grupo distinto. Tudo isso evidencia uma mudança abrupta na conversão do sistema natural em áreas para o cultivo do arroz irrigado e, mesmo que ocorram transformações graduais na qualidade do solo ao longo do tempo (uma vez que áreas de tempo de cultivo mais próximos se assemelham entre si), a qualidade do solo ainda permanece deveras distante daquela encontrada nas áreas naturais.

Com o passar dos anos a entrada de MO e nutrientes advindos das adubações aumentam as fontes de energia para os microrganismos, aliados ao mínimo revolvimento do solo faz com que o desenvolvimento da população microbiana cresça, o que resulta na melhoria da QS. Vezzani e Mielniczuk (2011) relatam o dinamismo na auto-organização do sistema, a qual inicia-se com a entrada de energia (MO) advinda da cultura ou plantas no sistema, a entrada de microrganismos, fungos, hifas ajudam na organização estrutural do solo juntamente com as raízes das plantas, iniciando o processo de agregação do solo, que tem relação direta com auto-organização do sistema. Então é esperado que áreas com o mesmo tipo de solo e que passam a ter mesmo tipo de manejo, tendem a assemelhar-se ao longo do tempo.

5.6 CONCLUSÕES

O solo é alterado de forma abrupta com a conversão do ecossistema nativo para cultivo de arroz. Porém, com os consecutivos anos de cultivo obtém-se um ganho na qualidade do solo, com recuperação da fertilidade do solo, teores de carbono orgânico, CTC e aumento da atividade enzimática.

Os indicadores avaliados foram sensíveis às alterações ocorridas no solo com a implantação da cultura de arroz, nos diferentes tempos de cultivo.

A atividade da fosfatase ácida e o fósforo disponível, foram influenciados de forma positiva com os anos de cultivo, mostrando possíveis transformações do fósforo inorgânico para orgânico, o que aumentou a atividade da enzima fosfatase.

Os indicadores microbiológicos (C-BMS, RBS, $qMIC$ e qCO_2), bioquímicos (fosfatase ácida e urease), como também o carbono orgânico do solo e nitrogênio total, são os indicadores que apresentaram maior sensibilidade, mostrando-se úteis para estudo de qualidade solo em cultivo de arroz em várzea.

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE ARROZ DE VÁRZEA

RESUMO

Nos últimos anos tem se buscado conciliar o incremento da produção de alimento com a manutenção da sustentabilidade dos sistemas de produções agrícolas, onde o uso racional e otimizado da água na agricultura irrigada tem sido destaque. A inundação do solo para a produção de arroz proporciona alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Objetivou-se com esse estudo avaliar a qualidade do solo cultivado com arroz submetido a diferentes manejos de água. O experimento foi realizado no município de Cantá-RR, dentro do programa de melhoramento da EMBRAPA – RORAIMA. O experimento foi instalado em blocos casualizados em esquema de faixas. Os tratamentos foram constituídos pelos sistemas de manejos de irrigação: M1: Inundação intermitente; M2: Inundação intermitente na fase vegetativa, seguida de inundação contínua; M3: Inundação contínua na fase vegetativa, seguida de inundação intermitente até a maturação e M4: Inundação contínua durante todo o ciclo. Sendo duas as cultivares avaliadas: BRS Tropical e IRGA 424. Também foi inserida no estudo uma área não cultivada, adjacente a área de estudo, denominada testemunha. Durante o ciclo da cultura foram feitas leituras de emissão de CO₂ e após a colheita foram realizadas coletas de solo na profundidade de 0-10 cm. As amostras foram separadas em duas subamostras, uma para análise química e outra para microbiológica e bioquímicas as quais foram armazenadas sob refrigeração. No laboratório foram avaliados os atributos químicos: COS, NT, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H⁺ e pH, foram feitos os cálculos da CTC e relação C/N. Avaliou-se o C-BMS e calculou-se o qMIC, também foram feitas análises das atividades das enzimas fosfatase ácida e urease. O COS, NT, K⁺, C-BMS, fosfatase ácida e urease foram influenciados de forma negativa pelos manejos de água comparados a testemunha. Já o P apresentou teores maiores nos manejos de água, em relação a testemunha. Na análise de componentes principais (ACP) foram formados dois grupos, a testemunha representou o CP1 e os manejos de água representaram o CP2, mostrando não haver semelhança entre os manejos e a testemunha. O efluxo de CO₂ foi influenciado pelo estágio fenológico da cultura. O COS, C-BMS, K⁺ e a atividade das enzimas fosfatase ácida e urease foram os indicadores que mostraram maior sensibilidade nas mudanças que ocorrem no solo com a inundação.

Palavras-chave: Indicadores do solo, emissão de CO₂, enzimas do solo, *Oryza sativa*, água na agricultura.

CHAPTER 2 - SOIL QUALITY UNDER DIFFERENT MANagements OF IRRIGATION WATER AT LOWLAND RICE CROP

ABSTRACT

In the last years, a constant struggle has been waged to increase the food production and maintenance of the sustainable agricultural production systems, where the rational and optimal use of water in irrigated agriculture has been featured. The flooding of soil for rice production provides physical, chemical, and biological soil alterations. The aim on this study was to evaluate the soil quality under different water management of irrigation in the rice crop. The experiment was carried out in the Cantá municipality, Roraima state, in the rice breeding program of EMBRAPA. The experiment was installed in randomized blocks with split-plot. The treatments consisted of irrigation management systems: M1: flooding; M2: flooding in the vegetative phase, followed by continuous flooding; M3: continuous flooding in the vegetative phase, followed by intermittent flooding to maturity phase, and M4: continuous flooding throughout the cycle. An area does not cultivated (witness), adjacent to experimental area, was inserted in the study. The rice cultivars evaluated were: BRS Tropical and IRGA 424. Throughout the crops cycle, readings of CO₂ emission were taken and, after the harvest soil samples were collected at 0-10 cm depth. The samples were separated into two subsamples, one for chemical analysis and another for microbiological and biochemical, which were stored under refrigeration. In the laboratory were evaluated the chemical attributes: SOC, TN, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H⁺ and pH, were made calculations of ECC and C/N ratio. The C-SMB was evaluated and calculated the qMIC. The enzyme activities (acid phosphatase and urease) were assessed. The SOC, TN, K, C-BMS, acid phosphatase and urease were influenced negatively by water management compared to control. P presented highest contents with the water managements. The main components (CP) were formed by two groups, the witness represented the CP1 and water management represented the CP2, showing no similarity between the water managements and the witness. The CO₂ efflux was influenced by the phenological stage of the crop. The SOC, the concentration of H⁺, C-BMS, K⁺ and the activity of the enzymes acid phosphatase and urease were the indicators that showed greater sensitivity on the changes occurring in the soil with flooding.

Keywords: Soil indicators, CO₂ efflux, soil enzymes, *Oryza sativa*, water in agriculture, agricultural sustainability.

6.3 INTRODUÇÃO

O arroz, por ser uma cultura que apresenta grande adaptabilidade às mais variadas condições edafoclimáticas, é caracterizado pelo grande potencial de aumento de produtividade (NASCENTE, 2011). No Brasil, o arroz é produzido sob diferentes sistemas de cultivo e tipos de solos (MOLOZZI, 2006).

No estado de Roraima, a rizicultura é a única cadeia produtiva efetivamente bem estabelecida (CORDEIRO *et al.*, 2007). O Estado possui uma área de várzea de cerca de 160 mil hectares com grande parte apresentando aptidão para o cultivo de arroz (BARBERENA; MEDEIROS; BARBOSA, 2011).

O manejo de irrigação do arroz em várzea consiste do sistema de inundação de forma contínua. A busca por práticas mais sustentáveis na agricultura tem se fundamentando na redução do uso de água, e neste panorama de sustentabilidade, a irrigação intermitente tem ganhado espaço no cultivo de arroz, visto que, o sistema mantém a mesma produtividade que o obtido com a irrigação contínua (BELDER, 2004), porém, com grande economia de água durante o ciclo de cultivo (STONE, 2005).

No entanto, a produtividade não deve ser a única preocupação de mudança no manejo agrícola das culturas, a qualidade do solo e da água deve ser considerada, pois estes recursos naturais são afetados com os tipos manejos empregados, e tem consequências positivas ou negativas na sustentabilidade nos sistemas de produção consecutivos.

Os estudos sobre qualidade do solo iniciaram na década de 90, com alertas feitas por Lal e Pierce sobre a importância de incluir qualidade do solo (QS) na sustentabilidade ambiental (LAL; PIERCE, 1991). Desde de então, os estudos sobre qualidade do solo ou indicadores que melhor representem as alterações que ocorrem no solo, com os diferentes manejos, tem sido destaque no meio científico (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Os ecossistemas de arroz irrigado apresentam uma ecologia microbiana única (NAYAK, *et al.* 2007), O alagamento para o cultivo de arroz promove mudanças nas propriedades químicas, física e biológicas dos solos, sendo que a principal alteração ocorre em virtude do processo de redução do solo, que surge a partir da respiração anaeróbica de bactérias com a oxidação da matéria orgânica, resultante da diminuição do oxigênio, levando a alterações significativas no potencial redox e no pH (LEISACK *et al.*, 2001; VAHL, 2004; ADHYA e RAO, 2005). As propriedades biológicas são alteradas pela mudança do ambiente aeróbico para anaeróbico, o que promove a diminuição da biota microbiana do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Inicialmente os estudos feitos com qualidade do solo visaram apenas os atributos químicos e físicos do solo, por ser de fácil mensuração (MENDES *et al.*, 2012). No entanto, com o desenvolvimento de pesquisas nas áreas de microbiologia e bioquímica do solo, observou-se que estes atributos apresentavam boa sensibilidade em detectar mudanças, mesmo mínimas, no manejo do solo (MENDES *et al.*, 2012). O entendimento das interações entre os atributos do solo, químicos, físicos, microbiológicos e bioquímicos (CARNEIRO *et al.*, 2009; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011), levaram os cientistas do solo a estudar não apenas um compartimento do solo, mas sim, o conjunto de indicadores das diferentes propriedades dos solos que melhor possa inferir sua qualidade (CARNEIRO *et al.*, 2009). Lima *et al.* (2013) mencionam que a avaliação do solo é mais precisa ao usar um maior número de indicadores de qualidade, visto a natureza complexa do solo com suas inter-relações.

Pesquisas que buscam encontrar o melhor indicador de QS na cultura do arroz no Brasil, tem ocorrido principalmente no sul do país, onde Lima *et al.* (2008) e Lima *et al.* (2013) buscaram identificar um conjunto mínimo de indicadores para mensurar a QS. Estes autores destacam a matéria orgânica do solo (MOS) e o número de minhocas como sendo sensíveis a mudanças no solo, além dos atributos como nitrogênio total (NT), CTC, C-BMS, fosfatase ácida, β -glicosidade, Ca^{2+} , H^+ e pH, que foram sensíveis a mudanças na QS.

A atividade enzimática do solo pode ser usada como potenciais indicadores de processos de ciclagem de nutrientes e manejo da fertilidade, particularmente em sistemas de cultivo orgânico e convencional de longo prazo (BOHME; LANGER; BOHME, 2005; FLIEBBACH, *et al.*, 2007). Enzimas do solo são considerados sensíveis a distúrbios em ecossistemas de arroz (ZWIKELA; LAVEEA; SARAH, 2007), sendo suas atividades aumentadas em diferentes graus por incorporação adubo orgânico com correlação positiva da atividade da enzima com carbono orgânico e nitrogênio total (NAYAK, *et al.*, 2007). Li *et al.* (2013) avaliaram atributos de qualidade de solo em cultivo de arroz em solos subtropicais na China e também observaram sensibilidade da MOS para indicar QS, onde puderam selecionar por meio de análise de componentes principais um conjunto de indicadores que foram mais representativos da QS, os quais foram compostos por: MOS, N, P e K^+ . Liu *et al.* (2015) destacaram que os fatores que limitam a produção de arroz na China são os baixos níveis de N, P e a atividade microbiana no solo.

Fundamentado na abordagem exposta e a falta de estudos referentes a indicadores de qualidade do solo na cultura do arroz irrigado em Roraima, objetivou-se com este estudo

avaliar a qualidade do solo e identificar indicadores de qualidade do solo em cultivo de arroz submetido a diferentes manejos de água com duas cultivares, em solos de várzea.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O experimento foi realizado no município de Cantá-RR, Fazenda Santa Cecília, na várzea do Rio Branco, nas coordenadas geográficas de referência 60° 39' 19'' W; 02° 48' 29'' N (Figura 1). O clima da região tipo Aw, tropical chuvoso (KÖPPEN-GEIGER), com precipitação média anual de 1600 mm e temperatura média de 27,4 °C (ARAÚJO *et al.*, 2001). O experimento foi conduzido dentro do programa de melhoramento de arroz da EMBRAPA – RORAIMA, no período de dezembro a abril do ano agrícola 2014/2015.

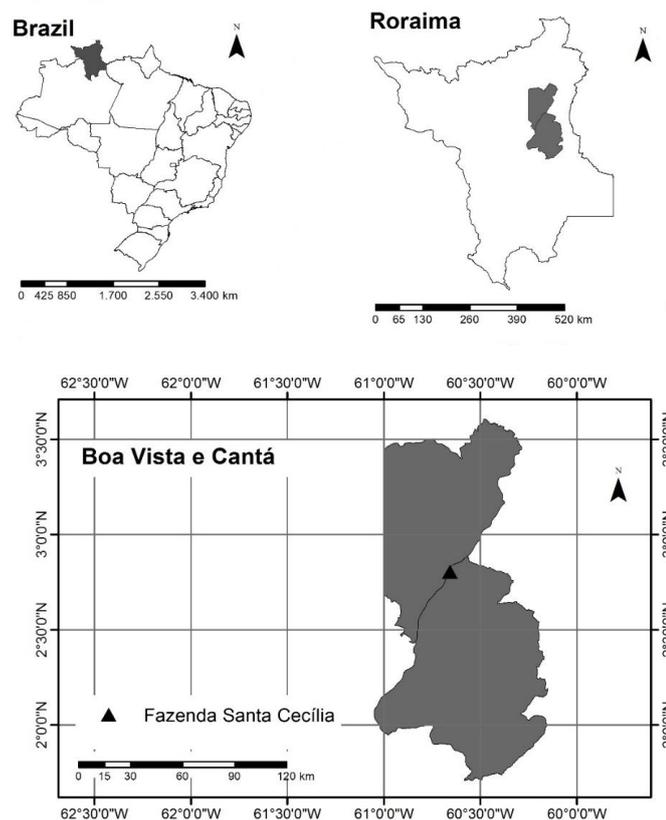


Figura – 1. Localização da área de estudo.

O solo da área experimental é classificado como Gleissolo Háplico Tb Distrófico, formado em terraço fluvial de sedimentos holocênicos (RIKER; HORBE, 2007). As características química e granulométrica da área antes do plantio na camada de 0 a 20 cm foram pH em H₂O = 4,9; MO = 12,9 g kg⁻¹; P = 10,14 mg dm⁻³; K⁺ = 43,00 mg dm⁻³; Ca²⁺ =

0,58 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+} = 0,27 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al}^{3+} = 1,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; argila = 340 g kg^{-1} ; silte = 410 g kg^{-1} ; areia = 250 g kg^{-1} .

Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi instalado num delineamento de blocos ao acaso em esquema de arranjo em faixas, com quatro repetições, sendo que nas faixas foram aleatorizados quatro sistemas de manejo de água de irrigação e nas parcelas, dentro de cada faixa, as repetições com as cultivares. As cultivares de arroz utilizadas foram: BRS Tropical (C1) e IRGA 424 (C2).

Os sistemas de manejos de irrigação foram: **M1**- Inundação intermitente; **M2**- Inundação intermitente na fase vegetativa até 50% de floração média, seguida de inundação contínua até a maturação (90% de panículas maduras); **M3**- Inundação contínua na fase vegetativa até 50% de floração, seguida de inundação intermitente até a maturação e **M4**- Inundação contínua durante todo o ciclo.

Manejo da área de estudo

A área do experimento é usada pela EMBRAPA-RR para fins de programa de melhoramento de arroz há oito anos. No período da entressafra a área permanece sob vegetação espontânea.

O preparo do solo foi realizado com o solo seco e consistiu de uma aração e duas gradagens a 0,20 m de profundidade, nivelamento e construção de taipas, trinta dias antes da semeadura, utilizando-se implementos de discos e a entaipadeira. Junto com o preparo do solo foi feita a calagem com o equivalente a 1 t ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT 85%), tendo como base as análises químicas do solo. Essa correção ocorre a cada dois anos, para fornecer Ca^{2+} e Mg^{2+} à cultura.

As parcelas individualizadas por taipas ocuparam uma área de 20 m x 6,7 m (134,0 m^2), nas quais foram testados os manejos de água.

A semeadura foi realizada no dia 27/12/2014 com o solo drenado. As sementes viáveis foram distribuídas diretamente nos sulcos de plantio, em uma densidade de 100 sementes por metro linear, com sete linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,20 m. Todos os procedimentos foram realizados de forma manual. A emergência das plântulas ocorreu no dia 09/01/2015.

A adubação de base foi de 450 kg ha^{-1} da fórmula 08-28-16 + micronutrientes (N:36 Kg; P_2O_5 :126 kg; K_2O : 72 kg; Zn: 2,25 kg; B: 0,45 kg; Mn: 0,9 kg), com adubação em cobertura de 300 kg ha^{-1} de ureia (45% de N), aplicada em duas doses de 150 kg ha^{-1} , no

início do perfilhamento (15 dias após a emergência - DAE), e na diferenciação do primórdio floral (45 DAE).

Irrigação

A água foi captada do Rio Branco, bombeada e conduzida em tubos de PVC (100 mm) até a parcela experimental, cujo sistema constou de um canal principal e derivações laterais para a distribuição da água em cada uma das parcelas.

A irrigação foi iniciada no estágio V4 (4 folhas), correspondendo a 23 DAE, utilizando-se como referência a escala de Counce *et al.* (2000). Durante o período da irrigação, cada parcela recebeu o manejo de água correspondente, mantendo uma lâmina de água de 5 cm de altura para o manejo contínuo, e as parcelas de manejo intermitente receberam irrigação a cada dois dias, mantendo-se as parcelas sempre em solo saturado, com controle diário. O período de irrigação total foi de 100 dias.

Amostragem do solo

As amostragens de solo ocorreram após a colheita da cultura. Em cada parcela foram coletadas três amostras simples que foram homogeneizadas formando uma amostra composta por parcela, com quatro repetições por tratamento. Também foram coletadas amostras de área não cultivada, com vegetação secundária denominada testemunha, a qual encontra-se localizada próximo ao experimento. Esta área foi dividida em quatro blocos de 10m x 10m (100 m²), os quais compreendiam as repetições. As amostragens foram feitas na camada de 0-10 cm, coletadas com o auxílio de pá de corte. As amostras foram divididas em duas, uma para análise química e a outra para as análises microbiológicas e bioquímicas, sendo que para essas últimas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos em caixa térmica para o transporte até o laboratório da Universidade Federal de Roraima. No laboratório, as amostras foram acondicionadas sob refrigeração com temperatura variado de 4°C a 7°C até a realização das análises.

Foram realizadas também amostragens para densidades do solo, utilizando o método do anel volumétrico com anel de 100 cm³.

Ao longo do ciclo da cultura foram feitas medições de fluxo de CO₂. Para esta avaliação utilizou-se o sistema de medição de fluxo de CO₂ automático (LI-COR 8100 A), acoplados sobre colares de PVC de 10 cm de diâmetro e altura de 20 cm, os quais foram inseridos 4 cm de profundidade no solo ficando 16 cm acima da superfície. Foram instalados dois colares por parcela, com um metro e meio de distância do início da parcela e dois metros de distância entre si, inseridos entre a terceira e quarta linha da cultura. A instalação dos

colares ocorreu oito dias após a emergência (DAE) da cultura e as leituras iniciaram a partir de 15 dias após a instalações dos colares, ou seja, 23 DAE. As leituras obedeceram um intervalo de 15 dias entre cada uma, totalizado sete leituras até o final do experimento. Também foram feitas leituras de efluxo de CO₂ na testemunha, com duplicada em cada bloco, com distância de 10 metros entre os colares. Durante todas as leituras foram medidas a temperatura do solo de todos os tratamentos e umidade do solo na área natural. Na área do experimento a umidade foi considerada 100%, visto que o solo se encontrava sempre em saturação.

Análises de Solo

Para a realização das análises, microbiológicas e bioquímicas, as amostras foram peneiradas em malha 2 mm, retirando os fragmentos vegetais por catação com auxílio de pinça. As amostras para análises químicas foram preparadas da terra fina seca ao ar (TFSA), após a secagem, estas foram passadas em peneira com malha 2 mm e armazenadas em sacos plásticos até a realização da análise, no laboratório de solos, CCA, UFRR. Na tabela 1 estão apresentados os indicadores estudados, os métodos utilizados para suas respectivas avaliações e suas respectivas referências.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram realizadas utilizando o software Sisvar versão 5.5 (FERREIRA, 2011). Os dados foram comparados com os obtidos na área de referência (testemunha), aplicando a prova não paramétrica de Kruskal Wallis ($p < 0,05$) utilizando o programa Info-Gen (DI RIENZO *et al.*, 2013).

Foi realizado também análise estatística multivariada por meio da análise canônica, utilizando todas as variáveis do estudo, para saber quais variáveis seriam mais responsivas aos diferentes manejos de água no cultivo de arroz. Para a realização desta foi reduzido o conjunto de dados em combinações lineares, gerando os escores das duas primeiras variáveis canônicas que explicam mais de 80 % da variação total, conforme recomendado por Cruz e Regazzi (1994). Esses escores são projetados em gráficos bidimensionais. Além dessa técnica, foi ainda utilizado o método de agrupamento de Tocher, com o propósito de discriminar os manejos de água que mais assemelham-se. As análises foram realizadas com o auxílio do programa Info-Gene versão 2012 (DI RIENZO *et al.*, 2013).

Para variável efluxo de CO₂, que foi avaliado ao longo tempo, foram ajustados modelos de regressão. Na escolha dos modelos foi levada em consideração a resposta biológica, a significância dos coeficientes de regressão e os coeficientes de determinação usando Sigmaplot 11.

Tabela 01: Indicadores químicos, microbiológicos e bioquímico do solo e os respectivos métodos utilizados para a sua determinação

| Indicador | Extrator | Método | Referência |
|---|---|--|---|
| Química | | | |
| Carbono orgânico do solo (COS) | Dicromato (Cr ₂ O ₇ ²⁻) | Walkley-Black | Modificado Embrapa (2009) |
| Fósforo disponível | Extrator Mehlich ⁻¹ | Espectrofotometria | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Potássio disponível | Extrator Mehlich ⁻¹ | Espectrofotometria de ionização de chama | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Nitrogênio total (NT) | Digestão H ₂ SO ₄ | Método Kjeldahl | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Cálcio e Magnésio | KCL 1mol L ⁻¹ | Absorção Atômica | Embrapa (2009) |
| Alumínio + Hidrogênio | Acetato de cálcio | Titulometria | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Alumínio | KCL 1mol L ⁻¹ | Titulometria | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Hidrogênio | ----- | Diferença entre Al+H e Al | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| pH (H₂O) | H ₂ O (1:2,5) | Potenciometria | Tedesco <i>et al.</i> (1995) |
| Microbiológico | | | |
| Carbono da biomassa microbiana (C-BMS) | Clorofórmio/Sulfato de potássio | Fumigação e extração | Vance <i>et al.</i> (1987); Tate <i>et al.</i> (1988) |
| Quociente microbiano (qMic) | ----- | Razão entre o C-BMS e o COT | Anderson; Domsch, (1993) |
| Bioquímica | | | |
| Fosfatase ácida | <i>p</i> -nitrofenol-fosfato | Espectrofotometria | Tabatabai (1994) |
| Urease | Método do salicilato | Espectrofotometria | Kandeler, E.; Gerber, H (1988); |
| Física | | | |
| Densidade do solo | ----- | Anel volumétrico | Blake; Hartge (1986) |

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Indicadores químicos de qualidade do solo

Não houve interação significativa entre os manejos de irrigação e as cultivares estudadas para nenhum atributo químico avaliado.

As variáveis P, K⁺, Mg²⁺, CTC e relação C/N não diferiram estatisticamente entre os manejos de água estudados (Tabela 02), o que demonstra que os diferentes manejos de água não influenciam os referidos atributos do solo. Na comparação dos manejos com testemunha, as variáveis Mg²⁺, CTC e relação C/N não apresentaram diferença.

O COS diferiu da testemunha em quase todos os manejos de água ($p < 0,05$), exceto no M4 (Tabela 02), no entanto, todos os manejos apresentaram menor teor de COS em relação à testemunha, o que pode ser atribuído a oxidação da matéria orgânica resultante da ação de aração e gradagem no preparo da área para o plantio do arroz.

Em relação aos manejos de água, o tratamento M4 apresentou maior acúmulo de COS em relação aos demais, diferindo estatisticamente (Tabela 02). A irrigação contínua no M4 confere uma condição anóxia durante todo o ciclo da cultura, o que diminui o processo de oxidação da matéria orgânica. Pouco se sabe sobre o efeito do preparo do solo na dinâmica da MO em solos de drenagem restrita. Nesses solos, a decomposição da MO, na ausência de O₂, que é o principal receptor de elétrons no processo de decomposição da MO, usualmente ocorre em menores taxas do que em solos aerados e é dependente de receptores de elétrons de íons como Fe²⁺, Mn²⁺ e sulfato, resultando na oxidação parcial do C orgânico (PONNAMPERUMA, 1972).

Ambientes anaeróbicos são conhecidos por apresentar menores grupos de microrganismos e menos eficientes na decomposição de material orgânico, o que favorece o acúmulo de matéria orgânica nesses ambientes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Apesar de todos os tratamentos permanecerem com o solo saturado, no manejo de água intermitente, seja no ciclo completo, ou metade do ciclo da cultura, a lâmina de água sobre o solo é parcial e favorece uma maior incidência de energia solar sobre o solo, aumentando assim sua temperatura, o que pode ter estimulando a atividade de microrganismos decompositores. Outro fator que pode ter contribuído para maiores teores de COS no tratamento M4 atribui-se à ocorrência de plantas daninhas aquáticas, observadas em maior quantidade neste tratamento.

Tabela 2: Indicadores químicos de qualidade de um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico sob cultivo de arroz com diferentes manejos de água no solo e testemunha

| Manejo de Irrigação | Variáveis | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|---|------------------------|----------------|
| | COS g kg ⁻¹ | NT g kg ⁻¹ | P mg kg ⁻¹ | K ⁺ mg kg ⁻¹ | Ca ²⁺ cmol _c kg ⁻¹ | Mg ²⁺ cmol _c kg ⁻¹ | Al ³⁺ cmol _c kg ⁻¹ | H ⁺ cmol _c kg ⁻¹ | CTC cmol _c kg ⁻¹ | pH H ₂ O | Relação C/N |
| M1 | 4,02 b * | 0,25 b * | 38,9 a* | 44 a* | 0,6 a* | 0,25 a | 0,91 ab* | 2,82 a* | 1,88 a | 4,77 b* | 16,12 a |
| M2 | 3,86 b * | 0,27 ab * | 44,64 a* | 33,06 a* | 0,45 b* | 0,23 a | 1,1 ab | 2,63 a* | 1,88 a | 4,7 b* | 14,53 a |
| M3 | 4,37 ab * | 0,29 ab | 36,76 a* | 37,69 a* | 0,65 a* | 0,25 a | 0,63 a* | 2,61 a* | 1,62 a | 5 a | 15,4 a |
| M4 | 4,47 a | 0,3 a | 47,74 a* | 41,44 a* | 0,76 a* | 0,29 a | 0,92 ab* | 2,97 a | 2,08 a | 4,72 b* | 14,96 a |
| CV (%) | 9,54 | 9,64 | 29,6 | 39,97 | 36,95 | 25,46 | 26,58 | 13,89 | 24,37 | 2,93 | 14,25 |
| Testemunha | 8,15 | 0,32 | 5,08 | 80,50 | 0,52 | 0,21 | 1,41 | 4,19 | 2,34 | 5,2 | 25,7 |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); e as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da vegetação nativa pelo teste de Kruskal Wallis ($p < 0,05$). **M1**: Inundação intermitente; **M2**: Inundação intermitente na fase vegetativa até 50% de floração média, seguida de inundação contínua até a maturação (90% de panículas maduras); **M3**: Inundação contínua na fase vegetativa até 50% de floração, seguida de inundação intermitente até a maturação e **M4**: Inundação contínua durante todo o ciclo.

O NT apresentou diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 02), onde o manejo M4 foi o que proporcionou maior acúmulo de NT ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$) no solo. Este resultado está correlacionado com os teores de COS, onde o referido manejo apresentou maior acúmulo de COS que os demais tratamentos. O NT diferiu da testemunha apenas no M1 e M2 ($0,32$, $0,25$ e $0,27 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente), com os manejos de água apresentando diminuição nos teores de NT em relação a testemunha, estes manejos também apresentaram os teores mais baixos de COS ($4,02$ e $3,86 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente).

Além da relação com os teores de COS, a diminuição no conteúdo de NT do solo nos manejos de água está relacionada a mineralização do N do solo. Esta mineralização é incrementada no início do alagamento, desta forma no final do ciclo da cultura é esperado menor conteúdo de NT no solo, conforme Rhoden *et al.* (2006) que estudaram a mineralização do N em solos alagados no cultivo do arroz e observaram maior taxa de mineralização de N nos primeiros 15 dias de alagamento. Os autores relacionaram a mineralização com os teores de NT e MOS e observaram correlação positiva, concluindo que é possível inferir índices de disponibilidade de N para a cultura de arroz alagado a partir da avaliação de NT e MOS. Desta forma podemos afirmar que a diminuição do NT encontrado nos manejos de água em relação a testemunha está relacionada a diminuição do COS, como também a mineralização e conseqüente absorção do nutriente pela cultura.

O fósforo foi influenciado de forma positiva pela implantação da cultura, apresentando diferença estatística em todos os tratamentos em relação a testemunha (Tabela 02). A adsorção do P diminui com o alagamento do solo, isso porque a adsorção do P está, em sua maioria, associada com os óxidos de Fe^{3+} que com o processo de hidromorfismo, sofre redução Fe^{2+} , o que confere maior disponibilidade do P, antes adsorvido nos óxidos, para a solução do solo (VAHL, 2004). Assim, a concentração de P é aumentada no solo, sendo acrescida tanto pelo efeito da adubação quanto pela formação de compostos orgânicos, o que confere maiores teores nos solos cultivados com arroz em relação a testemunha não cultivada.

O potássio apresentou comportamento inverso ao P, tendo seus valores mais baixos em todos os manejos de água no solo em comparação a testemunha (Tabela 02). O K^+ sofre perdas nas camadas superiores do solo pelo processo de lixiviação. Santos, Fageria e Zimmermann (2002) trabalharam com inundação contínuo durante todo o ciclo e inundação intermitente na fase vegetativa, seguida de inundação contínua nas fases reprodutiva e de maturação, na produção de arroz em um solo Gleissolo Háptico de textura argilo-arenosa, e observaram que o teor de K^+ na inundação contínua foi significativamente maior nas camadas abaixo da superficial, o que indica, segundo os autores, que houve lixiviação do nutriente ao

longo do perfil, enquanto na inundação intermitente/contínua observou-se uma zona de concentração de K^+ na camada de 20 - 40 cm de profundidade, ao estudarem a distribuição do potássio no perfil até 80 cm de profundidade.

Outro fator ligado a diminuição dos teores de K^+ com a irrigação por inundação está na maior disponibilidade do nutriente na solução do solo, a qual proporciona maior facilidade para as plantas absorverem o nutriente, conferindo maior exportação do nutriente do solo pela cultura (ANGHINONI; GENRO, 2005).

O cálcio apresentou uma tendência a ter maiores teores do nutriente nos manejos de água em relação a testemunha (Tabela 2), exceto para o M2 que apresentou menor teor desse nutriente no referido manejo em relação a testemunha (0,45 e 0,52 $cmol_c kg^{-1}$, respectivamente). É esperado que os tratamentos de manejo de água apresentem maiores teores de cálcio, visto que houve aplicação de calcário na área antes do plantio para suprir a necessidade da cultura desse nutriente.

Os teores de Al^{3+} diferiram estatisticamente entre os manejos e desses em relação a testemunha, exceto para o M2 (Tabela 2). Os menores teores de Al^{3+} , nos manejos de água, podem ser atribuídos ao efeito da calagem, a qual proporcionou a precipitação de Al^{3+} .

O pH apresentou diferença estatística entre os manejos (Tabela 2), onde o M3 apresentou maior valor (5,0) em relação aos demais manejos. A testemunha apresentou maior valor de pH, em relação aos manejos, no entanto, não diferiu do M3. Segundo Silva e Ranno (2005) na maioria dos casos o alagamento do solo proporciona aumento no pH alcançando valores de 6,0, podendo permanecer estável até 30 dias após o alagamento. No presente estudo a coleta do solo, para avaliação, ocorreu dias após a suspensão da irrigação, quando a área se encontrava no processo de drenagem, e a umidade do solo abaixo de 30%, no geral, o que pode ter proporcionado a diferença do pH da área de estudo para a testemunha.

Com o processo de drenagem do solo, ocorre a entrada de O_2 no sistema, o que proporciona a oxidação do Fe^{+2} em Fe^{+3} , ocasionando a liberação de íons de H^+ por hidrólise da água, o que provocará a diminuição do pH do solo (WEIL; BRADY, 2016), o que explica os resultados encontrados no presente estudo.

Densidade do solo

A densidade do solo apresentou interação significativa dos manejos de água com as cultivares para o M1 e M2 (Tabela 03), onde no M1 com a BRS Tropical o solo apresentou maior densidade em relação a IRGA 424, já no M2 o comportamento foi contrário. Os manejos diferiram da testemunha no M2 IRGA 424 e M3 para ambas as cultivares. No

entanto, esse comportamento não é expressivo, já que pode ser atribuído a baixa variação no coeficiente de variação estatístico, pois coeficientes de variação baixos podem inferir no resultado, apresentando diferença estatística que não são atribuídas aos tratamentos.

Tabela 3: Densidade de um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico sob cultivo de arroz com diferentes manejos de água no solo

| Manejo de Irrigação | Cultivares | |
|--------------------------------|--------------|----------|
| | BRS Tropical | IRGA 424 |
| Densidade (g dm ³) | | |
| M1 | 1,40 aA | 1,25 aB |
| M2 | 1,35 aB | 1,49aA* |
| M3 | 1,46 aA* | 1,49aA* |
| M4 | 1,39aA | 1,39aA |
| CV (%) | 2,67 | |
| Testemunha | 1,24 | |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); e as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da vegetação nativa pelo teste de Kruskal Wallis ($p < 0,05$). **M1**: Inundação intermitente; **M2**: Inundação intermitente na fase vegetativa até 50% de floração média, seguida de inundação contínua até a maturação (90% de panículas maduras); **M3**: Inundação contínua na fase vegetativa até 50% de floração, seguida de inundação intermitente até a maturação e **M4**: Inundação contínua durante todo o ciclo.

Os valores de densidade nos tipos de manejos da água, maiores que os da testemunha, podem ser atribuídos ao preparo da área para o plantio de arroz. Munareto *et al.* (2010), citam que o cultivo de arroz causa mudanças estruturais e compactação gradual do solo, o que resulta em maior densidade do solo. Essas mudanças ocorrentes no solo estão relacionadas ao manejo mecânico que é empregado ao solo para o cultivo de arroz. Beutler *et al.* (2012), citam que com o alagamento do solo, dá se no início do perfilhamento e aprofundamento do sistema radicular das plantas, sob essa condição a compactação do solo não apresenta grandes influências negativas no crescimento radicular, isso porque com a inundação do solo sua resistência é minimizada. Com o processo de umedecimento, o solo apresenta consistência semifluida, com baixa coesão entre as partículas e menor resistência à deformação e penetração das raízes (WEIL; BRADY, 2016). Deste modo, Beutler *et al.* (2012), concluíram que o manejo não altera a produtividade de arroz irrigado por inundação.

O aumento da densidade do solo em cultivos de arroz chega a ser desejado, visto que, o incremento da densidade do solo reduz porosidade do solo, impedindo, assim, a infiltração da água no solo, o que para o cultivo de arroz é vantajoso, pois proporciona maior eficiência na manutenção da lâmina de água no solo, com economia de água no sistema de produtivo.

Com o alagamento, ocorre a diminuição da resistência à penetração das raízes no solo, o perfilhamento e aprofundamento do sistema radicular das plantas é pouco influenciado pelo aumento da compactação, pois em solos saturados, as forças de coesão das partículas são enfraquecidas conforme Weil e Brady (2016).

Indicadores microbiológicos

O C-BMS não apresentou diferença estatística entre os manejos de água estudados, no entanto, diferiu estatisticamente destes, em comparação a testemunha (Tabela 04), onde os manejos influenciaram de forma negativa o C-BMS.

Tabela 04: Indicadores microbiológicos de qualidade de um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico sob cultivo de arroz com diferentes manejos de água no solo

| Manejo de Irrigação | Variáveis | |
|---------------------|---------------------------------|-------------|
| | C-BMS mg C. kg ⁻¹ | qMic % |
| M1 | 139,03 a* | 1,33 a |
| M2 | 108,72 a* | 1,42 a |
| M3 | 117 a* | 1,48 a |
| M4 | 142,4 a* | 1,39 a |
| CV (%) | 28,85 | 32,06 |
| Testemunha | 271,61 | 1,24 |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); e as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da vegetação nativa pelo teste de Kruskal Wallis ($p < 0,05$). **M1**: Inundação intermitente; **M2**: Inundação intermitente na fase vegetativa até 50% de floração média, seguida de inundação contínua até a maturação (90% de panículas maduras); **M3**: Inundação contínua na fase vegetativa até 50% de floração, seguida de inundação intermitente até a maturação e **M4**: Inundação contínua durante todo o ciclo.

Menores valores de COS encontrado nos manejos de água em relação a testemunha (Tabela 02), como também, o ambiente anaeróbico que o manejo de água proporciona no solo, influenciam na diversidade e quantidade de microrganismos, como também na eficiência dos mesmos. É sabido que ambientes anaeróbicos apresentam menores diversidades e quantidades de microrganismos quando comparados aos de ambientes aeróbicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Já o atributo qMIC não diferiu estatisticamente entre os manejos, nem desses, em relação a testemunha. O índice qMIC encontrados em todos os tratamentos estão dentro dos valores que são considerados normais, que variam entre 1 a 4 % (JAKELAITIS *et al.*, 2008), podendo inferir que a transformação do COS em C-BMS, ou a mineralização do COS estão adequados ao sistema.

Indicadores Bioquímicos

A fosfatase ácida diferiu estatisticamente entre os manejos, apresentando maior atividade no M3 (Tabela 05). Em relação à testemunha, apenas o M3 não diferiu desta, os demais manejos apresentaram decréscimos na atividade da fosfatase ácida. Esse resultado está correlacionado com os valores de COS, onde maior presença de COS resultou em maior atividade da fosfatase.

Tabela 05: Indicadores bioquímicos de qualidade de um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico sob cultivo de arroz com diferentes manejos de água no solo

| Manejo de Irrigação | Variáveis | |
|---------------------|--|---|
| | Fosfatase ácida mg p-nitrofenol kg ⁻¹ solo h ⁻¹ | Urease mg NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ solo h ⁻¹ |
| M1 | 136,08 b* | 2,91 a* |
| M2 | 148,92 ab* | 3,18 a* |
| M3 | 178,99 a | 3,48 a* |
| M4 | 158,35 ab* | 3,56 a* |
| CV (%) | 17,18 | 24,84 |
| Testemunha | 267,94 | 6,32 |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); e as seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da vegetação nativa pelo teste de Kruskal Wallis ($p < 0,05$). **M1:** Inundação intermitente; **M2:** Inundação intermitente na fase vegetativa até 50% de floração média, seguida de inundação contínua até a maturação (90% de panículas maduras); **M3:** Inundação contínua na fase vegetativa até 50% de floração, seguida de inundação intermitente até a maturação e **M4:** Inundação contínua durante todo o ciclo.

Mendes *et al.* (2012) observaram correlação positiva dos teores de carbono orgânico com a atividade da fosfatase ácida em condições naturais de cerrado, cuja atividade é aumentada em áreas preservadas, isso porque a fosfatase é responsável pela ciclagem de fósforo orgânico (Po), transformando-o em fósforo inorgânico (Pi). O aumento do nível de Pi no solo provoca redução da atividade da fosfatase (CARNEIRO *et al.*, 2004). O M3 foi o tratamento que apresentou menor teor de P disponível no solo (36,76 mg kg⁻¹) e um dos maiores teores de COS (4,37 g kg⁻¹), o que explica valores mais elevados da atividade da fosfatase ácida.

A atividade da urease não apresentou diferença entre os manejos da água (Tabela 05), no entanto, diferiu destes para a testemunha, na qual a urease apresentou maior atividade. O maior teor de COS presente na testemunha, assim como maior biomassa microbiana, são os fatores que explicam neste resultado, visto que a atividade da urease é influenciada pela presença de microrganismo e composição do material vegetal (REYNOLDS *et al.*, 1987; LANNA *et al.*, 2010). Aumento nos teores de matéria orgânica e de nitrogênio tem apresentando correlação positiva com atividade enzimática (NAYAK *et al.*, 2007).

Análise de Componentes Principais (ACP)

Com a análise de CP foi possível observar com maior clareza o comportamento dos manejos de água no solo e as cultivares em relação a testemunha (Figura 02), mostrando um comportamento inverso dos manejos da água em relação a testemunha e comportamento similar entre os manejos com as cultivares.

Formou-se dois grupos com as variáveis estudadas, CP1 e CP2, onde as variáveis COS (0,99), estoque de C (0,99), H^+ (0,97), C-BMS (0,97), estoque de N (0,96), relação C/N (0,96), K^+ (0,95), fosfatase ácida (0,92), urease (0,92), pH (0,68), Al^{3+} (0,62), NT (0,56), foram as variáveis que obtiveram maior variação, diferindo o grupo testemunha do grupo dos manejos de irrigação com as cultivares. Esses indicadores foram identificados pelo estudo como sendo os mais sensíveis a mudanças que ocorrem no solo com a implantação do arroz irrigado.

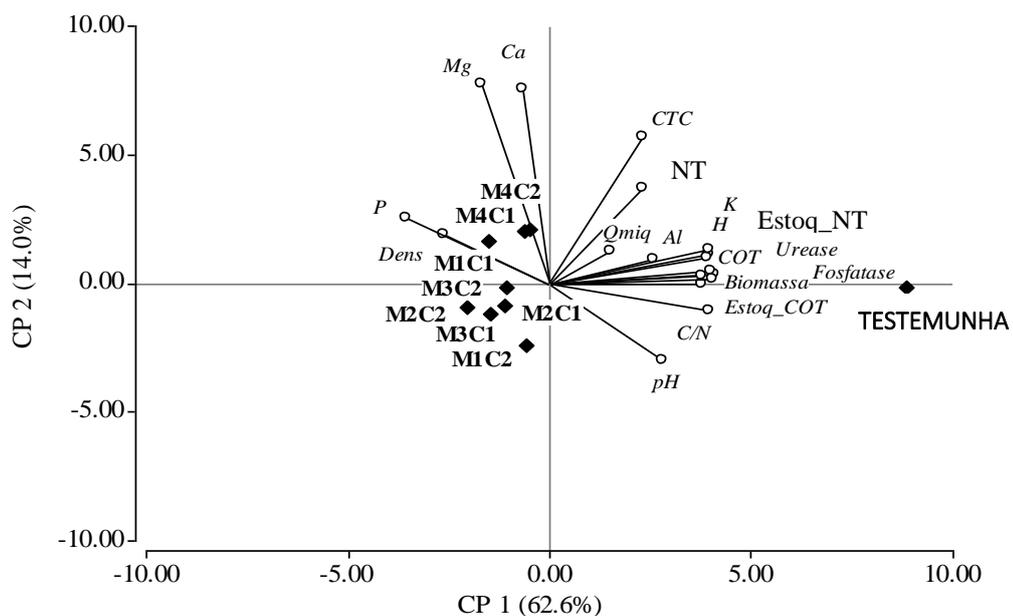


Figura 02: Diagramas de ordenação feitos a partir da análise de componentes principais dos atributos químicos, microbiológicos e bioquímicos dos diferentes manejos de água no solo com duas cultivares e uma testemunha.

É importante salientar aqui que o COS, seguidos por H^+ , C-BMS, K^+ , urease e a fosfatase ácida, foram os atributos que melhor expressaram as mudanças que ocorrem no solo. Resultado este que corrobora com os encontrados por Lima *et al.* (2008); Li *et al.* (2013) e Liu *et al.* (2015), que enfatizam a sensibilidade que o COS representa como indicador e

representante. O fato do M1 ter sido separado em grupos diferentes pelas cultivares é explicado pela interação significativa entre os manejos e as cultivares que ocorreu na variável densidade, onde os valores de densidades encontrados no M1C1 foram mais semelhantes com os observados no M2C1 (Tabela 03). Com o dendrograma é possível dizer que os manejos empregados para o plantio de arroz mudam consideravelmente as características avaliadas no solo em relação a testemunha.

Emissão de dióxido de carbônico (CO₂)

Foi observado correlação significativa entre umidade e temperatura ($p > 0,05$) (Tabela 06), pelo fato dos tratamentos de manejo de irrigação não terem variação da umidade do solo, as temperaturas neles foram menores: 27,44; 28,78; 26,87; 27,17; 27,99; 26,84; 26,66 °C (médias dos quatro manejos de irrigação durante as sete leituras) em relação a testemunha 28,28; 28,05; 31,25; 33,21; 32,98; 30,10; 28,78 °C (médias durante as sete leituras) que tiveram variação de umidade do solo, com médias durante as leituras de: 7,78; 9,41; 6,98; 4,67; 3,40; 5,44; 21,38. Era de se esperar que os manejos de irrigação apresentassem menor temperatura em relação a testemunha, visto que a lâmina de água serve como um isolante dos raios solares sob o solo.

Tabela 6: Correlação entre fluxo de CO₂, temperatura e umidade de um GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico sob cultivo de arroz com diferentes manejos de água no solo e cultivares

| | Fluxo CO ₂ | Temperatura | Umidade |
|-----------------------|--------------------------|-------------|---------|
| Fluxo CO ₂ | 1 | | |
| Temperatura | -0,11 | 1 | |
| Umidade | -0,03 | -0.61** | 1 |

Asterisco (*) difere significativamente

Houve interação significativa para o fluxo de CO₂ entre os manejos da água e as datas de leituras ($p > 0,05$). Com diferença significativa entre os manejos estudados. O efluxo de CO₂ para a testemunha não ajustou nenhum modelo aos valores observados (Figura 04).

A emissão de CO₂ entre os manejos apresentou comportamento semelhante para os manejos 2 e 4 (Figura 04), os quais apresentaram maior efluxo de CO₂ durante o estudo. Já os manejos 1 e 3 apresentaram uma similaridade na emissão de CO₂, como tendência a menor emissão em relação aos manejos 2 e 4. As emissões de CO₂ do solo são relacionadas a atividade microbiana, respiração de raízes, decomposição dos resíduos vegetais e oxidação da MOS (RYAN; LAW, 2005).

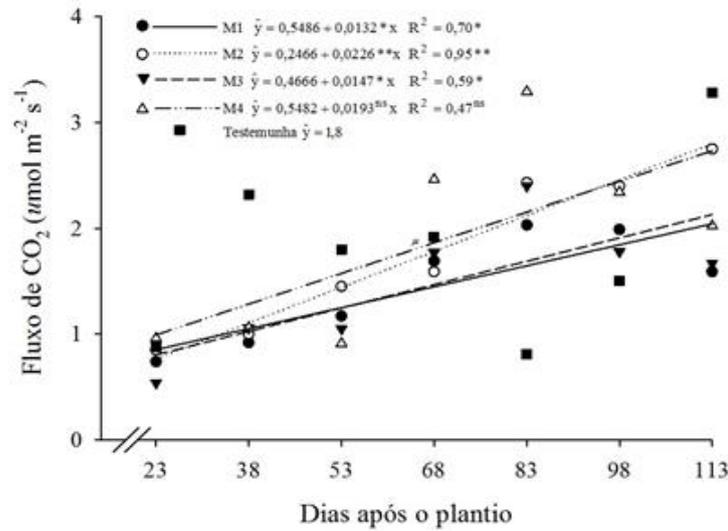


Figura 04: Efluxo de CO₂ de cultivo de arroz irrigado com diferentes manejos de água no solo e testemunha. **M1:** intermitente todo o ciclo; **M2:** Intermitente/contínuo; **M3:** contínuo/intermitente e **M4:** contínuo todo o ciclo.

Em relação as datas de leituras de CO₂ observou-se uma tendência de aumento das taxas, conforme o desenvolvimento da cultura, para todos os manejos estudados, registrando um pico aos 83 DAE, neste período a cultura encontrava-se no estágio final da floração iniciando o enchimento de grãos. Este resultado nos leva a supor que o estágio fenológico da planta influencia no efluxo de CO₂, no entanto, são necessários mais trabalhos para averiguar tal informação.

A fase de floração e posterior enchimento de grãos é a fase que a planta mais demanda energia, já que a mesma se encontra na fase produtiva, com uma demanda de nutrientes e fotoassimilados maior que nas fases anteriores, o que confere a planta maior taxa fotossintética, resultando em maior absorção de nutrientes pelas raízes, com consequência maior respiração com maior emissão de CO₂ pela cultura. Griffis *et al.* (2004) atribuíram ao estágio fenológico e a fotossíntese papel importante ao fluxo de CO₂, para o autor maiores taxas fotossintéticas das plantas estão correlacionadas a maior emissão de CO₂. Escobar (2008) observou no cultivo de soja um aumento de fluxo de CO₂ com o desenvolvimento da cultura, atingindo seu ápice no florescimento, com posterior decréscimos.

6.6 CONCLUSÕES

Os atributos avaliados apresentaram sensibilidade as alterações provocadas no solo com a implantação da cultura de arroz e os diferentes manejos de água estudados. Onde o carbono orgânico total, nitrogênio total, potássio, a capacidade de troca de cátions, carbono da biomassa microbiana e a atividade das enzimas fosfatase ácida e urease, foram influenciados de forma negativa com os diferentes manejos de água no solo na cultura do arroz.

Já os indicadores fósforo disponível, teores de cálcio, magnésio e alumínio e a concentração foram influenciados de forma positiva para o cultivo da área em comparação a área não manejada.

O carbono orgânico total, pH carbono da biomassa microbiana, potássio, e a atividade das enzimas fosfatase ácida e urease foram os indicadores que mostraram maior sensibilidade nas mudanças que ocorrem no solo com a inundação.

A emissão de CO₂ pela cultura do arroz foi influenciada pela fase fenológica da cultura, com maior efluxo na fase de maior demanda energética da cultura.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mais estudos são necessários nas áreas de cultivo de arroz no intuito de conhecer melhor o comportamento do solo cultivado ao longo do tempo, enfocando principalmente, na dinâmica da matéria orgânica, realizando estudos como: fracionamentos das substâncias húmicas, ciclo do C através da atividade da β -glicosidade, por exemplo, visto que no presente estudo, foi constatado que o carbono orgânico total foi o principal indicador de qualidade do solo, visto sua maior sensibilidade com as mudanças de manejos ocorrentes no solo.

O estudo da dinâmica do P no solo através de seu fracionamento, é outro fator de relevância a ser estudado na presente área. O fracionamento possibilita conhecer a dinâmica do P no sistema, servindo com critério de escolha para indicar a estratégia de manejo mais adequada desse nutriente.

Além disso, em ambos os estudos, a análise dos atributos microbiológicos e bioquímicos, assim como a identificação dos microrganismos presentes nas áreas de estudo, foram importantes para uma melhor compreensão das variações existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADHYA, T.K.; V.R. RAO, V.R. Microbiology and microbial processes in rice soils. S.D. Sharma, B.C. Nayak. (Eds). **Rice in Indian Perspective, Today and Tomorrow Printers and Publishers**, New Delhi, p.719–746, 2005.
- ALVARENGA, M.I.N. & DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.933-942, 1999.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.
- ANDRIST-RANGE, Y. HILLIER, S.; ÖBORN, I.; LILLY, A.; TOWERS, W.; EDWARDS, A.C.; PATERSON, E. Assessing potassium reserves in northern temperate grassland soils: A perspective based on quantitative mineralogical analysis and *aqua-regia* extractable potassium. **Geoderma**, v.158, p.303-314, 2010.
- ANGHINONI, I.; GENRO JR., S. A. Potássio na cultura do arroz irrigado. In: YAMARA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds). **Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba, POTAFOS, p.841, 2005.
- ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos. **Bioscience Journal**, v.23, p.66-75, 2007.
- ARAÚJO, E. A. DE; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LAN, J. L.; Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**; v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- ARAUJO, W. F.; ANDRADE JUNIOR, A. S. D.; MEDEIROS, R. D. D.; SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.563-567, 2001.
- BARBER, S. **Soil bioavailability: A mechanistic approach**. New York, John Wiley & Sons, 1995p. 414.
- BARBERENA, D. da S.; MEDEIROS, R. D. de; BARBOSA, G. F. Desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado em resposta a diferentes doses de fósforo e potássio, em várzea de primeiro ano, no estado de Roraima. **Ciência Agrotecnológica**, v.35, n.3, p.462-470, 2011.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.677-683, 2004.
- BELDER, P; BOUMAN, B.A.M.; CABANGON, R.; GUOAN, LU; QUILANG, E.J.P.; YUANHUA, LI; SPIERTZ, J.H.J.; TUONG, T.P. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. **Agricultural Water Management**, v.65, n3, p.193-210, 2004.

BEUTLER, A. N.; MUNARETO, J. D.; RAMÃO, C. J.; GALON, L.; DIAS, N. P.; POZZEBON, B. C.; RODRIGUES, L. A. T.; MUNARETO, G. S.; GIACOMELI, R.; RAMOS, P. V. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1601-1607, 2012.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.C.; SILVA, A.P.; ROQUE, C.G. FERRAZ, M.V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.39, p.575-580, 2004.

BHADURI, D.; PURAKAYASTHA, T. J.; PATRA, A. K.; CHAKRABORTY, D. Evaluating soil quality under a long-term integrated tillage–water–nutrient experiment with intensive rice–wheat rotation in a semi-arid Inceptisol, India. **Environmental Monitoring and Assessment**. v.186, p.2535–2547, 2014.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.363-375.

BOHME, L.; LANGER, U.; BOHME, F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiment. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.109, p.141–152, 2005.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Nyle, C.; BRADY, N.C. Tradução técnica: Igor Fernando Lepsch. 3º.ed. Porto Alegre: Bookman, p.686, 2013.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. p. 375-470.

CARNEIRO M.A.C; SOUZA, E.D, REIS, E.F; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.33, p.147-57, 2009.

CARNEIRO, R.G.; MENDES, I. C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, p.661–669, 2004.

CARVALHO, F. de. Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. No Estado de São Paulo. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2005. Dissertação de mestrado.

CASTILHOS, R.M.V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio de solos do Rio Grande do Sul para arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.26, p.977-982, 2002

CASTILHOS, R.M.V.; MEURER, E.J.; KÄMPF, N. & PINTO, L.F.S. Mineralogia e fontes de potássio em solos no Rio Grande do Sul cultivados com arroz irrigado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.26, p.579-587, 2002.

CERRI, C. E. P.; GALDOS, M. V.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. C. Modelagem da dinâmica da matéria orgânica do solo Modelagem em Ciência do Solo. **Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Volume 31 – Número 2, 2006.

CHAUDHURY, J., U.K. MANDAL, K.L. SHARMA, H. GHOSH, B. MANDAL. Assessing soil quality under long-term rice-based cropping system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.36, p.1141–1161, 2005.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F. da; SILVA, V. R. da; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.39, p.615-625, 2015.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/ SC - CQFS-RS/SC. Manual de adubação e de calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2004. 400p.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Monitoramento Agrícola**. Cultivos de verão, 2ª safra e de inverno – Safra 2014/15. v. 2, n.12, Brasília: Conab, 2015.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

CORDEIRO, A. C. C.; MEDEIROS, R. D. de. Características agronômicas e produtividade de grãos de cultivares de arroz irrigado em Roraima. Boa Vista: **Embrapa Roraima**, 2001. 4p. Embrapa Roraima. (Comunicado Técnico, 16).

CORDEIRO, A. C. C.; MEDEIROS, R. D. de; GIANLUPPI, D; PEREIRA, P. R. V. da. S. O cultivo do arroz irrigado em Roraima. Boa Vista: **Embrapa Roraima**, 2004. 19p. (Embrapa Roraima. Documentos, 01).

CORDEIRO, A. C. C.; MOURÃO JÚNIOR, M. C.; MEDEIROS, R. D. Análise do agronegócio do arroz irrigado em Roraima: 1981a 2007. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 28., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Orium. p.719-721, 2007.

CORDEIRO, A. C. C.; SUHRE, E.; MEDEIROS, R. D. de; VILARINHO, A. A. Sistemas de cultivo e manejo de água na produção de diferentes genótipos de arroz em várzea, no estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.3, p.362-369, 2010.

CORRÊA, N. I.; CAICEDO, N. L.; FEDDES, R. A; LOUZADA, J. A. S.; BELTRAME, L. F. S. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.50, n.432, p.3-8, 1997.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 323-332, 2008.

COUNCE, P.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v.40, n.2, p.436-443, 2000.

CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, UFV, 1994, p.394 .

CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.603-611, 2011.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p.913-923, 2002.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALE Z, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. InfoGene versión 2012. Córdoba: **Grupo InfoStat**, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, 2012.

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

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. COLEMAN, D.C.; BEDDICEK, D.F.; STEWART. B.A. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society of America**, p.107-124, 1994.

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo, plantas e fertilizantes**. 2. Ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2009.genético. Viçosa, UFV, 1994. 394 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3rd. Ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013, 353p.

ESCOBAR, L. F. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto médio do Rio Grande do Sul**. 2008. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados, versão 5.5. Lavras: UFLA, 2011.

FILHO, J. F. de M.; Souza, A. L. V.; Souza, L. da S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta nativa. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v.31, p.1599-1608, 2007.

FLIEBBACH, A.; OBERHOLZER,H.R.; GUNST, L.; MADER, P. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.118, p.273–284, 2007.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: **Methods of soil analysis**. Part 1, 2nd ed., Madison, American society of Agronomy, 1986. p.383-411, 1986.

GRIFFIS, T.J.; BLACK, T.A.; GAUMONT-GUAY, D.; DREWITT, G.B.; NESIC, Z.; BARR, A.G.; MORGENSTERN, K.; KLJUN, N. Seasonal variation and partitioning of

ecosystem respiration in a southern boreal aspen forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.125, p.207–223, 2004.

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

HEDLEY, M. J., KIRK, G.J.D.; SANTOS, M. B. Phosphorus efficiency and the forms of soil phosphorus utilized by upland rice cultivars. **Plant Soil**, v.158, p.53-62, 1994.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.79, p.9-1, 2000.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p.118-127, 2008.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, v.8, p.209-213, 1976.

JIANGUO, H.; SHUMAN, L. M. Phosphorus status and utilization in the rhizosphere of rice. **Soil Science**, v.152, p.360–364, 1991.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology and Fertility of Soils**, v.6, p.68-72, 1988.

KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C.A.; KOVAR, J.L.; COLVIN, T.S. Soil quality response to long-term and crop rotation practices. **Soil & Tillage Reserch**, v.133, p.54-64, 2013.

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 (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4-10, 1997.

KIRK, G. J. D.; SANTOS, E. E.; SANTOS, M. B. Phosphate solubilization by organic anion excretion from rice growing in aerobic soil: Rates of excretion and decomposition, effects on rhizosphere pH and effects on phosphate solubility and uptake. **New Phytol**, v.142, p.185–200, 1999.

LAL, R.; PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIERCE, F.J., eds. Soil management for sustainability. **Ankeny, Soil Water Conservation Society**, p.1-5, 1991.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M. da; SILVA, M. B. da; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34; p.1933-1939, 2010.

LARSON, W.E.; PIERCE, E.I. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: IW. Doran et al., (EDS.). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. **Madison: ASA/SSSA**, p.37-51, 1994.

LEISACK, W.; SCHNELL, S.; REVSBECH, N.P. Microbiology of flooded rice paddies. **FEMS Microbiology Reviews**, v.24, p. 625–645, 2000.

LI, P.; ZHANG, T.; WANG, X.; YU, D. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. **Soil & Tillage Research**. v.126, p.112–118, 2013.

LIMA, A. C. R. de; HOOGMOED, W.; BRUSSAARD, L. Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set. **Journal of Environmental Quality**, v.37, p.623–630, 2008.

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

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos em solos em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.45-55, 2012.

LIU, Z.; ZHOU, W.; LV, J.; HE, P.; LIANG, G.; JIN, H. A simple evaluation of soil quality of waterlogged purple paddy soils with different productivities. **PLoS ONE**, v.10, 2015.

LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; CHAER, G.M.; REIS JUNIOR, F.B.; GOEDERT, W.J.; MENDES, I.C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.77, p.461–472, 2013.

MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. **Ciência Rural**, v.43, n.4, p.603-609, 2013.

MEDEIROS, R. D. de; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência Agrotécnica**, v.29, n.5, p.940-947, 2005.

MELO; VALE JÚNIOR; UCHÔA, 2010. **Uso e manejo de solos sob savana**. In: VALE JÚNIOR, J. F. e SCHAEFER, C.E.G.R. (editores). Solos sob savanas: Gênese, classificação e relações ambientais. Boa Vista Ioris, p.133-160, 2010.

MENDES, I. de C.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F.B. dos. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**. DOI 10.1007/s11104-012-1195-6, 2012.

MENDES, I.C.; HUNGRIA, M.; REIS JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; CHAER, G.M.; MERCANTE, F.M.; ZILLI, J.E. Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade? **Planaltina, EMBRAPA**, 31p, 2009.

MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; FRANCELINO, C.S.F.; CAVALHEIRO, J.C.T. & OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.5, p.479-485, 2008.

MEZZOMO, R.F. **Irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado: uso de água, eficiência agrônômica e dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil**. 2009. 61p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. de; CANELLAS, L. P. CAMARGO, F.A. de O. (Ed.2). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, p.01-05, 2008.

MOLOZZI, J.; PINHEIRO, A.; SILVA, M. R. DA. Qualidade da água em diferentes estádios de desenvolvimento do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1393-1398, 2006.

MONTEIRO, R.T.: Indicadores da qualidade do solo. **Agrociência**.v.9, p.255–257, 2005.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, p.625, 2006.

MUNARETO, J.D.; BEUTLER, A.N.; RAMÃO, C.J.; DIAS, N.P.; RAMOS, P.V.; POZZEBON, B.C.; ALBERTO, C.M.; HERNANDES, G.C. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1499-1506, 2010.

NACHTIGALL, G.R.; VAHL, L.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da Região Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.15, p.37-42, 1991.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P. de; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p. 186-192, 2011.

NAYAK, D.R.; JAGADEESH BABU, Y., ADHYA, T.K. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aeris Endoaquept planted to rice under flooded condition. **Soil Biology and Biochemistry**. v.39, p.1897-1906, 2007.

NUNES, M.L.; KLAMT, E.; REICHERT, J.M.; DALMOLIN, R.S.D. Características de solos sistematizados em duas áreas cultivadas com arroz sob inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26, n.2, p. 395-406, 2002.

PAJARES, S.; GALLARDO, J.F.; MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B.; ETCHEVERS, J.D. Enzyme activities as an indicator of soil quality changes in degraded cultivated Acrisols in the Mexican Trans-volcanic belt. **Land Degradation & Development**, v.22, p.373–381, 2011.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemical of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v.24, p.29-96, 1972.

POWLSON, D. S.; PROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.159-164, 1987.

PROVAM. **Caracterização dos solos, avaliação da aptidão agrícola das terras e indicativo de culturas para as várzeas do cerrado do estado de Roraima.** Belém, SUDAM/OEA/CPATU, 1996. 98p.

REGAZZI, A. J. INF 766 - Análise multivariada. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p. Apostila de disciplina.

REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society of America, Proceedings**, v.49; p.104-108, 1987.

RHODEN, A. C; SILVA, L. S. da; CAMARGO, F, A, de O.; BRITZKE, D.; BENEDETTI, E. L. Mineralização anaeróbica em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.36, p.1780-1987, 2006.

RIKER, S. R. L.; HORBE, A. M. C. Sedimentos holocênicos da região de Boa Vista, Roraima, para indústria de cerâmica vermelha. **Contribuições à Geologia da Amazônia**, v.5, 2007.

RYAN, M.G. & LAW, B.E. Interpreting, measuring and modeling soil respiration. **Biogeochemistry**, v.73, p.3-27, 2005.

SAKAZAKI, R. T. ALVES, J. M. A. LOPES, G. N. Arroz Irrigado em Roraima. **Agro@mbiente On-line**, v.2, p.69-76, 2008.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.12-16, 2002.

SCHOENFELD, R.; COSTA, A. A.; da SILVA, P. R. F.; ANGHINONI, I. Produtividade do arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela dose e pelo fracionamento da aplicação. **Estação Experimental do Arroz (EEA) do IRGA**, em Cachoeirinha, RS, 2013.

SILVA, C. F. da; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; CÉSAR, J.; FEITORA, F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; MARIA, E.; SILVA, R. da. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.36, p.1680-1689, 2012.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.275-374, 2007.

SILVA, L. S. da; RANNO, S. K. Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**, v.35, 2005.

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. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais**, <http://www.agro.unitau.br/dspace>. p.1-13, 2011.

STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 48 p.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; SILVEIRA FILHO, A. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.25, p.323-337, 1990.

TABATABAI, A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S. (Ed.). *Methods of soil analyses. Part 2. Microbiological and biochemical properties*. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, p.775-833, 1994.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p.329-335, 1988.

TEDESCO, M.J, GIANELLO, C, BISSANI, C.A, BOHNEN, H, VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo**. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. de; MELLO, J.W.V. de; COSTA, L.M. da. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.195-276, 2002.

VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A.S., PAULETTO, E.A., (Eds). **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.119-162, 1999..

VAHL, L.C. Nutrição de plantas de arroz irrigado. In: **Produção de Arroz Irrigado**. SILMAR TEICHERT PESKE; LUIS O. B. SCHUCH E ANTÔNIO C. S. A. BARROS. Eds. Pelotas: Ed. Universitária, Universidade Federal de Pelotas, 2004.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VANEGAS, J.; LANDAZABI, G.; MELGAREJO, L.M.; BELTRAN, M.; URIBE-VÉLEZ, **European Journal of Soil Biology**, v.55, p.1-8, 2013.

VERGUTZ, L.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R. da; BARROS, N. F.de; NUNES, T. N.; PIAU, A. A. de M. Mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, p.43-57, 2010.

VEZZANI, F. M; MIELNICZUK, J. **O solo como um sistema**. Curitiba. Ed. 104p. 2011.

VEZZANI, F. M; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

WATANABE, H. et al. Effect of water management practice on pesticide behavior in paddy water. **Agricultural Water Management**, v. 88, p. 132-140, 2007.

ZWIKELA, S.; LAVEEA, H.; SARAH, P. Temporal dynamics in arylsulfatase enzyme activity in various microenvironments along a climatic transect in Israel. **Geoderma**, v.140, p.30–41, 2007.

ANEXOS

Imagens representativas das áreas de estudo do capítulo 1:



Figura 01: Área de vegetação nativa



Figura 02: Imagem representativa do período da coleta de solo das diferentes áreas de arroz estudadas

Imagens representativas das áreas de estudo do capítulo 2:



Figura 03: Área de referência



Figura 04: Arroz após oito dias de germinação

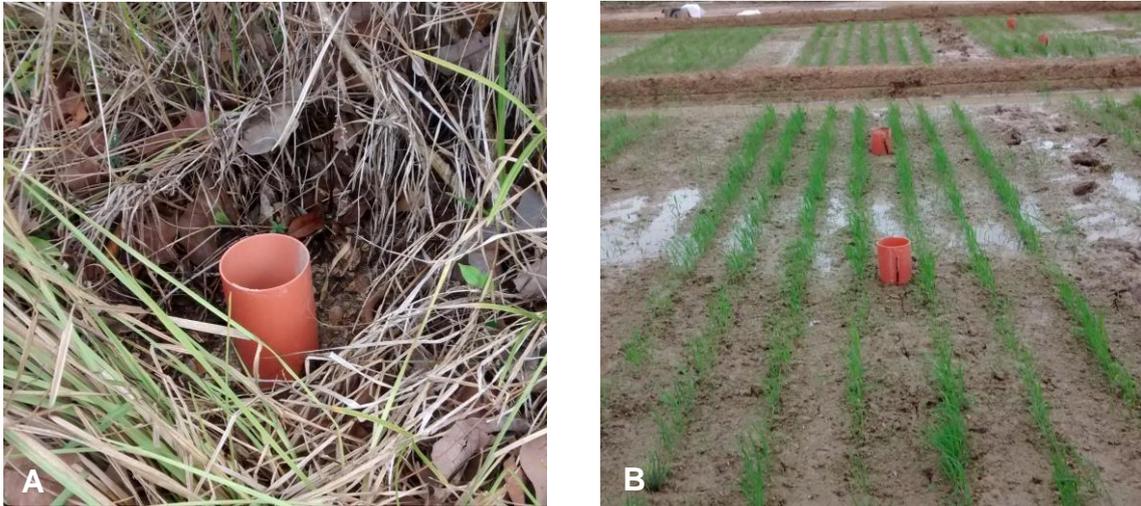


Figura 05: Leitura de emissão de CO₂, figura A testemunha, figura B imagem representativa dos tratamentos de manejo da água no arroz



Figura 06: Equipamento utilizado para mensura a emissão de CO₂, LI-COR 8100 A