



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA

ESTUDO DA ÁGUA DE TANQUES DE PISCICULTURA PARA USO EM
UM SISTEMA INTEGRADO DE AGRICULTURA

*Um estudo químico e hormono-similar em prol do desenvolvimento
agrário no interior da Região Nordeste*

HERMÓGENES BEZERRA MAIA

Serra Talhada, Pernambuco
Dezembro de 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA

ESTUDO DA ÁGUA DE TANQUES DE PISCICULTURA PARA USO EM
UM SISTEMA INTEGRADO DE AGRICULTURA

*Um estudo químico e hormono-similar em prol do desenvolvimento
agrário no interior da Região Nordeste*

HERMÓGENES BEZERRA MAIA

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em
Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco,
para obtenção do título de licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Ramom Rachide Nunes

Serra Talhada, Pernambuco
Dezembro de 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M217c Maia, Hermógenes Bezerra
 Estudo da água de tanques de piscicultura para uso em um sistema integrado de agricultura: Um estudo químico e hormono-similar em prol do desenvolvimento agrário no interior da Região Nordeste / Hermógenes Bezerra Maia. - 2019.
 20 f. : il.
- Orientador: Ramom Rachide Nunes.
 Inclui referências e anexo(s).
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Química, Serra Talhada, 2019.
1. Sistema integrado de agricultura. 2. Piscicultura. 3. Matéria orgânica. 4. Desenvolvimento agrário. I. Nunes, Ramom Rachide, orient. II. Título

CDD 540



ATA DE DEFESA E AVALIAÇÃO DE MONOGRAFIA

Ata de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do discente Hermogenes Bezerra Maia, regularmente matriculado no curso de Licenciatura em Química, da UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE), UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA (UAST), realizada no dia 11 de dezembro de 2019 às 08:00 horas na sala 13 do bloco 1, em sessão pública intitulada: ESTUDO DA ÁGUA DE TANQUES DE PISCICULTURA PARA USO EM UM SISTEMA INTEGRADO DE AGRICULTURA: UM ESTUDO QUÍMICO E HORMONO-SIMILAR EM PROL DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO NO INTERIOR DA REGIÃO NORDESTE. A banca examinadora foi composta pelos professores:

Ordem	Nome do Professor(a)	Instituição
1° Titular (Presidente)	Prof. Dr. Ramom Rachide Nunes	UFRPE/UAST
2° Titular	Profa. Dra. Maria Olímpia de Oliveira Rezende	USP/IQSC
3° Titular	Profa. Dra. Danielle Matias de Macedo Dantas	UFRPE/UAST

A Banca Examinadora, após análise, apresentou o resultado da avaliação, tendo sido o aluno considerado:

(x) Aprovado () Reprovado,

com média final 9,5.

Não havendo mais nada a tratar, o Presidente deu por encerrada a sessão.

Serra Talhada, 11 de dezembro de 2019

Prof. Dr. ORIENTADORA OU ORIENTADOR

1° Titular e Presidente

Prof. Dr. NOME DO MEMBRO

2° Titular

Prof. Dr. NOME DO MEMBRO

3° Titular

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre estar comigo, e me mostrar um pouco da beleza da sua criação por meio da ciência. Reforço as palavras de Isaac Newton: “A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isto fica sendo a minha última e mais elevada descoberta” – Isaac Newton

Aos meus pais Demógenes e Zeneide, por mesmo no início não compreendo bem, terem apoiado meus sonhos e minha vontade de crescer.

Ao meu irmão Elyemerson pelo companheirismo.

As minhas avós, pelo carinho, pelos almoços e principalmente pelas suas orações.

A todos da minha família que me apoiaram.

Ao meu orientador Rachide, pela orientação, pelos conselhos e pela amizade.

Aos meus amigos de laboratório Andreza, Jefferson, Erica e Barbara pelo companheirismo e os bons momentos juntos.

Aos professores da UFRPE/UAST, em especial Apolinário, Hemerson, Eduardo, Túlio e Marcelo.

Aos técnicos Danilo, Felipe, Lorena e Anderson por sempre estarem dispostos a ajudar.

Aos meus amigos que me acompanham desde o ensino fundamental e médio, todos os outros que fiz ao longo da graduação, penso que nem preciso citar o nome de cada um, só agradecer por estarem ao meu lado nos bons e maus momentos, pelas viagens, congressos e tantos outros momentos que tornaram esse ciclo da minha vida mais divertido e incrível, muito obrigado !!!

À professora Renata Akemi pela ajuda e cooperação na área da piscicultura.

Ao Sítio Calumbi (Itacuruba, PE) pelas amostras cedidas.

A UFRPE/UAST, pela estrutura e oportunidades

Ao laboratório de Tecnologia Pesqueira (LAPEQ UFRPE UAST), ao Laboratório de Química Ambiental da Universidade de São Paulo (LQA IQSC USP), ao Laboratório Nacional de Biorrenováveis do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (LNBr CNPEM) pelas análises realizadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) pelo aporte financeiro.

“Porque dele e por ele, e para ele, são todas as coisas;
glória, pois, a ele eternamente. Amém.”

Romanos 11:36

RESUMO

A baixa fertilidade natural dos solos brasileiros é devida, em sua maior parte, à sua elevada acidez e teores de nutrientes aquém do necessário para a produção vegetal. Esse problema é mais grave no interior da Região Nordeste, devido às suas condições edafoclimáticas, caracterizadas pelo clima seco e o padrão irregular de chuvas. Em um outro contexto, a piscicultura vem se destacando e crescendo na região, uma vez que a aquicultura demanda menos água que a pecuária convencional, com média de 800 L de água por kg de pescado produzido. Mesmo em sua importância, a piscicultura é considerada uma atividade que gera efluentes potencialmente tóxicos, por apresentar um teor elevado de matéria orgânica (MO) e nutrientes. Tomando ambas as problemáticas como um desafio — o problema da baixa fertilidade do solo e a geração de efluentes pela aquicultura — a implementação de um sistema integrado agricultura-piscicultura seria uma alternativa interessante, pois visaria o reuso da água dos criatórios de peixes por meio da valorização da MO e a reciclagem de nutrientes, via irrigação, promovendo benefícios para a produção vegetal e ao desenvolvimento agrário. Parte desses benefícios é imputada à atividade hormono-similar, atribuída à presença de moléculas orgânicas que compõe as frações da MO. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo químico da água de tanques de piscicultura para uso na irrigação de plantas de interesse econômico, além de avaliar a atividade hormono-similar da MO presente nas amostras analisadas. As amostras de água de piscicultura (FFW) foram coletadas na Cooperativa dos Produtores do Vale do Itaparica (COOPVALE), no município de Itacuruba (PE) e suas características (pH, CE, turbidez, nutrientes e TOC) foram determinadas. Para avaliar a atividade hormono-similar foram realizados bioensaios com sementes de pepino (*Cucumis sativus*), com diferentes concentrações de carbono, presente na FFW. De acordo com os resultados obtidos na caracterização da água de piscicultura, considera-se que suas características químicas possibilitam o uso na irrigação de plantas de interesse econômico. Nos bioensaios foi possível observar a ação bioestimulante das FFW nas concentrações a partir de 5,0 mg C L⁻¹. Além disso, considera-se que quanto maior a concentração de carbono na amostra FFW, maior a resposta biológica, conforme observado no aumento do índice de crescimento das raízes de *C. sativus*. Assim, conclui-se que é possível reciclar e reaproveitar a MO e nutrientes da água de piscicultura na produção vegetal, em prol do desenvolvimento agrário no interior da Região NE, em um sistema integrado, agricultura-piscicultura, em um sistema de cultivo orgânico-agroecológico, mimetizando um cultivo em sistema de núcleo familiar, no interior da Região Nordeste, no sertão pernambucano.

Palavras-chave: Sistema integrado de agricultura, piscicultura, agricultura orgânica, matéria orgânica, desenvolvimento agrário.

ABSTRACT

The low natural fertility of Brazilian soils is due, in the most part, to their high acidity and nutrient levels below those needed for crop production. This problem is more accentuated in the interior of the Brazilian Northeast, due to its edaphoclimatic conditions, characterized by their dry climate and irregular rainfall pattern. In another context, fish farming is becoming more prominent and growing in the region, as aquaculture demands less water than conventional livestock, with an average of 800 L of water per kg of fish produced. Even in its importance, fish farming is considered an activity that generates potentially toxic effluents, because it has a high content of organic matter (OM) and nutrients. Taking both issues as a challenge — the problem of poor soil fertility and effluent generation by aquaculture — the implementation of an integrated agriculture-fish farming system would be an interesting alternative as it would aim at reusing water from fish farms through enhancement of OM and nutrient recycling through irrigation, promoting benefits for crop production and agrarian development. Part of these benefits is imputed to the hormone-like activity, attributed to the presence of organic molecules that make up the OM fractions. In this sense, the present work aimed to conduct a chemical study of water from fish ponds for use in irrigation of plants of economic interest, besides evaluating the hormone-like activity of OM present in the analyzed samples. Fish farming water samples (FFW) were collected from the Cooperativa dos Produtores do Vale do Itaparica (COOPVALE), in the municipality of Itacuruba (PE) and their characteristics (pH, EC, turbidity, nutrients and TOC) were determined. To evaluate hormone-like activity, bioassays were performed with cucumber (*Cucumis sativus*) seeds, with different carbon concentrations, present in the FFW. According to the results obtained in the characterization of pisciculture water, it is considered that its chemical characteristics allow the use in irrigation of plants of economic interest. In the bioassays it was possible to observe the biostimulant action of FFW at concentrations from 5.0 mg C L⁻¹. Furthermore, it is considered that the higher the carbon concentration in the FFW sample, the greater the biological response, as observed in the increase of *C. sativus* root growth index. Thus, it is concluded that it is possible to recycle and reuse the OM and nutrients of fish water in crop production, in favor of agrarian development within the NE Region, in an integrated system, agriculture-fish farming, in an organic farming system. agroecological, mimicking a cultivation in a family nucleus system, in the interior of the Northeast, in the Pernambuco hinterland.

Key words: Integrated farming system, pisciculture, organic agriculture, organic matter, agrarian development.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Agricultura no Brasil e no Nordeste	12
1.2. Desafios da agricultura no Brasil e no semiárido brasileiro.....	13
1.3. A piscicultura no Brasil.....	13
1.4. Sistemas integrados.....	14
1.5. Atividade hormono-similar	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. METODOLOGIA	17
3.1. Água de piscicultura	17
3.2. Solo	18
3.3. Teste de retenção de umidade	19
3.4. Testes de germinação	19
3.5. Análises Estatísticas	20
3.6. Gerenciamento e tratamento dos resíduos gerados.....	21
3.7. Procedimentos laboratoriais.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Caracterização da água de piscicultura.....	21
4.2. Caracterização do solo	23
4.3. Teste de retenção de umidade	24
4.4. Teste de germinação	26
5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS	28
5.1. Conclusão.....	28

5.2. Perspectivas futuras.....	29
REFERÊNCIAS	30
ANEXOS	42

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. a) Amostra de água de tanque de piscicultura (FFW); b) Mapa do estado de Pernambuco, destacando a localização da cidade de Itacuruba (FONTE: Wikimapia®); e c) Tanque de cultivo de tilápia do Nilo, onde as amostras de água foram coletadas.....18
- Figura 2. Estrutura construída para a realização dos testes de retenção de umidade, utilizando a água de tanques de piscicultura (FFW) e a convencional (TW), em amostras de argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd)19
- Figura 3. Germinação das sementes de *Cucumis sativus* e seu desenvolvimento do hipocóilo e rizoma (raiz)20
- Figura 4. Teste de retenção de umidade em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) percolado por amostras de água de piscicultura (FFW) e de irrigação convencional (TW), em tempos pré-determinados.....25
- Figura 5. Efeito hormono-similar da matéria orgânica presente na amostra de água de piscicultura (FFW) em testes de germinação utilizando sementes de *C. sativus*.....27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas da água de tanques de piscicultura (amostra FFW) e seus valores orientativos (média \pm SD, n = 3).....	22
Tabela 2. Macro e micronutrientes determinados na água de piscicultura (média \pm SD, n = 3); e comparação com outros estudos, encontrados na literatura.....	22
Tabela 3. Características do PVAd para uso nos ensaios agrônômicos (média \pm SD, n = 3, com base no peso seco das amostras); e comparação com outros estudos encontrados na literatura	24
Tabela 4. Percentual de retenção de umidade (%HR) em testes realizados com amostras de água de tanques de piscicultura (FFW) e de irrigação convencional (TW) percoladas em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd).....	25
Tabela 5. Índice de crescimento (LI) de raízes de <i>C. sativus</i> sob a aplicação de diferentes concentrações de água de piscicultura (FFW).....	28

1. INTRODUÇÃO

1.1. Agricultura no Brasil e no Nordeste

Nos últimos 40 anos, a produção agrícola brasileira cresceu 404%, passando de 47 milhões para 237 milhões de toneladas comercializadas. Conseqüentemente, o país saiu da condição de importador de alimentos para se tornar um dos principais produtores e exportadores mundiais. Os benefícios dessa condição são: a elevação da renda, a geração de empregos, além de impulsionar a participação da agricultura no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. (EMBRAPA, 2018a).

Em 2016, o agronegócio como um todo representou 23,6% do PIB, responsável por 45,9% do valor das exportações, gerando um saldo comercial de US\$ 71 bilhões; já a produção agrícola correspondeu a 5% desse montante (BRASIL, 2017).

Nesse sentido, a agricultura brasileira vem apresentando intenso aumento de produção e produtividade. Ampliando o rol de produtos cultivados e o número de países para os quais o Brasil exporta alimentos; o que é de extrema importância para o desempenho geral da economia do país, uma vez que essa prática concentra a renda no campo (EMBRAPA, 2018).

Por outro lado, segundo dados do censo de 2006, apenas 0,43% dos estabelecimentos rurais existentes no Brasil respondem por mais da metade do lucro produzido (ALVES; ROCHA, 2010). Estes estabelecimentos rurais produziram entre dois e dez salários mínimos mensais e, com isso, participaram com 11% da renda agrícola bruta total. Esses estabelecimentos estão localizados principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (CAMPOS; NAVARRO, 2013).

Esses números se opõem a vasta maioria dos estabelecimentos (73% do total) na qual a renda bruta atinge, no máximo, dois salários mínimos, o valor médio da produção mensal equivale a 0,43 salário mínimo. Além disso, praticamente 57% desses estabelecimentos estão concentrados na Região Nordeste e apresentam uma média mensal de 0,35 salários mínimos (CAMPOS; NAVARRO, 2013; ALVES; ROCHA, 2010).

A agricultura familiar tem dinâmica e características distintas em comparação à agricultura não-familiar. Nela, a gestão da propriedade é compartilhada pela família e a atividade agropecuária é a principal fonte geradora de renda, além de ser o seu local de trabalho e moradia. Constitui-se a base econômica de 90% dos municípios brasileiros com até 20 mil habitantes e responde por 35% do produto interno bruto nacional. Além disso, absorve 40% da população economicamente ativa do país: 84% dos estabelecimentos rurais são de base familiar e ocupam 74% da mão de obra que está no campo. Apesar disso, propriedades familiares compreendem apenas 24% de toda a área rural do país (BRASIL, 2006).

Na Região Sul a agricultura familiar é a mais organizada. Lá, esse setor investe mais em insumos e dispõe de mais capital, produzindo mais. Nessa região, a agricultura familiar consegue obter um valor bruto da produção agrícola superior ao da agricultura não-familiar: R\$ 1.613,94 ha⁻¹ contra R\$792,78 ha⁻¹, respectivamente. Por outro lado, na Região Nordeste, onde encontram-se metade dos estabelecimentos rurais do Brasil, 72% dos produtores não geram lucro suficiente para elevar sua renda bruta familiar a um patamar acima da linha de pobreza (US\$ 1,95 dia⁻¹, de acordo com o Banco Mundial; menos de R\$ 420 per capita por mês, de acordo com o IBGE). Inevitavelmente, essa realidade tem reflexo danoso na sustentabilidade dos estabelecimentos rurais familiares (BRASIL, 2006).

Para melhorar a qualidade do solo e seu potencial agrícola é necessário e mandatório conhecer seus problemas e, assim, tomá-los como desafios em prol do desenvolvimento agrário e social; em especial, dos núcleos de agricultura familiar no interior da Região Nordeste.

1.2. Desafios da agricultura no Brasil e no semiárido brasileiro

Um dos maiores desafios da agricultura está na qualidade dos solos brasileiros, os quais são, em sua grande maioria, de baixa fertilidade natural, por serem intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes. Isso acarreta uma baixa produtividade agrícola. Por outro lado, sabe-se que uma agricultura moderna faz-se uso da aplicação de insumos, como fertilizantes e corretivos, para eliminar as limitações químicas dos solos além de atender às exigências nutricionais das culturas (MANZATTO; FREITAS JUNIOR; PERES, 2002).

Esse problema é mais sério no interior da Região Nordeste, onde o semiárido abrange oito dos nove estados nordestinos, abriga aproximadamente 40% da população da região e 57% da sua população rural. A aptidão do solo e as condições edafoclimáticas desse clima, como a deficiência hídrica e o padrão irregular de precipitação pluviométrica, resultam em ambiente pouco propício à produção agrícola (CAMPOS; NAVARRO, 2013).

Apesar da deficiência hídrica da Região Nordeste, o tempo em que as plantas ficam em exposição ao sol e as temperaturas médias anuais são favoráveis para o cultivo de plantas de interesse econômico. Por outro lado os tipos de solo do semiárido, em geral, são latossolos, argissolos e neossolos, os quais possuem baixa aptidão agrícola, reduzindo a potencialidade da agricultura regional (CASTRO, 2018).

Apesar dos desafios e problemas da agricultura, em um contexto diferente, outras práticas comerciais vêm se destacando e ganhando espaço entre os pequenos produtores e núcleos familiares; é o caso da piscicultura.

1.3. A piscicultura no Brasil

Mesmo nas condições edafoclimáticas da Região Nordeste, a piscicultura se destaca, uma vez que a baixa precipitação e períodos de seca prolongada impedem grandes criações de ruminantes para a produção de proteínas comerciais (BAIARDI; ALENCAR, 2015). Sabe-se que a piscicultura exige muito menos água para a produção de carne se comparada ao necessário para o consumo do gado de confinamento; 0,8 ML de água é necessário para produzir 1 kg de proteína de peixe, contra 17 ML por kg de carne bovina, aproximadamente (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010).

Em 2018, o Brasil produziu 722.560 t de pescado, com crescimento de 4,5% em relação ao ano anterior. No que se refere à criação de tilápias, foram produzidas 400.280 t. Com esse desempenho, a espécie representa 55,4% da produção total de peixes de cultivo, consolidando o Brasil como 4º maior produtor mundial. Nesse mesmo ano, foram exportadas 32.417 t de peixes congelados, frescos e refrigerados, gerando uma receita de 136 milhões de dólares. Assim, considera-se que a piscicultura brasileira é uma atividade em crescimento e com grande potencial, devido aos recursos hídricos do país, às dimensões continentais, ao clima propício e ao empreendedorismo dos produtores (FRANCISCO MEDEIROS, 2019).

Mesmo em sua importância, a piscicultura é considerada uma atividade que gera efluentes com uma quantidade elevada de matéria orgânica (MO) e nutrientes. Por exemplo, o nitrogênio e o fósforo presente nesse efluente podem levar ao excesso de fitoplâncton, à baixa concentração de oxigênio dissolvido na água e, se descartados em corpos d'água natural, podem comprometer a qualidade do mesmo (SILVA; LOSEKANN; HISANO, 2013).

Pensando em solucionar o problema da baixa fertilidade do solo e a geração de efluentes pela piscicultura, a implementação de sistemas integrados de agricultura, a exemplo da agricultura-aquicultura, seria uma alternativa interessante, pois visaria o reúso da água dos tanques de piscicultura por meio da valorização da MO e a reciclagem de nutrientes (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

1.4. Sistemas integrados

Os sistemas integrados podem ser definidos como métodos de cultivo ou de criação, com diferentes finalidades, integrados em uma mesma área. Nesses sistemas, visa-se maximizar o uso do solo, bem como diversificar a renda do produtor rural (HIRAKURI et al., 2012).

Nesse contexto, atualmente destacam-se quatro tipos de sistemas integrados (BALBIO; BARCELLOS; STONE, 2011):

- i.* Integração lavoura e pecuária: Nesse sistema é alternado, na mesma área, o cultivo de pastagens anuais ou perenes, destinadas à alimentação animal, e culturas destinadas à produção vegetal, principalmente de grãos.
- ii.* Integração lavoura-pecuária-floresta: Nesse sistema, visa-se a produção sustentável, integrando as atividades agrícolas, pecuárias e florestais, todas realizadas na mesma área, em um cultivo rotacionado. Assim, busca-se os efeitos simultâneos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do ser humano e a viabilidade econômica.
- iii.* Integração pecuária-floresta: Nesse sistema integram-se as atividades pecuárias e, também, de silvicultura.
- iv.* Integração lavoura-floresta: Nesse sistema, visa-se o cultivo agrícola realizado em conjunto ao de espécies arbóreas. a lavoura pode ser utilizada na fase inicial da implementação das espécies arbóreas ou em ciclos durante o desenvolvimento desse sistema.

Além dos sistemas acima mencionados, outros métodos de cultivo integrado podem ser implementados. Para isso, basta que diferentes práticas econômicas de cunho rural possam ser realizadas, concomitantemente, em uma mesma área. Além disso, espera-se que todas as práticas envolvidas se beneficiem mutualmente, levando a geração de lucro e ao aumento da renda no campo.

O sistema integrado agricultura-piscicultura visa o reúso da água dos tanques de piscicultura na irrigação em práticas agrícolas por meio da valorização da MO e a reciclagem de nutrientes (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). Essa prática visa promover uma série de benefícios, na produção vegetal, e.g., a reciclagem de nutrientes, estímulo do desenvolvimento vegetal e redução dos impactos ambientais, além dos benefícios econômicos com a diminuição da aplicação de insumos minerais no solo. Além disso, o sistema integrado agricultura-piscicultura pode promover a agricultura orgânica,

de base ecológica e a agricultura familiar, gerando desenvolvimento agrário e viabilizando a sustentabilidade dos estabelecimentos rurais e familiares.

Ademais, sabe-se que o efeito bioestimulante da água de piscicultura é atribuída à atividade homono-similar das moléculas orgânicas que compõe a MO e suas frações.

1.5. Atividade hormono-similar

Os hormônios vegetais são um conjunto de moléculas produzidas em uma célula que estimulam e/ou regulam os processos celulares. Ao interagir com uma proteína específica que funciona como um receptor, ligado às rotas de transdução de sinal, em concentrações extremamente baixas, os hormônios vegetais são capazes de ativar respostas celulares essenciais para as funções vitais de uma planta, e.g., o crescimento, o desenvolvimento, a floração, a produção de frutos, entre outros. Assim, desde a germinação das sementes até a planta adulta, todo o crescimento e desenvolvimento é regulado, principalmente, pelos hormônios vegetais (TAIZ et al., 2017).

Os hormônios vegetais apresentam uma grande variedade de substâncias que desempenham alguma função na regulação hormonal nos organismos vegetais. Ademais, podem ser organizados e divididos em classes, de acordo com suas funções e tecidos em que atuam. São elas (TAIZ et al., 2017):

- i. Auxinas;
- ii. Giberelinas; e
- iii. Citocinas

Além disso, dois compostos não apresentam uma classe, mas são moléculas com ações e funções únicas:

- iv. Etileno; e
- v. Ácido abscísico.

As auxinas são essenciais ao crescimento vegetal e, sua sinalização, funciona praticamente em cada aspecto do desenvolvimento da planta. Dentre os principais representantes desta classe, destaca-se o ácido 3-indolacético (AIA), como a auxina vegetal primária. Em algumas espécies, o ácido 4-cloro-3-indolacético (4-cloro-AIA) e o ácido fenilacético atuam como auxinas naturais, mas o AIA é a forma mais abundante e fisiologicamente mais importante. Como a estrutura do AIA é relativamente simples, foram sintetizadas uma ampla série de moléculas com atividade auxínica. Como exemplo, o ácido 1-naftaleno-acético (ANA), o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e o ácido 2-metóxi-3,6-diclorobenzoico (dicamba), que são usados amplamente como reguladores do crescimento e herbicidas na horticultura e na agricultura (TAIZ et al., 2017).

Algumas de suas principais funções nas plantas são:

- i. Crescimento do caule e da raiz: atuam no processo de alongamento das células vegetais. Quando a planta apresenta baixa quantidade de auxinas, suas raízes podem crescer, porém o caule não se desenvolve. Já elevadas concentrações de auxinas podem provocar o crescimento do caule, deixando as raízes pouco desenvolvidas;
- ii. Dominância apical: as auxinas produzidas pelo meristema apical do caule diminuem a atividade das gemas axilares que ficam perto do ápice. Quando a gema apical é extraída da planta, ocorre o surgimento de ramos, folhas e flores laterais;

- iii.* Tropismos: as auxinas atuam no controle dos tropismos que são os movimentos relacionados ao crescimento das plantas de acordo com estímulos da natureza. Exemplo: fototropismo movimento das plantas em reação aos estímulos luminosos;
- iv.* Produção e desenvolvimento de frutos: as auxinas são produzidas nas sementes, possibilitando a formação dos frutos pelo ovário vegetal;
- v.* Queda de folhas velhas: ao apresentar uma baixa concentração de auxinas, as folhas velhas caem da planta; e
- vi.* Formação de raízes: são as raízes que brotam na base do caule. Este processo é gerado pela presença das auxinas.

As giberelinas promovem o alongamento celular, a germinação de sementes, a transição para o florescimento, o desenvolvimento do pólen e o crescimento do tubo polínico, além do desenvolvimento do fruto (TAIZ et al., 2017).

As citocininas estimulavam a divisão de células vegetais em combinação com a auxina, têm efeitos em muitos processos fisiológicos e de desenvolvimento (TAIZ et al., 2017).

O etileno é um gás com uma estrutura química simples, regula uma ampla gama de respostas nas plantas, incluindo a germinação da semente, o crescimento da plântula, o amadurecimento dos frutos, a expansão e a diferenciação celular, a senescência e a abscisão foliar e floral, além de respostas aos estresses bióticos e abióticos, incluindo a epinastia (TAIZ et al., 2017)

O ácido abscísico (ABA) regula respostas aos estresses salino, por desidratação e térmico, incluindo o fechamento estomático. O ABA também promove a maturação e a dormência da semente e regula o crescimento de raízes e partes aéreas, a produção de tipos foliares diferentes em um único indivíduo, o florescimento e algumas respostas a patógenos (TAIZ et al., 2017).

Conforme citado acima, os hormônios ao interagirem com receptores levam a um efeito fisiológico nos organismos vegetais. Contudo, esse efeito não é exclusivo dos hormônios vegetais: enzimas e outros compostos orgânicos podem apresentar uma ação similar à observada com um hormônio. Em geral, as moléculas orgânicas que estimulam quaisquer reações de controle da atividade biológica tal qual faria um hormônio de fato, são chamados de compostos homono-similares. São eles (SCAGLIA et al., 2016; SCAGLIA; POGNANI; ADANI, 2015):

- i.* Compostos homono-similares não são hormônios, pois não produzidos pelas células vegetais;
- ii.* Esses compostos possuem uma atividade reguladora em pequenas concentrações como os hormônios; e
- iii.* Esses compostos com ação bioestimulante são provenientes das moléculas orgânicas que compõe a MO e suas frações, como os ácidos húmicos (HA) e matéria orgânica dissolvida (DOM).

A MO consiste em um conjunto de compostos orgânicos oriundos da decomposição de organismos vegetais, animais e se produtos de excreção ou liberação; em diferentes estágios de decomposição. Além disso, são resíduos ou produtos de transformações, os quais envolvem diversos processos relacionados ao ciclo de vida do seres vivos (FERNANDES, 2016; LANDGRAF; MESSIAS; REZENDE, 2005; ZANDONADI et al., 2014).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso da água de tanques de piscicultura para o cultivo de plantas de interesse econômico, realizando um estudo químico e hormono-similar, em prol do desenvolvimento agrário no interior da Região NE, em um sistema integrado, agricultura-piscicultura.

2.2. Objetivos específicos

- i.* Coletar amostras de água de tanques de piscicultura e caracterizá-las em termos químicos e agronômicos de fertilidade;
- ii.* Coletar e caracterizar amostras de argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd);
- iii.* Investigar as interações da água dos tanques de piscicultura com o solo por meio da avaliação de sua capacidade de retenção de umidade; e
- iv.* Avaliar a atividade hormono-similar da MO presente na água de piscicultura por meio de bioensaios (testes de germinação), utilizando sementes de pepino (*Cucumis sativus*).

3. METODOLOGIA

3.1. Água de piscicultura

As amostras de água de piscicultura (FFW) foram coletadas em tanques de cultivo de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), popularmente conhecidos como barreiros, na Cooperativa dos Produtores do Vale do Itaparica (COOPVALE), no município de Itacuruba (PE) (8°45'36,6"S 3°839'37,5"W) (Figura 1).

As coletas foram realizadas no mês de maio do ano de 2018. Utilizando garrafas de polietileno. As amostras foram coletadas e armazenadas sob refrigeração, até o momento das análises. As amostras de água foram coletadas, condicionadas, transportadas e armazenadas de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011).

Para caracterização da amostra FFW, os seguintes atributos foram analisados (Anexo M.1):

- i.* pH
- ii.* Condutividade elétrica (CE)
- iii.* Turbidez
- iv.* Carbono Orgânico Total (TOC)
- v.* Sólidos Suspensos (S.S.)
- vi.* Macro e micronutrientes.



Figura 1. a) Amostra de água de tanque de piscicultura (FFW); b) Mapa do estado de Pernambuco, destacando a localização da cidade de Itacuruba (FONTE: Wikimapia®); e c) Tanque de cultivo de tilápia do Nilo, onde as amostras de água foram coletadas.

3.2. Solo

As amostras de argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd) foram coletadas na área de cultivo experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), no município de Serra Talhada (PE) ($7^{\circ}57'11,4''S$ $38^{\circ}17'41,0''W$).

As coletas foram realizadas no mês de maio do ano de 2018, na área experimental de cultivo, na UFRPE/UAST. Utilizando instrumentos manuais, o solo foi coletado na fração arável de ~ 20 cm de profundidade.

Para o preparo das amostras de terra fresca seca ao ar (TFSA), o material coletado foi peneirado à 10 mesh (2 mm), para análises

Para caracterizar o PVAd, foram realizadas as seguintes análises (Anexo **M.2**):

- i. Sólidos Totais (ST)
- ii. pH
- iii. Condutividade elétrica (CE)
- iv. Matéria Orgânica (MO)
- vi. Carbono Orgânico Total (TOC)
- vii. Acidez trocável (A)

- viii. Soma das Bases (SB)
- ix. Capacidade de troca catiônica (CTC)
- x. Saturação por base (V%)

3.3. Teste de retenção de umidade

Para determinar o potencial da amostra FFW em reter umidade em um PVAd, montou-se uma estrutura que permitisse percolar uma determinada quantidade de água em um montante de solo (Figura 2).



Figura 2. Estrutura construída para a realização dos testes de retenção de umidade, utilizando a água de tanques de piscicultura (FFW) e a convencional (TW), em amostras de argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd).

Para a realização dos ensaios, 50 g de solo foram adicionados em uma seringa de 60 mL. Em seguida, 300 mL de água foram percoladas, pela gravidade, à uma velocidade de ~ 2 gotas min^{-1}

O PVAd permaneceu em repouso durante 0, 1, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42 e 56 dias e, periodicamente, o peso do solo foi determinado, até que o material retornasse à sua umidade inicial.

Testes foram realizados utilizando amostras de água de piscicultura (FFW) e, também, amostras de água convencional de irrigação (TW, água de torneira).

3.4. Testes de germinação

Os testes de germinação foram realizados por meio de bioensaios com sementes de pepino (*Cucumis sativus*), com diferentes concentrações de carbono, presente na FFW 0,001; 0,01; 0,1; 1,0; 5,0; 10,0; 25,0; 50,0; 75,0 e 100,0 mg C L^{-1} .

3.4.1. Bioensaios

A atividade hormono-similar da água de piscicultura (amostra FFW) foi avaliada por meio do crescimento das raízes em sementes de *C. sativus*. (SCAGLIA et al., 2016).

Para realização dos bioensaios foram utilizadas placas de Petri revestidas com papel de filtro humedecido com 1,4 mL de solução e 5 sementes *C. sativus*. Os testes biológicos foram realizados com soluções da FFW em diferentes concentrações de carbono e, também, com água (amostra controle). com exceção da amostra controle, todas as concentrações foram expressas em [C], ou seja, mg de carbono por litro de solução (mg C L^{-1}).

As placas de Petri foram vedadas com filme (Parafilme) e postas em uma caixa de papelão revestida com papel alumínio. As amostras foram germinadas em câmara escura a 25°C, durante 48h. Em seguida as placas de Petri foram abertas e as raízes mensuradas. As medidas foram realizadas com a ajuda de um paquímetro (PIZZEGHELLO et al., 2006).

O comprimento das raízes (rizoma) foi determinado a partir da medida da extremidade da raiz até o ponto de diferenciação entre a raiz e o hipocótilo (raiz embrionária) (Figura 3). Foram rejeitados os dados das raízes com comprimento inferior a 5,0mm, sendo consideradas como sementes não-germinadas. O experimento foi realizado em triplicata e, ao todo, foram 30 sementes por concentração analisada (10 sementes por replicata).

O índice de comprimento (LI) foi calculado pela divisão do comprimento médio das raízes em uma amostra e a média do comprimento obtido na amostra controle para cada concentração foi avaliada. A atividade hormono-similar foi considerada presente (efeito bioestimulante positivo) quando o LI vs [C] calculado foi estatisticamente significativo ($\text{sig} < 0,05$) e os valores estatisticamente diferente por ANOVA One-way, ($P < 0,05$) (PIZZEGHELLO et al., 2006).

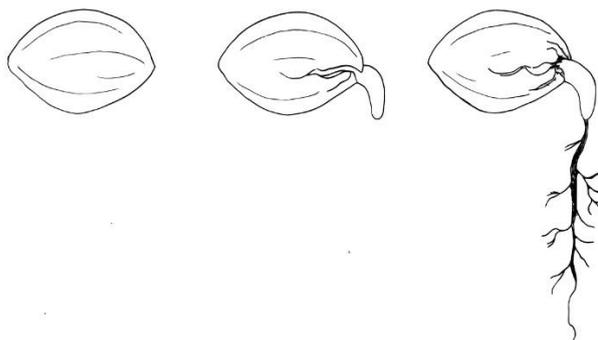


Figura 3. Germinação das sementes de *Cucumis sativus* e seu desenvolvimento do hipocótilo e rizoma (raiz) (NUNES, 2017).

CRÉDITO: T. R. A. Silva.

3.5. Análises Estatísticas

Análises, testes e determinações químicas (caracterização da amostra FFW e PVAd) foram realizados em triplicata e os resultados apresentados na forma de média \pm desvio padrão (DP).

Os testes estatísticos de significância (bioensaios de germinação) foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguido de teste de Duncan para comparação entre as médias dos tratamentos ($P < 0,05$ e $n - 1$ graus de liberdade). Os testes e análises estatísticas foram realizados no programa SPSS Statistics® v.025, desenvolvido pela IBM®. Software licenciado.

3.6. Gerenciamento e tratamento dos resíduos gerados

Os resíduos gerados durante o desenvolvimento deste projeto foram imediatamente coletados e rotulados, após cada etapa. Os resíduos gerados foram devidamente tratados, de acordo com as normas e procedimentos já adotados na UFRPE/UAST.

3.7. Procedimentos laboratoriais

Os procedimentos laboratoriais, analíticos ou não, foram realizados de acordo com os quesitos, quando cabíveis, da norma ISO 17025 (Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração) e com os princípios das Boas Práticas de Laboratório (BPL), a fim de garantir a rastreabilidade e o gerenciamento da qualidade (ISO, 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da água de piscicultura

Ao analisar a água de tanques de piscicultura, a amostra FFW apresentou um pH de 6,71, uma CE de $81,21 \mu\text{S m}^{-1}$, uma turbidez de $5,14 \text{ NTU}$, um TOC de $111,47 \text{ mg L}^{-1}$ e, também, uma concentração de $16,67 \text{ mg L}^{-1}$ de sólidos suspensos (Tabela 1).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 o pH, a turbidez e os sólidos suspensos da amostra FFW encontram-se dentro da faixa ideal para o seu uso na irrigação. Para o pH, esse valor pode variar de 6 a 9; para a turbidez, são permitidos valores de até 100 NTU e, para os sólidos suspensos, são permitidos até 500 mg L^{-1} (BRASIL, 2005).

Sabe-se que a turbidez está relacionada à concentração de partículas em suspensão dos tanques de piscicultura; principalmente a MO, proveniente dos dejetos dos peixes e dos resíduos e restos de ração (FAY; SILVA, 2006).

Por sua vez, a condutividade elétrica é um parâmetro relacionado à concentração dos íons dissolvidos em solução aquosa. De acordo com Silva et al. (2011) a CE da amostra encontra-se dentro da faixa ideal, que pode variar de 0 até $25000 \mu\text{S m}^{-1}$. Por apresentar uma baixa CE — logo, uma baixa salinidade — a amostra FFW pode ser utilizada para irrigação da maioria das culturas, com pouca probabilidade de desenvolver futuros problemas com o aumento da salinidade do solo.

No que se refere ao TOC, a resolução CONAMA 357/2005 não estabelece um valor normativo ou orientativo ideal para esse atributo químico (BRASIL, 2005). Além disso, sabe-se que o TOC está relacionado ao teor da MO dissolvida na amostra água, influenciando diversos processos químicos, físicos e biológicos no ambiente (SILVA et. al, 2001).

Tabela 1. Características químicas da água de tanques de piscicultura (amostra FFW) e seus valores orientativos (média \pm SD, n = 3).

	FFW	Valor de referência
pH	6,71 \pm 0,02	6-9 (BRASIL, 2005)
CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)	81,21 \pm 2,45	\leq 2500 $\mu\text{S m}^{-1}$ (Silva et al. 2011)
Turbidez (NTU)	7,68 \pm 5,55	\leq 100 NTU (BRASIL, 2005)
Sólidos Suspensos (mg L^{-1})	16,67 \pm 12,22	\leq 500 mg L^{-1} (BRASIL, 2005)
TOC (mg L^{-1})	111,47 \pm 2,40	n.e.

LEGENDA: FFW Água de tanques de piscicultura ; CE Condutividade elétrica ; TOC Carbono orgânico total. n.e. Valor orientativo não estabelecido

A avaliação do potencial nutritivo da água de piscicultura se deu por meio da análise dos teores de seus nutrientes (Tabela 2). Ao comparar os resultados obtidos na caracterização da FFW com os dados reportados por Santos (2009) e Cortez (2009), por exemplo. Os resultados divergem em alguns nutrientes; é o caso do K (0,12 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ e 72 mg L^{-1} ; Tabela 2), Mg (0,65 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ e 17 mg L^{-1} ; Tabela 2), Ca (0,60 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ e 283 mg L^{-1} ; Tabela 2). Tais diferenças são justificadas pelo fato das amostras serem ambientais/biológicas, complexas e de ambientes geográficos distintos.

Tabela 2. Macro e micronutrientes determinados na água de piscicultura (média \pm SD, n = 3); e comparação com outros estudos, encontrados na literatura.

Nutriente	FFW (mg L^{-1})	Santos (2009) ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	Cortez (2009) (mg L^{-1})
P	0,02 \pm 0,01	—	62
K	6,84 \pm 0,15	0,12	72
Mg	4,20 \pm 0,25	0,65	17
Ca	9,60 \pm 0,04	0,60	283
Na	0,10 \pm 0,01	1,74	—
Fe	0,51 \pm 0,04	—	19
B	n.d.	—	0,62
Cl	n.d.	—	—
Cu	0,22 \pm 0,01	—	0,33
Zn	n.d.	—	0,33
Mn	0,02 \pm 0,00	—	1,00
Mo	n.d.	—	—

LEGENDA: FFW Água de piscicultura ; n.d. Não detectado.

Nota: Os valores apresentados nas colunas acima possuem unidades diferentes. O fato da literatura consultada não apresentar o volume de água utilizada nessas análises impossibilitou a padronização das unidades.

Assim, ao analisar a qualidade da água dos tanques de piscicultura, considera-se que a amostra FFW apresenta características químicas que possibilitam o seu uso na irrigação de plantas de interesse econômico, podendo interferir positivamente no desenvolvimento e produção vegetal quando aplicada na irrigação de plantas de interesse econômico.

4.2. Caracterização do solo

Ao caracterizar o solo, determinou-se que as amostras analisadas apresentaram características típicas de um PVAd, ou seja, tratam-se de solos pobres em MO (2,12%) e TOC (0,43%), além de uma baixa %V (47,58 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (EMBRAPA, 2018) (Tabela 3).

A caracterização da amostra visou verificar se o solo coletado era, de fato, um PVAd. Por ser pobre em MO, TOC e %V, o PVAd permitirá avaliar a potencialidade da água dos tanques de piscicultura em incorporar nutrientes e MO ao solo. Um solo rico em MO dificultaria a visibilidade dos resultados quando irrigado com a água de piscicultura, uma vez, que não seria possível saber, a priori, qual MO estará influenciando no desenvolvimento vegetal.

A condutividade elétrica (89,83 $\mu\text{S m}^{-1}$) está relacionada com a concentração dos íons dissolvidos na fase aquosa do solo. Outro parâmetro importante é o pH do solo. O material caracterizado apresentou um pH ácido (5,08), que é típico dos solos brasileiros; e está fora da faixa de pH ideal-agricultável, que vai de 6,0 a 6,5, para a grande maioria das culturas cultivadas no país. Em pH abaixo de 6 o alumínio apresenta-se em concentrações tóxicas para a maioria das plantas, além de interferir na absorção de nutrientes (MARTINS, 2005; RONQUIM, 2010).

Os sólidos totais (ST) sofrem influência direta da umidade do solo. A amostra de solo foi coletada em uma região de clima quente e seco, o que reflete em seu alto teor de ST (99,12%).

A capacidade de troca catiônica (CTC) representa a quantidade total de cátions retidos na superfície das partículas que compõe o solo em condição trocável, correspondendo a capacidade de liberação dos nutrientes, favorecendo a manutenção do potencial agricultável e qualidade do solo. Dessa forma, o baixo valor da CTC (61,18 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) indica que o PVAd analisado apresenta uma pequena capacidade para reter cátions em forma trocável. A acidez trocável (A) refere-se a soma dos teores de cátions trovais H^+ e Al^{3+} e a soma das bases (SB), representa a soma dos teores dos cátions Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ . Os valores de A e B foram, respectivamente 32,07 e 29,11 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Dessa forma, considera-se o PVAd analisado como sendo pobre em nutrientes, com baixo potencial agricultável e de baixa qualidade para o cultivo de plantas de interesse econômico (RONQUIM, 2010).

Ao analisarmos a saturação por base (%V), relacionamos a soma das bases trocáveis (SB) com sua influência direta sob a capacidade de troca catiônica (CTC). Por esse motivo, a %V é um indicativo das condições gerais de fertilidade do solo. Assim, o valor da %V (47,58) foi menor que 50%, indicando que a amostra analisada é de fato um solo com característica distrófica (d) (RONQUIM, 2010).

Quanto aos nutrientes, o solo apresentou baixos níveis de elementos essenciais às plantas. Logo não satisfazem a nutrição dos vegetais para fins agrícolas. Típico de um PVAd, esses teores influenciaram no baixo resultado para a soma das bases trocáveis (SB) e, conseqüentemente, a CTC e a %V. Ao

compararmos o PVAd caracterizado com os dados obtidos em outros trabalhos, encontrados na literatura, os resultados reportados são diferentes aos determinados por Portugal et al. (2007) e Padrón (2015), por exemplo. Nesses estudos, as variações observadas, por exemplo, na CTC ($1,60 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Tabela 3); e %V ($4,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; Tabela 3). Conforme o esperado, solos de região diferente apresentam propriedades químicas e físicas divergentes, mesmo se tratando de um argissolo, em todas as situações citadas (EMBRAPA, 2018b).

Tabela 3. Características do PVAd para uso nos ensaios agrônômicos (média \pm SD, n = 3, com base no peso seco das amostras); e comparação com outros estudos encontrados na literatura.

	PVAd	Portugal et al. (2007)	Padrón (2015)
ST (%)	99,12 \pm 0,03	—	—
pH	5,08 \pm 0,04	4,43	5,2
CE ($\mu\text{S m}^{-1}$)	89,83 \pm 4,23	—	—
MO (%)	2,12 \pm 0,17	2,49	2,5
TOC (%)	0,43 \pm 0,02	—	—
A ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	32,07 \pm 0,13	5,48	6,6
SB ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	29,11 \pm 0,26	0,28	5,4
CTC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	61,18 \pm 0,33	1,60	12
%V ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	47,58 \pm 0,22	4,9	63,4

LEGENDA: PVAd Argissolo vermelho-amarelo distrófico ; ST Sólidos totais ; CE Condutividade elétrica ; MO Matéria orgânica ; TOC Carbono orgânico total ; A acidez trocável ; SB Soma das bases ; CTC capacidade de troca catiônica ; %V saturação por base.

4.3. Teste de retenção de umidade

O teste de retenção de umidade foi realizado com o objetivo de verificar o potencial da água de piscicultura em reter umidade no PVAd, em comparação com a água de irrigação convencional (amostra TW), mantendo o solo úmido por mais tempo, para fins agrícolas (Figura 4).

Analisando os resultados obtidos, ao iniciar o teste de retenção de umidade, observou-se que as amostras de PVAd percoladas pelas amostras TW e FFW possuíam, respectivamente, $\sim 17\%$ e 20% de umidade. Com o passar do tempo, esperava-se que a umidade do PVAd fosse aos poucos diminuindo, conforme o observado.

No primeiro dia, as amostras TW e FFW apresentaram $\sim 15\%$ e 18% de umidade, respectivamente. Já no terceiro dia, as amostras TW e FFW possuíam $\sim 14\%$ e 17% de umidade ($\sim 17\%$ de diferença nos resultados, comparando as amostras analisadas) (Tabela 4).

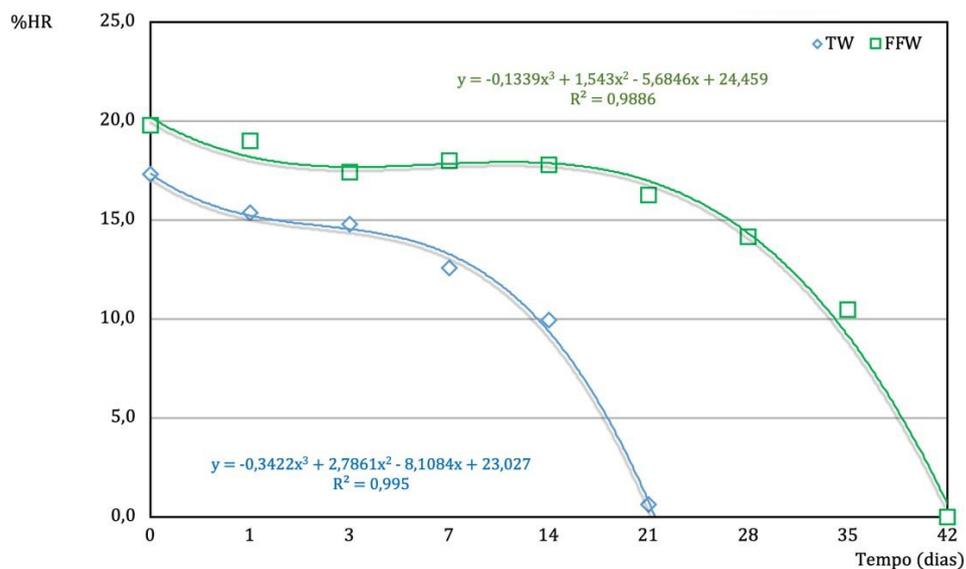


Figura 4. Teste de retenção de umidade (% HR) em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) percolado por amostras de água de piscicultura (FFW) e de irrigação convencional (TW), em tempos pré-determinados.

Tabela 4. Percentual de retenção de umidade (%HR) em testes realizados com amostras de água de tanques de piscicultura (FFW) e de irrigação convencional (TW) percoladas em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd).

Tempo (dias)	%HR	
	FFW	TW
0	19,77	17,29
1	18,99	15,34
3	17,42	14,76
7	18,00	12,58
14	17,77	9,94
21	16,27	0,00*
28	14,16	
35	10,46	
42	0,00*	

LEGENDA: %HR Percentual de retenção de umidade; FFW Água de tanques de piscicultura; TW Água de irrigação convencional
* Umidade inicial

Após uma semana, as umidades de TW e FFW eram ~ 12% e 18% respectivamente. Aos 14 dias, a diferença entre as umidades das amostras aumentou para, aproximadamente, 33%, sendo a FFW a amostra mais úmida.

Notou-se que, após 21 dias, a amostra TW retomou sua umidade para um percentual igual ao inicial, ou seja, próximo a 0%; por outro lado, a amostra FFW manteve-se, ainda, com ~ 16% de umidade. Após 42 dias, a amostra FFW alcançou sua umidade inicial.

Assim, observou-se que a diferença no tempo para obtenção da umidade próxima a 0% (umidade inicial), comparando as amostras FFW e TW, foi de 21 dias. Ou seja, considerando a diferença percentual, a amostra FFW manteve o solo úmido por um tempo 16% maior: uma consequência da presença da MO e nutrientes presentes na água de piscicultura (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2015).

Sabe-se que a adição e incremento de matéria orgânica melhora a qualidade do solo, permitindo maior agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais poroso, uma consequência das interações e das ligações formadas pelos radicais dos compostos orgânicos presentes na MO com a superfície do mineral; as quais se dão por meio de ligação de hidrogênio e forças de Van der Waals, facilitando a percolagem e retenção da água no solo, mantendo-o úmido por mais tempo. Além disso, a MO é uma fonte fundamental de nutrientes para as plantas. Muitos dos nutrientes apresentam interação com a matéria orgânica, evitando desta forma perdas por lixiviação devido à liberação gradativa em curto espaço de tempo (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2015).

Dessa forma, considera-se que o uso da água de piscicultura na irrigação de plantas de interesse econômico poderá, a priori, aumentar a retenção de umidade no solo, mantendo úmido por mais tempo e, dessa forma, tornando-o potencialmente mais fértil.

4.4. Teste de germinação

O efeito da aplicação das soluções da FFW na germinação de sementes de *C. sativus* foi avaliado e a bioatividade mensurada. Como já mencionado, nos bioensaios de germinação foram aplicadas diferentes concentrações de carbono, presente na amostra FFW, variando em uma faixa de trabalho de 0,001 a 100,0 mg C L⁻¹. Ao analisar as faixas lineares, observou-se que no intervalo de concentrações variando de 0,01 mg C L⁻¹ a 5,0 mg C L⁻¹ ocorreu um aumento nos valores do LI. Mesmo apresentando um sentido lógico de aumento nos valores de LI, determinou-se estatisticamente que os valores analisados apresentaram uma resposta biológica estatisticamente igual em, praticamente, todo o intervalo investigado (com exceção das concentrações 0,01 e 25-100 mg C L⁻¹) (ANOVA One-way e teste de Duncan). Ademais, o coeficiente de determinação (R²) calculado foi de 0,02; indicando que, na faixa de trabalho avaliada — ou em partes dela, as faixas lineares — não foi possível avaliar a presença da atividade hormono-similar.

A partir disso, optou-se por trabalhar com faixas lineares, nas quais fez-se um ajuste em busca de um melhor ajuste linear (via regressão linear pelo método dos mínimos quadrados e por meio do cálculo do coeficiente de determinação). Após testes preliminares, a faixa linear com melhor ajuste variou de 5,0 a 100 mg C L⁻¹. Nessa faixa linear, os valores determinados de LI apresentaram uma resposta biológica estatisticamente diferente, para o intervalo escolhido (ANOVA One-way e teste de Duncan), além disso, o coeficiente de determinação (R²) calculado foi de 0,96. Portanto, por essa faixa linear ter apresentado uma maior diferença estatística dos valores de LI, bem como seu coeficiente de determinação, considera-se que, na faixa linear avaliada (5,0 – 100 mg C L⁻¹) foi possível observar a presença da atividade hormono-similar (Tabela 5).

Ademais, é importante e mandatário determinar quais foram as moléculas (ou classes de moléculas) presentes na MO da água de piscicultura, na faixa de concentração avaliada, que poderiam, a priori, influenciar positivamente em sua bioatividade; nesse caso, a atividade hormono-similar. Para tanto, foi realizada uma pirólise acoplada à cromatografia gasosa e detecção via espectrometria de massas (Py-CG/MS). Tais dados são recentes e carecem de tratamento, os quais serão apresentados/divulgados em trabalhos futuros.

Em síntese, com base nos resultados apresentados, nota-se que quanto maior a concentração de carbono presente na amostra FFW, maior a resposta biológica observada, conforme reportado no aumento do LI, mensurado nas raízes de *C. sativus* (Figura 5).

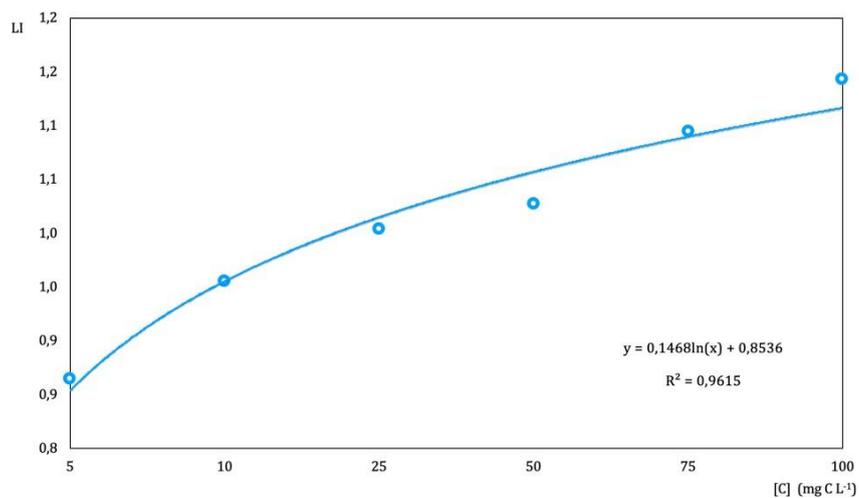


Figura 5. Efeito hormono-similar da matéria orgânica presente na amostra de água de piscicultura (FFW) em testes de germinação utilizando sementes de *C. sativus*.

Assim, considera-se que a MO pode estimular o crescimento vegetal, por meio da liberação de moléculas bioativas com atividade hormono-similar. Os compostos hormono-similar proporcionaram o desenvolvimento radicular, um aumento na absorção de nutrientes e a regulação de enzimas importantes para o metabolismo vegetal, contribuindo para o aumento da produção agrícola e, dessa forma, aumentando o lucro do produtor rural, estimulando o desenvolvimento agrário, a geração de renda e a melhoria da vida no campo (ZANDONADI; SANTOS; MEDICI, 2014).

Tabela 5. Índice de crescimento (LI) de raízes de *C. sativus* sob a aplicação de diferentes concentrações de água de piscicultura (FFW).

[C] (mg C L ⁻¹)	LI	
	Faixa 1	Faixa 2
0,001	0,9908a	—
0,01	0,9996ab	—
0,1	1,1625abc	—
1,0	1,1803bc	—
5,0	0,8648bc	0,8647a
10,0	0,9548bc	0,9548ab
25,0	1,0120cd	1,0120bc
50,0	1,0134d	1,0134bc
75,0	1,0947d	1,0947cd
100,0	1,1966d	1,1429d
Intervalo	0,001-100	5-100
Equação da reta	$y = 0,02 \times \ln(x) + 1,01$	$y = 0,15 \times \ln(x) + 0,85$
R ²	0,02	0,96

LEGENDA: [C] Concentração de carbono em miligrama de carbono por litro da amostra FFW ; LI Índice de crescimento.

Valores na mesma coluna com letras diferentes são estatisticamente diferentes $p < 0,05$ de acordo com ANOVA One-way e teste de Duncan para diferenciação das médias.

5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

5.1. Conclusão

Os dados apresentados nesse estudo suportam as seguintes conclusões:

- i.* O presente estudo indica que é possível reciclar e reaproveitar a MO e os nutrientes da água de piscicultura (amostra FFW) na produção vegetal, em prol do desenvolvimento agrário no interior da Região NE, em um sistema integrado agricultura-piscicultura;
- ii.* O solo analisado apresenta características químicas que permitem seu uso em ensaios agrônômicos (por apresentar baixo teor de MO e nutrientes), com vistas à integração das práticas agricultura-piscicultura, com foco no desenvolvimento agrário e sustentável;
- iii.* Espera-se que o reuso da água de piscicultura melhore a qualidade do solo, elevando seu pH e incorporando MO e nutrientes ao substrato; tomando como base os dados e resultados reportados que inferem, principalmente, nos teores de nutrientes e no potencial fertilizante da água de piscicultura;

- iv. Em virtude da MO e do teor de nutrientes presentes na água de piscicultura (amostra FFW), o solo permaneceu úmido mais tempo, em comparação à amostra TW (21 dias, o dobro do tempo necessário na comparação entre as amostras);
- v. Os resultados obtidos nos bioensaios indicam a presença da atividade hormono-similar, ao proporcionar um estímulo no crescimento das raízes, via testes de germinação; e
- vi. Ao considerar o potencial que a água de piscicultura apresenta em melhorar a fertilidade do solo, incorporando MO e nutrientes, espera-se elevar a produtividade agrícola como, também, tornar a região NE um ambiente mais propício às práticas agrícolas (com destaque para os sistemas de produção orgânicos e de base ecológica), ao aplicar a água de piscicultura na agricultura, via irrigação.

5.2. Perspectivas futuras

Como perspectivas futuras, nas próximas etapas deste estudo, espera-se:

- vii. Isolar as frações orgânicas presentes na água de piscicultura e caracterizá-las em termos químicos e espectroscópicos: matéria orgânica dissolvida (DOM), ácidos húmicos (HA) e ácidos fúlvicos (HF);
- viii. Avaliar a atividade hormono-similar (ação auxino-similar) das frações orgânicas, individualmente, via ensaios de germinação;
- ix. Realizar os ensaios agrônômicos da aplicação da água de piscicultura em ambiente protegido (casa de vegetação);
- x. Realizar um estudo econômico da viabilidade e rentabilidade do uso da irrigação alternativa proposta neste estudo, com base nos resultados que serão obtidos nos ensaios agrônômicos.

REFERÊNCIAS

ALVES, E.; ROCHA, D. de P. Ganhar tempo é possível? GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. (Org.). **A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: IPEA, 2010. p. 275-289.

BAIARDI, A.; ALENCAR, C. M. M. Agricultura Familiar, seu Interesse Acadêmico, sua Lógica Constitutiva e sua Resiliência no Brasil. **Revista de Sociologia e Economia**, p. 45-62, 2015.

BALBIO, L. C.; BARCELLOS, A. DE O.; STONE, L. F. **Marco referencial da integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília: EMBRAPA Pecuária e Abastecimento, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Agropecuária puxa o PIB de 2017**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 22 mar 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). **Censo Agropecuario Familiar 2006**. Brasília: MDA, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução N. 357, de 17 de março de 2005**. Brasília: 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

CAMPOS, S. K.; NAVARRO, Z. **A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível?** Brasília: CGEE, 2013.

CASTRO, C. N. **Sobre a agricultura irrigada no semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política**. Rio de Janeiro: IPEA, 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (CETESB). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília: ANA, 2011.

ELISABEH, F. FAY, C. M. M. S. **Índice do uso sustentável da água: Região do submédio São Francisco**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Visão 2030 - o futuro da agricultura brasileira**. Brasília: EMBRAPA, 2018a.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Solos, 2018b. Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

FERNANDES, R. A matéria orgânica do solo. **Vida Rural**, p. 26-28, 2016.

GASQUES, J. G.; FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. **A agricultura Brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: IPEA, 2010.

HIRAKURI, M. H. et al. **Sistemas de Produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Brasília: EMBRAPA Soja, 2012.

International Organization for Standardization (ISO). **ISO 10390**. Soil quality: determination of pH. Genebra: ISO, 1994.

ISO. **ISO 11260**. Soil quality: determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution. Genebra: ISO, 1994.

ISO. **ISO 11465**. Soil Quality: Determination of dry matter and water content on a mass basis – Gravimetric method. Genebra: ISO, 1993.

ISO. **ISO 14254**. Soil Quality: Determination of exchangeable acidity in barium chloride extracts. Genebra: ISO, 1994.

ISO. **ISO 17025**. Processo de Acreditação e Requisitos gerais para a competência de Laboratórios de Ensaio Rio de Janeiro: ISO, 2017.

LANDGRAF, M. D.; MESSIAS, R. A.; REZENDE, M. O. O. **A importância ambiental da vermicompostagem: Vantagens e Aplicações**. São Carlos: Rima, 2005.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. F.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2002.

MARTINS, C. E. **Práticas agrícolas relacionadas à calagem do solo**. Juiz de Fora: EMBRAPA, 2005.

MEDEIROS, F. **Anuário PeixeBR da piscicultura**. São Paulo: Peixes BR, 2019.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products**. Países Baixos: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2010.

MIRANDA, C.; TIBURCIO, B. **A nova cara da pobreza rural: desenvolvimento e a questão regional**. Brasília: IICA, 2013.

Netherlands Normalisation Institute (NEN). **NEN 5754**. Determination of organic matter content in soil as loss-on-ignition. NEN, 1994.

NUNES, R. R. **Vermicompostagem como tecnologia aplicada à valorização e reaproveitamento dos resíduos de curtume: um estudo químico e agrônômico com vistas à produção orgânica de pimentão em ambiente protegido**. Tesde de doutorado. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2017.

NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. DE O. **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Editora Cubo, 2015.

OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. S. **Piscicultura e os desafios de produzir em regiões com escassez de água**. Fortaleza: Ciência Animal, 2019.

PADRÓN, A. R. et al. **Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação**. Acta Iguazu, Cascavel, v. 5, n. 1, p.36-47, 2015. Trimestral.

PIZZEGHELLO, D. et al. Chemical and biological characterization of dissolved organic matter from silver fir and beech forest soils. **Chemosphere**, v. 65, n. 2, p. 190–200, 2006.

PORTUGAL, A. F. et al. **Características químicas e físicas de um argissolo submetido a diferentes usos agrícolas**. Ceres, Viçosa, p.412-421, out. 2007.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais**. Brasília: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2010.

SCAGLIA, B. et al. Investigating organic molecules responsible of auxin-like activity of humic acid fraction extracted from vermicompost. **Science of The Total Environment**, v. 562, p. 289–295, 2016.

SCAGLIA, B.; POGNANI, M.; ADANI, F. Evaluation of hormone-like activity of the dissolved organic matter fraction (DOM) of compost and digestate. **Science of The Total Environment**, v. 514, p. 314–321, 2015.

SILVA, M.S.G.; LOSEKANN, M.E.; HISANO, H. **Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2013.

SILVA, Í. N. et al. Qualidade de água na irrigação. **Agropecuária científica no semi-árido**, v. 07, p. 1–15, jul. 2011.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

ZANDONADI, D. B. et al. **Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças**. 32. ed. Brasília: Horticultura Brasileira, 2014.

ANEXOS

M. 1 Metodologias para as análises químicas dos atributos da água de piscicultura (FFW).

Os itens a seguir apresentam as metodologias adotadas nas análises de caracterização da FFW, coletadas em tanques de cultivo de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011).

M.1.1. Sólidos suspensos (SS)

Para determinação dos SS, um papel de filtro foi lavado com água e seco em uma estufa modelo Sterilifer SX 1.0DTMC (Tamandaré, Brasil) a uma temperatura de 110 °C, durante 1 h e, então, foi pesado em uma balança analítica Acculab ALC210.4 (Rocky Mount, Estados Unidos da América). Após isso, 200 mL da amostra da água de piscicultura (FFW) foram filtradas com o papel de filtro em um sistema pressurizado e, novamente, repetiu-se o procedimento. O teor de SS foi determinado por meio de análise gravimétrica, de acordo com a Equação 1:

$$SS = \frac{P_1 - P_0}{V} (\times 1000000) \quad \text{Equação 1}$$

onde SS e sólidos suspensos, P_0 é o peso inicial do papel de filtro (g), P_1 é o peso do papel filtro após filtração e secagem (g), V é o volume da amostra (mL).

M. 1.2 pH

Para determinar o pH, utilizou-se um pHmetro modelo Even PHS-3E (Araucária, Brasil). As determinações foram realizadas na amostra in natura, sem tratamento prévio.

M. 1.3 Condutividade elétrica (CE)

Para determinar a condutividade elétrica (CE), foi utilizado um condutivímetro Tecnopon MCA 150 (Piracicaba, Brasil). As determinações foram realizadas na amostra in natura, sem tratamento prévio.

M. 1.4 Turbidez

Para determinar a turbidez da amostra, um turbidímetro digital TU430 (São Leopoldo, Brasil) foi utilizado. Antes de analisada, a amostra foi agitada durante 15 min para suspensão das partículas sólidas presentes na água e, a turbidez, foi determinada imediatamente.

M. 1.5 Carbono orgânico total (TOC)

Para determinar o TOC, 1,5 mL de amostra foram oxidados a 900 °C sob um fluxo de 0,2 a 0,3 L min⁻¹ de O₂. Para isso, um espectrofotômetro TOC-V CPH Shimadzu (Quioto, Japão), foi utilizado, equipado com um detector espectrofotométrico operante na região do infravermelho, modelo SSM-5000A Shimadzu (Quioto, Japão).

As análises de TOC foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental da Universidade de São Paulo (USP), no Instituto de Química de São Carlos (IQSC).

M. 1. 6 *Macro e micronutrientes*

Para determinar os teores de macro e micronutrientes, utilizou-se um espectrofotômetro induzido a plasma ICP-OES Optima 8000 Dual View, Perkin Elmer (Waltham, EUA).

As análises de macro e micronutrientes foram realizadas no Laboratório Nacional de Biorenováveis (LnBR) do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).

M.2. Metodologias para as análises químicas dos atributos do solo (PVAd).

Os itens a seguir apresentam as metodologias adotadas para as análises de caracterização do PVAd, coletado na área experimental de cultivo, na UFRPE/UAST.

M. 2. 1 *Sólidos Totais (ST)*

Para determinar os ST, aproximadamente 10 g de solo foram adicionadas em um cadinho de porcelana e, posteriormente, foram aquecidos em uma estufa modelo Q317M – QUIMIS (Diadema, Brasil) a uma temperatura de 105 ± 5 °C, durante 24 h. O material foi retirado da estufa e resfriado em um dessecador hermeticamente fechado e, em seguida, a umidade e os ST foram determinados por meio de análise gravimétrica (ISO, 1993).

M. 2. 2 *Matéria Orgânica (MO)*

Para determinar a MO, aproximadamente 10 g de solo foram adicionadas em um cadinho de porcelana e, posteriormente, aquecidos em um forno mufla modelo Q318M – QUIMIS (Diadema, Brasil) a uma temperatura de 550 °C durante 4 h. O material foi retirado da mufla e resfriado em um dessecador hermeticamente fechado e, em seguida, o teor de MO foi determinado por meio de análise gravimétrica (NEN, 1994).

M. 2. 3 *Carbono Orgânico Total (TOC)*

Para determinar o TOC, 0,1 g de amostra foram oxidados a 900°C sob um fluxo de 0,2-0,3 L min⁻¹ de O₂. Para isso, um espectrofotômetro TOC-V CPH Shimadzu (Quioto, Japão), foi utilizado, equipado com um detector espectrofotométrico operante na região do infravermelho, modelo SSM-5000A Shimadzu (Quioto, Japão).

As análises de TOC foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental da Universidade de São Paulo (USP), no Instituto de Química de São Carlos (IQSC).

M. 2. 4 *pH*

Para determinar o pH, aproximadamente 10,0 g de solo foram pesados em um erlenmeyer de 125 mL. A amostra foi suspensa em 50,0 mL de uma solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, sendo mantida sob agitação periódica durante 30 min. Em seguida, o pH da amostra foi determinado utilizando um pHmetro Even PHS-3E (Araucária, Brasil) (ISO, 1994).

M. 2. 5 Condutividade elétrica (CE)

Para determinar a condutividade elétrica, aproximadamente 5,0 g de solo foram suspensas em 50,0 mL de água destilada e, em seguida, agitadas a 10 rpm durante 30 min em um agitador orbital. Após isso, a suspensão permaneceu em repouso durante 12 h. Em seguida, a amostra foi filtrada com papel de filtro em sistema pressurizado e a CE foi determinada.

Para mais, uma amostra referência (KCl 0,01 mol L⁻¹) também teve sua EC determinada.

A EC da amostra de solo foi calculada por meio da Equação 2

$$CE = \frac{S \times 1,413}{K} \quad \text{Equação 2}$$

onde CE é a condutividade elétrica da amostra, S é a CE da suspensão e K é a EC da amostra referência (KCl 0,01 mol L⁻¹) (PIPER, 1942). Para determinar as CEs, um condutímetro Tecnopon MCA 150 (Piracicaba, Brasil) foi utilizado.

M. 2. 6 Acidez trocável (A)

Para determinar A, aproximadamente 5,0 g de solo foram pesados em um erlenmeyer de 125 mL. A amostra foi suspensa em 50,0 mL de uma solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ e, em seguida, agitada durante 30 min em um agitador magnético. Após isso, a amostra foi filtrada com papel de filtro em sistema pressurizado, além disso, 2 porções de 10,0 mL da solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ foram adicionadas ao filtro. Na sequência, o filtrado foi titulado com a solução de NaOH 0,01 mol L⁻¹ e, a acidez trocável foi calculada por meio de análise volumétrica.

Entende-se como acidez trocável, o somatório das concentrações de íons H⁺ e Al⁺³ trocável, em solução Equação 3 (ISO, 1994):

$$A = [H^+] + [Al^{+3}] = \frac{C \times V}{m} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

onde A é a acidez trocável (cmol_c kg⁻¹), C é a concentração do titulante (NaOH 0,01 mol L⁻¹), V é o volume titulado (L) e m é a massa de solo pesada (kg).

M. 2. 7 Soma das Bases (SB)

Para determinar SB, aproximadamente 5,0 g de solo foram pesados em um erlenmeyer de 125 mL. A amostra foi suspensa em 50,0 mL de uma solução de NH₄Cl 1,0 mol L⁻¹ e, em seguida, agitada durante 30 min em um agitador magnético. Após isso, a suspensão permaneceu em repouso durante 24 h. Em seguida, a amostra foi filtrada com papel de filtro em sistema pressurizado. O filtrado foi separado para determinação das concentrações dos íons Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ e K⁺, as quais foram somadas para calcular SB Equação 4 (ISO, 1994):

$$SB = [Ca^{+2}] + [Mg^{+2}] + [Na^{+}] + [K^{+}] \quad \text{Equação 4}$$

onde SB é a soma das bases (cmol_c kg⁻¹), somada às concentrações dos íons Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ e K⁺.

M. 2. 8 Capacidade de troca catiônica (CTC)

A CTC foi calculada pela soma da acidez trocável (A) e a soma das bases trocáveis (SB)

Equação 5 (ISO, 1994):

$$CTC = A + SB$$

$$CTC = [H^{+}] + [Al^{+3}] + [Ca^{+2}] + [Mg^{+2}] + [Na^{+}] + [K^{+}] \quad \text{Equação 5}$$

onde CTC (cmol_c kg⁻¹) é a capacidade de troca catiônica, A é a acidez trocável (cmol_c kg⁻¹) e SB é a soma das bases (cmol_c kg⁻¹), somada às concentrações dos íons H⁺, Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ e K⁺.

M. 2. 9 Saturação por base (V%)

A V% foi calculada dividindo a CTC pela soma das bases trocáveis (SB) Equação 6

(ISO, 1994):

$$\%V = \frac{12}{343} \left(\times 100 \right) \quad \text{Equação 6}$$

Onde %V é a saturação por base, SB é a soma das bases (cmol_c kg⁻¹) e CTC é a capacidade de troca catiônica (cmol_c kg⁻¹).