

# Manejo, gestão e técnicas em irrigação



Richard A. Rodríguez Padrón

# Manejo, gestão e técnicas em irrigação

---

Richard A. Rodríguez Padrón (Ed.)

Canoas

2021



## Manejo, Gestão e técnicas em irrigação

© 2021 Mérida Publishers

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-7-6>

### Editor

Richard A. Rodríguez Padrón

### Adaptação da capa e desenho gráfico

Reynaldo Miquel

### Foto da capa

freepik.es



Canoas - RS - Brasil

[contact@meridapublishers.com](mailto:contact@meridapublishers.com)

[www.meridapublishers.com](http://www.meridapublishers.com)

Todos os direitos autorais pertencem a Mérida Publishers. A reprodução total o parcial dos trabalhos publicados, é permitida desde que sejam atribuídos créditos aos autores.



#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

P124m Padrón, Richard Alberto Rodríguez.  
Manejo, gestão e técnicas em irrigação [livro eletrônico] / Richard Alberto Rodríguez Padrón (Ed.). – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2021.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-991393-7-6

1. Agricultura – Pesquisa – Brasil. 2. Água. 3. Irrigação. I. Título.  
CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

## Prefácio

A gestão e o manejo da irrigação são essenciais e têm a mesma importância que o projeto do sistema de irrigação. Sabe-se que a irrigação é a aplicação suplementar em alguns casos de lâminas de água nas lavouras para fornecer umidade ao solo e facilitar a evapotranspiração, proporcionando à lavoura um ótimo crescimento e rendimento, de forma que seja mais rentável economicamente. As técnicas de manejo são baseadas na irrigação deficitária, irrigação deficitária controlada, que dependerá de vários fatores como; disponibilidade de recursos hídricos, culturas, solo e clima, visando a otimização do uso dos recursos hídricos e energéticos para obtenção de maior e melhor produtividade das culturas. Também, no manejo está incluída a uniformidade de aplicação do lençol freático, que é de extrema importância para homogeneizar o crescimento da cultura, evitando estresse ou déficit hídrico, garantindo assim que toda a área irrigada obtenha a mesma uniformidade de aplicação frustrar. Além disso, a compreensão do ambiente geográfico, a nível das bacias hidrográficas e do entendimento das leis que envolvem a regulação para a adequada gestão dos recursos hídricos, são fatores que dão apoio futuro à sustentabilidade e rentabilidade do sistema agrícola e à segurança alimentar. Este livro descreve os fundamentos teóricos e práticos, com base na pesquisa, experiência acadêmica e profissional, enquadrados na área de técnicas de manejo e gestão da irrigação, proporcionando ao leitor conhecimentos gerais e abordando problemas e soluções na área de irrigação.

Prof. Dr. Richard A. Rodríguez Padrón

Professor no curso de Engenharia de Sistemas de Irrigação, Drenagem e Manejo de Efluentes.

Universidad Tecnológica del Uruguay, UTEC, ITR Centro Sur, Durazno, Uruguai.

## **Apresentação de autores**

### **Alexandre Swarowsky**

Professor Doutor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

### **Ana Rita Costenaro Parizi**

Professora Doutora do Instituto Federal Farroupilha, Campus de Alegrete, RS, Brasil.

### **Anderson Crestani Pereira**

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

### **André Panziera**

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, Brasil.

### **Camila Tamiosso**

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

### **Fátima Cibele Soares**

Professora Doutora da Universidade Federal do Pampa/Alegrete, RS, Brasil.

### **Kevim Muniz Ventura**

Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Departamento de Engenharia Rural e Socioeconômica, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), Campus Botucatu, SP, Brasil.

### **Leonita Beatriz Girardi**

Professora Doutora do Instituto de Desenvolvimento Educacional do Alto Uruguai - Faculdade IDEAU, Campus Passo fundo, RS, Brasil.

### **Luis Humberto Bahú Bem**

Pesquisador Doutor no Laboratório de Hidráulica Agrícola e Laboratório de Engenharia de Irrigação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

### **Marcelo Herter Mattioni**

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, 99052-900, Passo Fundo, Brasil.

### **Marcos Vinicius Loregian**

Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

### **Mateus Possebon Bortoluzzi**

Professor Doutor na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brasil.

### **Ricardo Benetti Rosso**

Professor Doutor do Instituto Federal Catarinense - Campus Concórdia, SC, Brasil

**Richard A. Rodríguez Padrón**

Doutor em Engenharia Agrícola (UFSM). Professor no curso de Engenharia de Sistemas de Irrigação, Drenagem e Manejo de Efluentes. Universidad Tecnológica del Uruguay, UTEC.

**Rodrigo Máximo Sánchez-Román**

Professor Doutor no Departamento de Engenharia Rural na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -UNESP - Campus Botucatu, SP, Brasil.

**Sérgio Alberto Jane**

Professor na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Lúrio, Polo de Niassa, Moçambique.

**Valdemiro Simao Joao Pitoro**

Professor no Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Lúrio, Campus de Unango, Sanga, Niassa, Moçambique.

## Índice

<b>CAPÍTULO INTRODUTÓRIO.....</b>	<b>8</b>
<b>Manejo da irrigação</b>	
Richard A. Rodríguez Padrón	
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>14</b>
<b>Cultivo vertical de hortaliças</b>	
Valdemiro Simão João Pitoro, Rodrigo Máximo Sánchez-Román, Kevim Muniz Ventura, Sérgio Alberto Jane	
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>31</b>
<b>Uniformidade de distribuição de água em pivô central</b>	
Mateus Possebon Bortoluzzi, Marcelo Herter Mattioni	
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>41</b>
<b>Gestão de recursos hídricos no Rio Grande do Sul, Brasil</b>	
André Panziera, Camila Tamiosso, Alexandre Swarowsky	
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>61</b>
<b>Avaliação técnica e econômica da produção de milho em diferentes lâminas de irrigação</b>	
Luis Humberto Bahú Ben, Ana Rita Costenaro Parizi, Fátima Cibele Soares, Anderson Crestani Pereira, Ricardo Benetti Rosso, Leonita Beatriz Girardi, Marcos Vinicius Loregian	

# CAPÍTULO INTRODUTÓRIO

---

## Manejo da irrigação

Richard A. Rodríguez Padrón

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-7-6.i>

### 1. Introdução

A agricultura irrigada no mundo ocupa uma área estimada de 310 milhões de hectares. Aproximadamente 75% deles na Ásia, onde destacam-se a Índia com 66 milhões de hectares e a China com 62 milhões de hectares, que somados, são os países com maior área equipada com irrigação [6]. A área irrigada no Brasil ultrapassa 6,0 milhões de hectares [1], posicionando-se entre os dez países com maior área irrigada do mundo.

Globalmente, a área irrigada deve aumentar nas próximas décadas e chegar a 402 milhões de hectares até 2030, com 40 milhões de hectares em países em desenvolvimento [5]. No Brasil, a área potencialmente irrigável é estimada em 61,4 milhões de hectares, dos quais 18,4 milhões de hectares são encontrados em regiões com aptidão favorável em relação ao solo e relevo [9].

Uma análise geral da evolução atual da irrigação no Brasil, com base em uma análise de dados não censitários retirados do Censo Agropecuário, publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) entre 1960 e 2017, nos mostra que houve um aumento da área irrigada no Brasil em todas as regiões geográficas, atingindo 6,9 mil de hectares em 2017. No mesmo estudo, em relação às regiões e aos métodos de irrigação, em uma análise detalhada das informações dos Censos realizados entre 2006 e 2017, nos mostra que o método de irrigação por aspersão é o mais utilizado, com 48% da área irrigada, seguida da irrigação localizada (24,4%) e superficial (22,3%). Logo o gotejamento, é o sistema mais utilizados em propriedades de até 50 ha (617.423 ha), seguido pela aspersão convencional (514.893 ha), enquanto que o pivô central é o que se destaca em áreas acima de 50 ha (1.362.828 ha). Já a região Sudeste (38,6%) e os Estados do Rio Grande do Sul (20,4%), Minas Gerais (16,6%) e São Paulo (16,0%) se destacam como os de maior área irrigada do País [3].

De um ponto de vista geral, o objetivo fundamental dos sistemas de irrigação é a melhoria das condições e da qualidade de vida. Para isso, implica melhorar as condições econômicas e sociais, bem como o ambiente em que as atividades ocorrem.

Existem atividades agrícolas em que os sistemas de irrigação fornecem segurança e por sua vez permitem aumentar a intensidade da produção, neste caso temos áreas semiáridas ou semiúmidas onde os sistemas de irrigação são complementares ou suplementares, proporcionando uma melhoria em uma situação existente.

Nas localidades onde se desenvolvem sistemas de irrigação, observa-se coo resultados o aumento do potencial de produção, e assim promove a migração de



peças e permite o reordenamento da distribuição da população, bem como ocorre a contribuição para o desenvolvimento regional.

Outrossim, os itens importantes para o correto desenvolvimento do projeto de sistemas de irrigação serão descritos resumidamente a seguir (Figura 1):



**Figura 1.** Esquema das etapas do projeto de um sistema de irrigação.

- ✓ **Informações básicas:** todos os dados que permitem o processo de cálculo devem ser coletados para se obter os resultados corretos.
- ✓ **Identificação do problema:** é necessário identificar detalhadamente todo o problema a resolver, para se ter uma visão holística do caso e obter os melhores resultados e o método de irrigação mais favorável.
- ✓ **Topografia do terreno:** a área deve ser descrita detalhadamente com tudo relacionado ao plano topográfico, realizando o levantamento de um plano na escala de 1:2000 ou 1:2500, onde deverá ser descrito, nascente, tipo de fonte, limites, distância transversal da área, perfil longitudinal, orientação e fluxo.
- ✓ **Fonte de água:** a fonte de água é um dos itens mais relevantes, pois é aquela que condiciona a área irrigada e o manejo que deve ser utilizado. No caso de várias fontes de água, os seguintes dados são necessários: poço (vazão disponível, profundidade, comportamento em períodos de seca, nível estático e dinâmico), fonte de superfície (fluxo baixo ou baixo, perfil longitudinal, declive e distância da captação até sistema de bombeamento).
- ✓ **Qualidade da água:** devem ser realizadas análises para obter informações se a água é adequada para uso agrícola, bem como os possíveis efeitos negativos que pode causar ao meio ambiente (uso de água de má qualidade, erosão).
- ✓ **Tipo de solo:** descrever as propriedades hidrofísicas do solo (infiltração, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade aparente, textura) e, no caso de substratos artificiais, descrever sua composição.
- ✓ **Tipo de cultura:** devem ser descritos o ciclo da cultura, variedade, limite de irrigação, necessidade de água, coeficiente de cultivo e profundidade efetiva da raiz.
- ✓ **Gerente de obra:** determinar o potencial de força de trabalho próximo ao local onde o sistema vai ser feito para atender a demanda do sistema, obra e operação.

- ✓ **Velocidades permitidas:** Determine e calcule as velocidades da água nos tubos ou canais principais e secundários recomendados para o sistema, que se estimam estar entre os limites de  $0,6 \text{ m/s} \leq 2,5 \text{ m/s}$ .
- ✓ **Características da bomba:** descrever a vazão exigida pelo sistema para determinar a bomba ou grupo de bombeamento e a potência exigida pelo sistema, determinada em projeto.
- ✓ **Tipo de tubulação:** determine o tipo de tubulação adequada para o sistema, atualmente as tubulações mais utilizadas são PCV, PEBD e PEAD, nas diversas partes do sistema de irrigação.
- ✓ **Descrição:** deve ser feita uma descrição de todos os componentes e partes que compõem o projeto do sistema de irrigação (tipos e quantidades).
- ✓ **Orçamento:** descrição de cada peça que compõe o projeto, custo e orçamento total do projeto.
- ✓ **Plano geral:** este plano deve conter as seguintes informações (localização, dimensão da área, localização da estação de bombeamento, distâncias, orientação norte-sul, escala, distâncias e comprimentos), você desenha todas as partes que compõem o sistema (localização do tubo, comprimento, diâmetro e localização dos emissores), dados de projeto e desenho dos nós.
- ✓ **Resultados de dois cálculos:** os resultados devem descrever, frequência e tempo de irrigação, planilhas líquidas e brutas, estimativa do balanço hídrico, descrição da cultura e propriedades hidrofísicas do solo, demanda de água do sistema, avaliação de impacto ambiental e sociocultural, tanque de armazenamento (opcional), entre outros.

## 2. Manejo da irrigação

O sistema agrícola é o maior consumidor de água do mundo, consumindo cerca de 75%. Em geral, a água é um fator de produção agrícola, industrial e urbano que possui um valor econômico, que muitas vezes o produtor deve pagar, direta ou indiretamente. Nesse sentido, com uma visão abrangente da importância da água é imprescindível a adoção de critérios e estratégias na correta manejo e gestão desse recurso.

O objetivo principal do manejo da irrigação é atender às necessidades hídricas das lavouras, fazendo o esquema de planejamento da irrigação, ou seja, quando irrigar e quanta água aplicar. O manejo da irrigação tem diferentes estratégias a serem adotadas dependendo do clima, solo, cultivo, custo de energia elétrica e disponibilidade de água. Entre essas estratégias podemos citar: irrigação deficitária e irrigação deficitária controlada, que são estratégias que nas últimas décadas têm levado a pesquisas bem-sucedidas em diversas culturas, promovendo o uso eficiente dos recursos hídricos e fortalecendo os sistemas de produção, com maior rentabilidade.

O gerenciamento adequado da qualidade da água de irrigação é de fundamental importância para a obtenção de alta produtividade, qualidade, redução de custos e uso racional da água [7]. Camargo [2] descreve que o manejo adequado da irrigação não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo produtivo agrícola, tendendo, por um lado, o uso eficiente da água, promovendo a preservação do meio ambiente e por outro lado o compromisso com a produtividade da cultura explorada. Ainda [4], comentam que a melhoria da água para uso na agricultura é outra questão de relevante importância social, ambiental e econômica. A irrigação torna-se essencial para obter rendimentos máximos das culturas agrícolas no Brasil.

### 3. Definição de estratégias de irrigação:

**Irrigação complementar:** baseia-se na aplicação de 2 ou 3 irrigações ao longo do ciclo da cultura, nos momentos em que a cultura mais necessita. Esta estratégia é comum em áreas com muito pouca disponibilidade de água para irrigação.

**Irrigação parcial:** Esta estratégia consiste em irrigar insuficientemente metade do solo explorado pelas raízes, por 2 ou 3 semanas. A outra metade é então irrigada posteriormente por igual período e assim por diante. É aplicado em lavouras em linha e com irrigação por gotejamento.

**Irrigação deficitária:** Essa estratégia baseia-se no esgotamento da água acumulada no solo, até o limite de irrigação permitido pela cultura, sem afetar a produtividade. Ou seja, consiste em aplicar deliberadamente lâminas de irrigação inferiores às necessidades hídricas reais da cultura. Para começar, a água deve ser aplicada ao solo até que a capacidade do campo seja restaurada e a frequência da irrigação consistirá na capacidade de retenção de umidade do solo. Esta estratégia tem duas técnicas que são a irrigação deficitária sustentável e a irrigação deficitária controlada:

- ✓ **Irrigação deficitária sustentável:** nesta estratégia, a irrigação é aplicada com frequência, mas com uma fração (depende da tolerância ao estresse hídrico da cultura), da necessidade da cultura para atingir o rendimento máximo. No ciclo da cultura as necessidades de irrigação mudam e também a dose de irrigação, porém mantem-se uma porcentagem fixa da quantidade demandada pela cultura. Por exemplo, se for adotada uma lâmina de 80% das necessidades hídricas da cultura, esses 80% devem ser mantidos ao longo do ciclo da cultura.
- ✓ **Irrigação com déficit controlado:** esta estratégia é semelhante à irrigação com déficit sustentável, a variante é que o déficit hídrico é aplicado em porcentagens diferentes em cada etapa fenológica da cultura. Para esta estratégia deve-se identificar a tolerância ao estresse hídrico da cultura ao aplicar a lâmina, ou seja, aplicar 100% da irrigação necessária nos momentos de maior sensibilidade da cultura como na floração e no enchimento de frutos e, no restante do tempo, o volume aplicado é reduzido do necessário ou até mesmo interrompido.

O manejo da irrigação baseia-se em responder aos seguintes pequenos ícones: Quanto, quando e como irrigar? Aqui estão algumas técnicas desenvolvidas para prever quando e quanto regar. Uma vez conhecida a necessidade de irrigação da cultura deve-se programar a irrigação (estabelecimento da lâmina e frequência de irrigação), neste item está implícita a capacidade de campo, o que em alguns casos estabelece uma restrição para gerar uma boa procriação de irrigação. O princípio fundamental da programação da irrigação é a determinação ou estimativa das necessidades hídricas da cultura ao longo do ciclo, fazendo um balanço hídrico, sem causar estresse hídrico.

Os métodos de programação da irrigação são classificados de acordo com os dados iniciais necessários sobre o teor de água no solo, o estado hídrico da planta e o balanço hídrico (solo, planta e atmosfera). Para a programação de irrigação que são usados para determinar o estado da água das plantas são: potencial hídrico da folha, temperatura da cobertura vegetal, medição do fluxo de seiva, dendrometria, termômetro infravermelho. Teor de água no solo, método de gravimetria direta e métodos indiretos, como: TDR, sensores FDR, sonda de nêutrons, tensiômetro, bloco de gesso, sensores de marca d'água.

Do ponto de vista governamental, e as novas políticas de ação dos gestores de recursos hídricos. Padrón [8] comenta que as zonas onde se prevê a redução das precipitações terão que aumentar o armazenamento e melhorar a gestão da água. Os grandes sistemas de irrigação têm de se adaptar às mudanças que irão ocorrer nos sistemas de abastecimento de água e apoiar as medidas de controle de água em pequena escala.

Há cinco intervenções políticas fundamentais:

- ✓ Incluir medidas de adaptação e mitigação para a gestão da água para a agricultura nos planos de desenvolvimento nacionais;
- ✓ Promover medidas técnicas e de gestão para aumentar a flexibilidade da agricultura de sequeiro e irrigação, e reduzir a perda de água nos sistemas de produção irrigados;
- ✓ Melhorar o conhecimento sobre a mudança climática e da água e difundir as boas práticas entre os países e regiões;
- ✓ Promover políticas nacionais para a gestão de riscos por meio de melhores redes de monitorização e garantia de produtos inovadores;
- ✓ Mobilizar fundos de adaptação para enfrentar os desafios da água e segurança alimentar causada pelas alterações climáticas.

#### 4. Referências

[1] ANA - Agência Nacional de Águas. Atlas irrigação: Uso da água na agricultura irrigada. Brasília, ANA, 2017. 86p.

[2] Camargo D. C. Conservação, uso racional e sustentável da água. Ministério do Meio Ambiente e Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada. Fortaleza, CE. 2016.

[3] Carvalho D. F. D., Martins R. D. C., dos Santos J. J., Teles G. C., Gentile M. A., Oliveira M. S. D. Evolução e cenário atual da área irrigada no Brasil: Análise sistemática dos dados. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 2020, 24(8), 505-511.

[4] Coelho A. P., Faria R., Dalri A. B., Fabiano P. L., Zanini J. R. Clorofilômetro portátil como forma de manejo da irrigação e adubação nitrogenada em aveia-branca. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada 2018, v.12, nº.2, p. 2542 – 2553.

[5] Darko R. O., Yuan S., Hong L., Liu J., Yan H. Irrigation, a productive tool for food security - a review. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science 2015, v.66, p.191-206, [https:// doi.org/10.1080/09064710.2015.1093654](https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1093654)

[6] FAO - Food and Agriculture Organization. Agricultura irrigada sustentável no Brasil: Identificação de áreas prioritárias. Brasília, 2017. 243p.

[7] Padrón R. A. R., Ramírez L. R., Cerquera R. R., Nogueira H. M. C. M., Mujica J. L. U. Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. Tecnologia & Ciência Agropecuária, João Pessoa 2015, v.9, n.2, p. 49-55.

[8] Padrón, R. A. R. Manejo da irrigação e eficiência do uso da água no cultivo do pimentão com e sem sombreamento. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa maria - Brasil, 2016, 80 p.

[9] Sparovek G., Leite C. V., Barreto A. G. O. P., Maule R. F., Dourado Neto D. Análise territorial e potencial da agricultura irrigada no Brasil. ITEM - Irrigação & Tecnologia Moderna 2015, v.106, p.50-55.

## **Autores**

Richard A. Rodríguez Padrón\*

Engenharia de Sistemas de Irrigação, Drenagem e Manejo de Efluentes. Universidad Tecnológica del Uruguay, UTEC, ITR, Centro Sur, Durazno, Uruguai.

\*Autor para correspondência: [richard.rodriguez.p@utec.edu.uy](mailto:richard.rodriguez.p@utec.edu.uy) / [rarpadron@gmail.com](mailto:rarpadron@gmail.com)

---

## Cultivo vertical de hortaliças

Valdemiro Simão João Pitoro, Rodrigo Máximo Sánchez-Román, Kevim Muniz Ventura, Sérgio Alberto Jane

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-7-6.c1>

### Resumo

A irrigação é uma poderosa ferramenta de gestão de incertezas de chuvas na atividade agrícola. A escassez de recursos hídricos que afeta diversas regiões de Mundo, tem limitado o desenvolvimento efetivo desta atividade, e portanto, tem se observado maior interesse no desenvolvimento de sistemas e manejos de irrigação que proporcionam maior economia de uso de água. Por estas razões, esta pesquisa objetivou avaliar o desempenho de dois sistemas de cultivo, nomeadamente, sistema de cultivo vertical (SCV) (em barris plásticos) e convencional (SCC) (no solo), na economia de água de irrigação, produção e qualidade sanitária de folhas de couve-manteiga irrigada com efluente tratado (EFT). Foi estabelecido um experimento que compreendia dois sistemas de cultivo (SCV e SCC) e irrigação com água de diferentes qualidades, nomeadamente: T1 – irrigação com 100% EFT; T2 – irrigação com 100% água potável (AP) e T3 – irrigação com 50% EFT + 50% AP. As variáveis analisadas foram: eficiência de uso de água (EUA), número de folhas adultas por planta (NFA), comprimento do limbo de folhas comerciais (CLFC), massa fresca de folhas comerciais (MFFC) e não comerciais (MFFNC) da cultura de couve-manteiga. Os resultados obtidos indicaram que a irrigação com EFT proporcionou maior produção de MFFC e MFFNC, e não afetou a qualidade sanitária das folhas, fato associado ao aproveitamento dos nutrientes disponíveis no EFT, enquanto no SCV o barril isolou as plantas de um possível contato com a água de irrigação, reduzindo os riscos de contaminação.

**Palavras-chave:** eficiência de uso de água de irrigação, gestão de recursos hídricos, qualidade sanitária de couve-manteiga, reuso de efluente de esgoto tratado na irrigação.

### 1. Introdução

A agricultura irrigada é o maior usuário de água a nível mundial [1], no entanto, representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos [2], devido à sua capacidade de possibilitar o desenvolvimento da atividade agrícola em ambientes extremos (regiões áridas), aumento da produtividade [3] e gestão de incerteza de chuvas que afeta diversas regiões do mundo [4].

Este sector é responsável pela retirada de cerca de 70% do total da água captada anualmente nas principais fontes de recursos hídricos a nível mundial para diversas finalidades [5–8]. Em países subdesenvolvidos esta porcentagem chega a ser superior a 90% [9], uma vez que na maior parte deles, as estratégias de desenvolvimento da agricultura dependem da possibilidade de manter e expandir as áreas irrigadas para assegurar a produção de alimentos e a segurança alimentar, para além de usarem

práticas agrícolas rudimentares que geralmente propiciam um desperdício considerável de água durante as suas operações.

Estimativas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) indicam que a população mundial passará dos 8 bilhões em 2025 para 9,8 bilhões de pessoas em 2050 [5], e para responder a este crescimento populacional, a agricultura deverá aumentar a sua capacidade de produção mundial em 70% e em 100% nos países em desenvolvimento [3], ficando evidente que a pressão sobre os recursos naturais (sobretudo os recursos hídricos para responder a demanda de água dos campos irrigados), continuará crescendo nos próximos anos.

Nos dias atuais, a escassez de recursos hídricos e seus impactos na atividade agrícola, sobretudo a agricultura irrigada, a necessidade de expandir as áreas de cultivo irrigado para atender a demanda crescente por alimentos e questões relativas à preservação de recursos naturais, com destaque para recursos hídricos, tem incentivado o desenvolvimento de pesquisas com vista a identificar soluções que garantem melhor gestão e sustentabilidade no uso deste precioso líquido na produção de alimentos. Neste contexto, o uso de fontes de água alternativas [10], como é o caso do reuso de efluentes de esgoto e adoção de técnicas de irrigação que proporcionam maior eficiência de uso de água, constituem soluções fundamentais para os diversos desafios da agricultura irrigada com relação à gestão ou disponibilidade de recursos hídricos.

O reuso de efluentes de esgoto na irrigação agrícola tem sido indicada como uma estratégia fundamental para redução da escassez de recursos hídricos, na medida em que, estes podem substituir parcial ou totalmente a água de boa qualidade na irrigação de culturas [11, 12]. A possibilidade de reduzir os custos e impactos ambientais pelo lançamento de efluentes nos corpos de água [13, 14], e aproveitamento de nutrientes presentes nos efluentes, que pode permitir os agricultores reduzirem ou eliminarem a necessidade de aplicar fertilizantes convencionais nos seus campos de produção [13–15], também são destacados como outros benefícios essenciais do reuso de efluentes de esgoto na irrigação.

Apesar dos inúmeros benefícios, o reuso inadequado de efluentes pode ser prejudicial à saúde humana e animal, assim como ao solo [16, 17] e sistemas de irrigação, pois, pela sua natureza contém uma diversidade de substâncias e microrganismos na sua composição. Portanto, para alcançar um reuso seguro, para além do tratamento prévio dos efluentes, faz-se necessário adotar técnicas de aplicação ou irrigação que conferem menores riscos à saúde e ao ambiente, e viabilizem o uso racional desse precioso recurso.

A adoção de técnicas de irrigação que reduzem o risco de contaminação humana e outros impactos negativos causados pela aplicação de efluentes de esgoto, e que proporcionam melhor racionalização no uso de água na irrigação, compreendem critérios fundamentais para garantir o reuso sustentável de efluentes e melhor gestão dos recursos hídricos na agricultura irrigada. À semelhança dos múltiplos benefícios relacionadas ao uso da irrigação por gotejamento (superficial e subsuperficial) para aplicação de efluentes de esgoto [18–20], o cultivo vertical em tambores plásticos confere uma adequada proteção das plantas e dos agricultores de um possível contato com a água de irrigação, como também contribui para à conservação da umidade garantindo maior disponibilidade de água às plantas.

Os benefícios do cultivo vertical em tambores plásticos no que concerne a economia de uso da água de irrigação também foram destacados por [17], que cultivando alface, rúcula, salsa, almeirão, cebolinha e chicória, observou que este sistema de cultivo

proporcionou uma eficiência do uso da água (EUA) e produtividade em torno de cinco vezes superior ao registrado no cultivo convencional (no solo). O termo EUA na agricultura tem sido usado para descrever a razão entre os benefícios líquidos das culturas (produção em kg) e a quantidade de água (m<sup>3</sup>) utilizada para alcançar tais benefícios [21, 22]. Estes autores defendem que a adoção de técnicas de irrigação ou combinação de práticas agrícolas que aumentam a eficiência do uso da água de irrigação é o caminho mais prático para alcançar a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Avaliando o efeito do sistema de plantio direto (SPD) sobre diferentes quantidades de palhada, na eficiência de uso de água e na produção de repolho, [23] observaram uma redução na quantidade de água aplicada no SPD com palhada, quando comparado à utilizada no sistema de plantio convencional (SPC) (sem palhada) e a EUA no SPD apresentou incremento linear com o aumento da quantidade de palhada utilizada, e foi até 21% maior que no SPC. Estes resultados destacam a importância da seleção ou combinação de técnicas de irrigação e práticas agrícolas adequadas com vista a aumentar os índices de EUA, como também confirmam que o sistema de irrigação por gotejamento contribui para o aumento da produtividade e economia de uso de água de irrigação.

Diante do exposto acima, fica evidente que a agricultura que se assenta em boas práticas e manejo adequado de irrigação contribui para a redução dos impactos negativos da atividade agrícola ao meio ambiente e garante o equilíbrio entre a disponibilidade limitada de recursos naturais e a crescente demanda por alimentos. Por estas razões, pretendesse neste capítulo partilhar resultados de uma pesquisa desenvolvida entre Março e Agosto de 2018 cujo objetivo era avaliar o potencial do cultivo vertical em tambores plásticos para o reuso seguro de efluentes de esgoto doméstico e economia de uso de água na irrigação de couve-manteiga. Também serão partilhados resultados de sucesso de várias outras pesquisas desenvolvidas na Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Campus de Botucatu objetivando avaliar a adequação do sistema de cultivo vertical (SCV) em tambores plásticos no cultivo de hortaliças.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Descrição da área de estudo**

Os resultados aqui apresentados compreendem pesquisas desenvolvidas entre 2017 e 2018 [17, 24], na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), pertencente à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu – São Paulo; nas coordenadas 22° 50' 48" S, 48° 26' 06" W e altitude de 817,74 m. O clima da região é definido como do tipo Cfa (Koppen): clima subtropical úmido (mesotérmico) com verão chuvoso e inverno seco, a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a precipitação média anual em torno de 1.500 mm.

### **2.2. Sistema de tratamento de efluentes de esgoto**

O efluente de esgoto doméstico usado na irrigação de couve-manteiga (*Brassica oleracea* L. var. *Acephala*) foi previamente tratado em uma estação de tratamento de efluentes alternativa (ETEA) composto por seis filtros anaeróbios (Figura 1) confeccionados em tambores plásticos de 200 L (com dimensões de 0,90 m de altura e 0,50 m de diâmetro), preenchidos totalmente de brita #1, proporcionando uma porosidade média de 48% em relação ao material inerte, dispostos na vertical e ligados em série através de uma tubulação PVC de 32 mm, e o nível da água mantido



a 10 cm da superfície do barril, o correspondente a uma taxa de aplicação diária de 95 litros e um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 5,4 dias.

A ETEA operou por um período de 165 dias e a avaliação do desempenho do sistema de tratamento de efluentes baseou-se na comparação da qualidade do efluente bruto (EFB), efluente tratado coletado no filtro três (EFT 3) e efluente tratado final ou coletado no filtro seis (EFT ou EFT 6) nos parâmetros pH, condutividade elétrica (CE), sólidos suspensos totais (SST), demanda química (DQO) e bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), potássio (K), coliformes fecais (CF) e totais (CT).

A coleta de amostras e respetiva análise foram realizadas aos 41, 70, 100, 130 e 165 dias após o início da operação do sistema de tratamento. A coleta, preservação e análise das amostras do afluente e efluente tratado baseou-se nas recomendações e métodos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* [25].



**Figura 1.** Sistema de tratamento de efluentes de esgoto doméstico em filtros anaeróbios.

Fonte: Pitoro (2019).

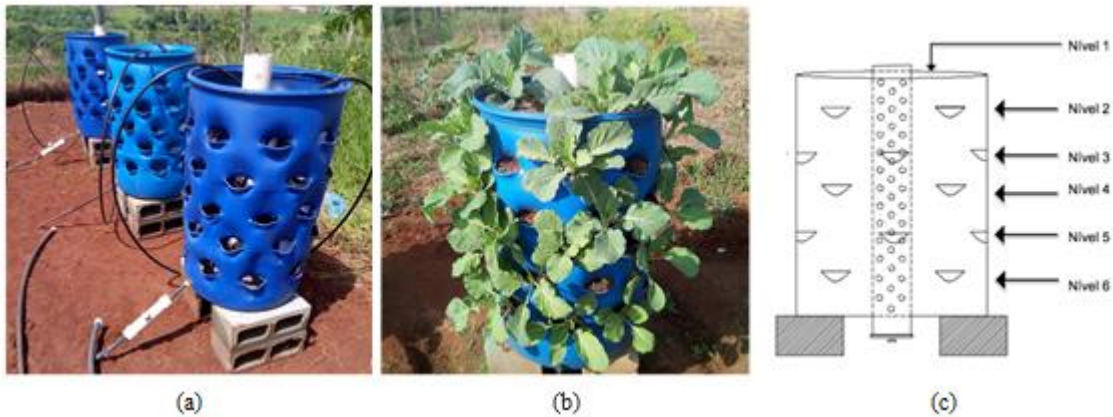
A escolha de barril plástico para confecção dos filtros foi em função da sua maior acessibilidade, como também da capacidade de resistência ao peso do meio suporte saturado. Pois, diferente das tecnologias de tratamento utilizadas em companhias de saneamento, geralmente inviáveis de aplicá-las em zonas rurais ou de forma individual, tanto pelo alto custo de implantação e manutenção, assim como devido à grande dispersão populacional nestas zonas, o tratamento de EF nos filtros anaeróbios estudados nesta pesquisa compreende uma solução adequada para este cenário, pois para além do facto de serem eficientes e adaptáveis às condições econômicas e estruturas de comunidades rurais, destacam-se pela sua simplicidade, pouca mecanização, baixo consumo energético, baixo custo de construção e operação, e assim tornando-as acessíveis para agricultores de baixo poder aquisitivo, permitindo que estes possam mantê-los tanto economicamente, assim como tecnicamente.

### 2.3. Produção de couve-manteiga

O cultivo de couve-manteiga foi conduzido no sistema de cultivo vertical (SCV) (em tambores plásticos) e convencional (SCC) ou horizontal (em solo), em dois ciclos (uma repetição) com duração de 60 dias cada: ciclo 1 entre 28 de Março e 26 de Maio, e ciclo 2 entre 6 de Junho e 4 de Agosto de 2018.

Para o estabelecimento do SCV foram utilizados tambores plásticos semelhantes aos do sistema de tratamento de efluentes e a sua montagem baseou-se nos

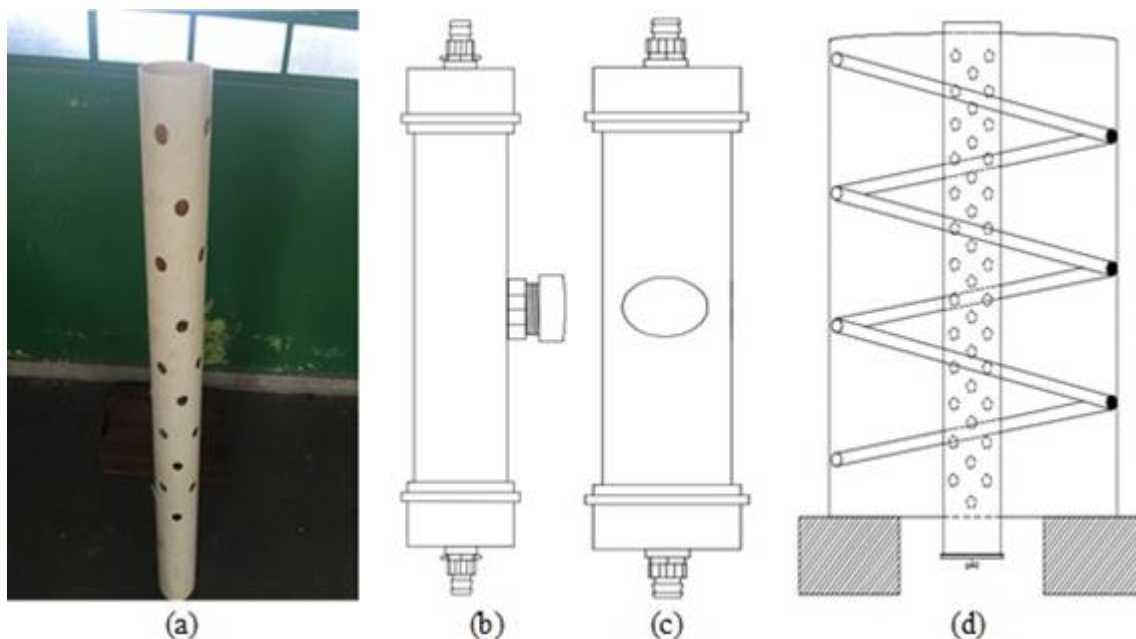
procedimentos descritos por [17]. Os tambores foram preenchidos com substrato orgânico e para acomodar as plantas foram abertos 45 furos na superfície lateral do tambor (Figura 2a), com auxílio de um lança chamas, um molde de madeira e uma serra circular elétrica. Cada barril tinha capacidade para 49 plantas, distribuídas em seis níveis de plantio (Figura 2b) (cinco na superfície lateral e um na superfície superior do barril), no entanto, para reduzir a densidade de plantio e competição entre plantas, apenas foram alocadas 29 plantas (Figura 2c) de couve-manteiga por tambor.



**Figura 2.** Esquema de estabelecimento do sistema de cultivo vertical em tambores plásticos.

Fonte: Pitoro (2019), Ventura (2017).

O SCV ocupou uma área aproximada de 3 m<sup>2</sup>, na qual foram alocados três tambores, sendo que a cada um deles também foi alocada uma linha de irrigação por gotejamento de nove metros, uma composteira (Figura 3a) confeccionada em tubo PVC de 100 mm de diâmetro para a produção de “compost tea” utilizado como biofertilizante orgânico, coletado e aplicado ao sistema através do injetor de fertilizantes (Figura 3b, 3c) confeccionado em tubo PVC de 50 mm de diâmetro e inserido na parte inferior do tambor, junto à linha de irrigação por gotejamento (Figura 3d).



**Figura 3.** Outras componentes do sistema de cultivo vertical em tambores plásticos.

Fonte: Ventura (2017).

O SCC ocupou uma área de aproximadamente 52 m<sup>2</sup>, na qual foram preparados 12 canteiros de 5,4 m de comprimento e 0,8 m de espaçamento. Em cada canteiro foi alocada uma linha de irrigação por gotejamento e nove plantas de couve-manteiga espaçadas em 0,6 m, tendo um emissor por planta.

A linha de gotejamento utilizada em ambos sistemas de cultivo era de emissores autocompensantes, do tipo *in-line*. A vazão do gotejador indicada nas especificações é de 2,5 L h<sup>-1</sup>, pressão nominal de 1,5 bar, espaçamento de 0,6 m e espessura da parede do tubo de 0,65 mm, de marca Amanco modelo *Maxdrip*.

Para irrigação, contou-se com duas fontes de água: (i) efluente tratado (EFT) proveniente do sistema de tratamento de efluentes de esgoto doméstico então em estudo e (ii) água potável (AP) da rede de abastecimento do Campus Universitário, captada de um poço com nível dinâmico e estático a uma profundidade de 158 m e 76 m respectivamente, razão pela qual não foi necessário tratá-la previamente.

O efeito da irrigação com EFT no cultivo de couve-manteiga foi estudado considerando três tratamentos, que compreendiam diferentes tipos de água de irrigação, nomeadamente: T1 – irrigação com 100% EFT, T2 – irrigação com 100% AP e T3 - irrigação com a combinação 50% EFT + 50% AP. O efeito dos tratamentos foi estimado pela avaliação do desenvolvimento e produção das plantas aos 30, 40, 50 e 60 dias após o transplante (AP), quantificando o número de folhas adultas por planta (NFA) (folhas com comprimento de limbo superior a 10 cm), número de folhas comerciais (NFC) (folhas com comprimento de limbo não inferior a 20 cm) segundo os critérios propostos por [26], número de folhas não comerciais (NFNC), massa fresca de folhas comerciais (MFFC) e não comerciais (MFFNC).

## 2.4. Manejo de irrigação

As irrigações foram realizadas diariamente, sendo o volume aplicado correspondente à evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (ET<sub>C<sub>Loc</sub></sub>) (Equação 1), calculado de acordo com a metodologia proposta por Keller (1978), considerando evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) estimada pelo método de Penman-Montheith [27] (dados obtidos na plataforma Web da Estação Meteorológica, nas coordenadas 22°51'06.9"S 48°25'56.9"W) e coeficientes de cultivo (kc) para cada fase de desenvolvimento fenológico de couve-manteiga propostos por [28], com valores de 0,55 (durante 10 dias na Fase I – correspondente a fase de estabelecimento da cultura); 0,7 (20 dias na Fase II– crescimento das plantas [O kc nesta fase não é constante, regista um aumento contínuo até a Fase III]); 1,0 (20 dias na Fase III – formação da produção) e 0,95 (10 dias na Fase IV – até ao final da colheita).

$$ET_{C_{Loc}} = ET_0 * kc * k_L \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: ET<sub>C<sub>Loc</sub></sub> – evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (mm dia<sup>-1</sup>), ET<sub>0</sub> – evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>), kc – coeficiente de cultivo, k<sub>L</sub> – fator de correção devido a localização (0,17 para fase de desenvolvimento fenológico I; 0,29 para Fase II; 0,89 para Fase III e IV).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: ET<sub>0</sub> – evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>), R<sub>n</sub> – saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), G – fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), T – temperatura média do ar (°C), u<sub>2</sub> – velocidade média do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>), e<sub>s</sub> – pressão de saturação de

vapor média diária (Kpa),  $\Delta$  – curva de pressão de vapor (KPa °C<sup>-1</sup>) e  $\gamma$  – constante psicrométrica (KPa °C<sup>-1</sup>).

## 2.5. Análise estatística

Os dados obtidos neste estudo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas no tempo, onde as amostragens (41, 70, 100, 130 e 165 dias de operação do sistema de tratamento) constituíram as parcelas e tipos de água (AP, EFT e EFB) as sub-parcelas, com três repetições (as amostras foram analisadas três vezes por parâmetro) para as características físicas, químicas e microbiológicas dos diferentes tipos de água usada para irrigação (AP e EFT) e do EFB. Já os dados do NFA do SCC foram submetidos à ANOVA, considerando um delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas no tempo, sendo que as datas de colheita (30, 40, 50 e 60 AP) constituíram as parcelas e os tratamentos estudados (100% EFT, 100% AP e combinação 50% EFT + 50% AP) as sub-parcelas, com quatro repetições (quatro canteiros por tratamento). Todas as médias foram comparadas pelo *test Scott-Knott* a 1% de probabilidade usando o software estatístico Sisvar versão 5.6 [29].

Não sendo possível proceder ANOVA com os resultados de produção de couve-manteiga no SCV, adotou-se a análise de estatísticas descritivas para ilustrar os efeitos da irrigação com EFT no desenvolvimento e produção de couve-manteiga neste sistema de cultivo. A avaliação do desempenho dos sistemas de cultivo (SCV e SCC) com relação a gestão de recursos, sobretudo de recursos hídricos, baseou-se na determinação e comparação dos valores de eficiência de uso de água de irrigação (Equação 3) e produtividade das culturas.

A eficiência do uso de água de irrigação (EUA) por planta foi calculada sendo a razão entre a produção total de massa fresca por planta ( $Y_p$ ) e a quantidade de água aplicada por planta para obter tal produção [21, 30], e produtividade a razão entre  $Y_p$  e a área ocupada por planta.

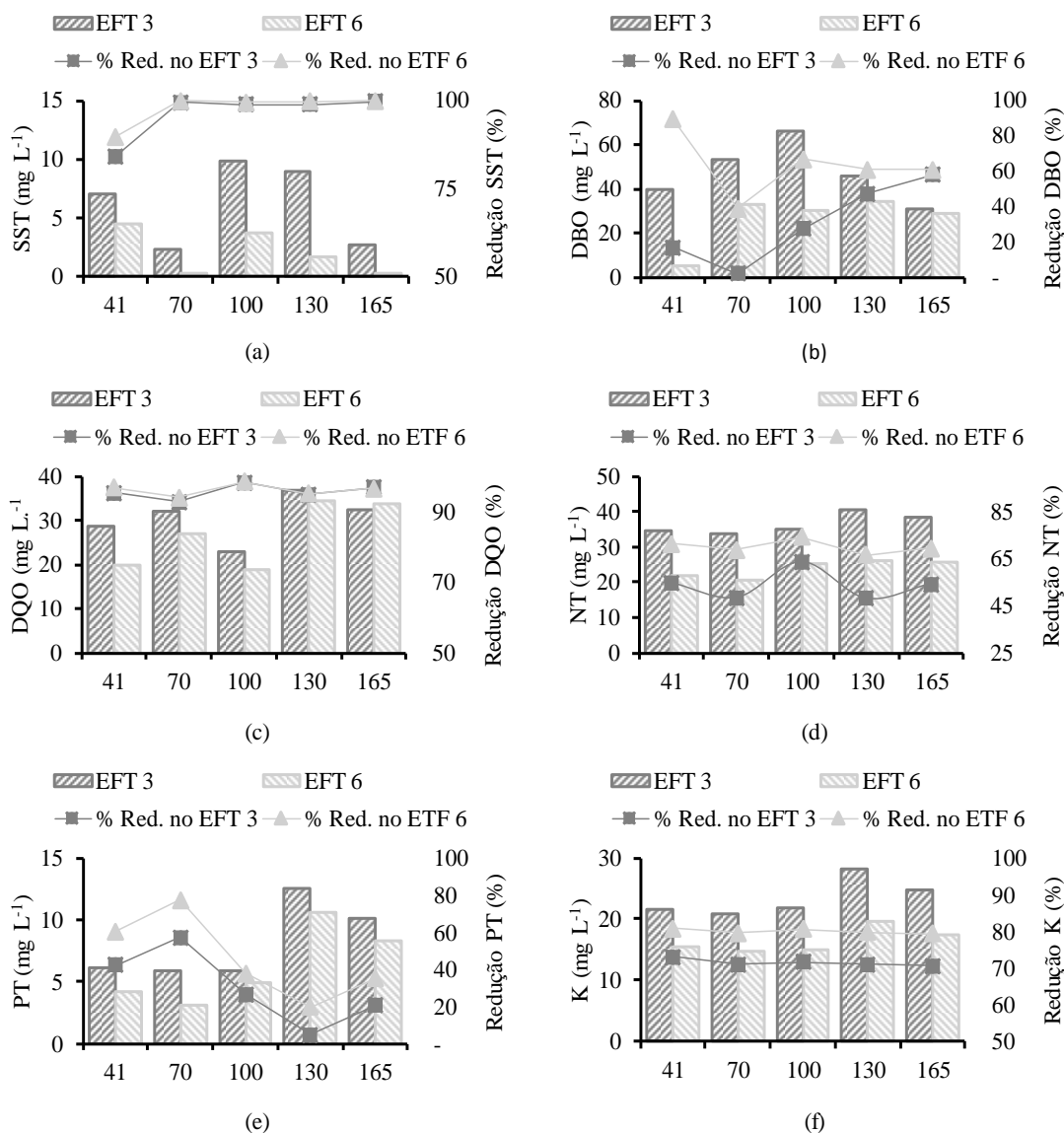
$$EUA = \frac{Y_p}{UTAp} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: EUA – eficiência de uso de água de irrigação (g L<sup>-1</sup>),  $Y_p$  – produção total de massa fresca por planta (g planta<sup>-1</sup>) e  $UTAp$  – uso total de água por planta (L planta<sup>-1</sup>).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Desempenho do sistema de tratamento de efluentes e qualidade da água de irrigação

Os resultados obtidos indicaram que o sistema de tratamento apresentou um desempenho satisfatório na redução de partículas sólidas, matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos presentes no EFB. A redução média de SST, DBO e DQO no EFT em relação a EFB em todas amostragens realizadas ao longo da pesquisa esteve próximo de 100% (Figura 4a), 62,9% (Figura 4b) e 96,7% (Figura 4c) respectivamente. Estes resultados destacam o potencial que filtros estudados nesta pesquisa tem na redução de partículas sólidas e matéria orgânica (MO). Estes resultados enquadram-se na faixa provável de remoção de poluentes (representada pela DBO) prevista na NBR 13.969 para filtros anaeróbios [31].



**Figura 4.** Valores médios e porcentagem de redução de sólidos suspensos totais (SST), demanda química (DBO) e bioquímica de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e potássio (K) no efluente tratado (EFT 3 e EFT 6) em relação ao efluente bruto nos diferentes tempos de amostragem.

O sistema de tratamento proporcionou EFT (efluente tratado final) de qualidade aceitável para reuso na irrigação. Foram observadas diferenças significativas na qualidade do EFT e AP na maioria dos parâmetros avaliados (Tabela 1), sendo os valores de CE, concentração de nutrientes, coliformes fecais e totais muito superiores no EFT do que na AP, corroborando com os argumentos de diversos pesquisadores [10, 14, 32, 33] que indicam que geralmente os efluentes de esgoto apresentam altas concentrações de poluentes quando comparado à água potável. Diferenças significativas também foram observadas entre a qualidade do EFB e EFT, o que reforça a ideia de que o sistema de tratamento apresentou um desempenho satisfatório.

Embora os resultados de redução de nutrientes indicaram que a ETEA teve um desempenho satisfatório, a concentração de PT no EFT superou os limites

estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 [34] e Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA) [35], e o NT esteve na faixa de restrição considerada moderada para reuso na irrigação [36, 37]. Diversos pesquisadores [38, 39] referem que a remoção de nutrientes presentes no efluente de esgoto é mais efetiva em sistema de tratamento que envolvem o cultivo de plantas. Avaliando um *wetland* com capim vetiver, [38], observaram que a redução de fósforo e nitrogênio amoniacal em módulos com este capim esteve em torno de 80,35% e 83,3%, e em módulos sem capim foi de 44,45% e 42,55% respectivamente.

**Tabela 1.** Características físicas, químicas e microbiológicas da água de irrigação (AP e EFT) e efluente bruto, e resultados da análise estatística.

	41 dias	70 dias	100 dias	130 dias	165 dias	Média (Desv.P)
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )						
AP	0,33bA	0,35cA	0,38cA	0,36cA	0,34cA	0,35 (±0,02)
EFB	0,58aB	0,76aA	0,69aA	0,72aA	0,72aA	0,69 (±0,06)
EFT	0,56aC	0,68bA	0,63bAB	0,60bBC	0,61bABC	0,61 (±0,04)
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	4,80bC	17,0cA	0,7cD	5,6cC	9,4cB	7,5 (±5,50)
EFB	48,0aE	54,0aD	91,0aA	87,0aB	74,0aC	70,8 (±17,22)
EFT	5,2bE	33,0bB	30,0bC	34,0bA	29,0bD	26,2 (±10,68)
Demanda química de oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	10,2cC	42,0bA	4,0cC	11,3cC	28,1bB	19,1 (±13,95)
EFB	600,8aD	445,0aE	1251,0aA	706,3aC	1000,8aB	800,8 (±289,2)
EFT	19,7bB	27,0cA	19,0bB	34,3bA	33,8bA	26,8 (±6,58)
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	1,20bA	1,11bA	0,65bA	0,90bA	1,06cA	0,98 (±0,21)
EFB	10,56aAB	13,76aA	7,92aB	13,18aA	12,68aAB	11,62 (±3,01)
EFT	4,20bBC	3,14bC	4,94aBC	10,58aA	8,24bAB	6,22 (±3,13)
Nitrogênio total (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	4,50cA	3,20cA	0,20cA	1,57cA	2,31cA	2,36 (±1,51)
EFB	76,03aB	65,60aC	96,70aA	77,80aB	84,03aB	80,03 (±11,13)
EFT	21,85bA	20,40bA	25,10bA	26,00bA	25,81bA	23,83 (± 4,36)
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	2,90cA	2,10cA	1,30cA	1,76cA	3,21cA	2,25 (± 0,75)
EFB	80,00aB	71,50aC	76,90aBC	97,60aA	84,00aB	82,00 (± 9,65)
EFT	15,42bA	14,60bA	14,90bA	19,70bA	17,38bA	16,40 (± 2,76)
Coliformes totais (MPN 100 mL <sup>-1</sup> )*						
AP	ausente	1,4 × 10 <sup>1</sup>	ausente	Ausente	10	n/a
EFB	2,06 × 10 <sup>9</sup>	2,19 × 10 <sup>9</sup>	1,99 × 10 <sup>7</sup>	1,35 × 10 <sup>7</sup>	5,17 × 10 <sup>6</sup>	n/a
EFT	1,45 × 10 <sup>4</sup>	2,76 × 10 <sup>5</sup>	1,24 × 10 <sup>3</sup>	7,70 × 10 <sup>3</sup>	4,35 × 10 <sup>3</sup>	n/a
Coliformes fecais (MPN 100 mL <sup>-1</sup> )*						
AP	ausente	ausente	ausente	Ausente	ausente	n/a

EFB	$7,42 \times 10^8$	ausente	$1,37 \times 10^6$	$2,36 \times 10^6$	$3,36 \times 10^5$	n/a
EFT	5200	ausente	21	328	97	n/a

AP – água potável; EFB – efluente bruto; EFT - Efluente tratado final ou coletado no filtro seis; Desv.P – desvio padrão. Médias que não partilham a mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha são significativamente diferentes, a 1% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. \*Análise estatística não aplicável (n/a).

### 3.2. Produção e qualidade sanitária de couve manteiga

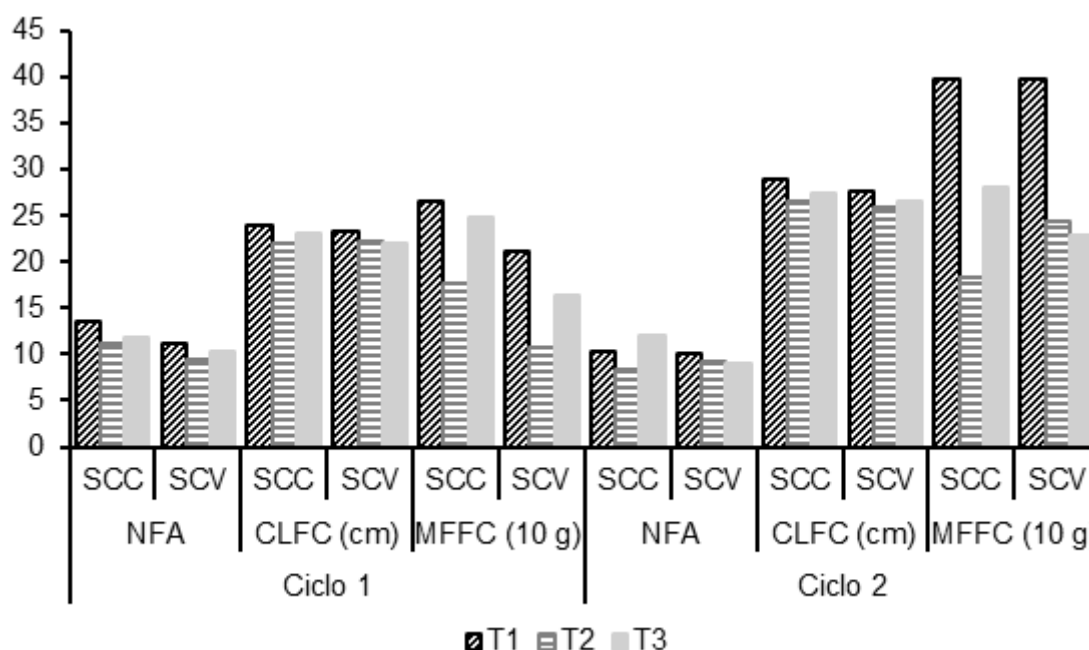
Cultivos verticais apresentam como principais características o fato das plantas serem penduradas ou fixadas em estruturas verticais, por exemplo, na parede das casas, com o objetivo de otimizar o espaço de plantação, sendo uma alternativa ideal para o cultivo de hortaliças em áreas urbanas e peri-urbanas caracterizadas pela disponibilidade limitada de espaço para produção agrícola, disponibilidade limitada de água para irrigação e demanda excessiva por temperos, ervas, hortaliças, etc.

A ideia de combinar este sistema de cultivo vertical em barris plásticos ao reuso de EFT, surge por entender-se que pela sua estrutura, o barril isola as plantas e os produtores de um possível contato com a água de irrigação (neste caso EFT) possivelmente contaminada.

Os resultados da análise estatística indicaram existirem diferenças significativas entre os tratamentos estudados com relação ao NFA por planta, sendo que os maiores valores foram observados nos tratamentos que receberam EFT, tanto no SCV assim como no SCC. Comportamento semelhante também foi observado nos resultados referentes ao CLFC e MFFC por planta nas parcelas que receberam 100% EFT (Figura 5). Estes resultados mostram que a irrigação com EFT teve um efeito positivo no desenvolvimento e na produção das plantas [14, 40–42].

Tunc e Sahin [42] irrigando repolho roxo com EFT, mistura de EFT e AP, e AP, observaram que o número de folhas abertas, peso de folhas abertas, diâmetro da cabeça, peso da cabeça e rendimento da massa fresca total foi menor nas plantas que receberam AP. Estes autores indicaram que a obtenção de rendimentos altos pela aplicação de EFT pode ser explicada pela reciclagem dos nutrientes presentes nos efluentes.

Os resultados da análise microbiológica de folhas comerciais de couve indicaram que não foi registada contaminação por coliformes termotolerantes para maioria das amostras coletadas tanto no SCV assim como SCC, de acordo com a Resolução RDC n.12 de 02/01/2001 [43] que estabelece padrões microbiológicos sanitários para alimentos e critérios para interpretação dos resultados das análises microbiológicas de alimentos destinados ao consumo humano. Segundo a ANVISA [43], a tolerância máxima de contaminação por coliformes termotolerantes (representado por *E. Coli*) para amostras de hortaliças consumidas cozidas é de 500 NMP g<sup>-1</sup>, portanto, após observar-se em duas amostras (uma para cada sistema de cultivo), valores máximos de 0,04 NMP g<sup>-1</sup> (resultante de "1/25") e 0,684 NMP g<sup>-1</sup> (resultante de "17,1/25") no SCV e SCC respectivamente, pode se dizer que a qualidade sanitária de folhas comerciais de couve atendeu aos padrões estabelecidos.



**Figura 5.** Valores médios do número de folhas adultas (NFA), comprimento de limbo (CLFC) e massa fresca de folhas comerciais (MFFC). T1 – irrigação com 100% EFT, T2 – irrigação com 100% AP e T3 – irrigação com a combinação 50% EFT + 50% AP.

### 3.3. Eficiência de uso da água de irrigação

O SCV proporcionou maior produtividade e eficiência de uso da água de irrigação (Tabela 2), com uma redução de uso de água de irrigação superior a 20% (com máxima de 72%) em relação ao SCC. Estes resultados podem ser explicados pelo fato do barril reduzir o contato direto entre o solo (no interior do barril) e a radiação solar (principal fator que influencia na redução da umidade do solo por evaporação), com isso, o tambor permitiu maior conservação e aproveitamento da água de irrigação pelas plantas.

**Tabela 2.** Resultados da produtividade de couve-manteiga e eficiência de uso de água no Sistema de Cultivo Vertical (SCV) e Sistema de Cultivo Convencional (SCC).

	Ciclo 1		Ciclo 2	
	SCV	SCC	SCV	SCC
Produtividade (g MFT m <sup>-2</sup> )				
T1	5396,7	826,4	9310,4	1219,3
T2	3392	599	6805	851
T3	4407	766,2	6759,7	1063
EUA (g MFT L <sup>-1</sup> )				
T1	15	10,7	29,5	18
T2	9,5	7,8	21,5	12,5
T3	12,3	9,9	21,4	15,7

T1 – irrigação com 100% EFT, T2 – irrigação com 100% AP e T3 – irrigação com a combinação 50% EFT + 50% AP, MFT – massa fresca total.



O sistema de cultivo vertical em tambores plásticos também foi utilizado para o cultivo de alface (*Lactuca sativa*), cebolinha (*Allium schoenoprasum*), rúcula (*Eruca sativa Mill*), salsa (*Petroselinum crispum (Mill.) Nym.*), almeirão (*Cichorium intybus*) e chicória (*Cichorium endivia L.*) em pesquisa realizada por [17]. As culturas apresentaram resultados promissores o que levaram a realização de outras pesquisas visando gerar mais dados sobre o sistema. (Figura 6).



**Figura 6.** Diferentes hortaliças cultivadas no sistema vertical em tambores.  
Fonte: Ventura (2017).

Para as culturas exibidas na figura acima, também foi realizado o cálculo de eficiência do uso da água (EUA) e comparado com o cultivo convencional em canteiros. Na tabela 2 é possível observar que o sistema vertical apresenta uma EUA elevada quando comparado com os canteiros, isso se dá ao fato de que a área utilizada para produzir é menor, o que eleva a produtividade, e conseqüentemente a EUA.

**Tabela 2.** Eficiência do uso da água (EUA) para as diferentes culturas produzidas no sistema vertical e em canteiros.

Cultura	EUA (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	
	Vertical	Canteiro
Alface	55,0 a	10,0 b
Almeirão	62,1 a	14,8 b
Cebolinha	27,2 a	7,2 b
Chicória	80,7 a	13,9 b

Rúcula	12,5 a	10,6 a
Salsa	57,0 a	16,5 b

Fonte: Ventura (2017) \*Valores seguidos por letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4. Conclusão

O sistema de tratamento de efluentes apresentou um desempenho satisfatório e proporcionou EFT de qualidade aceitável para reuso na irrigação de hortaliças. No entanto, fica evidente a necessidade de combinar estratégias de tratamento e aplicação e/ou irrigação para melhor aproveitar os benefícios proporcionados pelo reuso de efluente de esgoto na irrigação agrícola. O cultivo vertical em barris plásticos permitiu economizar água de irrigação. A combinação deste sistema de cultivo (SCV) com o reuso de efluentes de esgoto mostrou ter enorme potencial para a redução de contaminação das plantas. A elevada produtividade observada no SCV mostra que sistema cultivo pode ser uma ótima alternativa para a produção de hortaliças nos centros urbanos que por coincidência são caracterizados por gerar enormes quantidades de efluentes e apresentam elevada competição por recursos hídricos entre setores chaves da sociedade.

#### 6. Referências

- [1] Koech R., Langat P. Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. *Water* 2018; 10(12):1771. <https://doi.org/10.3390/w10121771>.
- [2] Paz V.P. da S., Teodoro R.E.F., Mendonça F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2000; 4:465–473. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000300025>.
- [3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Managing systems at risk. Londres: Earthscan; 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e00.htm>> Acesso em: 07 Fev. 2021.
- [4] Angelakis A.N., Zaccaria D., Krasilnikoff J., Salgot M., Bazza M, Roccaro P., Jimenez B., Kumar A., Yinghua W., Baba A., Harrison J.A., Garduno-Jimenez A., Fereres E. Irrigation of World Agricultural Lands: Evolution through the Millennia. *Water* 2020; 12(5):1285. <https://doi.org/10.3390/w12051285>.
- [5] Liu J., Daniel N., Amarbayasgalan D., Fu J., Lei X., Liu H., Macer D., Qiao Q., Sun A., Tachiyama K., Zheng Y. Water Ethics and Water Resource Management (ECCAP WG14 Report). Bangkok; 2009. Disponível em: <[http://colinmayfield.com/public/PDF\\_files/Principles,%20For,%20Water%20-%202010%20-%20WATER%202015%20RESOURCE%20MANAGEMENT%20%E2%80%93%20IW%20RM.pdf](http://colinmayfield.com/public/PDF_files/Principles,%20For,%20Water%20-%202010%20-%20WATER%202015%20RESOURCE%20MANAGEMENT%20%E2%80%93%20IW%20RM.pdf)> Acesso em: 07 Fev. 2021.
- [6] Siebert S., Henrich V., Frenken K., Burke J. Update of the Digital Global Map of Irrigation Areas to Version 5. Institute of Crop Science and Resource Conservation Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Germany; 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I9261EN/i9261en.pdf>> Acesso em: 07 Fev. 2021.

- [7] Zheng H., Shao R., Xue Y., Ying H., Yin Y., Cui Z., Yang Q.H. Water productivity of irrigated maize production systems in Northern China: A meta-analysis. *Agric Water Manag* 2020; 234:106119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106119>.
- [8] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *World Food and Agriculture Statistical Pocketbook 2019*. Roma: FAO; 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ca6463en/ca6463en.pdf>> Acesso em: 07 Fev. 2021.
- [9] Liu J., Dorjderem A., Fu J., Lei X., Liu H., Macer D., Qiao Q., Keisuke A.S., Lilin T., Zheng Y.Y. *Water Ethics and Water Resource Management*. Bangkok: UNESCO Asia and Pacific Regional Bureau for Education; 2011. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000192256>> Acesso em: 07 Fev. 2021.
- [10] Wang Z., Li J., Li Y. Using reclaimed water for agricultural and landscape irrigation in China: a review. *Irrigation and Drainage* 2017; 66:672–686. <https://doi.org/10.1002/ird.2129>.
- [11] Singh C.J., Kumar S. Wastewater ferti-irrigation: an eco-technology for sustainable agriculture. *Sustainable Water Resources Management* 2020; 6(3):1–11. <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00389-5>.
- [12] Cherfouh R., Lucas Y., Derridj A., Merdy P. Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. *Environmental Science and Pollution Research* 2018; 25(35):35571–35581. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3463-3>.
- [13] Libutti A., Gatta G., Gagliardi A., Vergine P., Pollice A., Beneduce L., Disciglio G., Tarantino E. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management* 2018; 196:1–14. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015>
- [14] Urbano V.R., Mendonça T.G., Bastos R.G., Souza C.F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management* 2017; 181:108–115. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>
- [15] Jeong H., Seong C., Jang T., Park S. Classification of Wastewater Reuse for Agriculture: A Case Study in South Korea. *Irrigation and Drainage* 2016; 65:76–85. <https://doi.org/10.1002/ird.2053>.
- [16] Balkhair K.S. Microbial contamination of vegetable crop and soil profile in arid regions under controlled application of domestic wastewater. *Saudi Journal of Biological Sciences* 2016; 23(1):S83-S92. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.10.029>.
- [17] Ventura K.M. Eficiência do uso da água em um sistema vertical sob irrigação localizada. Dissertação de mestrado. São Paulo: Universidade Estadual Paulista (UNESP); 2017.
- [18] Batista R.O., da Silva K.B., da Silva Júnior M.J., dos Santos D.B., da Cunha R.R. Performance of drip emitters for different pressures and application of cashew nuts wastewater. *DYNA* 2018; 85:38–43. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v85n204.64322>.
- [19] Costa D.D.O., Marques Vale H.S., Batista R.O., Moura da Silva P.C., Lemos Filho L.C.D.A., Dos Santos D.B. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores aplicando água residuária doméstica tratada. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* 2019; 12(4):1251–1266. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1251-1266>.
- [20] da Silva K.B., Batista R.O., da Costa Leite Coelho D., Diniz Marques B.C., de

Oliveira Mesquita F., de Oliveira Cunha J.L. Vazão de gotejadores aplicando esgoto sanitário tratado e prevenção do entupimento com catalisador enzimático. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* 2019; 12(2):679–699. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p679-699>.

[21] El-Wahed M.H.A., Ali E.A. Effect of irrigation systems, amounts of irrigation water and mulching on corn yield, water use efficiency and net profit. *Agricultural Water Management* 2013; 120:64–71. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.017>.

[22] Fan Y., Massey R., Park S.C. Multi-crop production decisions and economic irrigation water use efficiency: The effects of water costs, pressure irrigation adoption, and climatic determinants. *Water* 2018; 10(11), 1637. <https://doi.org/10.3390/w10111637>.

[23] Marouelli WA, Abdalla RP, Madeira NR, Oliveira AS de, Souza RF de (2010) Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. *Pesqui Agropecuária Bras* 45:369–375

[24] Pitoro V.S.J. Tratamento de efluentes de estação de tratamento de esgoto em filtros anaeróbios verticais para reúso na irrigação por gotejamento de couve-manteiga (*Brassica oleracea* L. var. acephala). Dissertação de mestrado. São Paulo: Universidade Estadual Paulista (UNESP); 2019.

[25] APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association. Stand Methods. 2012. <https://doi.org/ISBN 978-087553-013-0>

[26] Trani, P.E., Tivelli S.W., Blat S.F., Pantano A., Teixeira E., Araújo H., Feltran J., Passos F., Novo M. Couve de folha: do plantio à pós-colheita. *Igarss* 2014; 1–5.

[27] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Roma: FAO 1998.

[28] Marouelli W. Irrigação no cultivo de Brássicas. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1073865>> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[29] Ferreira D.F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria* 2019; 37(4):529. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

[30] Silva T.G.F., Primo J.T.A., Silva S.M.S., de Moura M.S.B., dos Santos D.C., Silva M. da C., Araújo J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido Brasileiro. *Bragantia* 2014; 73:184–191. <https://doi.org/10.1590/brag.2014.017>.

[31] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR13.969. Tanques sépticos- Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos- Projeto, construção e operação. Abnt 60; 1997. Disponível em: <[http://acguasana.com.br/legislacao/nbr\\_13969.pdf](http://acguasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf)> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[32] Salgot M., Folch M., Unit S.S. Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2018; 2:64–74. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>.

[33] Fonseca A.F. da, Herpin U., Paula A.M. de, Victória R.L., Melfi A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Sci Agric* 2007; 64:194–209. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103->

90162007000200014.

[34] AMBIENTE-CONAMA CNDOM. Resolução CONAMA nº357/2005, de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Of. da União. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[35] US Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. Development. 2012. <https://doi.org/EPA16251R-921004>

[36] Ayers R.S., Westcot D.W. Water Quality for Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma: FAO; 1985. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm>> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[37] WHO. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. World Health Organ 2006; 1:114. Disponível em: <[https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/gsuweg4/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg4/en/)> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[38] Ucker F.E., Almeida R.A., Kemerich P.D.C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science 2012; 7(3):87–98. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>.

[39] Almuktar S.A.A.N., Abed S.N., Scholz M. Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. Environmental Science and Pollution Research 2018; 25:23595–23623. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2629-3>.

[40] Cirelli G.L., Consoli S., Licciardello F., Aiello R., Giuffrida F., Leonardi C. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. Agricultural Water Management 2012; 104:163–170. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.011>.

[41] Demir A.D., Sahin U. Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral contents. Environmental Science and Pollution Research 2017; 24:24856–24879. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0139-3>.

[42] Tunc T., Sahin U. Red cabbage yield, heavy metal content, water use and soil chemical characteristics under wastewater irrigation. Environmental Science and Pollution Research 2016; 23:6264–6276. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5848-x>.

[43] BRASIL. ANVISA Resolução nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 jan. Diário Of. [da] República Fed. do Bras. 2001. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-12-de-2-de-janeiro-de-2001.pdf/view>> Acesso em: 08 Fev. 2021.

## **Autores**

Valdemiro Simão João Pitoro<sup>1,\*</sup>, Rodrigo Máximo Sánchez-Román<sup>2</sup>, Kevim Muniz Ventura<sup>3</sup>, Sérgio Alberto Jane<sup>4</sup>

1. Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Lúrio, Campus de Unango, EN 733, Km 42, Sanga, Niassa, Moçambique, E-mail: [vpitoro@gmail.com](mailto:vpitoro@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3871-3124>.
2. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas/Campus de Botucatu: Botucatu, Brasil. [rodrigo.roman@unesp.br](mailto:rodrigo.roman@unesp.br), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5957-061X>.
3. Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Departamento de Engenharia Rural e Socioeconômica, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Campus Botucatu, Av. Universitária n 3780 – Botucatu, SP. E-mail: [k.kevim@gmail.com](mailto:k.kevim@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3201-5034>.
4. Departamento de Produção e Proteção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Lúrio, Campus de Unango, EN 733, Km 42, Sanga, Niassa, Moçambique. [serztjane@gmail.com](mailto:serztjane@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9666-8117>.

\* Autor para correspondência: [vpitoro@gmail.com](mailto:vpitoro@gmail.com)

---

## Uniformidade de distribuição de água em pivô central

Mateus Possebon Bortoluzzi, Marcelo Herter Mattioni

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-7-6.c2>

### Resumo

A uniformidade de distribuição de água é influenciada pelo aspersor utilizado em sistemas de irrigação pivô central, sendo importante para evitar a ocorrência de excesso ou déficit hídrico para as culturas e aumentar a eficiência do uso da água. O objetivo desse trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição de água de dois tipos de aspersores e a variabilidade de distribuição de água entre os lances do pivô central. Foram realizadas avaliações em duas áreas de lavoura comercial equipadas com sistema de irrigação do tipo pivô central, com aspersores do tipo Super Spray (Pivô 01) e I-Wob (Pivô 02). Foram aplicadas lâminas de irrigação de 5 e 13 mm nos Pivôs 01 e 02, respectivamente, utilizando-se copos coletores para avaliação da distribuição de água. Os coletores foram alocados em duas linhas espaçados de 5 m, totalizando 82 e 62 unidades no Pivô 01 e Pivô 02, respectivamente. Durante o experimento, foi realizada a medição da velocidade do vento, da temperatura e umidade relativa do ar através do Termo Hígro Anemômetro Digital - KR825. A uniformidade da irrigação foi avaliada através do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). Os dados de lâmina coletada nos lances dos pivôs foram submetidos à análise de variância e teste Tukey. O modelo de aspersor I-Wob apresentou maiores coeficientes de uniformidade, proporcionando melhor uniformidade de distribuição de água. No Pivô equipado com aspersores Super Spray, a lâmina média aplicada foi de 4,04 mm, inferior à lâmina programada e a uniformidade de distribuição de água foi semelhante ao longo do pivô. No Pivô equipado com aspersores I-Wob, a lâmina de água aplicada foi menor nos primeiros lances do pivô, maior nos lances intermediários e próximo à lâmina programada na extremidade do pivô.

**Palavras-chave:** coeficientes de uniformidade, eficiência da irrigação, irrigação por aspersão, I-Wob, super spray.

### 1. Introdução

A água é um componente fundamental do meio ambiente, a qual apresenta importância na geração de energia elétrica, navegação, abastecimento doméstico e industrial, bem como para irrigação de cultivos agrícolas [1]. Entretanto, tendo em vista o aumento da população, da demanda mundial por alimentos e a pequena disponibilidade de novas áreas para cultivo, torna-se cada vez mais importante o aumento da produtividade, porém de forma sustentável, principalmente em relação à eficiência do uso da água.

O Brasil possui uma área irrigada de aproximadamente sete milhões de hectares, sendo que aproximadamente 17% dessa área irrigada por sistema de irrigação do tipo pivô central [1]. No Rio Grande do Sul, esse sistema é utilizado dentre outras, para as

culturas do milho, soja e feijão, totalizando 1285 equipamentos que irrigam uma área de 91.849 ha [2], propiciando estabilidade de produção e aumento de produtividade nessas áreas.

O sistema de irrigação do tipo pivô central é constituído por uma linha lateral de aspersão montada sobre um sistema de treliças e mantida a uma determinada altura do solo por torres de sustentação movimentadas por rodas ao redor de uma torre central ancorada [3]. Ao longo da linha lateral estão posicionados os aspersores, os quais apresentam fundamental importância para que a lâmina de água seja aplicada de forma igualitária em toda a área.

A uniformidade de distribuição de água é afetada por fatores meteorológicos, como a velocidade do vento, temperatura e umidade do ar [4] e por fatores relacionados ao equipamento, dentre os quais o tipo de aspersor. Os aspersores apresentam diferenças de uniformidade de aplicação de água, o que interfere, dentre outros fatores, na produtividade final, eficiência do uso do nitrogênio e eficiência do uso da água [5, 6].

Dentre os aspersores mais utilizados estão o Super Spray e o I-Wob, ambos fabricados pela empresa Senninger. O Super Spray opera com pressão de 20 PSI (baixa pressão) e apresenta um padrão de pulverização de 360°. Possuem três formas de placas defletoras, as quais podem ser do tipo plana, côncava ou convexa e com superfície do tipo lisa, com ranhuras médias ou com ranhuras grossas, o que modifica o padrão de distribuição e o tamanho das gotas. O I-Wob, por sua vez, é um tipo de aspersor que opera com baixa (15 PSI) e ultra-baixa pressão (6-10 PSI). Possui mecanismo oscilante Wobbler e um disco defletor ranhurado, com modelos que proporcionam tamanhos de gotas diferentes.

Nesse sentido, devem-se priorizar aspersores que proporcionem adequada uniformidade de aplicação de água, evitando assim irrigações deficitárias ou em excesso. Dessa forma, evita-se perda de produtividade decorrente da falta de água, assim como por excesso hídrico, perda de solo e nutrientes ocasionados pelo escoamento superficial decorrente da irrigação excessiva. De acordo com [7], houve maior produtividade de grãos do feijoeiro com a melhoria da uniformidade de aplicação da água.

A uniformidade de distribuição de água na superfície pode ser avaliada através de coeficientes de uniformidade, dentre os quais estão o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) [8]. Esses coeficientes vêm sendo bastante empregados para a avaliação da uniformidade de distribuição de água [9, 10]. Cabe ressaltar que a distribuição de água no interior do perfil do solo é mais uniforme do que na superfície (9, 11), o que minimiza parcialmente os problemas ocasionados pela inadequada distribuição de água.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição de água de dois tipos de aspersores utilizados em pivô central e a variabilidade de distribuição de água entre os lances dos equipamentos.

## **2. Material e Métodos**

O experimento foi realizado na Fazenda Coqueiro, no município de São Luiz Gonzaga – RS (28°24'31"S, 54°57'41"W, à altitude de 260 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo subtropical úmido (Cfa), sem estação seca definida [12]. O relevo do local é suavemente ondulado, em que o solo predominante é



classificado como Latossolo Vermelho, pertencente à Unidade de Mapeamento Santo Ângelo [13].

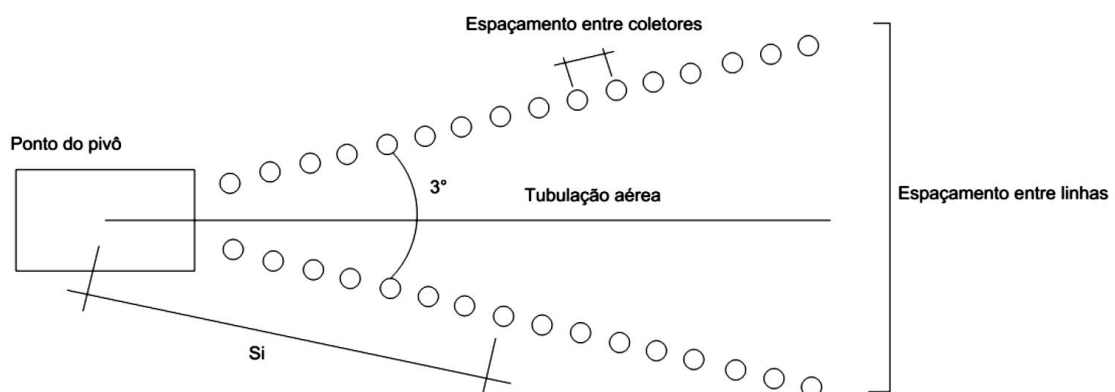
Foram realizadas avaliações em duas áreas de lavoura comercial equipadas com sistema de irrigação do tipo pivô central e que na safra 2018/19 foram utilizadas com a cultura do milho. Os pivôs foram nomeados como Pivô 01 e Pivô 02, os quais possuem uma área irrigada de aproximadamente 52 e 30 ha, respectivamente. Ambos os equipamentos são da marca Valley.

O Pivô 01 é equipado com 186 aspersores de baixa pressão Super Spray (Senninger), a 2 metros do solo, com distância de 2,20 metros entre cada aspersor, o qual apresenta um padrão de pulverização de 360°. Possui placas defletoras côncavas (azuis), o que se traduz em um ângulo de 10° para maior distância e o tamanho de gotas é pequeno. A vazão dos aspersores varia de 61 l.h<sup>-1</sup> a 6805 l.h<sup>-1</sup> e não apresentam peças móveis.

O Pivô 02, por sua vez, possui 136 aspersores do tipo I-Wob (Senninger), que operam em ultra-baixa pressão. Os aspersores possuem placa com trajetória de ângulo padrão (pretas) com tamanho de gotas médias e apresentam vazão entre 182 l.h<sup>-1</sup> e 4168 l.h<sup>-1</sup>. A tecnologia de oscilação (Wobbler) produz intensidade de aplicação baixa, o que auxilia na redução da desestruturação física do solo.

Foi realizada uma avaliação em ambas as áreas, em que foram aplicadas lâminas de irrigação de 5 e 13 mm nos Pivôs 01 e 02, respectivamente. A avaliação foi realizada utilizando copos coletores, da marca Fabrimar, apoiados em hastes com 50 cm de comprimento e com diâmetro e altura de 10 cm. Os copos coletores foram alocados em duas linhas no sentido norte – sul dos pivôs centrais em um ângulo aproximado de 3° entre elas (Figura 1). Em [14] ressalta-se a necessidade de pelo menos duas linhas de copos coletores, o que possibilita obter resultados semelhantes aos obtidos com o uso de quatro linhas. O espaçamento entre os copos coletores foi de 5 m, totalizando 82 e 62 unidades no Pivô 01 e Pivô 02, respectivamente. Após a irrigação, a água coletada foi transferida para um copo medidor, onde foi feita a mensuração da altura armazenada em cada copo coletor.

Durante o experimento, foi realizada a medição da velocidade do vento e da temperatura do ar através do Termo Hígro Anemômetro Digital - KR825, o qual apresenta resolução de 0,1°C e exatidão de ±1°C para a temperatura do ar, resolução de 1% e exatidão de ±5% para umidade relativa do ar e resolução de 0,1 m.s<sup>-1</sup> e exatidão de ±5% para a velocidade do vento.



**Figura 1.** Distribuição dos copos coletores para a realização do teste de uniformidade de distribuição de água.

A uniformidade da irrigação foi avaliada através do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o qual é um índice estatístico que faz uso do desvio médio absoluto que expressa a dispersão das lâminas, conforme expresso na Equação 1 [8]. Os copos coletores foram numerados em ordem crescente a partir do centro do pivô, sendo essa numeração utilizada para a ponderação da lâmina de água armazenada nos copos coletores, tendo em vista que a área representada por cada copo coletor aumenta em direção à extremidade do pivô. A distribuição de água é classificada, pelo método do CUC, como ruim (<80%), regular (80 a 84%), bom (85 a 89%), muito bom (>90%).

$$CUC = 100 \times \left( 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \bar{Y}|}{n \times \bar{Y}} \right) \right) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);

$Y_i$  – Lâmina coletada no pluviômetro de ordem  $i$  (mm);

$n$  - Número de coletores;

$Y$  = Lâmina média coletada (mm).

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) também foi utilizado, o qual relaciona a lâmina de água coletada na quarta parte dos coletores que receberam a menor quantidade de água com a lâmina média obtida em todos os coletores (Equação 2). O CUD é classificado como ruim (<70%), regular (70 a 74%), bom (75 a 81%) e muito bom (>82%) [8].

$$CUC = \left( \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

$X_{25\%}$  – Lâmina média de 25% dos coletores com menor lâmina coletada (mm);

$X$  – Lâmina média coletada (mm)

Os dados de lâmina de água medida nas duas fileiras de copos coletores foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro, em que os lances que constituem o pivô central foram considerados como fonte de variação.

### 3. Resultados e Discussão

O modelo de aspersor I-Wob, utilizado no Pivô 02, foi o que proporcionou a melhor uniformidade de distribuição de água. Os valores de ambos os coeficientes de uniformidade foram superiores aos obtidos para o Pivô 01, em que foram utilizados os aspersores do modelo Super Spray (Tabela 1). O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) foram de 90,6% e 80,8% para o I-Wob e de 78,3% e 64,7% para o Super Spray, respectivamente (Tabela 1).

A uniformidade de distribuição foi classificada como muito boa (CUC) e boa (CUD) para o Pivô 02, equipado com aspersores do tipo I-Wob, sendo que os valores dos coeficientes obtidos foram superiores aos valores médios obtidos por [15] a partir da avaliação de 70 equipamentos nas regiões de Santo Augusto e Cruz Alta, RS. Já para o Pivô 01, equipado com aspersores do tipo Super Spray, o desempenho obtido para

ambos os coeficientes foram classificados como ruim. No caso da cultura do milho, com o crescimento em altura a uniformidade de distribuição tende a diminuir, tendo em vista que quanto menor a altura do emissor em relação à superfície menor a área de recobrimento [14].

**Tabela 1.** Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) determinados para os Pivôs 01 e 02, equipados com os aspersores Super Spray e I-Wob, respectivamente. São Luiz Gonzaga, RS.

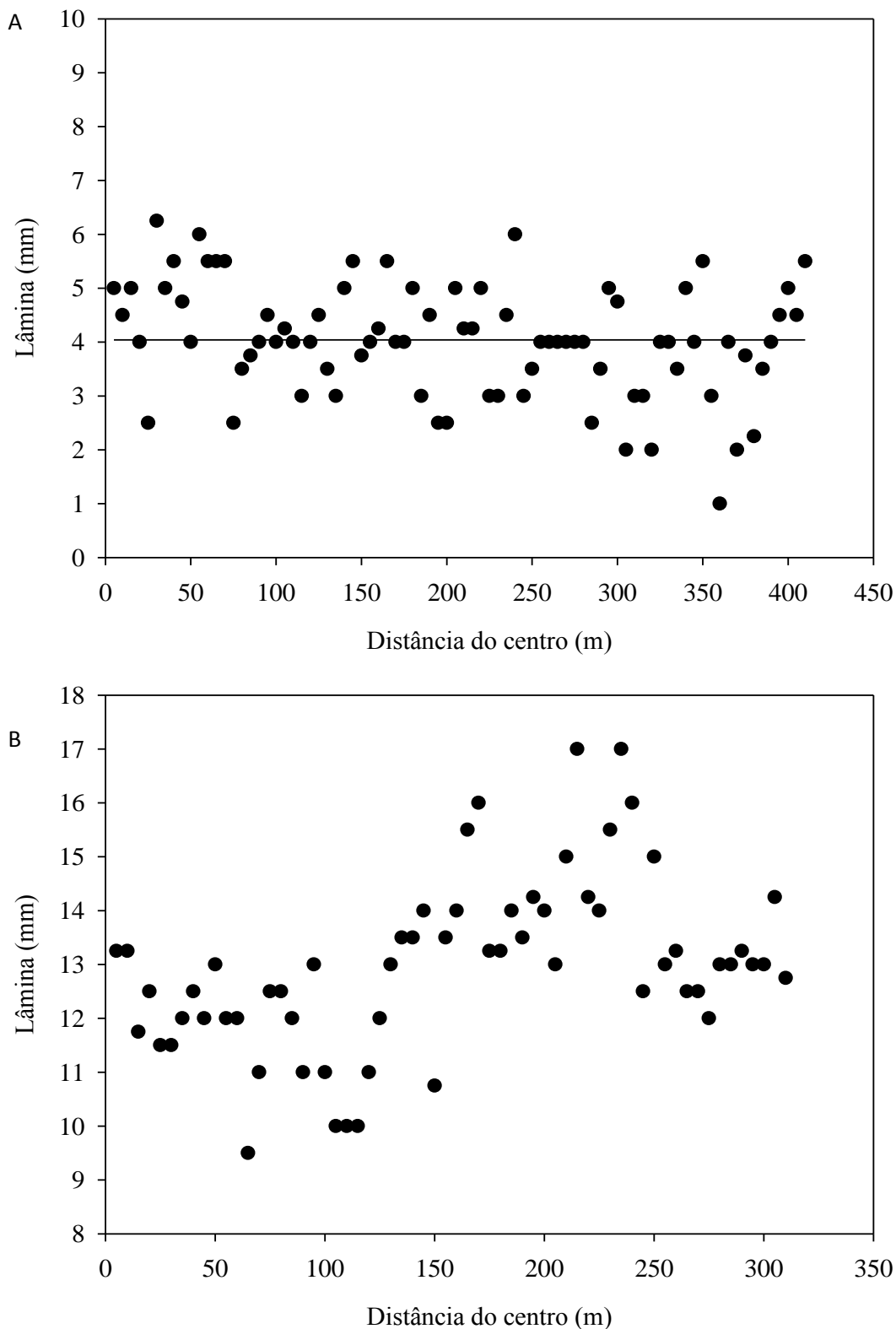
Pivô Central / Bico	CUC (%)	CUD (%)
01 (Super Spray)	78,3	64,7
02 (I-Wob)	90,6	80,8

A menor uniformidade de distribuição de água pode ocasionar redução de produtividade das culturas agrícolas, bem como reduzir a eficiência do uso da água. De acordo com [7], houve uma redução de 32,8% da lâmina média a ser aplicada no ciclo do feijoeiro quando os valores de CUC passam de 65 para 90%. Assim, maior uniformidade de distribuição de água também está associada à redução do consumo de energia, bem como ao aumento da receita para o produtor [16].

A melhor uniformidade de distribuição de água no Pivô 02 está bastante relacionada às características de distribuição de água dos aspersores I-Wob, devido ao maior tamanho de gotas, o que reduz a influência do vento, assim como pelo próprio mecanismo de oscilação do aspersor proporcionando melhor distribuição de água. A baixa uniformidade de distribuição de água no Pivô 01 pode estar relacionada ao tamanho de gotas mais finas, potencializando a influência do vento, bem como fatores relacionados ao equipamento, como pressão de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral do equipamento. Além disso, a substituição por novos aspersores e reguladores de pressão de mesmas características pode melhorar os valores de CUC [17]. Porém, faz-se importante avaliar a viabilidade econômica deste procedimento [18].

A lâmina de água medida a partir da coleta dos copos coletores apresentou variabilidade, assim como verificado por [4, 6, 17]. No Pivô 01, equipado com aspersores Super Spray, houve variabilidade elevada e semelhante ao longo de toda a extensão do pivô central, em que a lâmina de água medida nos diferentes copos coletores variou entre 1 e 6,25 mm (Figura 1A). Com relação ao Pivô 02, com aspersores I-Wob, os segmentos ao longo do pivô apresentaram diferente variabilidade de distribuição de água, com variação da lâmina medida nos copos coletores entre 9,5 e 17 mm. Houve tendência de menor lâmina aplicada próximo ao centro do pivô, maior lâmina aplicada no quarto e quinto lance e lâmina mais uniforme e próxima à média no balanço e na área irrigada pelo canhão final na extremidade do pivô central (Figura 1B).

De acordo com a análise de variância realizada, verificou-se diferença significativa entre a altura da lâmina irrigada medida nos diferentes lances de ambos os equipamentos. A lâmina média de água coletada no Pivô 01 foi de 4,04 mm (Tabela 2), sendo inferior à lâmina calibrada de 5 mm, o que pode estar relacionado a diferença da velocidade de deslocamento no campo com a indicada no relé percentual ou bocais com vazão inadequada ao longo do pivô.



**Figura 1.** Lâmina média coletada (linha sólida) e lâmina medida em copos coletores ao longo dos equipamentos do tipo pivô central, equipados com aspersores modelo Super Spray (A) e I-Wob (B). São Luiz Gonzaga, RS.

Já para o Pivô 02, a lâmina coletada foi de 12,95 mm, a qual ficou bem próxima da lâmina de 13 mm, regulada no painel de controle do pivô central (Tabela 2). Também se pode inferir que a variabilidade das lâminas coletadas foi maior no Pivô 01 em

relação ao Pivô 02, tendo em vista os maiores valores de coeficiente de variação (CV) obtidos

**Tabela 2.** Lâmina (mm) de água obtida em nove lances de um pivô central equipado com aspersores do tipo Super Spray, e em sete lances de um pivô central equipado com aspersores do tipo I-Wob. São Luiz Gonzaga, RS.

Lances	Lâmina (mm)
Pivô 01 (Super Spray)	
1	4,65 a
2	4,47 a
3	4,47 a
4	3,92 a
5	4,15 a
6	3,97 a
7	3,60ab
8	2,66 b
9	4,50 a
Média	4,04
CV (%)	24,56
Pivô 02 (I-Wob)	
1	12,32cd
2	11,65 d
3	11,77 d
4	14,12ab
5	14,92 a
6	12,70cd
7	13,20bc
Média	12,95
CV (%)	8,74

Considerando a lâmina de água média obtida em cada lance do Pivô 01, verificou-se que em todos os lances a lâmina aplicada foi menor do que a programada (Tabela 2). No primeiro lance do Pivô 01 a lâmina medida (4,65 mm) foi a que mais se aproximou da lâmina programada, sendo que para o lance 8 (balanço), a lâmina aplicada foi praticamente a metade da programada (Tabela 3), o que pode reduzir a produtividade das culturas principalmente nesta área de abrangência do pivô central devido aos possíveis efeitos do déficit hídrico.

A mesma tendência obtida na Figura 1B para o Pivô 02 pode ser observada na Tabela 2, em que no balanço (lance 6) e no canhão final (lance 7) foram obtidos os valores mais próximos da lâmina de irrigação programada (13 mm). Além disso, houve maior e menor lâmina medida nos lances 4 e 5 e nos três primeiros lances, respectivamente. Isso pode estar relacionado a bocais com vazão diferente da considerada adequada em algum intervalo do pivô, emissores total ou parcialmente obstruídos ou danificados, vazamentos nos flanges, assim como reguladores de pressão danificados resultando em pressões diferentes das especificadas em projeto [19]. Por consequência, ao realizar a irrigação, parte da área é irrigada em excesso, enquanto que em outra fração ocorre déficit hídrico [20].

Durante a avaliação no Pivô 01, a temperatura do ar e a velocidade do vento variaram entre 27,3 e 28 °C e 2,5 e 13,6 km/h, enquanto na avaliação do Pivô 02 variaram entre

35,6 e 35,9 °C e 2,4 a 12,6 km/h, respectivamente (Tabela 3). A umidade relativa do ar medida foi de 35% no Pivô 01 e 25% no Pivô 02. Esses valores dos elementos meteorológicos indicam um ambiente com potencial evaporativo acentuado das gotas provenientes da irrigação. As variações dos valores de velocidade do vento indicam que houve alguns picos de vento durante a aplicação, o que pode ter influenciado na distribuição de água [4].

**Tabela 3.** Temperatura do ar (°C), velocidade do vento (km/h) mínima e máxima e umidade relativa do ar (%) medidas durante a irrigação realizada nas duas linhas de copos coletores no Pivô 01, equipado com aspersores do tipo Super Spray e no Pivô 02, equipado com aspersores do tipo I-Wob. São Luiz Gonzaga, RS.

Pivô Central	Linha coletores	Temperatura do ar (°C)	Velocidade do vento (km/h)		Umidade relativa do ar (%)
			Mínima	Máxima	
01 (Super Spray)	1	27,3	2,8	13,6	35
	2	28,0	2,5	11,8	35
02 (I-Wob)	1	35,6	2,8	10,4	25
	2	35,9	2,4	12,6	25

#### 4. Conclusão

O modelo de aspersor I-Wob foi o que apresentou maiores valores dos coeficientes de uniformidade, proporcionando melhor uniformidade de distribuição de água.

No Pivô equipado com aspersores Super Spray, a lâmina aplicada foi menor que a programada e a uniformidade de distribuição de água foi semelhante ao longo do pivô.

No Pivô equipado com aspersores I-Wob, a lâmina de água aplicada foi inferior à lâmina média nos primeiros lances do pivô, maior nos lances intermediários e próximo à lâmina programada na extremidade do pivô.

#### 6. Referências

[1] Agência Nacional de Águas. Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada. Brasília: ANA; 2017. 86 p. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgricaulturalIrrigada.pdf>>. Acesso em: 16 Jan. 2021.

[2] Manke, E.B., Faria, L.C., Pereira, M.G. Nörenberg, B.G., Caldeira, T.L., Oliveira, H.F. Identificação de áreas irrigadas por pivô central e linear móvel no estado do Rio Grande do Sul. Irriga, 2017; 22:343-352. <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n2p343-352>.

- [3] Testezlaf, R. Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações. 1. ed. Campinas: Unicamp/FEAGRI, 2017. 215p. Disponível em: <<https://www.feagri.unicamp.br/irrigacao/livros>>. Acesso em: 16 Jan. 2021.
- [4] Evangelista, W., Oliveira, C.A.S., Silva, C.L. Variáveis climáticas e o desempenho de um pivô central, em Cristalina Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2010; 14:246-252. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000300002>.
- [5] Jiao, J., Wang, Y., Han, L., Su, D. Comparison of Water Distribution Characteristics for Two Kinds of Sprinklers Used for Center Pivot Irrigation Systems. *Applied Sciences*, 2017; 7:1-17. <https://doi.org/10.3390/app7040421>.
- [6] Cai, D.Y., Yan, H.J., Li L.H. Effects of water application uniformity using a center pivot on winter wheat yield, water and nitrogen use efficiency in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020; 19: 2326–2339. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62877-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62877-7).
- [7] Mantovani, E.C., Montes, David R.P., Vieira, G.H.S., Ramos, M.M., Soares, A.A. Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em Cristalina-GO, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação. *Engenharia Agrícola*, 2012; 32;110-120. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000100012>.
- [8] Bernardo, S., Soares, A.A., Mantovani, E.C., Silva, D.D. Manual de irrigação. 9. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2019. 545 p.
- [9] Rodrigues, T.R.I., Batista, H.S., Carvalho, J.M., Gonçalves, A.O., Matsura, E.E. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2001; 5:187-191. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000200002>.
- [10] Nascimento, V.F., Feitosa, E.O., Soares, J.I. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. *Revista de Agricultura Neotropical*, 2017; 4;65-69. <http://dx.doi.org/10.32404/rean.v4i4.1643>.
- [11] Rezende, R., Frizzone, J.A., Gonçalves, A.C.A., Freitas, P.S.L. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 1998; 2;257-261. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v2n3p257-261>.
- [12] Kuinchtner, A., Buriol, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*, 2001; 2;171-182. <https://doi.org/10.37779/nt.v2i1.1136>.
- [13] Streck, E.V., Kämpf, N., Dalmolin, R.S.D., Klamt, E., Nascimento, P.C. do, Schneider, P., Giasson, E., Pinto, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.
- [14] Heinemann, A.B., Frizzone, J.A., Pinto, J.M., Filho, J.C.F. Influência da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema de pivô central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1998; 33:1487-1491. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/132264/influencia-da-altura-do-emissor-na-uniformidade-de-distribuicao-da-agua-de-um-sistema-pivo-central>>. Acesso em 16 Jan. 2021.

[15] Schons, R.L.; Robaina, A.D., Peiter, M.X. Caracterização e avaliação de áreas irrigadas no Rio Grande do Sul. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, 2014; 8;55-59. Disponível em: <<https://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-08-2014/volume-8-numero-1-marco-2014/tca8110.pdf>>. Acesso em: 16 Jan. 2021.

[16] Mendoza, C.J.C., Frizzone, J.A. Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. 2012; 6;184-197. <https://doi.org/10.7127/rbai.v6n300083>.

[17] Klar, A.E., Santana, R.C., Duroha, C. Evaluation center pivot systems using new and old sprays and pressure regulators. *Irriga*, 2001; 06;42-47. <https://doi.org/10.15809/irriga.2001v6n1p42-47>.

[18] Zolin, C.A., Coelho, R.D., Paulino, J., Folegatti, M.V. Economic viability of retrofitting emitters in center pivot irrigation systems. *Engenharia Agrícola*, 2012; 32;602-608. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000300019>.

[19] Sandri, D., Cortez, D.A. Parâmetros de desempenho de dezesseis equipamentos de irrigação por pivô central. *Ciência e Agrotecnologia*, 2009; 33(1):271-278. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000100037>.

[20] Lima, A.S., Zocoler, J.L. Uniformidade de distribuição e lâmina de água aplicada em sistema pivô central em função da posição relativa da linha lateral. *Revista Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, 2010; 3;27-32. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/download/630/804>>. Acesso em: 16 Jan. 2021.

## **Autores**

Mateus Possebon Bortoluzzi\*, Marcelo Herter Mattioni

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, 99052-900, Passo Fundo, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mateusbortoluzzi@upf.br](mailto:mateusbortoluzzi@upf.br)



---

## Gestão de recursos hídricos no Rio Grande do Sul, Brasil

André Panziera, Camila Tamiosso, Alexandre Swarowsky

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-7-6.c3>

### Resumo

A Lei Federal Brasileira nº 9.433 de 1997 e a Lei Estadual do Rio Grande do Sul nº 10.350 de 1994 fundamentaram a bacia hidrográfica como unidade básica de gestão dos recursos hídricos. Na bacia hidrográfica, a convergência dos instrumentos da gestão de recursos hídricos é o plano de gestão da bacia. Este norteia e media demandas múltiplas de outorga e enquadramento, prevê obtenção de recursos financeiros para programas e intervenções, e serve de base para priorização dos recursos da cobrança pelo uso da água. Os comitês de gerenciamento de bacia hidrográfica são posicionados como principais atores na totalidade da bacia, aprovadores de seu plano, administradores e articuladores de debates e conflitos. Embora a regulação legal dos recursos hídricos pareça ter os componentes necessários para a plena articulação das águas, no RS, existe uma lacuna entre gestão e execução. Isso porque, no Rio Grande do Sul, após 26 anos da promulgação da Lei 10.350 de 1994, nem 20% desta foi implantada. Financeiramente, graves têm sido os entraves com os recursos de manutenção nos Comitês de Bacia Hidrográficas. Assim, percebe-se que o desafio futuro é identificar as lacunas deixadas pela legislação e modernizar a lei. Se, por um lado, os órgãos estaduais hoje ainda possuem várias funções executivas (monitoramento de cheias, manutenção de viveiros de espécies nativas, etc.), por outro os comitês são capazes de perceber a realidade de suas bacias, bem como ações necessárias. Parece, sobretudo, ser preciso balancear mais adequadamente tais atividades.

**Palavras-chave:** Comitês de Bacia Hidrográfica, Gerenciamento de Recursos Hídricos, Leis Federais e Estaduais, Plano de Recursos Hídricos.

### 1. Introdução

O primeiro regulamento brasileiro a reconhecer a água como meio de fomento ao desenvolvimento social e econômico, foi o Decreto Federal nº 24.643 de 1934 que instituiu o Código das Águas. O objetivo inicial era harmonizar o uso das águas para fins de geração de energia elétrica e agricultura. Embora este Decreto tenha representado normas bastante avançadas para a época, o aumento da diversidade de usos dos recursos hídricos, ao longo do tempo, difundiu percepções e evidências de ineficiência da gestão dos mesmos. Diversos foram os conflitos pelos usos múltiplos entre os setores usuários, tanto pela preocupação ambiental, quanto pela escassez da água.

Foi na Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), que se atribuiu importante noção de compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade ambiental. Não obstante, objetivou-

se criar critérios, padrões e normas para manejo sustentável dos recursos naturais. Nesse sentido, a partir da década de 90, os recursos hídricos conceberam considerável avanço, com a instituição de marcos legais específicos tanto na esfera federal quanto na estadual [1]. Tais avanços promoveram na Constituição da República do Brasil de 1988, subsídios significativos para a gestão atual dos recursos hídricos no país. Isso porque, instaurou-se um novo sistema de gestão, baseado na condução descentralizada e participativa, no uso múltiplo da água, na bacia hidrográfica como unidade de planejamento e na água dotada de valor econômico [2]. A Carta Magna também estabeleceu como competência da União, instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e definir critérios de outorga de direitos de seu uso, assim como permitiu aos Estados e à União elaborar seus próprios sistemas de gestão de recursos hídricos [3].

Atualmente, as águas no Brasil e Estado do Rio Grande do Sul estão regulamentados por legislações específicas. No Brasil, a lei Federal nº 9.433 de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), ao passo que no Estado do Rio Grande do Sul, a lei Estadual nº 10.350 de 1994 criou o Sistema Estadual de Recursos Hídricos (SERH) [4, 5]. Ambas são destinadas ao gerenciamento dos recursos hídricos, via efetivação dos instrumentos previstos nas legislações citadas [6]. A água passou a ser entendida legalmente como um bem de valor econômico, que implica em locar equitativamente os mananciais disponíveis. No seu artigo 1º, inciso V, fundamentou a bacia hidrográfica como unidade prática da PNRH, seguindo a tendência mundial, mas facultou a aplicação de todos os seus instrumentos na mesma. O Rio Grande do Sul (RS), antecipou-se à PNRH com SERH, cuja política hídrica também reconhece a bacia hidrográfica como unidade de gestão, integrando nesta a articulação dos efeitos do ciclo hidrológico e suas derivações aérea, superficial e subterrânea.

A convergência dos instrumentos constituintes da lei de recursos hídricos nacional e estadual é o plano de bacia hidrográfica (PBH). Frente a PNRH e o SERH, percebe-se a importância do PBH em nortear e mediar as demandas múltiplas de outorga, conforme artigo 13º; obter recursos financeiros para programas e intervenções, conforme item III do artigo 19º; e, servir de base para priorização dos recursos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, quanto ao financiamento de estudos, projetos, programas e obras. Ainda, a práxis do PNRH e SERH, por região hidrográfica, posiciona os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) como atuante na totalidade da bacia, aprovador do PBH, administrador e articulador de debates e conflitos acerca dos recursos hídricos. Dessa forma, se valoriza peculiaridades e estratégias de desenvolvimento, inclusive contribuindo com diretrizes da gestão municipal [7, 8].

Este cenário inovador, concretiza a decisão de enfrentar, com um instrumento moderno, o desafio de equacionar: a) a demanda crescente de água, face ao crescimento urbano, industrial e agrícola; b) os potenciais conflitos ocasionados pelos usos múltiplos das águas; c) o avanço inquietante da degradação ambiental dos corpos hídricos [9]. Modernos princípios foram incorporados a gestão das águas gaúchas, os quais merecem destaque: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão; a outorga e a tarifação pelo uso das águas; e a reversão dos recursos arrecadados em benefício da própria bacia [10]. Porém, embora a regulação dos recursos hídricos pareça ter os componentes necessários a plena articulação das águas, no RS, está existindo uma lacuna entre gestão e execução. No Rio Grande do Sul, após 26 anos da criação do SERH nem 20% do SERH foi implantado. Nesse sentido, esse trabalho visa discutir a atual situação do sistema de recursos hídricos frente aos instrumentos de planejamento, gestão e estratégicos no Estado do RS, identificando e compreendendo os entraves para a gestão hídrica.

## **2. Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH)**

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) é composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Agência Nacional das Águas (ANA); Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal (CERH); Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) e Agências de Água. Trata-se do grupo de órgãos e colegiados que concebe e implementa a Política Nacional de Recursos Hídricos, de forma democrática e participativa. Os objetivos do SINGREH são coordenar a gestão integrada das águas, arbitrar administrativamente os conflitos relacionados aos recursos hídricos, planejar, regular e controlar o uso, bem como a recuperação dos corpos d'água, e promover a cobrança pelo uso da água.

### **2.1. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)**

O CNRH é o órgão superior do SINGREH, formado por Ministérios e Secretarias da Presidência da República com atuação no gerenciamento ou no uso de recursos hídricos, assim como por representantes dos Conselhos Estaduais, dos usuários e da sociedade civil. As principais competências CNRH acerca dos PBH são: I) promover articulação do planejamento de recursos hídricos em esfera nacional, regionais, estaduais e setores usuários; II) deliberar sobre projetos de aproveitamento de recursos hídricos, cujas repercussões extrapolem o âmbito dos Estados em que serão implantados; III) estabelecer diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; IV) aprovar propostas de instituição dos Comitês de Bacias Hidrográficas de rios de domínio da União e estabelecer critérios gerais para a elaboração de seus regimentos; V) aprovar e acompanhar a execução do Plano Nacional de Recursos Hídricos e determinar as providências necessárias ao cumprimento de suas metas; VI) aprovar os valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos de domínio da União sugeridos pelos comitês de bacia hidrográfica; VII) definir, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, as prioridades de aplicação dos recursos; VIII) aprovar o enquadramento dos corpos de água em classes, em consonância com as diretrizes do CONAMA e de acordo com a classificação estabelecida na legislação ambiental; IX) autorizar a criação das Agências de Água [4]

### **2.2. Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal**

Os CERH setORIZAM-se por Estados no Brasil, isto é, norte, nordeste, sudeste, sul e centro-oeste. Tratam-se de colegiados que são compostos, na sua maioria, por representantes dos poderes públicos, dos usuários de água e da sociedade civil. Têm atribuições similares ao CNRH, mas em escala estadual. Estas podem ser separadas em três partes: I) deliberar e acompanhar a execução do plano estadual de recursos hídricos; II) promover a articulação das políticas setoriais relacionadas à água; III) arbitrar conflitos pelo uso da água de domínio estadual [11]. Estima-se que, atualmente, aproximadamente 9.800 profissionais – representantes dos segmentos do poder público, setores usuários e sociedade civil – estejam diretamente envolvidos com as atividades dessas instâncias de gestão descentralizada e participativa [12].

### **2.3. Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH)**

Os Comitês de Bacia Hidrográfica, denominados “Parlamentos das Águas”, são órgãos colegiados que constituem um fórum para o debate e tomada de decisões sobre o destino das águas na bacia de sua jurisdição. Dentre as atribuições dos Comitês, no âmbito de sua área de atuação, referentes aos PBH, destacam-se: I) promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos; II) arbitrar, em

primeira instância administrativa, os conflitos relacionados a água; III) aprovar e acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia, assim como sugerir providências necessárias ao cumprimento de suas metas; IV) propor ao respectivo Conselho de Recursos Hídricos os usos de pouca expressão, para efeito de isenção da outorga, e conseqüentemente, da cobrança; V) sugerir mecanismos de cobrança pelo uso da água e valores a serem cobrados; e VI) aprovar o plano de aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança. Os CBH são constituídos por representantes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios situados em sua área de atuação, dos usuários da água e de entidades civis com área de atuação situada dentro da bacia.

## 2.4 Agência de Bacia Hidrográfica

A PNRH define que a criação da Agência de Bacia Hidrográfica deve estar condicionada a dois requisitos, a saber: a prévia existência do Comitê ou Comitês de Bacia Hidrográfica e a viabilidade financeira assegurada pela cobrança do uso dos recursos hídricos em sua área de atuação. As Agências de Bacia Hidrográfica visam exercer a função de secretaria do respectivo ou respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica (quando a agência abranger mais de um comitê). Usualmente denominado “braço técnico” do CBH, tem atuação nos aspectos administrativos e financeiros e às atividades de articulação no âmbito de um modelo de gestão sistêmica e compartilhada dos recursos hídricos [13].

Dentre suas principais competências, na esfera de sua área de atuação, estão[4]:

- I. Efetuar, mediante delegação do outorgante, a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- II. Analisar e emitir pareceres sobre os projetos e obras a serem financiados com recursos gerados pela cobrança e encaminhá-los à instituição financeira responsável pela administração desses recursos;
- III. Acompanhar a administração financeira dos recursos arrecadados com a cobrança em sua área de atuação;
- IV. Elaborar o Plano de Recursos Hídricos para apreciação do respectivo CBH;
- V. Propor ao respectivo CBH:
  - a. O enquadramento dos corpos de água nas classes de uso, para encaminhar ao respectivo Conselho Nacional ou Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, de acordo com o domínio destes;
  - b. Os valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos;
  - c. Plano de aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança; e
  - d. Rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.

## 3. Sistema de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul

O Artigo nº 171 da Constituição Estadual de 1989 instituiu o Sistema Estadual de Recursos Hídricos (SERH). A Lei Estadual 10.350 de 1994 regulamentou este artigo da Constituição. No Rio Grande do Sul (RS), a política de recursos hídricos também reconhece a bacia hidrográfica como unidade de gestão. O Estado antecipou-se à PNRH, com a Lei Estadual nº 10.350 de 30 de dezembro de 1994, regulamentando o artigo 171º da Constituição do RS [5]. Esta instituiu o Sistema Estadual de Recursos Hídricos (SERH). No parágrafo único de seu artigo 1º, os recursos hídricos são integrados no ciclo hidrológico, englobando a derivação aérea, superficial e subterrânea, sendo a bacia hidrográfica a unidade básica de articulação.

Cada bacia hidrográfica do Estado é passível de gerenciamento de um comitê, entidade administrativa e deliberativa de gestão descentralizada, integrada envolvendo

a participação dos setores da sociedade. Em seu Artigo 10º criou-se na Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMA), o Departamento de Recursos Hídricos (DRH). No artigo 38º fixou-se as três regiões hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul. O Decreto nº 53.885 de 18 janeiro de 2017 [14], oficializou as 25 bacias atuais (Tabela 1).

**Tabela 1.** Divisão de bacias, respectivos códigos e áreas entre as regiões hidrográficas do Uruguai, Guaíba e Litoral.

<b>Região Hidrográfica</b>	<b>Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH)</b>	<b>Código da Bacia</b>	<b>Decreto Estadual de Criação</b>	<b>Área da Bacia (km<sup>2</sup>)</b>
Uruguai	Apuaê - Inhandava	U010	41.490/2002	14.510,51
	Passo Fundo	U020	42.961/2004	4.847,25
	Turvo - Sta. Rosa – St. Cristo	U030	41.325/2002	10.824,02
	Piratinim	U040	44.270/2006	7.647,26
	Ibicuí	U050	40.226/2000	35.041,38
	Quaraí	U060	45.606/2008	6.658,78
	Santa Maria	U070	35.103/1994	15.665,92
	Negro	U080	45.531/2008	3.005,24
	Ijuí	U090	40.916/2001	10.704,60
	Várzea	U100	43.488/2004	9.508,42
	Butuí-Camaquã	U110	44.401/2006	8.025,76
	Total	-	-	126.439,14
Guaíba	Gravataí	G010	33.125/1989	2.008,93
	Sinos	G020	32.774/1988	3.680,04
	Caí	G030	38.903/1998	4.957,74
	Taquari-Antas	G040	38.558/1998	26.323,76
	Alto Jacuí	G050	40.822/2001	13.037,20
	Vacacaí – Vacacaí Mirim	G060	39.639/1999	11.085,77
	Baixo Jacuí	G070	40.225/2000	17.370,48
	Lago Guaíba	G080	38.989/1998	2.459,91
	Pardo	G090	39.116/1998	3.631,24
		Total	-	-
Litoral	Tramandaí	L010	39.637/1999	2.745,73

Litoral Médio	L020	45.460/2008	6.472,10
Camaquã	L030	39.638/1999	21.517,58
Mirim - São Gonçalo	L040	44.327/2006	25.666,83
Mampituba	L050	49.834/2012	683,76
Total	-	-	57.085,98
Total das 25 bacias hidrográficas	-	-	268.080,19

Fonte: [14, 15].

Os elementos incorporados para a gestão das águas no Estado são a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão; outorga e cobrança pelo uso das águas; reversão dos recursos arrecadados em benefício da própria bacia. Para prover a descentralização e participação, fez-se uma matriz institucional (Figura 1) com distintos atores sociais: Conselho de Recursos Hídricos (CRH), Departamento de Recursos Hídricos (DRH), Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas (CBH), Agências de Região Hidrográfica (ARH) e Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM).

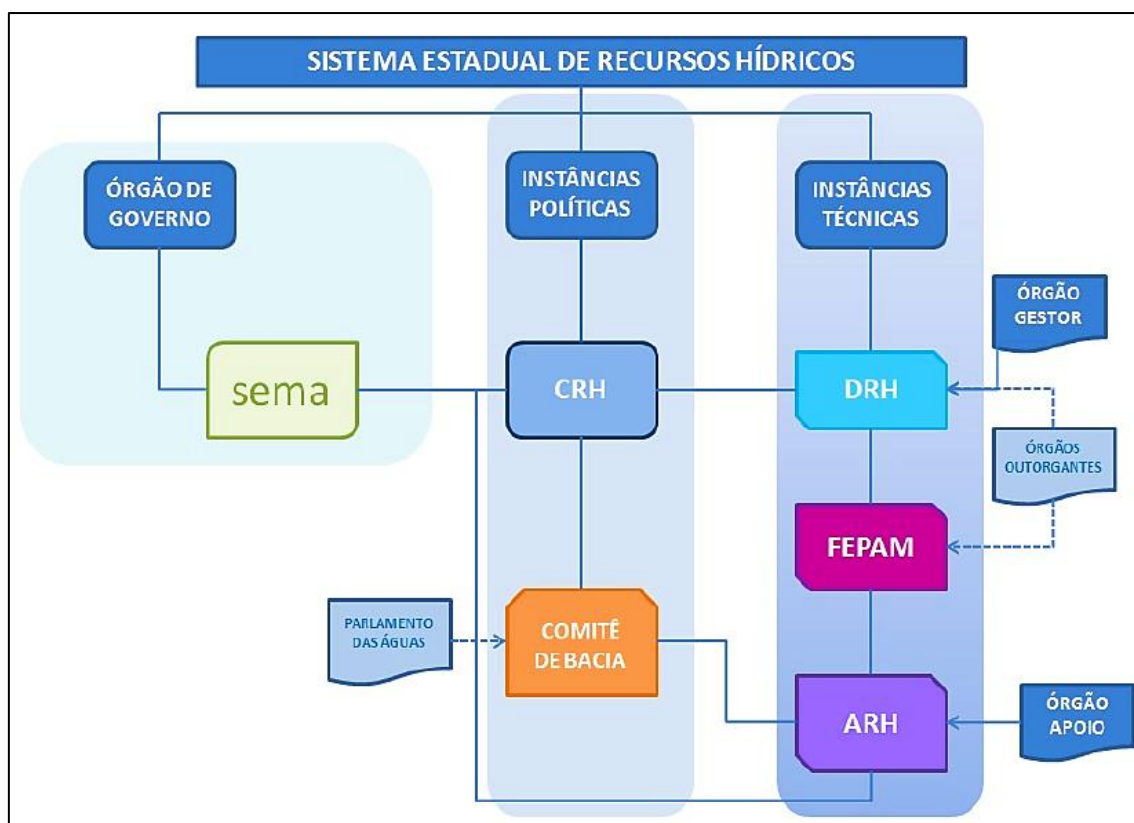


Figura 1. Matriz Institucional do SERH. Fonte: [16].

Verifica-se, na figura acima, que o CBH é considerado o parlamento das águas, isto é, o ambiente de base de debate e decisão acerca dos recursos hídricos. Os CBH, por isso, têm funções deliberativas, com poderes para decidir sobre aspectos da Política de Recursos Hídricos, administrar conflitos, sendo o CRH a sua instância superior e, tendo este, o dever de legalizar decisões oficializadas no comitê [17], caso não haja

resolução na instância regional. Na matriz institucional, o CBH, para fins de análise técnica, receberia suporte da primeira instância do órgão de apoio técnico, que é ARH. Mas, atualmente inexistente no Estado a ARH. O SERH/RS destaca a composição dos comitês sob sua jurisdição, da seguinte forma: 40% de votos para representantes dos usuários da água; 40% para população da bacia; e 20% para os órgãos Federais e Estaduais atuantes na região e que estejam relacionados com os recursos hídricos.

A instância superior à ARH é a FEPAM, mas este órgão é também muito importante na diversidade de processos de licenciamento no Estado. Esta entidade, é responsável por operacionalizar a outorga pelo uso da água para diluição de efluentes, determinação do enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, como também a vazão ecológica [18]. Sobretudo, a FEPAM é especialmente voltada para regulamentar atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos naturais. Porém, é importante diferenciar que outorga para captação direta ou para armazenamento hídrico é atribuição do DRH/RS.

Nesse sentido, muito do apoio técnico aos CBH acaba vindo do DRH, também decorrente de sua natureza no sistema. Este órgão tem competência de assistir tecnicamente e propor critérios para outorga ao CRH; expedir as respectivas autorizações de uso da água; regulamentar a operação e uso dos equipamentos e mecanismos de gestão de recursos hídricos [17]. Reitera-se que o DRH tem atuado diretamente na elaboração de alguns planos de bacia no Estado.

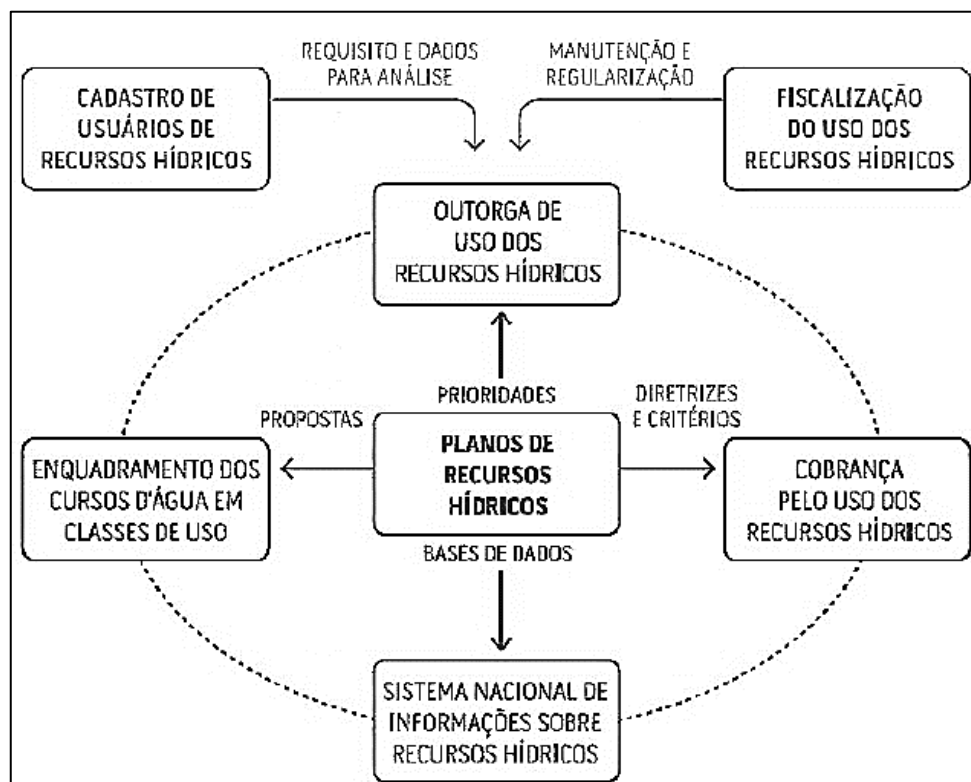
O Estado do Rio Grande do Sul já finalizou o seu Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH/RS), instituído por meio da Resolução do CRH/RS nº 141 de 21 março de 2014. Importante destacar, que o referido Plano ainda se encontra em forma de minuta de lei na assembleia do estado, e que para ser válido é necessário que o mesmo seja aprovado por algum decreto ou lei.

O PERH/RS é o instrumento de planejamento estratégico da Política Estadual de Recursos Hídricos, que estabelece diretrizes gerais sobre o uso dos recursos hídricos no Estado, com intuito de promover a harmonização e adequação de políticas públicas na busca do equilíbrio entre a oferta e a demanda de água, por meio do uso racional, de forma a assegurar a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade, garantindo o uso sustentável [19].

#### **4. Instrumentos das Políticas de Recursos Hídricos**

No artigo 5º da PNRH, são expostos os seus instrumentos, que também são os mesmos no SERH/RS os quais são os seguintes: I) os Planos de Recursos Hídricos; II) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; III) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; IV) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; V) o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Os instrumentos de gestão visam alcançar diferentes fins, na maioria das vezes difusos e cíclicos. Nisso tem-se, por exemplo, o disciplinamento, incentivo, apoio a informação.

Dentre os instrumentos mencionados acima, o Plano de Bacia é o que permite integrar e articular os demais instrumentos da política de recursos hídricos, além de orientar as ações de gestão integrada e compartilhada dos usos multissetoriais dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos [20]. A Figura 2 apresenta os instrumentos estabelecidos pela PNRH e a relação existente entre os mesmos, tendo o Plano de Recursos Hídricos como elemento integrador.



**Figura 2.** Relação entre os instrumentos da PNRH. Fonte: [21].

Os artigos 26º, 27º e 28º da Lei Estadual nº 10.350 de 1994 tratam especificamente dos planos de bacia hidrográfica. Segundo o artigo 26º, o PBH visa operacionalizar, no âmbito de cada bacia hidrográfica, por um período de 4 anos, com atualizações periódicas a cada 2 anos, as disposições do Plano Estadual de Recursos Hídricos, compatibilizando os aspectos quantitativos e qualitativos, de modo a assegurar que as metas e usos previstos pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos sejam alcançados simultaneamente com melhorias sensíveis e contínuas dos aspectos qualitativos dos corpos de água.

No artigo 27º, tem-se os elementos constitutivos dos Planos de Bacia Hidrográfica: I) Objetivos de qualidade a serem alcançados em horizontes de planejamento não inferiores ao estabelecido no Plano Estadual de Recursos Hídricos; II) Programas das intervenções estruturais e não-estruturais e sua especialização; III) Esquemas de financiamento dos programas a que se refere o inciso anterior. Neste último, tais planejamentos podem ocorrer por determinação dos valores cobrados pelo uso da água; rateio dos investimentos de interesse comum; previsão dos recursos complementares alocados pelos orçamentos públicos e privados na bacia. Por fim, no artigo 28º, os PBHs serão elaborados por Agências de Região Hidrográfica (ARH), bem como aprovados pelos respectivos Comitês Bacia Hidrográfica (CBH).

Os dois primeiros instrumentos indicados pela PNRH, plano de recursos hídricos e enquadramento, visam construir consensos na bacia hidrográfica [22, 23]. Estes ampliam possibilidades de planejamento tradicional, abrindo espaços para inserção da sociedade civil, agentes econômicos com interesses particulares, na tentativa de construir consensos. O instrumento cobrança é o aditivo econômico para a gestão das águas. Estes são descentralizados e visam valorizar economicamente a água, segundo a sua escassez. Percebe-se que, pela dificuldade de aplicação da cobrança pelo uso da água, este instrumento é ainda amplamente considerado, pelos usuários-pagadores, um artifício meramente arrecadatório [24].



No Estado do Rio Grande do Sul, o sistema de planejamento do uso dos recursos hídricos (enquadramento, outorga, cobrança, etc), depois de aprovados pelo Conselho de Recursos Hídricos do Estado, as propostas ou critérios devem ser aprovados pelo CNRH, para então, estas deliberações se tornarem leis.

#### **4.1. Planos de Recursos Hídricos**

Os planos de recursos hídricos são planos diretores com a finalidade de fundamentar e orientar a implementação da política de recursos hídricos e seu gerenciamento. Pode-se conceituar plano como sendo: “instrumentos de planejamento que servem para orientar a sociedade e, mais particularmente, a atuação dos gestores, no que diz respeito ao uso, recuperação, proteção, conservação e desenvolvimento dos recursos hídricos” [20].

Esses instrumentos destacam-se dentre os dispositivos de gestão das águas, como documentos em que os setores usuários podem reivindicar e negociar acerca de questões atuais e planos futuros de utilização da água. Este é o momento onde os usuários podem exercer sua influência no sistema por meio da representação e representatividade efetivadas através dos Comitês de bacia, para que com a ativa participação, haja um maior poder de negociação [9, 17].

#### **4.2. Enquadramento dos corpos de água em classes**

As classes ou padrões de qualidade dos corpos hídricos em vigência no Brasil são determinadas pela Resolução nº 357 de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Esta define o enquadramento como sendo uma meta de qualidade (classe) a ser alcançada ou mantida em um segmento de corpo de água, conforme os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo [25]. Atualmente, existem outras regulamentações em vigor acerca do enquadramento, a saber: Resolução CONAMA nº 396/2008, que estabelece o enquadramento das águas subterrâneas; Resolução CNRH nº 91/2008, que estabelece os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos; Resolução CNRH nº 141/2012, que estabelece critérios e diretrizes para implementação dos instrumentos de outorga e de enquadramento em rios intermitentes e efêmeros.

No âmbito do Plano de bacia, o processo de elaboração da proposta de enquadramento deve ter ampla participação da comunidade da bacia, por meio da realização de consultas públicas, encontros técnicos e oficinas de trabalho, discutidas e pactuadas no Comitê de bacia [26].

Na prática, para estabelecer um objetivo de qualidade da água é preciso - avaliar a condição atual do rio, ou seja: “o rio que temos”; discutir com a população da bacia, a condição de qualidade desejada para aquele rio, “o rio que queremos”; e, por fim, discutir e pactuar a meta com os diferentes atores da bacia hidrográfica, “o rio que podemos ter”, levando em conta as limitações técnicas e econômicas para o seu alcance [20].

Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, o Conselho Nacional e os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos devem determinar as normas e procedimentos do enquadramento. No Estado do RS, por exemplo, cabe aos Comitês de Bacia Hidrográfica propor ao órgão competente o enquadramento, sendo de competência das Agências de Região Hidrográfica subsidiar tecnicamente os Comitês [5].

De acordo com um levantamento realizado nas Resoluções do CRH no Estado do Rio Grande do Sul, no ano de 2016, existiam treze (aproximadamente 50%) bacias de domínio Estadual com o instrumento enquadramento implantado [26].

Importante destacar a realização de alguns avanços na legislação desde o ano de 1999, tal como a ampliação do número de bacias com a implementação desse instrumento. No entanto, na prática ainda são observadas algumas dificuldades técnicas e operacionais para a sua aplicação [27, 28].

### **4.3. Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos**

A outorga é o ato administrativo no qual o poder público outorgante, podendo este ser a União, estado ou Distrito Federal, faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso de recursos hídricos, por prazo determinado, nas condições expressas no respectivo ato [29].

No Brasil, a outorga é um instrumento indispensável para a gestão dos recursos hídricos, pois possibilita aos gestores, o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, ao mesmo tempo que garante o usuário o aproveitamento de água em local determinado do manancial hídrico, no qual a vazão, o tipo e o tempo de uso devem ser previamente definidos [30].

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é indispensável para obtenção de licenciamento de diversas atividades junto aos órgãos ambientais, assim como para obtenção de financiamentos junto a instituições financeiras públicas e privadas [31].

A maioria dos conflitos pelo uso da água decorre da falta de planejamento dos recursos hídricos, a qual está intimamente ligada à inexistência de informações que associem as vazões já outorgadas com a disponibilidade hídrica". Assim, o conhecimento da distribuição espacial dos usos da água na bacia hidrográfica torna-se indispensável para a condução de uma adequada gestão de recursos hídricos. [32, 33].

No que tange aos critérios para análise dos pedidos de outorga, esses, utilizam diferentes vazões mínimas de referência, assim como percentuais considerados outorgáveis. A determinação desse percentual deve ser realizada em função da possibilidade de atendimento aos diversos usos da água na bacia e das vazões mínimas remanescentes que se deseja manter nos cursos de água. [20,33].

Como critério de outorga para águas superficiais, a União adota a vazão correspondente a 70% da  $Q_{95}$ , podendo essa vazão ser adaptada para cada Estado, e variar em função das peculiaridades de cada região. Para o Estado do RS, é utilizado o percentual máximo outorgável de 50% da  $Q_{90}$  definido no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH/RS) [30]. Para as bacias hidrográficas do Estado que ainda não possuem seus planos de recursos hídricos, deve ser considerado o critério de outorga vigente estabelecido no PERH/RS, no entanto esses valores devem ser definidos no âmbito do comitê, no processo de elaboração do respectivo plano, considerando as peculiaridades da região.

Cabe aqui destacar, a importância de serem repassados os volumes de água utilizados pelos usuários, ao poder público outorgante (federal ou estadual), mesmo nos casos onde não existe a obrigatoriedade da outorga. Essas informações servem para compor o cadastro de usuários, a partir do qual, é possível conhecer a real demanda pelo uso da água, fundamental para a efetiva gestão e planejamento do uso dos recursos hídricos.

Na esfera Federal, a ANA é responsável por manter um Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos - CNARH (atualmente existe uma nova versão desse sistema, denominado Sistema Federal de Regulação de Uso – REGLA) contendo os registros dos usuários de recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) que captam água, lançam efluentes ou realizam demais interferências diretas em corpos de água.

Da mesma forma, o Estado do Rio Grande do Sul tem avançado em um cadastro de usuários da água, denominado Sistema de Outorga de água - SIOUT/RS. O intuito é aperfeiçoar o gerenciamento das concessões inerentes às outorgas. O DRHS/RS é o responsável pela emissão das outorgas para os usos que alterem as condições quantitativas das águas.

#### **4.4. Cobrança pelo uso de recursos hídricos**

A PNRH, instituída pela “Lei das Águas”, foi inspirada na experiência francesa de gestão e tem a Cobrança pelo uso das águas dentre suas maiores inovações institucionais. A cobrança pelo uso de recursos hídricos não é considerada um imposto, mas um preço público, onde seus mecanismos e valores são negociados por meio de debates públicos no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica [13]. Para que a implementação da cobrança tenha sucesso, é fundamental que haja integração com os demais instrumentos de gestão das águas, principalmente com a outorga de direito de uso, uma vez que a Lei nº 9.433/97 estabelece que os usos de recursos hídricos a serem cobrados são aqueles sujeitos à outorga.

É por meio da cobrança pelo uso da água que se materializa o reconhecimento da água como um bem econômico e dotado de um valor de uso e de troca. Esse instrumento atua como um elemento indutor da gestão participativa, descentralizada e integrada por todos interessados, uma vez que estão entre as atribuições dos integrantes do comitê de bacia, a discussão dos níveis de preço, o modo de implementação e as necessárias alterações de rumo, quando a cobrança estiver sendo aplicada [34].

A Lei das Águas estabelece, em seu artigo 19, que a cobrança pelo uso da água tem como objetivos: reconhecer a água como bem econômico; incentivar a racionalização do seu uso; e obter recursos para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. Essas finalidades foram fortalecidas com a instituição da Resolução nº 48/2005 do CNRH, posto que, estabeleceu critérios mais abrangentes para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, uma vez que a Lei 9.433/97 determina critérios gerais para os valores a serem cobrados nas derivações, captações e extrações de água e para lançamento de esgotos e demais resíduos.

No tocante aos valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos, a Lei nº 9.433/97 determina que serão aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados e serão utilizados tanto nos programas de ações e projetos incluídos nos Planos de Recursos Hídricos, como para o pagamento de despesas de implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do SINGREH, contudo, a aplicação dessas despesas é limitada a 7,5 % (sete e meio por cento) do total arrecadado [4].

No Estado do Rio Grande do Sul, a Lei nº 10.350/94, estabelece que os recursos provenientes da cobrança pelo uso da água serão destinados a aplicações exclusivas e não transferíveis na gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica de origem, corroborando com a legislação Federal, e esclarecendo com mais detalhes, conforme descrito no seu artigo 32: I - A cobrança de valores está vinculada à existência de

intervenções estruturais e não estruturais aprovadas para a respectiva bacia, sendo vedada a formação de fundos sem que sua aplicação esteja assegurada e destinada no Plano de Bacia Hidrográfica; II - até 8% (oito por cento) dos recursos arrecadados em cada bacia poderão ser destinados ao custeio dos respectivos Comitê e Agência de Região Hidrográfica; III - até 2% (dois por cento) dos recursos arrecadados em cada bacia poderão ser destinados ao custeio das atividades de monitoramento e fiscalização do órgão ambiental do Estado desenvolvidas na respectiva bacia [5].

Atualmente, no cenário nacional, a cobrança pelo uso de recursos hídricos já se faz presente em seis bacias hidrográficas de rios de domínio da União, quais sejam: Bacia do Rio Paraíba do Sul, Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, Bacia do Rio São Francisco, Bacia do Rio Doce, Bacia do Rio Paranaíba e Bacia do Rio Verde Grande. Na esfera dos Estados, embora a cobrança esteja prevista em todas as políticas, poucos possuem esse instrumento em operação [35].

A primeira experiência estadual de implantação da cobrança pelo uso de recursos hídricos, ocorreu no Estado do Ceará. Além deste, em rios de domínio dos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Paraíba esse instrumento também já se encontra em execução [35].

Embora a cobrança pelo uso da água ainda não tenha sido implementada no Rio Grande do Sul, o Estado vem avançando para a efetiva gestão e racionalização dos usos da água. Um exemplo disso é o que vem ocorrendo na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, onde no final do ano de 2018, o Comitê da Bacia encaminhou as últimas medidas para implementação da cobrança pelo uso de suas águas.

A referida bacia, será cenário de um projeto-piloto para efetivação desse instrumento no Estado, que já possui a cobrança aprovada na legislação há mais de 24 anos e até os dias atuais não a efetivou. Assim, será o primeiro modelo de cobrança implementado no Estado [36]. Paralelo a esse projeto, o DRHS enviou propostas de valores ao CRH/RS, nesse caso, o objetivo é que se venha a estabelecer valores referenciais mínimos para todo o Estado. A discussão, por enquanto, não tem ligação com o Rio Gravataí, que é o projeto-piloto, mas tem o objetivo de encaminhar a questão da cobrança pelo uso da água no restante das bacias hidrográficas gaúchas [36].

#### **4.5. Sistema de informações sobre recursos hídricos**

Os sistemas de informações sobre recursos hídricos são instrumentos de disponibilização de dados e acesso informacional pela população geral, democraticamente [37]. Trata-se de um mecanismo para difundir gratuitamente o conhecimento em todo o Brasil sobre os recursos hídricos. Em nível federal, tem-se o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que foi implementado e é operacionalizado pela ANA. Este sistema reúne diversas informações temáticas e é composto por subsistemas que permitem visualizar e realizar download de dados para fins de processamentos, cruzamentos e demais manipulações com vistas a realização de análises [9]. Dentre os principais materiais e ferramentas atualmente disponibilizadas pelo SNIRH, tem-se as seguintes: a) Relatório de conjuntura dos Recursos Hídricos; b) Mapas interativos; c) Painel de indicadores; d) Descarregamento de metadados geoespaciais; e) Acesso a subsistemas, como Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb), Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR), Sistema Federal de Regulação de Usos (REGLA); f) Monitoramento de recursos hídricos por aplicativo; g) Portal de dados abertos.

Já no RS, o Sistema Estadual de Informações sobre os Recursos Hídricos (SEIRH) não é considerado um instrumento, mas uma condição estratégica para efetivar os demais instrumentos do SERH [38]. O SEIRH é considerado instrumento apenas na PNRH, mas que sem tal ferramenta no âmbito do SERH, não funcionaria nada da gestão das águas, devido a falta de informações ordenadas sobre recursos hídricos. Assim, em nível estadual, os órgãos gestores tem mantido seus sistemas de informação, porém geralmente em níveis menores de quantidade e qualidade das informações em comparação com o SNIRH/ANA. Reitera-se que a divulgação de informações deve ajudar a consolidar um processo de construção de um olhar crítico sobre a realidade ambiental das águas das bacias hidrográfica, mas também de seus aspectos sociais, econômicos e culturais [6].

## **5. Desafios e entraves do SERH em relação à PNRH**

Apesar do SERH/RS ter se antecipado três anos quanto a promulgação do PNRH, o sistema tem encontrado dificuldades em avançar no preconizado em sua estrutura, mesmo sendo muito semelhante a lei nacional. O principal desafio do SERH se encontra na dificuldade de suas entidades se colocarem no caminho do crescimento socioeconômico, no sentido de mostrar sua importância para tais setores, com interesses diferenciados sobre recursos hídricos [6]. Estes não conseguem compreender a importância que a gestão das águas representa para eles mesmos e para o funcionamento da sociedade e da necessidade eminente de se promover a preservação do meio natural [39]. Tal complexidade se reflete na dificuldade do Estado em promover, implementar e consolidar o enquadramento e cobrança pelo uso da água, bem como instaurar as Agências de Região Hidrográfica e administrar conflitos dos usos múltiplos. Não obstante, o reflexo se estende para a morosa execução, no território das bacias hidrográficas, das ações propostas nos PBHs. Após 26 anos da promulgação da Lei nº 10.350 de 1994, das 25 bacias hidrográficas no Estado do Rio Grande do Sul, somente 8 possuem PBHs em fase C, isto é, apenas 32% atingiram o estágio de formulação de programas e ações [38]. Diante do exposto, a seguir, serão apresentadas considerações que explicam esses entraves.

### **5.1. O precário suporte aos Comitês de Bacia Hidrográfica do RS**

No Art. 12º, da Lei nº 10.350 de 1994, os CBH's ficaram incumbidos da coordenação programática das atividades dos agentes públicos e privados, relativos a água, compatibilizando na sua respectiva bacia hidrográfica, metas do PERH com a crescente melhoria da qualidade dos corpos de água. No Art. 4º, a segunda diretriz é nítida ao expressar o compromisso de apoio técnico por parte do Estado para as ARH's, que contribuiriam tecnicamente nas vias econômica e ambiental para os CBH's de cada região. Assim, compilando os demais princípios legais, o sistema de funcionamento dos comitês está baseado no tripé descentralização, participação e integração, cuja ênfase é quanto a qualidade e quantidade das águas, via ações promotoras de usos múltiplos na bacia hidrográfica. Este é um processo ainda em consolidação, estando a prioridade dos organismos de bacia centrada na criação dos instrumentos necessários para a gestão [40].

A criação dos instrumentos, que os autores acima se reportam, tem estado dependente de outras entidades, pois os CBH não possuem o suporte de uma ARH, que seria atribuição do Estado criar. Isso tem gerado e mantido uma dicotomia entre gestão e execução de instrumentos por parte dos CBH's. A larga competência incumbida aos CBH's, expressa no Art. 12º do SERH, somados a uma holística participação social, torna branda a atuação a capacidade técnica para aprofundar-se em seus instrumentos, na medida em que os problemas a serem atacados tornam-se

mais complexos. O problema, nesse caso, recai na capacitação de membros do CBH's.

O não cumprimento da diretriz de criação de ARH's pelo Estado, tem sido parcialmente suprido pelo Programa Nacional de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas – Procomitês, instituído pela Resolução ANA nº 1.190 de 2016, criado para promover o aprimoramento dos comitês de bacia hidrográfica dos estados e do Distrito Federal [21]. O programa integra iniciativas os programas Progestão e o Qualiágua, que apoia financeiramente entidades constituintes do SINGREH, desde que se cumpra metas pactuadas e contratadas, consentidas pelos CERH.

Apesar de ser um programa recente, amplamente difundido e benéfico financeiramente aos CBH's, este não consegue ser um denominador comum entre gestão e execução, principalmente quanto ao apoio técnico, essencial aos Comitês. Isso se percebe pelos mecanismos diminuidores dessa lacuna, em alguns CBH's do RS, como convênios e concessões técnicas com entidades não pertencentes ao SINGREH e SERH, como universidades, institutos de tecnologia e empresas privadas. São tentativas, de diferentes formas e escalas, de obter o suporte técnico que falta, mas que é previsto em lei. Seria este que cumpriria a compatibilização das metas do PERH, com a incumbência do CBH em coordenar atividades públicas e privadas na bacia hidrográfica. Logo, a maioria do CBH's não encontra um suporte local para dirimir demandas técnicas de sua bacia, por meio de projetos e outras formas de trabalho.

## **5.2. Falta de sinergia dos órgãos do SERH acerca dos instrumentos**

Para existir uma sinergia do SERH ao desenvolvimento socioeconômico, há a necessidade de implementação dos sistemas de informações, vinda de vários órgãos ligados ao SERH (DRH, CRH, SEMA, FEPAM, CBH etc.), porque falta uma base de dados e um instrumento que pudesse agilizar e automatizar as decisões referentes as águas [41]. A estrutura geral destes sistemas de informações sobre recursos hídricos é composta de subsistemas integrados e interdependentes: Regulação de Uso; Planejamento e Gestão; Quali-quantitativo; inteligências hídricas; inteligência documental e inteligência geográfica. Esta estrutura geral criada pela ANA (responsável por implementar o SNIRH) contempla as características que a legislação de recursos hídricos nacional determina para a constituição do SNIRH [8].

Observa-se a amplitude estrutural do SNIRH, que foi replicada ao SERH para uso, chamado Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos (SEIRH). No RS, este não é um instrumento, mas sim uma condição estratégica para efetivar os mesmos [39], via base de dados consistente e atualizada, com acesso as informações de cada bacia hidrográfica. Claramente, para atender cada parte dessa estrutura e prover precisas informações para aplicação de todos os instrumentos promulgados em lei, os órgãos gestores devem possuir um corpo técnico especializado. Não obstante, na medida em que o SEIRH ainda não foi implantado integralmente, vem sendo atualmente responsabilidade do DRH sua efetivação, decorrente da natureza da entidade no sistema, bem como porque este órgão tem atuado diretamente na elaboração de alguns planos de bacia do SERH. As ARH seriam responsáveis pelo gerenciamento do SEIRH, mas, não estando criadas ainda, a responsabilidade fica a cargo do DRH [8].

Diante do exposto, na medida em que carece a criação da ARH, no contexto descentralizado em que se insere a Política de Recursos Hídricos, a implementação de PBH e SEIRH pode ser potencializada pela participação efetiva dos CBH no acompanhamento do mesmo. Nota-se que os CBH, integrante do SERH, não

conseguem atuar ativamente na análise ou tomada decisão para isso. Ao passo que os outros órgãos pertencentes ao SERH, atualmente, possuem várias funções executivas (monitoramento de chuvas, cheias, manutenção de viveiros de espécies nativas, etc.), o CBH consegue expressar melhor a realidade local de gestão e dados. Por outro lado, os Comitês necessitam de capacidade de articulação política para manter as demandas do Plano na agenda do governo, dos setores usuários e da comunidade [11].

### **5.3. Diferenças na celeridade de implantação dos instrumentos**

Os instrumentos de gestão de recursos hídricos apresentam uma forte dependência entre si e apresentam-se em diferentes estágios de implementação nas bacias hidrográficas brasileiras. No RS, dos diversos instrumentos existentes, o PERH é o documento norteador para todos, nas distintas escalas. Observa-se que a construção do PERH levou 7 anos para estar oficialmente concluída, cuja fase inicial foi em 2007 e a Resolução CRH n° 141 somente foi sancionada em 2014. Durante este processo, o estado natural de planejamento, corriqueiro nas bacias de dentro do Estado do RS, visou acompanhar o prescrito na Lei que originou o PERH.

O referido processo de planejamento é usualmente arquitetado e compilado no PBH, dividido em fases A, B e C. A fase A situa, via diagnóstico e prognóstico, a qualidade, quantidade, usos e demandas da água. Complementa-se essa fase com as seguintes informações: I) Localização, divisão política e hidrográfica da bacia; II) Questões históricas e socioculturais, evolução político administrativa e demografia; III) Indicadores econômicos; IV) Balanço hídrico da bacia. A fase B consiste em compatibilizar e articular os usos múltiplos da água. Usa-se o enquadramento dos cursos d'água como mecanismo para tanto, com metas, prazos e propostas genéricas para alcançar a qualidade preconizadas nos corpos hídricos. Por fim, na fase C tem-se a formulação de programas e ações, isto é, uma lista de atividades descritas, contendo estimativa de custos e definição de cronograma de implantação [22].

Porém, ao longo do tempo, dificuldades grandes ocorreram na elaboração das fases B e C. Isto é, diversos planos não dissertaram, ou discorreram muito precariamente, por exemplo, acerca dos tópicos do item III do artigo 27°, da Lei 10.350 de 1994, essencial para a aplicabilidade do PBH. Pela precariedade do foco nos referidos itens da Lei, tornou-se difícil visualizar os cenários para bacia. Os cenários, que poderiam representar nítidos horizontes de ação, tornam-se somente pautas, debatidos de modo disperso em reuniões ordinárias dos CBH. Ainda, algumas ações previstas no Plano dependem de entes públicos e mesmo da discussão e aprovação de leis, tais como a cobrança do uso da água e compensação por serviços ambientais [42]. Nesse sentido, a discrepância temporal entre a existência de diversos CBH e a demora de finalização do PERH, gerou a inércia quanto ao andamento de muitos instrumentos por anos. Isso reforça a ideia de que a gestão territorial local de cada bacia, pelos CBH's, deve seguir apenas diretrizes do SERH, mas não a obediência e espera por regulamentos, pois isso engessa sua intensidade de atuação autônoma.

## **6. Considerações Finais**

Embora a regulação dos recursos hídricos pareça ter os componentes necessários a plena articulação das águas, no RS, está existindo uma lacuna entre gestão e execução. Uma vez que existe amplitude na forma de expressão dos instrumentos de gestão das Leis n° 9.433 de 1997 e 10.350 de 1994, percebe-se que a prioridade aumentar a implantação do SERH é buscar saber como viabilizar a articulação da gestão territorial. Ainda que o conteúdo dos instrumentos seja distinto por bacia

hidrográfica, decorrente de suas peculiaridades, estes necessitam de agentes alocados nessas bacias, que rapidamente identifiquem as demandas de gestão.

Se, por um lado, os órgãos estaduais do SERH, hoje, ainda possuem várias funções executivas em andamento, por outro são os CBHs que possuem melhor expressão da realidade de suas bacias e territórios, bem como ações necessárias. Parece, sobretudo, ser preciso corrigir o balanço territorial de tais atividades entre as entidades, para assim ampliar e consolidar a descentralização da gestão das águas no Rio Grande do Sul. Do contrário, permanecerão indefinições quanto ao papel de cada entidade do SERH como implementador das políticas de recursos hídricos.

## 7. Referências

[1] Hartmann P. A cobrança pelo uso da água como instrumento econômico na política ambiental. Porto Alegre: AEBA, 2010. 532p. Disponível em: <[https://www.kas.de/c/document\\_library/get\\_file?uuid=6b4bf606-1489-efda-c023-07c329797aac&groupId=252038](https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=6b4bf606-1489-efda-c023-07c329797aac&groupId=252038)>. Acesso em: 16 jan. 2021.

[2] Thomas P.T. Proposta de uma metodologia de cobrança pelo uso da água vinculada à escassez. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2002.

[3] Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm)>. Acesso em: 15 dez. 2020.

[4] Brasil. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 23 nov. 2020.

[5] Rio Grande do Sul. Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/10.350.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

[6] Meier M.A. A conjuntura dos instrumentos da política estadual de recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2011.

[7] Bernardi E.W., Panziera A.G., Buriol A.G., Swarowsky A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. Revista Disciplinarum Scientia 2012; 13(2):158-168. <https://doi.org/10.37779/nt.v13i2.1303>.

[8] Peres B.R., Silva S. Análise das relações entre o plano de bacia hidrográfica Tietê-Jacaré e os planos diretores municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos, SP: avanços e desafios visando a integração de instrumentos de gestão. Sociedade & Natureza 2013; 25(2):349-362. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000200011>.

[9] Tamiosso C.F., Dulac V.F., Swarowsky, A. Política Nacional de Recursos Hídricos: uma revisão dos instrumentos de gestão das águas no Brasil. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis, SC. 2017. Disponível em: <<https://s3-sa-east>>



1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/60/PAP022914.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2021.

[10] Secretaria Estadual do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMA. Serviços e informações. Recursos Hídricos. 2018. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/recursos-hidricos>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

[11] Agência Nacional de Águas – ANA. O que é SINGREH. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos/o-que-e-o-singreh>>. Acesso em: 16 dez. 2020.

[12] Libânio P.A.C. O uso de estratégias focadas em resultados para cooperação transversal e federativa no SINGREH. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (CBAS'14); 2014; São Paulo. São Paulo: ABAS; 2014. p. 1-20.

[13] Agência Nacional de Águas – ANA. Agência de Água: O que é, o que faz e como funciona. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos. v. 4. Brasília: ANA, 2014. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2014/CadernosdeCapacitacaoemRecursosHidricosVol4.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

[14] Rio Grande do Sul. Decreto nº 53.885, de 16 de janeiro de 2018. Institui subdivisão das Regiões Hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul em Bacias Hidrográficas. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, RS, 17 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/08095109-decreto-53885-2017.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

[15] Rio Grande do Sul. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul: Relatório Síntese da Fase A. Porto Alegre: ECOPLAN, 2007. 146 p.

[16] Departamento de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul – DRH/RS. [www.sema.rs.gov.br/.../DRH\\_Oficina\\_ANA\\_2011.ppt](http://www.sema.rs.gov.br/.../DRH_Oficina_ANA_2011.ppt). Acesso em: 11 nov. 2020.

[17] Dulac V.F. Análise dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos com ênfase nas ações do comitê de bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, RS. Dissertação de Mestrado. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria; 2013.

[18] Dulac V.F., Cruz, R.C. Mapeamento das Ações de Gestão dos Recursos Hídricos no Âmbito de um Comitê de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos; (20)3: p. 583-593, 2015. Disponível em: <[https://abrh.s3.amazonaws.com/Sumarios/182/c81ecc15299816d6de96ee20ecb8e74d\\_69e907108b130c37ade36884996a6ab6.pdf](https://abrh.s3.amazonaws.com/Sumarios/182/c81ecc15299816d6de96ee20ecb8e74d_69e907108b130c37ade36884996a6ab6.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2021.

[19] Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande Sul CRH/RS. Resolução nº 141, de 21 de março de 2014 do Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul. Institui o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul – PERH/RS. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22164454-resolucao-crh-141-2014-institui-plano-estadual-recursos-hidricos-estado-rs-28-03.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

[20] Agência Nacional de Águas – ANA. Planos de Recursos Hídricos e Enquadramento dos corpos de Água. Brasília, DF. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos. v. 5. Brasília, v. 5, 2013. Disponível em:

<<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/planoDeRecursosHidricosEnquadramento.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

[21] Agência Nacional de Águas – ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA; 2017. 169 p. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

[22] Porto M.F.A., Lobato F. Mechanisms of Water Management: Command & Control and Social Mechanisms (Parte 1 de 2). Revista de Gestão da Água da América Latina 2004; 1:113-129. Disponível em: <<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=64&SUMARIO=805>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

[23] Porto M.F.A., Lobato F. Mechanisms of Water Management: Economics Instruments and Voluntary Adherence Mechanisms (Parte 2 de 2). Revista de Gestão da Água da América Latina 2004; 1:132-146. Disponível em: <<https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/4/23394/inbr01705.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

[24] Porto M.F.A., Porto R.L.L. Gestão de bacias hidrográficas. Estudos Avançados; (22)63: p. 43-60, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>.

[25] Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: dez. 2020.

[26] Dulac V.F. et al. Enquadramento dos corpos de água na Bacia do Rio dos Sinos: aspectos metodológicos e estudo de caso. XX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental (SIQA '16); 19-21 outubro 2016; Porto Alegre. Rio Grande do Sul. 2016. p.

[27] Brites A.P.Z. Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica. Tese Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2010.

[28] Torres C., Medeiros Y.D., Freitas I.M.D.P. Training watershed committee members to aid on the decision-making process for the execution program of the framework of water bodies. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 2016; (21)2:314-327. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p314-327>.

[29] Agência Nacional de Águas – ANA. Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos. Volume 6. Brasília, 2011 54p. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/OutorgaDeDireitoDeUsoDeRecursosHidricos.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

[30] Arai F.K. Critérios para concessão de outorga e eficiência do uso dos recursos hídricos pela irrigação. Tese Doutorado. Mato Grosso do Sul: Universidade Federal da Grande Dourados; 2014.

[31] Schwartzman A.S., Nascimento N.O., Von Sperling M. Outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos: aplicação à Bacia do rio Paraopeba, MG. RBRH - Revista

Brasileira de Recursos Hídricos 2002; 7(1):103-122. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p103-122>.

[32] Moreira M.C., Silva D., Nunes A., Lara M. Índices para identificação de conflitos pelo uso da água: proposição metodológica e estudo de caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 2012; 17(3):7-15. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n3.p7-15>.

[33] Silva B.M.B., Silva D.D., Moreira M.C. Índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba, Estado de Minas Gerais. *Revista Ambiente & Água* 2015; (10)3:685-697. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1597>.

[34] Carrera-Fernandez J., Garrido R.J. *Economia dos Recursos Hídricos*. Salvador: Edufba, 2002. 458 p.

[35] Agência Nacional de Águas – ANA. *Cobrança. Histórico da Cobrança*. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/cobranca/historico-da-cobranca>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

[36] Correio do Povo. Disponível em: <<http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/Geral/Meio%20Ambiente/2018/12/669239/Rio-Gravatai-servira-como-projetopiloto-de-cobranca-pela-captacao-de-agua-no-RS>>. Acesso em: 01 dez. 2020.

[37] Martins J.V.R. O acesso à informação ambiental e a gestão hídrica: uma análise da implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). *Revista Eletrônica de Ciência Política* 2017; (8)3:33-57. <http://dx.doi.org/10.5380/recp.v8i3.57153>.

[38] Rio Grande do Sul. Estado da arte dos comitês em relação aos planos de bacia hidrográfica. Frederico Westphalen, RS, 2019. 1 mapa, color., 59,4x84,1 cm. Escala: 1:2.505.000. Disponível em: <[www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas](http://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas)>. Acesso em: 14 dez. 2020.

[39] Paim P. Paulo Paim: Entrevista [julh. 2010]. Entrevistador: M. A. Meier. Porto Alegre: DRH-RS, 2010. 1 cd sonoro. Entrevista concedida ao projeto "A conjuntura dos instrumentos de gestão da Legislação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul".

[40] Jacobi P.R., Barbi F. Democracia e participação na gestão dos recursos hídricos no Brasil. *Revista Katálysis*. Florianópolis 2007; (10)2:237-244. <https://doi.org/10.1590/S1414-49802007000200012>.

[41] Silva J.M.T. João Manuel Trindade da Silva: Entrevista [abr. 2011]. Entrevistador: M. A. Meier. Porto Alegre: DRH-RS, 2011. 1 cd sonoro. Entrevista concedida ao projeto "A conjuntura dos instrumentos de gestão da Legislação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul".

[42] Cardoso P.L. Avaliação do plano de bacia hidrográfica do rio dos Sinos. 2019. 126 p. Dissertação de Mestrado. Canoas. Universidade La Salle; 2019.

## **Autores**

André Panziera<sup>1</sup>, Camila Tamiosso<sup>1</sup>, Alexandre Swarowsky<sup>2,\*</sup>

1. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, Brasil.
2. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, Brasil.

\* Autor para correspondência: [alexandre.swarowsky@ufsm.br](mailto:alexandre.swarowsky@ufsm.br)

## Avaliação técnica e econômica da produção de milho em diferentes lâminas de irrigação

Luis Humberto Bahú Ben, Ana Rita Costenaro Parizi, Fátima Cibele Soares, Anderson Crestani Pereira, Ricardo Benetti Rosso, Leonita Beatriz Girardi, Marcos Vinicius Loregian

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-7-6.c4>

### Resumo

Com o risco de deficiência hídrica na produção de milho a utilização de sistemas de irrigação está em ascensão, assim a análise técnica, econômica e financeira de seu uso deve ser realizada para minimizar os custos, aumentar o lucro e auxiliar aos produtores na tomada de decisão. Portanto objetivou-se neste trabalho verificar a influência de lâminas de irrigação suplementar na viabilidade técnica, econômica e financeira da produção de milho safrinha para três cenários de preço de venda de produto. Conduziu-se dois experimentos de campo em um Delineamento de Blocos ao Acaso no Instituto Federal Farroupilha – Campus de Alegrete/RS, no período de fevereiro a junho de 2012 e 2013, com o híbrido de milho AS 1551 de ciclo precoce. Utilizou-se um sistema de irrigação por aspersão convencional, sendo o manejo realizado pelo cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc). Os tratamentos em 2012 foram a Reposição de: T1 - 50%, T2 - 65%, T3 - 75%, T4 - 85% e T5 - 100% da ETc; para 2013 foram: T0 – sem irrigação; T2 - 45%; T3 – 72%; T4 – 83% e T5 - Reposição de 100% da ETc. Analisou-se a produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), o custo de produção, a receita líquida, o Valor Presente Líquido e a Razão Benefício/Custo. Os custos com irrigação foram obtidos através de levantamentos e dimensionamento de sistemas de irrigação a nível de produtor e as receitas obtidas com três cenários de venda de produto, sendo: CP – USD 0,128; CM – USD 0,177 e CO – USD 0,226 por kg de grãos. Foram necessários a aplicação de 242 e 111 mm de água no T5 para os anos 2012 e 2013, respectivamente. O aumento da lâmina de irrigação suplementar proporcionou o aumento da produtividade de grãos do milho, com máximo valor de 14624,6  $\text{kg ha}^{-1}$  (experimento 1) e 13809,04  $\text{kg ha}^{-1}$  (experimento 2). A receita líquida variou entre o mínimo de USD -46,14 (CP e T0) e máxima de USD 2216,50 (CO e T5), sendo que no cenário de venda CP, a lâmina sem irrigação foi negativa. Concluiu-se que o milho safrinha apresenta incremento de produtividade de grãos quando submetido a irrigação suplementar. Os custos de produção de milho irrigado aumentam entre 39,5% e 52,3% em relação ao cultivo de sequeiro. Lâminas de irrigação entre 85% e 100% da ETc proporcionam os maiores valores de Receita Líquida e dos indicadores financeiros Valor Presente Líquido e Razão Benefício/Custo. O preço de venda dos grãos pode comprometer a viabilidade econômica e financeira da produção de milho safrinha em cenários pessimista de comercialização para o cultivo de sequeiro, assim como, preços pessimistas podem proporcionar receitas baixas quando em cultivo sob irrigação.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L.; manejo de irrigação; déficit hídrico; retorno econômico; Preço de comercialização de grãos.

## 1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de grande importância econômica, por ser usado para alimentação humana, animal e também podendo ser utilizado para produção de biocombustíveis, desta forma desempenhando um importante papel para o desenvolvimento econômico e socioeconômico de muitos países devido a sua diversificação de utilização [1].

Esta cultura é cultivada em vários países, porém 65% da produção mundial está concentrada nos Estados Unidos, China e Brasil [2]. No Brasil o milho ocupa a segunda posição entre as culturas mais produzidas, atrás apenas da cultura da soja. Em 2019, a cultura do milho ocupou uma área cultivada superior a 17 milhões de hectares, com uma produção estimada de 99,984 milhões de toneladas de grãos [3].

A produtividade média brasileira de milho é de aproximadamente 5.000 kg ha<sup>-1</sup>, estando atrás da produtividade média de países como a Argentina (7.442 kg ha<sup>-1</sup>), China (5.947 kg ha<sup>-1</sup>) e Estados Unidos (10.960 kg ha<sup>-1</sup>) [4]. A variabilidade pluviométrica é um dos principais fatores que limitam o crescimento da produtividade média em várias regiões produtoras no Brasil, uma vez que, para Gong *et al.* [5] a cultura é altamente exigente em termos de disponibilidade hídrica, e assim a quantidade e a distribuição pluviométrica são geralmente os principais fatores que influenciam na variabilidade produtiva em condições de sequeiro [6].

Neste contexto, a irrigação surge com uma técnica agrícola que propicia o aumento da produtividade e melhoria na qualidade dos produtos, incorporação de novas áreas ao sistema produtivo viabilizando a implantação de lavouras em regiões mais secas, nas quais sem a irrigação os plantios são impraticáveis ou de baixas produtividades, o que proporciona a redução dos riscos de perda da produção e a melhoria da qualidade de vida do homem do campo [7].

Outrossim, a utilização e o desenvolvimento de novas tecnologias que forneçam o uso eficiente e efetivo de irrigação são essenciais para manter a produção agrícola em níveis satisfatórios em relação à demanda mundial de alimentos [8]. Porém um dos grandes desafios nessa ótica é aumentar a produtividade e reduzir os custos para obter maiores rentabilidade e lucratividade, uma vez que, investir em um sistema de irrigação acrescentam despesas no sistema produtivo, devendo a produtividade adicional obtida proporcionar benefícios econômicos maiores que os custos relacionados ao sistema de irrigação [9].

Segundo Richetti [10], a análise dos custos de produção auxilia os agricultores a planejar investimentos, otimizar o capital investido e maximizar os lucros, sendo um dos fatores cruciais no planejamento do sistema produtivo/econômico. Do mesmo modo, outro fator econômico importante a ser considerado está a análise das receitas para distintos cenários de preço de grãos pagos ao produtor, que devido ao milho ser uma commodity produzida mundialmente vários fatores definem e interferem nos preços de comercialização, que sofrem grande variabilidade temporal e sazonal [11]. Em um levantamento realizado aos dados de comercialização de grãos de milho para o estado do RS no ano de 2018 a variação dos preços pagos aos produtores foi em torno de ±17%, da média anual.

Nesta acepção, a obtenção da produtividade de milho em sistemas de irrigação e, dos custos de produção fazem parte do processo de planejamento da irrigação. Ao mesmo tempo analisar as receitas obtidas com a produção, diante de diferentes cenários de preços de comercialização dos grãos auxiliam no suporte para a correta tomada de decisão ao produtor, sobre os investimentos no sistema produtivo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar a produtividade do milho safrinha sob diferentes estratégias de irrigação suplementar, bem como analisar a viabilidade econômica e financeira da irrigação por aspersão convencional para diferentes cenários de comercialização de grãos.

## 2. Material e Métodos

Foram realizados dois experimentos de campo nas safras de 2011/2012 e 2012/2013 (experimento I e experimento II, respectivamente), na área experimental do Setor de Irrigação e Drenagem do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Farroupilha, campus de Alegrete, RS, Brasil com coordenadas geográficas 29° 42' 52,85" de latitudes Sul, 55° 31' 29,69" de longitude Oeste e 121 m de altitude. O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho Distrófico arênico [12], com granulometria 62,6%; 12,1% e 25,2% de areia, silte e argila respectivamente. Clima subtropical úmido (Cfa) com temperaturas médias de 17,9 °C e média de precipitações de 1700 mm, segundo a escala de Koopen [13].

Os experimentos foram conduzidos em um Delineamento Experimental de Blocos ao Acaso em 5 tratamentos e 3 repetições e foram semeados com auxílio de uma semeadora mecânica com espaçamento entre linhas de 0,45 m, em seis de fevereiro de 2011 e seis de fevereiro de 2012, ambos sobre palhada de nabo forrageiro dessecado entre 15 e 25 dias antes da semeadura. O híbrido de milho utilizado foi o AS 1551 de ciclo precoce, com aproximadamente 9,5 sementes por metro quadrado.

No experimento I foram aplicadas as lâminas de irrigação de 50, 65, 75, 85 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) e no experimento II foram aplicadas as lâminas de irrigação de 0, 45, 72, 83 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ETc) obtida por meio da Equação 1:

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (\text{Equação 1})$$

onde, ETo é a evapotranspiração de referência (mm) obtida através de um tanque classe A, corrigidos com o fator Kp, e o Kc é o Coeficiente de Cultura de acordo com Doorenbos & Kassam [14]. Foi considerada para o manejo da irrigação a precipitação efetiva, sendo determinada de acordo com [15].

A irrigação foi exercida com um sistema do tipo aspersão convencional com espaçamento de 12x12m. A diferenciação das lâminas de irrigação foi realizada pela sobreposição de água obtida através dos diferentes diâmetros de bocais dos aspersores. As irrigações foram executadas em um turno de rega prefixado de cinco dias, as doses aplicadas com base nas leituras diárias de evaporação do Tanque Classe A, (EV) e o volume de água aplicado, calculado através da multiplicação do acúmulo de cinco dias de EV, multiplicado pelo coeficiente do tanque (Kp) e pelo coeficiente de cultura (Kc), obtidos de acordo com a metodologia de Büchele e Silva [16] e Doorenbos & Kassam [14] respectivamente. Os dados meteorológicos para o cálculo do Kp assim como a precipitação foram coletados de uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET localizada 500 m da área experimental.

A colheita do milho foi realizada manualmente por unidade experimental, aos 145 DAE, quando os grãos apresentavam 20% de umidade. O material colhido foi

submetido à secagem em estufa e posteriormente contabilizado os componentes de rendimento e umidade final para estimativa da produtividade através da Equação 2.

$$P_{\text{grãos}}(t.ha^{-1}) = \frac{\text{densidade de plantas} \cdot m^{-2} \times NEP \times NGE \times MCG(g)}{10000} \quad (\text{Equação 2})$$

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância – ANOVA. Os efeitos individuais dos submetido a análise de regressão considerando todos os testes estatísticos ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para a análise estatística utilizou o software SISVAR 5.3 [17].

Para obtenção da receita bruta (RB) realizou-se a multiplicação da produtividade de grãos (Y), pelo preço do quilograma de milho em R\$ kg<sup>-1</sup> (Pp). Para o preço do quilograma do produto considerou-se o valor médio de comercialização da região de estudo entre o período de 2013 e 2018 onde encontrou-se o valor médio de USD 0,177 kg (considerado como cenário médio - CM). Além disso, considerou-se um cenário pessimista de comercialização de USD 0,128 kg (CP) e um Cenário Otimista de USD 0,226 kg (CO).

A receita líquida da produção (RL) foi obtida pela diferença entre a RB e os custos totais de produção Equação 3. Estes custos compreendem os custos não relacionados à irrigação (CNRI), os custos fixos relacionados a irrigação (CFRI) e os custos variáveis relacionados à irrigação (CVRI), sendo o CFRI e CVRI inexistente quando analisado o tratamento sem irrigação pois, nesta situação desconsiderou-se o uso do equipamento de irrigação.

$$RL = Yw.Pp - CNRI - CFRI - CVRI.W \quad (\text{Equação 3})$$

onde, RL é a receita líquida em R\$ ha<sup>-1</sup>, CNRI é o custo não relacionado a irrigação em R\$ ha<sup>-1</sup>, CFRI é o custo fixo relacionado a irrigação em R\$ ha<sup>-1</sup>; CVRI é o custo variável relacionado com a irrigação em R\$ mm<sup>-1</sup> e W é a lâmina de irrigação em mm. Os custos fixos não relacionados à irrigação (CFNRI) foram construídos de todas as operações e insumos necessários (número de horas-máquina, número de horas homens, preparo de solo, sementes, semeadura, colheita, herbicidas, pesticidas, terra, etc.), obtidos através da planilha eletrônica disponibilizada pela EPAGRI/CEPA [18] adaptado com insumos utilizados para cultivo de milho para média tecnologia (safrinha). Os custos relacionados à irrigação foram divididos em custos fixos (CFRI) e custos variáveis da irrigação (CVRI) e, para determiná-los, foi projetado um sistema de irrigação por aspersão convencional fixa, conforme metodologia proposta por Biscaro [19].

Para a projeção do sistema fixou-se os valores de: altura geométrica de sucção 5 m; altura geométrica de recalque 15 m; desnível da linha principal e das linhas laterais 2 m; altura das elevações dos aspersores de 2 m, comprimento da tubulação de recalque de 100 m, comprimento da tubulação de sucção de 10 m. Considerou-se como área total irrigada a distância entre os aspersores que se encontram na extremidade da área, mais duas vezes 60% do alcance dos aspersores, resultando em uma área de 1,3 ha, sendo este valor obtido no projeto corrigido para uma unidade de área (1 ha). Os preços dos componentes foram obtidos de peças e equipamentos comercializados na região, sendo as tubulações de PVC Azul (para irrigação), com os diâmetros comerciais encontrados e pressão nominal de serviço menor possível para



cada setor (linhas laterais, principal, recalque e sucção). Para um mesmo setor foi selecionado apenas um diâmetro comercial.

Os CFRI foram calculados conforme Equação 4, proposta por CONAB [20],

$$CFRI = CD + CJ + CS \quad (\text{Equação 4})$$

onde CD é a custo com a depreciação dos componentes do sistema em R\$ ha<sup>-1</sup>, CJ é o custo com juro sobre o capital investido em R\$ ha<sup>-1</sup> e CS é o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação em R\$ ha<sup>-1</sup>. Foram considerados 50% deste custo devido ser em cultivo safrinha, ou seja, dividido com cultura anterior.

Os valores de CD foram calculados utilizando-se a Equação 5 [20],

$$CD = \frac{(VN-VR)}{vuh} \cdot HsTr \quad (\text{Equação 5})$$

onde, VN é o valor de aquisição do componente novo em R\$ ha<sup>-1</sup>, VR é o valor residual do componente em R\$ ha<sup>-1</sup>, Vuh é a vida útil do componente em horas e HsTr é o total de horas trabalhadas pelo componente em horas. O valor residual ou de sucata foi calculado como 20% do valor de compra de cada componente do sistema. E a vida útil utilizada foi de 20 anos.

Os valores de CJ foram calculados considerando-se a taxa de remuneração de 6,0% ao ano, aplicados sobre o valor médio dos equipamentos, conforme a Equação 6 [20].

$$CJ = \{[(VN \cdot QM)/2]/CAT\} \cdot HsTr \cdot J \quad (\text{Equação 6})$$

onde, QM é a quantidade do bem, CAT é a capacidade de trabalho do bem (h) e J é a taxa de remuneração.

O valor de CS foi determinado como sendo 0,35% do valor médio do bem novo [20], conforme equação 7.

$$CS = (VN/2) \cdot 0,35 \cdot (HsTr/Vuh) \quad (\text{Equação 7})$$

Os valores de CVRI foram obtidos pelo custo de aplicação da lâmina de irrigação e o número de irrigações, da mão-de-obra empregada e da manutenção do sistema, conforme a Equação 8.

$$CVRI = CvE + CvMo + CvMan \quad (\text{Equação 8})$$

onde: CvE é o custo variável com energia elétrica em R\$, CvMo é o custo com mão-de-obra empregada na irrigação em R\$ e CvMan é o custo com manutenção dos equipamentos em R\$.

O custo variável da energia elétrica foi calculado considerando a potência do conjunto motobomba e o tempo para aplicação da lâmina de irrigação Equação 9.

$$CvE = Pw. Ee. T. w \quad (\text{Equação 9})$$

onde,  $Pw$  é a potência do conjunto motobomba ( $Kw h^{-1}$ ),  $Ee$  é o preço da energia elétrica em  $R\$ Kw^{-1}$ ,  $T$  é o tempo para aplicação de um milímetro de água  $h mm^{-1}$  e  $w$  é a lâmina de irrigação  $mm ha^{-1}$ .

A determinação da potência necessária para aplicação de um milímetro de água via irrigação foi calculada com os dados do projeto para um hectare.

O valor da energia considerado foi de  $USD 0,102 kW h^{-1}$ , considerando o preço na tarifa verde estabelecidos pela Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

O custo de mão de obra foi calculado utilizando o tempo proposto de 0,5 horas por hectare em cada setor do sistema e por irrigação [21], considerando o valor da hora trabalhada equivalente ao salário mínimo rural, conforme CONAB [20], como na Equação 10.

$$CvMo = Ni. Ns. 0,5. VSMin/220. w/100 \quad (\text{Equação 10})$$

onde,  $Ni$  é o número de irrigações,  $Ns$  é o número de setores do sistema de irrigação e  $VSMin$  é o valor do salário mínimo rural em  $R\$$ .

O número de setores do sistema de irrigação foi de seis, determinado na confecção do projeto. O valor do salário mínimo rural utilizado foi de  $USD 377,88$ .

Os valores dos custos com manutenção foram calculados sobre 1% do valor do bem novo do sistema de irrigação, acrescido de 10% do valor gasto com energia [20], conforme a Equação 11.

$$CvMan = VN. 0,01. (CvE/10) \quad (\text{Equação 11})$$

Como indicadores de viabilidade financeira considerou-se o Valor Presente Líquido (VPL) e a Relação Benefício Custo (RBC). O VPL é definido como a diferença entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, conforme Equação 12.

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{Ft}{(1+j)^t} \quad (\text{Equação 12})$$

onde, VPL - valor presente líquido, em  $R\$ ha^{-1}$ ;  $j$  - taxas de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA), em decimal;  $N$  - horizonte do projeto, em anos;  $t$  - período do projeto, em anos e  $Ft$  - fluxo de caixa líquido em cada ano, em  $R\$ ha^{-1}$ .

A razão benefício/custo foi calculada por meio da Equação 13.

$$RBC = \frac{\sum_{t=0}^n B/(1+j)^t}{\sum_{t=0}^n C/(1+j)^t} \quad (\text{Equação 13})$$

onde, RBC - razão benefício/custo;  $B$  - receitas, em  $R\$ ha^{-1}$  e  $C$  - despesas, em  $R\$ ha^{-1}$ .

Adotou-se uma TMA de 6% ao ano, e um horizonte de projetos de 20 anos, conforme vida útil do sistema de irrigação.

Após a análise para os diferentes cenários considerou-se viável o manejo que apresentou VPL positivo e RBC maior que 01.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Precipitações e irrigação

O volume das precipitações pluviárias efetivas entre os dois experimentos assim como o volume de água via irrigação foi divergente. No experimento I a precipitação acumulada foi de 207 mm enquanto que no experimento II foi de 501 mm. Em relação suplementação de água no experimento 1 houve a necessidade de 18 irrigações equivalendo a 450 mm de suplementação hídrica no tratamento de reposição de 100% da ETc. Já no experimento 2 foram necessárias 9 irrigações e 111 mm de suplementação hídrica para a reposição de 100% da ETc.

Os volumes de precipitação e irrigação para cada tratamento de irrigação e ano de estudo podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 2.** Precipitação e irrigação para o milho safrinha nas diferentes lâminas de irrigação no ano de 2011/2012 e 2012/2013.

Experimento I (2012)				
Lâmina de Irrigação (% ETc)	Precipitação Efetiva (mm)	Número de irrigações	Irrigação Total (mm)	Lâmina Total (mm)
50	207	18	121	329
65		18	157	365
75		18	182	389
85		18	206	413
100		18	242	450
Experimento II (2013)				
Lâmina de Irrigação (% ETc)	Precipitação Efetiva (mm)	Número de irrigações	Irrigação Total (mm)	Lâmina Total (mm)
0 – Sem irrigação	501	0	0,0	787
45		9	50	837
72		9	80	867
83		9	92	879
100		9	111	898

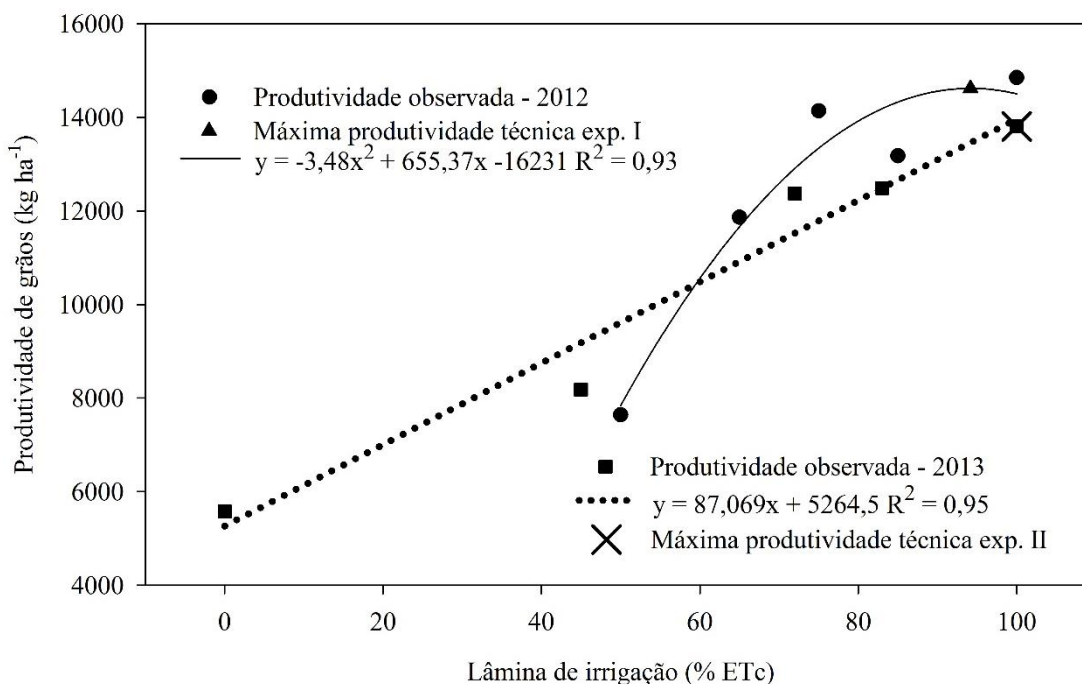
A demanda hídrica necessária para a obtenção de boas produtividades na cultura do milho é de 400 a 600 mm [22], portanto, a precipitação efetiva ocorrida no experimento 01 não foi suficiente para o correto desenvolvimento da cultura com o volume efetivo de 207 mm de chuva, e déficit de 272 mm. Para o experimento 2, embora os 501 mm ocorridos estejam dentro dos parâmetros sugeridos por Bergamaschi e Matzenauer [22] a distribuição das chuvas foi irregular, sendo necessário a reposição de 111 mm de água, através da irrigação.

Para Nied *et al.* [23] a distribuição da precipitação durante o período de cultivo de milho no Rio Grande do Sul tem ocorrido de maneira muito irregular ao longo dos últimos anos, com períodos de elevados volumes e outros de escassez hídrica, o que

caracteriza insegurança na produção de milho, igualmente ao cultivado na safrinha. Neste período as precipitações em determinados momentos são insuficientes ou são mal distribuídas ao longo do tempo para atender as necessidades das culturas, afetando significativamente a produtividade, principalmente em cultivos de sequeiro.

### 3.2. Produtividade de grãos

Com a ocorrência do déficit hídrico os resultados demonstram que a irrigação suplementar proporcionou efeito positivo sobre a produtividade de grãos do milho para os dois anos de experimento avaliados, como pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1.** Produtividade de grãos de milho safrinha para as diferentes lâminas de irrigação para os anos de 2011/2012 e 2012/2013, em Alegrete, RS.

No experimento I, embora todos os tratamentos testados tenham recebido irrigação suplementar, a produtividade de grãos apresentou um aumento quadrático em relação a lâmina de água aplicada, atingindo uma produtividade no ponto de máxima eficiência técnica, estimada em 14624,6 kg ha<sup>-1</sup>, com a reposição de água de 94% da ETc. Já a produtividade mais baixa foi de 7642,6 kg ha<sup>-1</sup> verificada na menor lâmina testada (50% da ETc). Para o experimento II a produtividade de grão apresentou-se linear à lâmina de irrigação testada. Consequentemente a maior produtividade observada foi de 13809,4 kg ha<sup>-1</sup>, na lâmina de 100% da ETc e a menor de 5576,1 kg ha<sup>-1</sup>, no tratamento sem irrigação.

Resultados que corroboram com esta pesquisa foram observados por Martins *et al.* [24], onde as produtividades do milho também aumentaram de acordo com a elevação do volume de água para cada lâmina de irrigação. Para Mendoza-Pérez *et al.* [25] a falta de água nos estágios fenológicos de floração e enchimento de grãos reflete negativamente na produtividade.

A amplitude de variação de produtividade entre os anos agrícolas avaliados e a diferença na obtenção da função de produção quadrática (experimento 1) e linear

(experimento 2) é conferida a irregularidade na distribuição das chuvas e das condições climáticas ocorridas. Assim também como a deficiência hídrica, a radiação solar e a temperatura também foram distintas entre os anos, sabe-se que em anos menos chuvosos os valores de radiação são superiores que em anos mais chuvosos, devido ocorrerem períodos mais nublados.

Além disso, estes fatores são responsáveis diretos pela evapotranspiração da cultura o que por consequência influenciaram a produtividade do milho. No experimento 1 o déficit hídrico foi maior que o experimento 2, com isso, as plantas que receberam as maiores lâminas de água por irrigação responderam superiormente, em comparação ao experimento 2.

### 3.3. Componentes do custo

A composição dos custos de produção, e dos relacionados a irrigação para cada tratamento estão representados na Tabela 2.

**Tabela 3.** Componentes dos custos não relacionados com a irrigação (CFNRI), custos fixos relacionados com a irrigação (CFRI) e custos variáveis relacionados com a irrigação (CVRI) para o cultivo do milho safrinha safras 2011/2012 e 2012/2013.

<b>Custos e produção (US\$ ha<sup>-1</sup>)</b>				
<b>Variável analisada</b>	<b>Experimento I</b>		<b>Experimento II</b>	
CFNRI	720,00		720,00	
<b>Custos Fixos da Irrigação (CFI)</b>				
CD	36,47		36,47	
CJ	27,35		27,35	
CSe	07,98		07,98	
CFRI	71,80		71,80	
<b>Custos Variáveis da Irrigação (CVI)</b>				
	<b>Lâmina de irrigação (% Etc)</b>	<b>Custo</b>	<b>Lâmina de irrigação (% Etc)</b>	<b>Custo</b>
CVe	50	28,33	-	-
	65	36,76	45	11,64
	75	42,62	72	18,63
	85	48,24	83	21,48
	100	56,67	100	25,87
CVMO	50	112,22	-	-
	65	145,61	45	46,12
	75	168,80	72	73,79
	85	191,06	83	85,06
	100	224,45	100	102,49
CVMan	50	21,12	-	-
	65	21,96	45	19,45
	75	22,55	72	20,15
	85	23,11	83	20,43
	100	23,95	100	20,87
CVRI	50	161,68	-	-
	65	204,34	45	77,21
	75	233,96	72	112,57
	85	262,41	83	126,97
	100	305,07	100	149,23

Observa-se que o CFRI obtido foi de igual valor para ambos os anos, sendo de USD 71,80 ha. Este custo abrange à depreciação do sistema de irrigação, os juros sobre o capital investido e o seguro do equipamento de irrigação, considerando um horizonte de projeto de 20 anos de vida útil. Salienta-se que devido ao cultivo ser realizado na safrinha, considerou-se que o CFRI seria rateado entre a cultura antecessora da safra, considerando para este trabalho 50% do valor total anual deste custo.

Já o custo com a implantação da lavoura, independente da irrigação, ou seja, o CFNRI foi de USD 720,00 ha para ambos os anos avaliados. Já o CVRI apresentou variação conforme o número de irrigações e o volume de água aplicado nas diferentes lâminas de irrigação. Observa-se ainda que entre os experimentos, o menor CVRI foi encontrado na safra agrícola de 2012/2013 (Experimento II) no valor de USD 149,23 por hectare, o que é justificado pelo menor volume de água aplicado de 111 mm em relação aos 242 mm em 2011/2012 (Experimento I), comparando a lâmina de 100% da ETc, onde o custo foi de USD 305,07 por hectare.

Observa-se também que a introdução do sistema de irrigação por aspersão convencional aumentou o custo total do sistema produtivo em 39,5% e 52,3% para o experimento I e II respectivamente, considerando como parâmetro uma unidade de área (um hectare) e o tratamento de reposição de 100% da ETc, comparado a inexistência de um sistema de irrigação.

A discrepância ocorrida entre os custos relacionados a irrigação entre os experimentos deve-se ao custo variável da irrigação, pois no experimento I foram necessários a aplicação de 242 mm (lâmina 100 % ETc), o que proporcionou maiores despesas com energia elétrica, mão de obra e manutenção, em comparação ao experimento II, onde foram necessários 111 mm de suplementação de água na lâmina de 100% da ETc.

Para efeito de comparação, autores como Oliveira e Zocoler [26], encontraram um acréscimo médio de 18,15% de participação do custo da irrigação no custo total da produção, um valor mais abaixo dos observados neste trabalho, porém salienta-se que para estes autores o sistema de irrigação adotado era por pivô central, e foram considerados outros valores de custo com energia elétrica.

### **3.4. Custo total e receitas**

Na Tabela 3, apresenta-se a receita bruta, o custo total e a receita líquida, para os 3 cenários de comercialização de grãos. Em ambos experimentos a maior taxa de crescimento da receita líquida entre os tratamentos foram proporcionados pela lâmina de 100% da ETc.

Para o experimento I, em um cenário de venda de grãos pessimista a maior receita líquida foi de USD 759,90 ha na lâmina de 100%, enquanto que a menor foi na lâmina de 50%, com valor de USD 49,72 ha de receita líquida. Ao mesmo tempo analisando os cenários Médio e Otimista, a receita líquida para a lâmina de 100% apresentou valores de USD 1470,69 ha e USD 2181,49 ha, enquanto que USD 433,76 e USD 817,80 ha, para a lâmina de 50%, respectivamente.

Do mesmo modo, para o experimento II, o valor de receita líquida para um cenário de venda pessimista foi de USD 847,30 ha para a lâmina de reposição de 100% da ETc. Entretanto, na lâmina de 0% da ETc a receita bruta obtida foi menor que os custos totais, ocasionando em prejuízo na produção de milho, ou seja, sendo economicamente inviável o cultivo de milho safrinha sem o uso de irrigação, considerando um valor de venda de USD 0,128 kg.

**Tabela 4** - Receita Bruta – RB, Custo Total – CT e Receita Líquida – RL para cenários de venda de grãos de Pessimista - CP (US\$ 0,128 kg), Médio - CM (US\$ 0,177 kg) e Otimista - CO (US\$ 0,226 kg), para as diferentes lâminas de irrigação e safras 2011/2012 e 2012/2013.

% ETc	RB (US\$ ha <sup>-1</sup> )			CT (US\$ ha <sup>-1</sup> )	RL (US\$ ha <sup>-1</sup> )		
	CP	CM	CO		CP	CM	CO
50	1003,20	1387,24	1771,28	953,48	49,72	433,76	817,80
65	1493,13	2064,71	2636,30	996,14	496,99	1068,57	1640,16
75	1708,38	2362,37	3016,37	1.025,77	682,62	1336,61	1990,60
85	1834,55	2536,84	3239,13	1.054,21	780,35	1482,64	2184,93
100	1856,77	2567,56	3278,36	1.096,87	759,90	1470,69	2181,49
0	673,86	931,82	1189,78	720,00	-46,14	211,82	469,78
45	1175,37	1625,32	2075,27	869,01	306,36	756,31	1206,26
72	1476,28	2041,42	2606,56	904,37	571,92	1137,06	1702,20
83	1598,88	2210,95	2823,02	918,77	680,10	1292,17	1904,24
100	1788,34	2472,94	3157,54	941,03	847,30	1531,90	2216,50

Já quando considerado para o tratamento 0% da ETc, os cenários médio e otimista evidencia-se valores positivos de receita líquida, muito embora apresentem valores 623,2% (CM) e 371,8% (CO), menores em relação ao cultivo irrigado na lâmina de 100% da ETc.

Portando nota-se a importância da irrigação suplementar no milho safrinha, onde mesmo com valores de venda baixo, propicia produtividades que viabilizam receitas superiores aos custos mesmo em cenários de venda adversos.

Muito embora a irrigação seja viável em cenários pessimistas de venda de grãos, como podemos observar na tabela 3, o preço pago ao produtor é um dos principais aspectos que definem o sucesso na produção de milho safrinha, uma vez que, preços baixos podem ocasionar prejuízos em cultivos de sequeiro, ou receitas baixas mesmo quando em cultivo sob irrigação.

Os resultados da receita líquida desta pesquisa estão de acordo com o trabalho de Martins *et al.* [24], onde estudando duas safras agrícolas sobre milho irrigado por gotejamento, constataram que ambas ocasiões as lâminas maiores proporcionaram maiores valores de receita líquida. Em um estudo desenvolvido por Pegorare *et al.* [27] também observaram um aumento nos incrementos produtivos com as maiores lâminas, porém devido aos altos custos com energia elétrica (característica do local de estudo), as maiores lâminas não apresentaram a maior receita líquida.

### 3.5. Indicadores financeiros

Analisou-se os indicadores financeiros Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Razão Benefício Custo (RBC), para um horizonte de 20 anos e uma taxa de atratividade de 6% ao ano, para os diferentes cenários de venda de grãos e tratamentos de irrigação. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.

Em relação ao VPL observou-se retornos positivos para a maioria das lâminas testadas e cenários de venda de produto utilizados, excetuando somente para o cenário pessimista, onde para as lâminas de 50% (experimento I) e 0% (experimento II) da ETc, os valores foram negativos de USD -1624,02 ha para o experimento I e USD -2723,60 ha para o experimento II, representando que o investimento é inviável nestas condições.

**Tabela 5.** Indicadores financeiros Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Razão Benefício/Custo para os diferentes cenários de venda de grãos e lâminas de irrigação.

Experimento I (2011/2012)									
(% Etc)	VPL			TIR			RB/C		
	CP	CM	CO	CP	CM	CO	CP	CM	CO
<b>50</b>	-1624,02	2780,86	7185,74	-3%	18%	35%	0,9	1,2	1,5
<b>65</b>	3506,07	10062,13	16618,20	21%	46%	70%	1,3	1,7	2,2
<b>75</b>	5635,24	13136,47	20637,69	29%	57%	85%	1,4	1,9	2,5
<b>85</b>	6756,18	14811,39	22866,60	33%	63%	93%	1,5	2,0	2,6
<b>100</b>	6521,65	14674,40	22827,15	32%	63%	93%	1,4	2,0	2,5

Experimento II (2012/2013)									
(% Etc)	VPL			TIR			RB/C		
	CP	CM	CO	CP	CM	CO	CP	CM	CO
<b>0</b>	-2723,60	235,19	3193,97	-13%	7%	20%	0,7	1,0	1,3
<b>45</b>	1319,61	6480,47	11641,33	12%	32%	52%	1,1	1,5	1,9
<b>72</b>	4365,49	10847,60	17329,71	24%	49%	73%	1,3	1,9	2,4
<b>83</b>	5606,41	12626,80	19647,20	29%	55%	81%	1,4	2,0	2,5
<b>100</b>	7524,19	15376,48	23228,77	36%	65%	95%	1,6	2,2	2,8

Já os maiores ganhos financeiros podem ser alcançados com as lâminas de 85% e 100% da ETc, onde os benefícios serão de USD 6756,18, USD 14811,39 e USD 22866,60 ha, para CP, CM e CO, respectivamente, no experimento I e USD 7524,19 USD 15376,48 e USD 23228,77 ha, para CP, CM e CO, respectivamente no experimento II.

Os mesmos resultados apontados para o VPL podem ser considerados para a RBC e a TIR. Portanto é inviável a realização do investimento para o uso de lâminas de reposição de 50% da ETc, no experimento I, pois, em um cenário pessimista de venda, para cada dólar investido retornam apenas 0,9 e a TIR obtida é menor que a TMA (6%)..

Já no experimento II o investimento é inviável no cultivo de sequeiro e cenário pessimista onde para cada dólar aplicado retornam somente 0,7. Logo, os maiores retornos são observados na lâmina 85% da Etc onde para cada dólar investido retornam 2,6 no experimento I, e na lâmina de 100% da ETc no experimento II que para cada dólar retornam 2,8, considerando o cenário otimista.

A disparidade do VPL, da TIR e da RBC encontrados em comparação aos anos agrícolas estudados deve-se a diferença na intensidade do déficit hídrico ocorrido em cada safra, o que afetou de modo distinto a produtividade obtida em cada experimento. No experimento I, o déficit hídrico foi mais intenso, afetando mais consideravelmente a produtividade dos tratamentos que receberam as menores lâminas de água via irrigação, diferentemente do experimento II, onde o déficit hídrico foi menor e influenciou menos a produtividade de grãos e por consequência os retornos financeiros.

Em um estudo semelhante a este realizado por Osti *et al.* [28] onde avaliou as lâminas de 140, 190 mm, 290 e 388 mm, os autores destacam que a RBC para as lâminas de 190 e 290 proporcionaram maior retorno financeiro e rentabilidade de 5% proporcionalmente. Neste caso, apesar de a maior lâmina de irrigação testada (388



mm) ter proporcionado maior produtividade, não foi suficiente para gerar receitas que pudessem cobrir os custos; com isso, sua rentabilidade foi muito baixa.

Já Xue *et al.* [29], com a imposição de restrições no volume de água disponível para irrigação e o aumento nos custos de água e de energia, constatou que a irrigação do milho nas Planícies Altas do Texas - EUA, com reposição de 75 a 80% da ETc é o manejo economicamente mais viável.

#### 4. Conclusão

A cultura do milho conduzido na safrinha apresenta resposta de incremento de produtividade de grãos quando submetido a irrigação suplementar.

A introdução do sistema de irrigação por aspersão convencional aumenta os custos de produção de milho safrinha entre 39,5% e 52,3% em relação ao cultivo de sequeiro.

Lâminas de irrigação entre 85% e 100% da ETc proporcionam as maiores valores de Receita Líquida e dos indicadores financeiros Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Razão Benefício/Custo.

Os indicadores Valor Presente Líquido e Razão Benefício/Custo demonstram que a irrigação é viável financeiramente, com retorno mais significativos quanto maior o cenário de venda dos grãos.

O preço de venda dos grãos pode comprometer a viabilidade econômica e financeira da produção de milho safrinha em cenários pessimista de comercialização para o cultivo de sequeiro, assim como, preços pessimistas podem proporcionar receitas baixas quando em cultivo sob irrigação.

#### 5. Referências

- [1] Greaves G. E., Wang Y. M. Effect of regulated deficit irrigation scheduling on water use of corn in southern Taiwan tropical environment. *Agricultural Water Management* 2017; 188:115-125. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.008>.
- [2] USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Safrinha Mundial de Milho 2016/17 - 11º Levantamento do USDA. Informativo.
- [3] CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2019; 7(3):69-77. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/28519\\_1451c80af85a09013032c62c38317623](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/28519_1451c80af85a09013032c62c38317623)>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [4] FAOSTAT- Food Agriculture Organization of The United Nations. Comparação de dados. Produção. 2017. Disponível em: <[www.fao.org/faostat/en/#da-ta](http://www.fao.org/faostat/en/#da-ta)> Acesso em: 19 fev. 2021.
- [5] Gong F., Wu X., Zhang H., Chen Y., Wang W. Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. *Frontiers in plant science* 2015; 6:835. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00835>.
- [6] Araus J. L., Serret M. D., Edmeades G.O. Phenotyping maize for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology* 2012; 3:305. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00305>.

- [7] Soares F. C., Parizi A. R. C., Silva G. U., Essi R., Russi J. L., Ben L. H., Santos P.R. Irrigação suplementar na produção de grãos e na eficiência de uso da água do feijoeiro. *Revista Agrarian* 2016; 9(34):374-382. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/4235>>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [8] Oliveira Z. B. de. Rendimento de grãos de milho irrigado por gotejamento subterrâneo e estimativa da irrigação com dados da previsão do tempo. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas* 2018; 12(1):40-51. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2018v12n1p40-51>.
- [9] Pereira R. M., Júnior J. A. Casaroli D., Sales D. L., Rodriguez W. D. M., Souza J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. *Irriga* 2015; 1(2):149-157. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p149>.
- [10] RICHETTI, A. Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2014/2015, em Mato Grosso do Sul. Dourados: EMBRAPA, 2014. (Comunicado técnico, 194). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105124/1/COT2013194.pdf>>. Acesso em: 6 dez. 2020.
- [11] Tibulo C., Tibulo V. D. C. Previsão do preço do milho, através de séries temporais. *Scientia Plena* 2014; 10(10). Disponível em: <<https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/1904>>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [12] Streck E. V., Kampf N., Dalmolin R. S. D., Klamt E., Nascimento P. C. do, Schneider E., Pinto L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre, RS: EMATER, 2008. 222 p.
- [13] Moreno J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretária da Agricultura, 1961. 42p.
- [14] Doorenbos J., Kassam A. H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Estudio FAO: Riego y Drenaje, 33).
- [15] Millar A. A. Drenagem de terras agrícolas. Petrolina: Sudene, 1974. 164 p.
- [16] Büchele F. A., Silva J. A. da. Manual prático de irrigação por aspersão em sistemas convencionais. Florianópolis: EPAGRI, 1992. 81p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 58).
- [17] Ferreira D. F. Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras, MG: UFLA, 1998. 19 p.
- [18] EPAGRI/CEPA - Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola, Custo de Produção safra milho alta tecnologia safra 2016/17, 2017. Disponível em: <[http://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_epagri/Sintese-Anual-da-Agricultura-SC\\_2016\\_17.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_epagri/Sintese-Anual-da-Agricultura-SC_2016_17.pdf)>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [19] Biscaro G. A. Sistemas de irrigação por aspersão. Dourados. Editora da UFGD, 2009. 134p. Disponível em: <<https://omp.ufgd.edu.br/omp/index.php/livrosabertos/catalog/book/49>>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [20] CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB. Brasília: CONAB, 2010. 60 p. Disponível em:

<<https://www.passeidireto.com/arquivo/67864823/custos-de-producao-agricola-a-metodologia-da-conab>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

[21] Marouelli W. A., Silva W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. 2.ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20 p. Circular Técnica, 11. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75698/1/ct-98.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

[22] Bergamaschi H., Matzenauer R. O milho e o clima. 1. ed. Porto Alegre, RS: Emater-Ascar, 2014. 84 p.

[23] Nied A. H., Heldwein A. B., Estefanel V., Silva J. C., Alberto C. M. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS Brasil. *Ciência Rural* 2005; 35(5):995-1002. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000500003>.

[24] Martins J. D., Petry M. T., Rodrigues G. C., Carlesso R. Viabilidade econômica da irrigação deficitária em milho irrigado por gotejamento. *Irriga* 2016; 1(1):150-165. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p150-165>.

[25] Mendoza-Pérez C., Sifuentes-Ibarra E., Ojeda-Bustamante W., Macías-Cervantes J. Response of surface-irrigated corn to regulated deficit irrigation. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, Chapingo 2016; 3(1):29-40. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2016.03.001>.

[26] Oliveira J. S., Zocoler J. L. Custos da irrigação e receita líquida do feijoeiro em um sistema pivô central sob variação do comprimento da tubulação de recalque e desnível topográfico. *Engenharia Agrícola* 2013; 33(1), 121-128. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000100013>.

[27] Pegorare A. B, Fedatto E, Pereira S., Souza L. C. F, Fietz C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2009; 13(3):262-271. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300007>.

[28] Osti A. M., Dallacort R., Tieppo R. C., Grzebieluckas C. E., Conceição A. M. Rentabilidade do milho e do feijão submetido a diferentes lâminas de irrigação em Mato Grosso. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 2019; 57(4):505-518. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.186329>.

[29] Xue Q., Marek T. H., Xu W., Bell J. Irrigated corn production and management in the Texas High Plains. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, Carbondale 2017; 162(1):31-41.

## **Autores**

Luis Humberto Bahú Ben<sup>1\*</sup>, Ana Rita Costenaro Parizi<sup>2</sup>, Fátima Cibele Soares<sup>3</sup>, Anderson Crestani Pereira<sup>4</sup>, Ricardo Benetti Rosso<sup>5</sup>, Leonita Beatriz Girardi<sup>6</sup>, Marcos Vinicius Loregian<sup>7</sup>.

1. Instituto Tecnológico Regional Centro-Sur, Universidad Tecnológica, Durazno, Uruguai.
2. Instituto Federal Farroupilha, Campus de Alegrete, RS, Brasil.

3. Universidade Federal do Pampa/Alegrete, RS, Brasil.
4. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
5. Instituto Federal Catarinense - Campus Concórdia, SC, Brasil.
6. Instituto de Desenvolvimento Educacional do Alto Uruguai - Faculdade IDEAU, Campus Passo fundo, RS, Brasil.
7. Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

\* Autor para correspondência: [luishumbertoben@gmail.com](mailto:luishumbertoben@gmail.com)

