


**ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

RENATA MARTINS CANTO DE SOUZA

**GERENCIAMENTO DE ÁGUA DE DRENAGEM EM
ÁREAS AGRICULTADAS: UMA REVISÃO**

**UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE**



**NITERÓI, RJ
2022**

RENATA MARTINS CANTO DE SOUZA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador:
Prof. Dario de Andrade Prata Filho

Niterói, RJ
2022

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S719g Souza, Renata Martins Canto de
Gerenciamento de Água de Drenagem em Áreas Agricultadas: Uma
Revisão / Renata Martins Canto de Souza ; Dario de Andrade
Prata Filho, orientador. Niterói, 2022.
77 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Agrícola e Ambiental)-Universidade Federal Fluminense, Escola
de Engenharia, Niterói, 2022.

1. Drenagem controlada. 2. Gerenciamento de água de
drenagem. 3. Drenagem agrícola. 4. Produção intelectual. I.
Prata Filho, Dario de Andrade, orientador. II. Universidade
Federal Fluminense. Escola de Engenharia. III. Título.

CDD -

RENATA MARTINS CANTO DE SOUZA

**GERENCIAMENTO DE ÁGUA DE DRENAGEM EM ÁREAS AGRICULTADAS:
UMA REVISÃO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Aprovada em 26 de julho de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dario de Andrade Prata Filho , Orientador, M.Sc. - UFF

Prof^a Roberta Jimenez de Almeida Rigueira, D.Sc. – UFF

Prof. Leonardo da Silva Hamacher, D.Sc. – UFF

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia ao meu marido e companheiro de vida, Daniel Morais, por todo apoio incondicional em toda minha jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar perseverança e ânimo por tanto tempo até alcançar minha meta.

E claro não posso esquecer da minha família, em especial da minha mãe Rosane Canto, minhas irmãs Fernanda e Marina, meu marido Daniel, meus filhos Danilo e Diogo, e aos meus sogros Silvio e Fátima, que me incentivaram nos momentos difíceis e entenderam o motivo da minha ausência.

Gostaria de agradecer ao meu pai Renato de Souza (in memoriam), que em vida fez parte da Universidade Federal Fluminense como aluno e professor, fazendo desta instituição parte da minha vida para sempre.

Ao privilégio de poder estar em uma instituição tão grandiosa que sempre me ofereceu recursos e toda estrutura necessária para meu aprendizado.

Aos professores e ao meu orientador Dario Prata um agradecimento especial pela constante orientação sempre repleta de conhecimento, sabedoria e paciência.

A minha professora e coordenadora Roberta Rigueira que não mediu esforços para me ajudar a estar aqui hoje escrevendo esse texto.

Aos meus colegas e amigos que foram verdadeiros parceiros nos momentos bons e ruins e que fizeram da minha estadia nesta instituição mais descomplicada.

RESUMO

O gerenciamento de água de drenagem é uma prática que permite o controle do nível do lençol freático conforme necessidade da planta e estágio da cultura, trazendo diversos benefícios a economia de água, a produtividade e o meio ambiente. Entretanto, essa prática é pouco divulgada e utilizada no Brasil. É um tema de importância para o desenvolvimento da Engenharia de Drenagem do solo. O objetivo do trabalho foi apresentar uma revisão sistemática de literatura relativa ao gerenciamento de água de drenagem agrícola, de forma a mostrar seus benefícios, restrições e os enfoques atualmente mais estudados, de modo a orientar novos trabalhos, também em condições de solo, culturas e clima brasileiros. Selecionou-se um total de 17 artigos abrangendo aspectos como qualidade da água, volume drenado, produtividade, operacionalidade, consumo de fertilizantes, detalhamento de projeto e *lay out* do sistema. Os estudos indicam a eficácia da drenagem controlada na redução dos impactos ambientais associados aos efluentes gerados pela drenagem convencional, melhorando a qualidade de água, reduzindo o consumo e alavancando a produtividade em determinadas culturas. Conclui-se que a prática possui grande potencial para aumentar a sustentabilidade da agricultura em solos drenados e recomenda-se que estudos específicos para áreas de clima úmido e climas áridos no Brasil.

PALAVRAS – CHAVE: Drenagem Controlada. Gerenciamento de água de drenagem; Drenagem Agrícola.

ABSTRACT

Drainage water management allows us to adjust the water table according to the crop's need, bringing several benefits to the agriculture and environment. However, this practice is not widely publicized and utilized in Brazil. Controlled drainage is an important subject to develop drainage engineering. This project aims to carry out a systematic review of agricultural water management including its benefits and restrictions, in order to provide the basis for future research about controlled drainage considering the soils, crops and weather in Brazil. A total of 17 articles were selected, covering aspects such as water quality, drained volume, productivity, operability, fertilizer consumption, design, and system layout. The research indicates that controlled drainage can mitigate the environmental impacts of the drainage effluents, reduce water consumption, and improve water quality, as well as increase the productivity of certain crops. It is concluded that the practice has a great potential to increase the sustainability of Brazilian agriculture, recommending that specific research should be carried out on semiarid and humid climates in Brazil.

KEY WORDS: Controlled Drainage, Drainage Water Management, Agriculture Drainage

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Valor bruto da Produção no Brasil em 2019 e 2020 (em R\$ Bilhões)	17
Figura 2 - Disponibilidade Hídrica	19
Figura 3 - Distribuição de Recursos Hídricos (m ³ / pessoa/ ano)	20
Figura 4 - Diagrama Esquemático do Solo como Sistema Trifásico.....	22
Figura 5 - Efeitos da Drenagem no Crescimento da Planta	24
Figura 6 - Drenagem Convencional X Drenagem Controlada	29
Figura 7 - Ajustes do Sistema de Drenagem Controlada	30
Figura 8 - Estrutura de Controle em PVC.....	31
Figura 9 - Estrutura de Controle em Concreto.....	32
Figura 10 - Estrutura de Controle Automatizada	33
Figura 11 - Estrutura de Controle Manual	33
Figura 12 - Empresa ADS – Sítio da Internet	34
Figura 13 - Empresa Agri Drain Corporation – Sítio da Internet.....	35
Figura 14 - Empresa Crumpler Plastic Pipe – Sítio da Internet	35
Figura 15 - Representação das diferenças de "Lay-out"	36
Figura 16 - Instalação da Estrutura de Controle.....	37
Figura 17 - Exemplo de Plano de Gerenciamento de Água de Drenagem.....	38
Figura 18 - Gráfico Áreas de Estudo x Número de Artigos.....	62
Figura 19 - Distribuição Geográfica dos Estudos	63
Figura 20 - Aspectos Ambientais.....	66
Figura 21 - Aspectos Produtivos Associados ao Aumento da Produtividade	68

LISTA DE QUADROS OU TABELAS

Tabela 1 – Produção e Exportações Brasileiras no Ranking Mundial em 2019	18
Tabela 2 – Material e Métodos de Pesquisa	42
Tabela 3 – Metodologia de Pesquisa	43
Tabela 4 – Lista de Estudos Seleccionados.....	44
Tabela 5 – Classificação das Áreas para Drenagem Controlada.....	57
Tabela 6 – Comparativo entre Drenagem Convencional X Drenagem Controlada ...	64
Tabela 7 – Área Cultivada e Consumo de Água no Brasil.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMN	Conselho Monetário Nacional
Ca	Cálcio
Cl	Cloro
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
Cu	Cobre
DWM	Drainage Water Management
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe	Ferro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICID	Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem
K	Potássio
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
P	Fósforo
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio
S	Enxofre
USDA	United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL:	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	15
2.3 JUSTIFICATIVA:	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 AGRICULTURA	16
3.1.1 Agricultura no Brasil	16
3.2 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS:	18
3.3 SOLO:	21
3.4 FERTILIZANTES:	22
3.5 DRENAGEM:	23
3.5.1 Tipos de drenagem	26
3.5.2 Importância da drenagem para agricultura e meio ambiente	26
3.5.3 Impactos dos efluentes da drenagem	27
3.6 DRENAGEM CONTROLADA	28
3.6.1 Operação, manutenção e comercialização das estruturas de controle	31
3.6.2 Aplicabilidades práticas e instalação de sistemas de drenagem controlada	36
3.6.3 Plano de gerenciamento de água de drenagem	38
3.6.4 Áreas onde o gerenciamento de controle de drenagem é utilizado	38
3.6.5 Normatização da prática	39
4. METODOLOGIA	40
5. REVISÃO DE LITERATURA:	46
5.1 ARTIGO 1 – ESTADOS UNIDOS	46
5.2 ARTIGO 2 – CANADA, ESTADOS UNIDOS, SUÉCIA	47
5.3 ARTIGO 3 – CANADÁ	48
5.4 ARTIGO 4 – ESTADOS UNIDOS	49
5.5 ARTIGO 5 – ESTADOS UNIDOS	49
5.6 ARTIGO 6 – IRAN	50
5.7 ARTIGO 7 – EGITO	51

5.8 ARTIGO 8 – ESTADOS UNIDOS	52
5.9 ARTIGO 9 – ESTADOS UNIDOS	53
5.10 ARTIGO 10 – HOLANDA	54
5.11 ARTIGO 11 – ESTADOS UNIDOS	55
5.12 ARTIGO 12 – NOVA ZELÂNDIA	56
5.13 ARTIGO 13 – SUÉCIA	56
5.14 ARTIGO 14 – ITÁLIA	58
5.15 ARTIGO 15 – ESTADOS UNIDOS	59
5.16 ARTIGO 16 – INDIA	60
5.17 ARTIGO 17 – EGITO	60
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
6.1 DRENAGEM CONTROLADA NO BRASIL	64
6.2 ASPECTOS AMBIENTAIS	65
6.3 ASPECTOS OPERACIONAIS	67
6.4 ASPECTOS PRODUTIVOS	68
6.5 ASPECTOS FINANCEIROS	69
6.6 RISCOS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ÁGUA DE DRENAGEM	69
7. CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1. INTRODUÇÃO

A população mundial se encontra em crescimento constante, sendo atualmente de aproximadamente 7,9 bilhões de habitantes e estima-se que em 2050 seremos 9,7 bilhões conforme dados da Nações Unidas (2022). Deste modo a demanda por alimentos, insumos para indústria e geração de energia aumentará substancialmente nos próximos anos, o que exigirá a utilização de recursos naturais de forma sustentável e consciente.

Por isso, os estudos que visam o aprimoramento das práticas agrícolas para uma maior sustentabilidade se tornam imprescindíveis. Elevar a produtividade diante de uma menor disponibilidade de recursos, garantindo a preservação ambiental é um dos maiores desafios para agricultores e pesquisadores.

A drenagem é uma prática utilizada a muitos anos que torna possível o cultivo de alimentos em terrenos com excesso de umidade. Porém a drenagem tradicional ocasiona impactos negativos ao meio ambiente, além de uma limitação operacional referente ao controle de nível do lençol freático.

Nesse contexto, o manejo da água de drenagem apresenta-se como um complemento que possibilita o controle do nível do lençol freático de forma a minimizar os impactos no meio ambiente ocasionados pela drenagem convencional, além de uma economia de recursos e possibilidade de diversificação de tipos de cultura.

Essa prática, também conhecida como drenagem controlada, já é utilizada em diversos países do mundo, com diversas pesquisas comprovando sua eficácia como complemento à drenagem convencional, atuando na redução do volume drenável, melhoria na disponibilidade e qualidade da água, e aumento da produtividade.

Entretanto, a técnica é pouco documentada e pesquisada no Brasil, o que impossibilita uma avaliação de sua relevância para tornar a produção agrícola brasileira realizada em áreas drenadas mais sustentável.

Com uma safra de cereais, leguminosas e oleaginosas de 261,4 milhões de toneladas (IBGE, 2022) e uma área agricultável superior a 65 milhões de hectares (EMBRAPA, 2017), a agricultura brasileira é responsável pelo consumo de 58% da água potável utilizada no país (FAO, 2022). Com essa magnitude, acredita-se que o manejo de água de drenável possui um grande potencial de aplicabilidade em solo nacional.

Desta forma, o trabalho se constitui de uma revisão sistemática de literatura, em que foram agrupados artigos e documentos relevantes sobre o tema, publicados em diversas partes do mundo, fazendo um paralelo com a drenagem convencional e apresentando os pontos chaves referentes aos seus aspectos ambientais, operacionais, produtivos e financeiros.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

O trabalho tem como principal objetivo apresentar uma revisão sistemática de literatura a partir dos principais estudos feitos sobre o desenvolvimento e aplicação de práticas de controle da água de drenagem em áreas agricultadas.

2.2 Objetivos específicos:

- a) Apresentar a aplicação da prática de controle da água de drenagem em comparação com a drenagem convencional;
- b) Reunir os principais artigos publicados, mostrando as potencialidades e aplicações da prática de controle de água de drenagem;
- c) Apresentar as perspectivas para aplicação dessa prática de drenagem quanto aos seus aspectos ambientais, operacionais, produtivos e financeiros para a agricultura.

2.3 Justificativa:

O estudo foi motivado pela dificuldade de implementação das estruturas de controle no desenvolvimento de um anteprojeto de Engenharia de Drenagem, em âmbito acadêmico; para o qual se tomou como base uma área real. Foi possível observar que o mercado brasileiro não comercializa equipamentos para controle de drenagem, bem como são escassos os trabalhos de pesquisas, sobre o tema, já realizados para as condições de solo, clima e culturas, nas diferentes regiões do Brasil.

Em diversas partes do mundo, onde se aplicam as práticas de irrigação e drenagem, acontecem impactos ambientais pelo lançamento de teores elevados de Nitrogênio e Fósforo, além de outros componentes, provenientes de áreas drenadas.

Portanto a drenagem controlada, quando aplicada em áreas agricultadas, apresenta ganhos interessantes na redução do lançamento de poluentes, contribui para maior economia de água e produtividade.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo se inicia por uma revisão sobre os principais recursos afetados pela prática da drenagem, que são o solo e a água. Em sequência uma abordagem da magnitude que a agricultura representa para o mercado brasileiro e mundial. Por fim, houve maior detalhamento sobre a prática da drenagem convencional e da drenagem controlada.

3.1 Agricultura

A agricultura pode ser conceituada como o uso de técnicas e métodos para cultivo do solo, proporcionando a produção de plantas. O resultado é o fornecimento de alimentos e de matéria prima para abastecimento da população e da indústria como um todo. A agricultura é parte do setor primário da economia e pode ser considerada um dos pilares econômicos para constituição e manutenção da sociedade.

Antigamente os povos eram nômades, não tinham habitação fixa, esse estilo de vida mudou quando aparece a agricultura, já que o motivo para tanto deslocamento era a procura incessante por alimento. O conhecimento e uso da agricultura possibilitou a criação de vilas e cidades e também a estabilidade alimentar e a comercialização de excedentes de produção e outros serviços.

Os primeiros sistemas de cultivo e de criação de animais foram datados a aproximadamente 10 mil anos atrás no período neolítico (MAZOYER; ROUDART, 2009) e vem sofrendo inovações tecnológicas ao longo do tempo. Aumentar a produtividade e a manutenção dos recursos naturais deve ser permanente.

3.1.1 Agricultura no Brasil

A produção agropecuária no Brasil vem se desenvolvendo muito ao longo dos últimos anos, cada vez mais produtores rurais se tornam conscientes da responsabilidade que o setor tem perante o meio ambiente e a produtividade.

O Brasil tem na agricultura umas das principais bases da economia do país e conta hoje com uma população de aproximadamente 214 milhões de habitantes

(IBGE, 2022) espalhados em uma extensão territorial de 8.544.416 km² (TUCCI; HESPANHOS; NETTO, 2001, p.17).

Segundo o CNA (2020) o agronegócio representa aproximadamente 21% do PIB do país, sendo 68% desse valor referente a agricultura e 32% referente a pecuária. Na *Figura 1*, é apresentado os valores brutos da produção agrícola das commodities brasileiras em 2019 e 2020.

Figura 1 - Valor bruto da Produção no Brasil em 2019 e 2020 (em R\$ Bilhões)



Fonte: CNA, 2020

Segundo dados da pesquisa elaborada pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2022), com base na PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio), 20,21% do total de 91,29 milhões de trabalhadores estão no agronegócio brasileiro.

A *Tabela 1*, mostra a magnitude do agronegócio brasileiro no mercado internacional onde a representatividade é de 43% das exportações.

Tabela 1 - Produção e Exportações Brasileiras no Ranking Mundial em 2019

	Açúcar	Café	Suco de Laranja	Soja	Carne de Frango	Carne Bovina	Milho	Carne Suína
Produz	29,5 MI t (2°)	3,8 MI t (1°)	1,3 MI t (1°)	117 MI t (2°)	13,3 MI t (2°)	9,9 MI t (2°)	101 MI t (3°)	3,7 MI t (4°)
Exporta	19,6 MI t (1°)	1,9 MI t (1°)	1,2 MI t (1°)	75,4 MI t (1°)	3,6 MI t (1°)	2,0 MI t (1°)	39,0 MI t (3°)	0,7 MI t (4°)

* Valores em Milhões de toneladas (MI t)

Fonte: Adaptado de CNA, 2020

Segundo a NASA e a Embrapa (2017), o total do território brasileiro utilizado para fins agrícolas é de aproximadamente 65.913.738 hectares, que equivale a aproximadamente 8% do território total. Esses números levam a que o Brasil seja visto no mundo como aquele que substitui florestas para ampliação das áreas agricultadas. Existem países com porcentagem bem maiores do território dedicada à agricultura no mundo, tais como Índia com 60%, Estados Unidos com 18,3%, China com 17,7%, seguido da Rússia. Esses países totalizam juntos cerca de 36% da agricultura mundial, sendo o Brasil o quinto colocado com 7,6%. Outro dado importante levantado pela NASA é que o Brasil preserva a vegetação nativa em 66% do seu território.

3.2 Gestão de recursos hídricos na produção de alimentos:

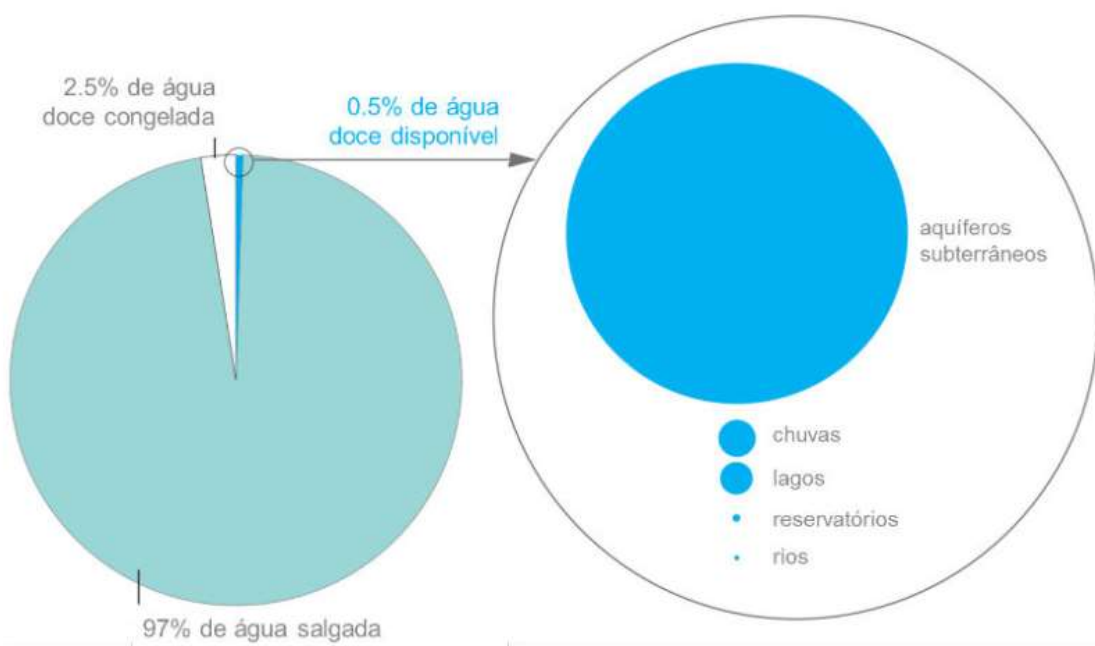
O Brasil é o 5º país em extensão territorial do mundo, e esse título faz com que o país apresente os mais variados cenários em distribuição de recursos em seu território.

Quando o assunto é volume de recursos hídricos, o país ocupa uma posição privilegiada. Porém essa distribuição é desigual, já que 75% da água do Brasil está concentrada na região da Bacia Amazônica que por sua vez se encontra ocupada somente por 5% da população. Isso leva a concluir que os demais 25% dos recursos hídricos estão disponíveis para os 95% restantes do território. Ou seja, mesmo o país estando em uma posição de privilégio em volume de recursos, sofre escassez por uma combinação do crescimento exagerado da demanda localizada,

consequência do crescimento desordenado, e a deterioração da qualidade desse recurso. (Ambev, 2016).

A água é um recurso hídrico fundamental para produção de alimentos, geração de energia, insumo para a indústria e para a manutenção do equilíbrio ambiental dos ecossistemas. Estima-se que a disponibilidade hídrica mundial está em torno de 40.000 km³/ano (Lima, 2001). No entanto segundo a Ambev (Ambev, 2016) 97% é de água salgada, 2,5% de água congelada, restando somente 0,5% dos quais a maior parte se localiza em aquíferos subterrâneos e uma pequena parte desses 0,5% aproximadamente 0,04% se encontra em fácil acesso, conforme *Figura 2*.

Figura 2 - Disponibilidade Hídrica



Fonte: UN Water, 2006

Outro dado importante é o fato de que a agricultura é responsável por cerca de 70% do uso de água no mundo (FAO, 2022). Grande parte dessa água é perdida em forma de evaporação para atmosfera, escoamento superficial e percolação subterrânea ou por manejo inadequado na irrigação e outros sistemas.

Isso mostra a importância de gerenciar o uso dos recursos hídricos, assim como o descarte inadequado de efluentes líquidos. O descarte da água oriunda da agricultura realizado de maneira inadequada pode comprometer a qualidade dos

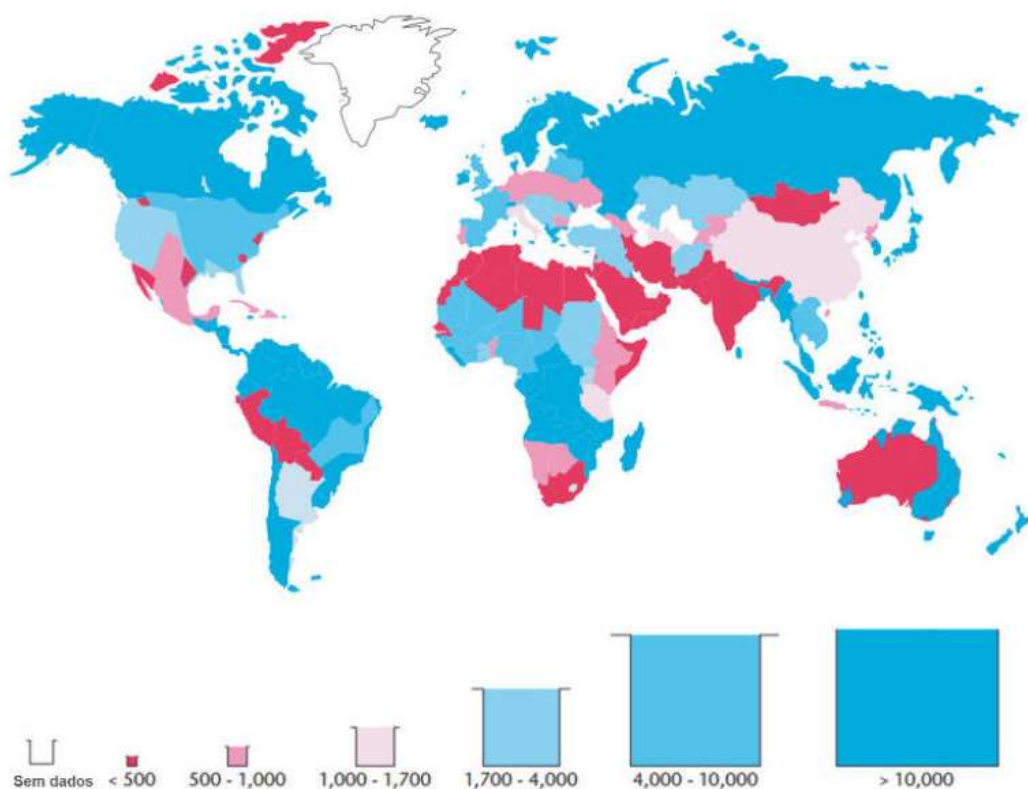
recursos hídricos, tanto para a manutenção de ecossistemas aquáticos, quanto para demais usos a jusante.

Esses dados são relevantes pois são diretamente relacionados ao tema deste estudo. já que um dos objetivos para a aplicação da drenagem controlada é contribuir para que essa água retorne com uma qualidade melhor aos corpos hídricos.

A sustentabilidade dos processos que envolvem o sistema de produção agrícola e o uso consciente dos recursos garantindo sua disponibilidade imediata e para futuras gerações. Isso será garantido com a aplicação de práticas que possam mitigar impactos indesejáveis ao ambiente natural e produtivo.

Conforme a *Figura 3 - Distribuição de Recursos Hídricos (m^3 / pessoa/ ano)* distribuição de recursos hídricos e demográfica mundial é muito irregular, o que tem gerado escassez hídrica e conflitos entre nações.

Figura 3 - Distribuição de Recursos Hídricos (m^3 / pessoa/ ano)



Fonte: UN Water, 2006

O uso de recursos hídricos deve ser otimizado, e também com os padrões de qualidade com que as águas residuárias retorna aos mananciais. A qualidade da água quando inadequada é responsável pela morte de milhões de pessoas por ano no mundo (G1, 2008).

3.3 Solo:

O solo é resultado da deposição de partículas geradas devido a ação da chuva, vento e organismos que degradam as rochas e levam milhares de anos para serem formados. (Embrapa, 2022). Os solos perdidos devido a processos de erosão, desertificação e salinização não podem ser recuperados, sendo, portanto, um recurso não renovável. Este recurso que reveste o planeta terra é responsável por boa parte da produção de alimentos, permanência das florestas, filtragem da água, regulação da temperatura e ainda controle da emissão dos gases que contribuem para o efeito estufa.

Um dos problemas que atingem o solo é o excesso de água, que compromete algumas de suas propriedades físicas. A temperatura, estrutura, permeabilidade, aeração e textura são algumas das propriedades mais comprometidas por esse desequilíbrio ocasionado pelo excesso de água.

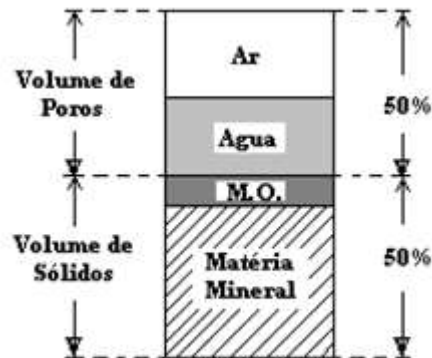
Esse excesso de água também afeta as plantas, através da saturação da zona radicular responsável pela absorção de água e nutrientes, síntese de hormônio e compostos orgânicos. Também desempenha papel na sustentação e fixação, das plantas impedindo o tombamento por ação do vento. Para que esse sistema se desenvolva no seu potencial máximo é necessário um ambiente radicular com conteúdo de umidade adequado. O excesso de água limita as raízes a uma faixa de profundidade do solo que pode não ser suficiente para sua estabilidade e desenvolvimento na capacidade potencial. Acaba favorecendo a plantas subdesenvolvidas, desnutridas e com folhas de coloração anormal.

Em casos mais severos, o encharcamento total do perfil do solo por períodos superiores a 24 horas pode ter consequências drásticas levando a planta à morte. Com comprometimento da produtividade e do retorno satisfatório dos investimentos.

Na *Figura 4 - Diagrama Esquemático do Solo como Sistema Trifásico*. A água em excesso ocupa os espaços porosos do solo, eliminando o ar e causando

problemas de arejamento. O mesmo acontece em caso de falta de água, onde o ar ocupa os poros e ocasiona déficit de água no solo.

Figura 4 - Diagrama Esquemático do Solo como Sistema Trifásico



Fonte: Ferreira, 2005

3.4 Fertilizantes:

Os fertilizantes são substâncias utilizadas na agricultura para repor a capacidade nutricional do solo e impulsionar um cultivo mais produtivo e rico nutricionalmente. Os fertilizantes são essenciais para manter uma cultura em larga escala de forma eficiente. Porém o seu uso deve ser feito com muita cautela para que não provoque desequilíbrio do meio e poluição.

Essas substâncias possuem capacidade de lixiviação e podem ser tóxicas para os seres vivos que compõem o solo e o meio, além de poluir os corpos hídricos e águas subterrâneas (SOUZA, 2018).

Segundo a Lei no 6.894, (Brasil, 1980) – art. 3o do Ministério da Agricultura e Pecuária, fertilizante é um produto mineral ou orgânico, natural ou sintético, fornecedor de um ou mais nutrientes para as plantas. Tem a função de fornecer ao solo macronutrientes como Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S); e micronutrientes como Cloro (Cl), Ferro (Fe), Cobre (Cu), entre outros. Essas substâncias são produzidas por processos físicos ou químicos e se dividem em três grupos de origem: mineral, orgânica e organomineral.

Estes nutrientes são adicionados ao solo de diversas formas e tem um papel de manutenção ou correção da parte nutricional do solo. A ação dessas substâncias vai muito além de impedir que nutrientes falem à cultura, também impactam a qualidade da água, solo, ar e a saúde humana.

A contaminação das águas superficiais e subterrâneas causada pela lixiviação de parte desses nutrientes causa o processo de eutrofização, ocasionando a proliferação de algas de forma descontrolada sobrepondo às outras formas de vida do meio que dependem de luz e oxigênio para sobreviver. Outro impacto é a contaminação dos animais e plantas do meio aquático, além da intoxicação de seres humanos que fazem uso da água para consumo.

3.5 Drenagem:

De acordo com a Comissão Internacional de Drenagem e Irrigação - ICID (2016), a drenagem compreende a remoção do excesso de água da superfície e subsolo, seja de maneira natural ou através de sistemas desenvolvidos pelo homem. A drenagem possui quatro funções principais, sendo elas a criação de áreas cultiváveis bem drenadas, prevenir a salinização do solo, permitir o controle do lençol freático e a remoção de outros elementos contaminantes do solo.

Considera-se que aproximadamente 33% das terras usadas para agricultura no mundo necessitam de drenagem (SMEDEMA; SMEDEMA; VLOTMAN, 2004). Cerca de 110 milhões de hectares de terra irrigada localizadas em áreas semiáridas e áridas no mundo apresentam problemas de drenagem. O acúmulo de sais afeta cerca de 30 milhões de hectares, isso equivale a aproximadamente 0,5 milhões de hectares de produção perdidos todos os anos. Mas ao mesmo tempo que a drenagem é solução para alguns problemas que acometem a produção.

Os efluentes da drenagem geralmente causam problemas de contaminação por sais, sedimentos e vestígios de insumos agrícolas que devem ser descartados de maneira apropriada.

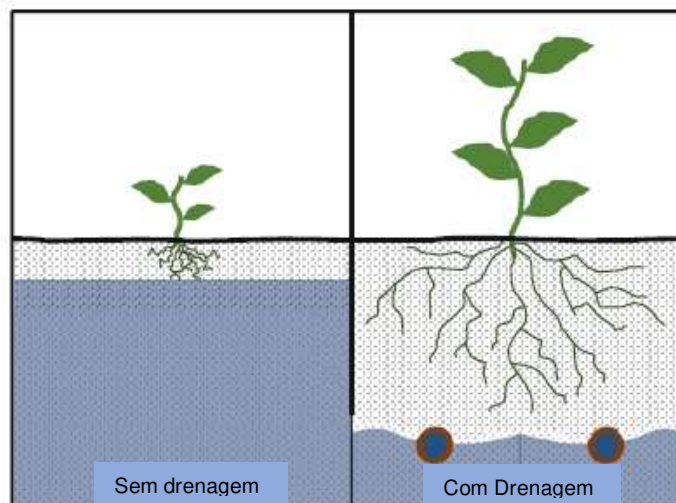
Para exploração agrícola de uma área que não apresenta condições de drenagem natural favoráveis à cultura, são utilizadas técnicas de drenagem artificial. O objetivo principal da drenagem artificial é permitir que o agricultor mantenha o lençol freático a uma altura adequada para cultura, retirando o excesso de água

oriunda de recarga de chuva e irrigação, permitindo assim a manutenção das propriedades físicas e químicas do solo.

Esse controle de água na zona radicular proporciona para a cultura um ambiente mais favorável porque mantém o equilíbrio de proporções de água, gases e matriz do solo, e conseqüentemente maior desenvolvimento e produtividade das culturas. A presença de oxigênio no solo é tão importante quanto a disponibilidade de água para o desenvolvimento sustentável da cultura.

A drenagem pode ser feita superficialmente visando a remoção do excesso de água proveniente do escoamento superficial ou de forma subterrânea, onde o objetivo principal é o controle do lençol freático, como na *Figura 5*.

Figura 5 - Efeitos da Drenagem no Crescimento da Planta



Fonte: Adaptado de Elshemy, 2017

Os benefícios da drenagem são inúmeros, como utilização de terras antes improdutivas por drenagem natural deficiente, controle ou recuperação de solos salinos em cultivos irrigados, e aumento da produtividade por tornar o ambiente mais favorável à cultura.

Para que seja fechado um diagnóstico de uma área especificando a necessidade ou não da utilização da drenagem, é feita uma análise minuciosa do local levando em consideração características do solo, clima, topografia, pedologia, hidrologia, condições da superfície, irrigação, cultura escolhida, entre outros fatores. Esses fatores podem agir separadamente ou em conjunto para criar uma área com problemas de excesso de água.

Pesquisas de como a movimentação de água subterrânea se realiza, o levantamento de dados sobre evapotranspiração, a avaliação das propriedades hidráulicas do solo, assim como a identificação das causas do excesso de água no local também devem ser considerados como parte do diagnóstico.

Uma análise bem-feita da origem do problema de drenagem pode evitar a construção de um sistema de drenagem superdimensionado ou desnecessário. Todo esse levantamento deve ser feito por um engenheiro agrícola, agrônomo ou qualquer profissional que tenha competência para realizar não só o diagnóstico da área como também o projeto a ser implantado.

As etapas são levantamento de dados realizados a partir de coletas e análises de campo e em laboratório, fechamento do diagnóstico com escolha do método a ser utilizado para correção do problema, elaboração do projeto e pôr fim a instalação e operação e manutenções. É importante que o responsável pelo manejo do sistema receba treinamento e esteja consciente das necessidades de manutenção da estrutura.

Na realização do projeto, aspectos econômicos e de disponibilidade do material devem ser levados em consideração. Muitas vezes trabalhar com projetos para escoar recargas pouco prováveis de acontecer, ou seja, projetos que atendam as maiores precipitações pluviiais da região, torna o projeto relativamente caro em troca de uma segurança pequena.

De forma geral, as técnicas de irrigação são amplamente discutidas e estudadas enquanto o manejo de água de drenagem é pouco citado em estudos e experimentos. Esse número é ainda menor quando analisamos os estudos no Brasil. Porém a necessidade de uso de terras alagadas e de técnicas para amenizar algumas consequências da irrigação, como por exemplo a salinidade do solo oriundas em terras áridas e semiáridas, está mudando esse cenário.

A combinação de técnicas como irrigação e drenagem são de extrema importância para manter o melhor rendimento por unidade de cultivo de terra e para tornar áreas antes desativadas em áreas produtivas, entre outros benefícios.

Existem alguns parâmetros do solo importantes quando o assunto é drenagem, sendo os principais deles a porosidade drenável e a condutividade hidráulica. A porosidade drenável é o parâmetro que mede a quantidade de macroporos em uma determinada porção de solo, enquanto a condutividade hidráulica mede a facilidade com a qual o solo transmite água. Esses parâmetros

podem ser calculados de forma experimental em campo ou de forma laboratorial com base na análise de amostras coletadas no campo.

3.5.1 Tipos de drenagem

Os dois tipos de drenagem agrícola existentes são a drenagem superficial e a drenagem subterrânea.

A drenagem superficial tem como foco a retirada da água acumulada na superfície antes que ela cause danos à plantação e erosão do solo. Esse sistema é utilizado quando o volume de precipitação atinge um nível que não pode mais ser infiltrado ou retirado pelos drenos subterrâneos. Essa capacidade de infiltração está relacionada a algumas características do solo e ao volume de recarga.

A drenagem subterrânea é feita por meio de drenos tubulares localizados no subsolo para controle da altura do lençol freático. Essa altura é escolhida de acordo com a profundidade radicular da planta cultivada.

Ambas as técnicas podem ser utilizadas sozinhas ou em conjunto de acordo com a necessidade do terreno e cultura.

3.5.2 Importância da drenagem para agricultura e meio ambiente

A correção de áreas de drenagem deficiente é sem dúvida uma prioridade para os agricultores. Os problemas que uma área mal drenada pode ocasionar a produtividade da lavoura são muitos, além de aumentar os custos de produção e degradar o meio ambiente.

Essas áreas enfrentam maiores problemas de compactação do solo, maior incidência de doenças, maior salinidade do solo e menor concentração de microrganismos.

Sem uma quantidade de ar adequada teremos a morte de toda a parte viva do solo, que inclui a raiz da planta e os microrganismos, ou seja, um solo bem drenado, seja por drenagem natural ou artificial, é sinônimo de solo saudável.

O excesso de salinidade do solo é um dos grandes problemas encontrados pelos agricultores, principalmente em regiões áridas e semiáridas. Nessas regiões a recarga natural é limitada e a irrigação é realizada com água de má qualidade. Esses fatores, juntamente com a drenagem deficiente contribuem para esse

desequilíbrio do solo. Essa condição interfere na pressão osmótica e com isso a disponibilidade de água para planta será diminuída, causando desequilíbrio nutricional e limitação do crescimento radicular, entre outras consequências.

A Irrigação pode obter entre 0,1 e 4,0 toneladas de sais por 1000m³ e são aplicadas na razão de 10.000 a 15.000 m³ por hectare ano (MACEDO; SOUZA; MORRILL, 2007), ou seja, em áreas irrigadas temos um adicional de 1 a 60 toneladas de sal por hectare, isso a torna o principal fornecedor de sais para o solo.

Quando o lençol freático está perto da superfície existe uma perda grande de água por evaporação e transpiração das plantas que ajuda a aumentar a salinidade do solo. A drenagem por sua vez consegue manter esse lençol mais afastado da superfície minimizando esse efeito. Com a drenagem também podemos aplicar uma lâmina maior de água quando a salinidade estiver alta para que possamos ter uma maior lixiviação e conseqüentemente a lavagem dos sais acumulados no solo, que serão levados embora em direção aos drenos subterrâneos.

3.5.3 Impactos dos efluentes da drenagem

A utilização da prática de drenagem traz resultados positivos para a agricultura, porém como toda intervenção humana resulta em impactos e a drenagem não é diferente. Um dos impactos mais notados devido essa prática é a contaminação com a alta dosagem de substâncias oriundas de fertilizantes e agrotóxicos lixiviados e conduzidos por drenos para rios e lagos.

Essas substâncias afetam a qualidade da água e comprometem o seu uso, causando problemas de saúde e desequilíbrio no ecossistema. Um dos resultados desse desequilíbrio é a eutrofização. Esse processo consiste na proliferação excessiva de algas causada pelo aumento de nutrientes na água. Essas algas formam uma barreira que impede a entrada da luz e conseqüentemente interfere na fotossíntese e causa a morte de algas e plantas. O efeito disso é o aumento de matéria orgânica e em seqüência elevação das bactérias que consomem oxigênio.

A falta de oxigênio leva à morte de peixes e de todos os seres que fazem uso desse elemento químico. O ambiente passa ser dominado por seres anaeróbicos que produzem gases tóxicos e um grande desequilíbrio ambiental.

O custo com o tratamento da água contaminada por essas substâncias apresenta-se elevado, portanto, adotar boas práticas e identificar fontes de contaminação pode minimizar esse problema.

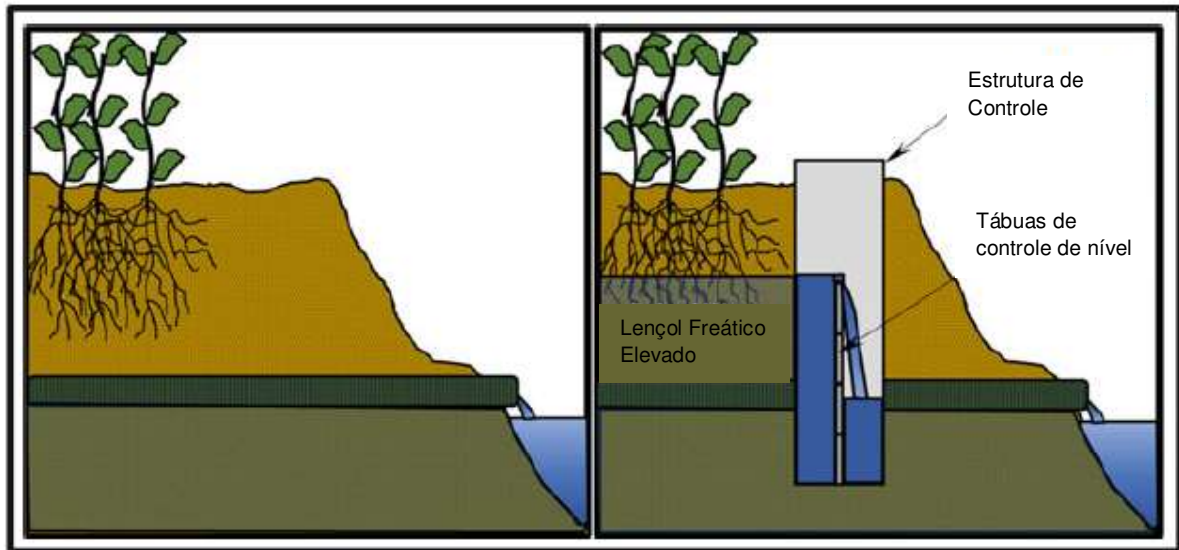
3.6 Drenagem controlada

O gerenciamento da água de drenagem tem como objetivo variar a intensidade com que a água é drenada do solo. Essa técnica pode garantir que não tenhamos uma retirada maior que a necessária para garantir o crescimento adequado da cultura. Os primeiros experimentos feitos para medir a eficácia desta prática na redução de Nitrato oriundo da água de drenagem foram realizados na Califórnia em terras irrigadas e drenadas (Meek et al., 1970; Willardson et al., 1972).

Esse controle é feito a partir de placas que trabalham como um sistema de barragem e ajustam as cotas de saída desse dreno. Para isso são instaladas estruturas de controle ao longo do sistema de drenagem que abrigam essas placas. Com esses dispositivos o agricultor pode escolher utilizar a estrutura de controle sem nenhuma placa, ou seja, equivalente ao sistema de drenagem convencional, ou adicionar placas a estrutura elevando o nível do lençol freático mesmo com os drenos na profundidade original.

Na *Figura 6* está a influência da drenagem controlada e da drenagem convencional no lençol freático.

Figura 6 - Drenagem Convencional X Drenagem Controlada



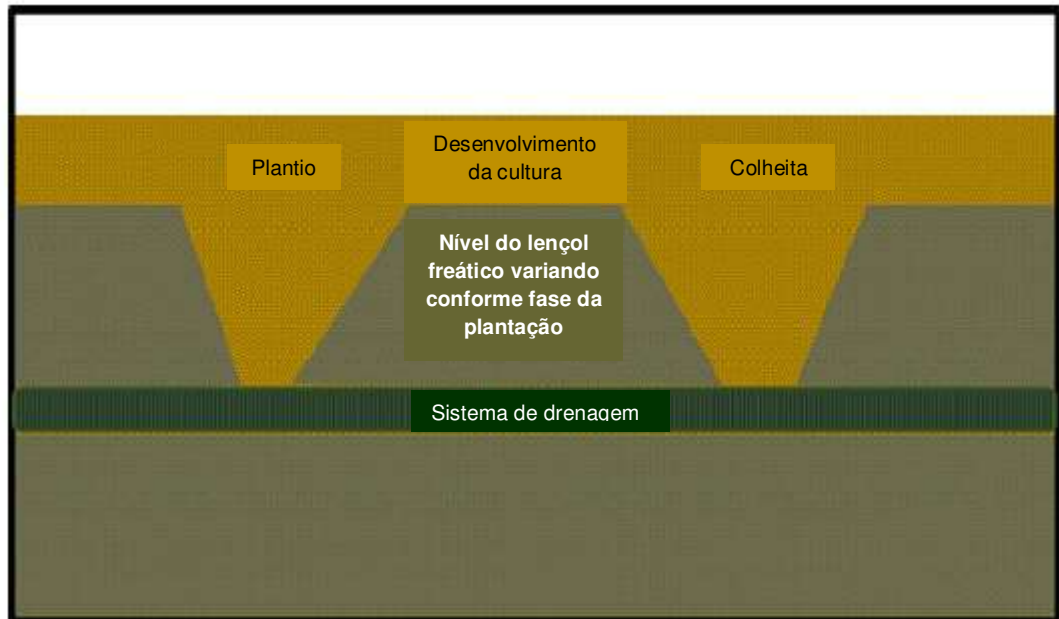
Fonte: Adaptado de Elshemy, 2017

O uso dessas estruturas nos sistemas de drenagem pode gerar economia de água, já que permite ao agricultor o controle do nível do lençol freático, podendo elevá-lo em épocas de estiagem ou reduzi-lo quando requerido, gerando por consequência uma economia de água e recursos financeiros.

O sistema também pode ser regulado de acordo com o crescimento radicular da cultura, diminuindo o volume de água drenado após a colheita, possibilitando a retenção de água e nutrientes no solo tornando o sistema de drenagem mais otimizado.

Na *Figura 7* está um modelo de plano de gerenciamento de drenagem, onde o lençol freático é rebaixado durante as fases de plantio e colheita para permitir o acesso das máquinas e progressivamente ajustado durante a fase de crescimento radicular da cultura.

Figura 7 - Ajustes do Sistema de Drenagem Controlada



Fonte: Adaptado de Elshemy, 2017

Outra questão bem interessante desse sistema é que podemos diminuir os efluentes nos corpos hídricos, uma vez que temos uma diminuição do volume drenado sendo pelo solo estar em pousio ou aumentarmos o nível do lençol pelos motivos listados acima. Essa diminuição se reflete em menor contaminação dos rios e lagos que recebem esses drenos, menor necessidade de irrigação e uso de fertilizantes, sendo um ganho de qualidade e economia de recursos.

Temos também uma maior conservação do solo, ou seja, menos perda de nutrientes e insumos por lixiviação.

O manejo da água de drenagem também contribui para melhora do ecossistema como um todo, melhora da qualidade do habitat da vida saudável e pela diminuição dos resíduos despejados nos cursos de água locais.

Tudo na natureza está direta ou indiretamente interligado, ou seja, se melhoramos um fator isso se espelha em todo resto como um efeito dominó. Podemos dizer que a consequência dessa prática é a conservação do solo, dos recursos hídricos, dos recursos econômicos e aumento da produtividade da cultura.

3.6.1 Operação, manutenção e comercialização das estruturas de controle

As caixas de controle são dispositivos hidráulicos muito similares a caixas de passagem, podendo as mesmas serem confeccionadas de diversos materiais, sendo instaladas tanto em sistemas de drenagem subterrânea de drenos tubulares fechados ou em sistemas de drenagem abertos onde a condução da água é feita a partir de valas. Ainda temos os sistemas mistos onde parte dessa água é conduzida por canos e outra parte por valas.

Existem modelos disponíveis em vários materiais sendo os mais comuns alumínio, PVC e concreto. A operacionalidade da caixa é bastante simples e pode ser feita pelo próprio agricultor ou funcionário. As *Figura 9* apresentam modelos de estrutura de controle em diversos materiais utilizados no Estados Unidos, podendo ser confeccionadas em diferentes tamanhos conforme necessidade da colheita.

Figura 8 - Estrutura de Controle em PVC



Fonte: Poly Riser Pipes, 2022

Figura 9 - Estrutura de Controle em Concreto



Fonte: Briggs MFG, 2022

A necessidade de um profissional habilitado para dimensionamento das caixas, instalação do sistema, ou até mesmo a escolha por confeccionar os dispositivos na propriedade é muito importante.

Podemos encontrar no mercado dispositivos manuais e automatizados. Os dois tipos contêm placas internas, chamadas tábuas de controle de nível, que elevam ou abaixam o nível do lençol freático gradativamente. Nos dispositivos manuais, existe a necessidade de colocar e remover essas placas manualmente, enquanto nas automáticas esse ajuste pode ser feito através de dispositivos digitais. O sistema automatizado é munido de sensores de nível de água, painel solar entre outras tecnologias e permite que o agricultor faça programas mais longos de ajustes mensais ou anuais de acordo com as necessidades da cultura.

As vantagens das estruturas automatizadas em relação às estruturas manuais incluem a facilidade de controle em grandes áreas e a possibilidade de confecção de um plano de gerenciamento a longo prazo.

As desvantagens das estruturas automatizadas em relação as estruturas manuais são o custo de compra e manutenção mais elevado, e a necessidade de acesso à internet já que o seu controle é feito por dispositivos digitais. Nas figuras *Figura 10* e *Figura 11* estão exemplos dessas estruturas.

Figura 10 - Estrutura de Controle Automatizada



Fonte: Agri Drain, 2022

Figura 11 - Estrutura de Controle Manual



Fonte: Agri Drain, 2022

Existe um problema em comum entre os dois tipos de estruturas, o fato delas não serem comercializadas no mercado nacional. Isso dificulta a utilização da prática, porém não impede já que as estruturas são dispositivos hidráulicos simples podendo ser confeccionado na propriedade com acompanhamento de um profissional qualificado.

No mercado internacional foram encontradas algumas empresas que comercializam a estrutura como a Agri Drain, ADS e Crumpler Plastic Pipe, conforme sítios da internet apresentados nas *Figura 12*, *Figura 13* e *Figura 14*.

Figura 12 - Empresa ADS – Sítio da Internet

ADS

PRODUCTS | MARKETS | ENGINEERING RESOURCES | CUSTOMER SUPPORT | ABOUT ADS | ADS WORLDWIDE | INVESTOR RELATIONS

Agriculture

More than a billion feet of ADS corrugated polyethylene pipe have been installed in American farmlands for field drainage, soil moisture control, and stock ponds. There is even a specially perforated pipe series for grain aeration. Farmers choose polyethylene for its ruggedness in all temperatures, easy installation, low cost, and long service life.

Water Management Product Catalog
Click here to view

Residential, Irrigation & Landscaping Product Catalog
Click here to view

AG PHD
Click Here to View Video

Agricultural BMPs Put To Work
Click Here to Watch

Agricultural Resource Tools

- G.R.O.W. Analysis Spreadsheet [Click Here](#)
- Land Purchase Analysis Spreadsheet [Click Here](#)
- Agriculture Drainage Calculator-Known Pipe Size [Click Here](#)
- Agriculture Drainage Calculator-Known Acres [Click Here](#)

Applications within this Market

- HP Agriculture Lift Station**
A complete solution with Turn Key availability and no hidden costs.

DESIGN TOOL

Quick Links

- ➔ Drainage Handbook
- 📄 CAD Drawings
- 👤 Request an Estimate

Resources

Agriculture Brochures

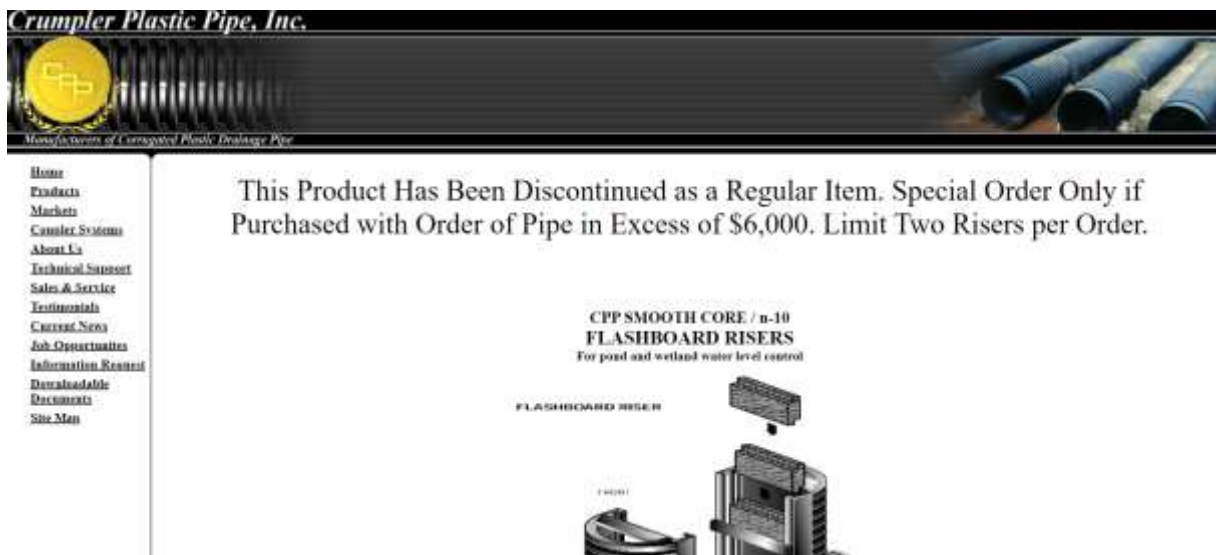
Fonte: ADS, 2022

Figura 13 - Empresa Agri Drain Corporation – Sítio da Internet



Fonte: Agri Drain Corporation, 2022

Figura 14 - Empresa Crumpler Plastic Pipe – Sítio da Internet



Fonte: Crumpler Plastic Pipe, 2022

A Agri Drain possui um vasto material com instruções de como utilizar, instalar e operar as estruturas de controle. As demais empresas comercializam as estruturas de forma individual, ou seja, elas são confeccionadas por encomenda. Além das empresas, a United States Department of Agriculture (USDA) oferece um material bastante extenso sobre o assunto.

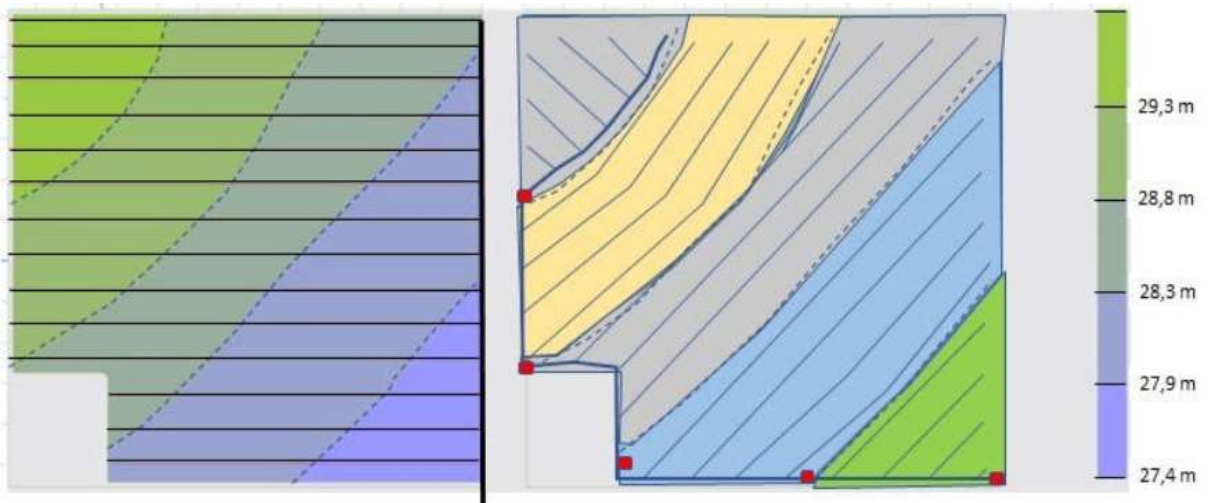
3.6.2 Aplicabilidades práticas e instalação de sistemas de drenagem controlada

A indicação é que as estruturas devem ser instaladas em terrenos planos com inclinação de no máximo 1%, e em lugares onde existe a necessidade de sistema de drenagem artificial. É recomendado que se tenha uma estrutura de controle a cada 45 cm de elevação do terreno. O que torna economicamente difícil executar esse tipo de prática em terrenos com grandes inclinações.

Após o engenheiro estipular a posição de cada estrutura no sistema de drenagem alguns cuidados devem ser adotados para evitar ao máximo vazamentos e mal funcionamento da peça. As tábuas de controle de nível devem permanecer no trilho da estrutura durante a instalação, as estruturas são projetadas para fluxos por gravidade e baixa pressão.

A Figura 15 apresenta uma representação indicando as diferenças entre os "lay-outs" para os sistemas de drenagem convencional e drenagem controlada, onde podemos visualizar a esquerda o projeto para a drenagem convencional, com o sistema sendo interligado de forma única, sem possibilidade de controle individualizado do nível do lençol freático. A direita, temos o projeto de drenagem controlada, onde cada estrutura de controle é representada pelos pontos vermelhos, que controlam separadamente de maneira independente a altura do lençol freático para a região demarcada por cores diferentes.

Figura 15 - Representação das diferenças de "Lay-out"



Fonte: Transforming drainage projects, 2014

A empresa Adri Drain sugere que a instalação siga os seguintes passos, conforme a *Figura 16*:

- Escavação: A base da estrutura deve ser colocada em solo compactado, uma base sólida e estável reduzirá o desalinhamento dos tubos e conexões.
- Conexão dos tubos de dreno na estrutura.
- Nivelamento vertical da estrutura antes de colocar o aterro. O aterro deve ser colocado aos poucos e compactado manualmente sem a utilização de máquinas pesadas.

Figura 16 - Instalação da Estrutura de Controle

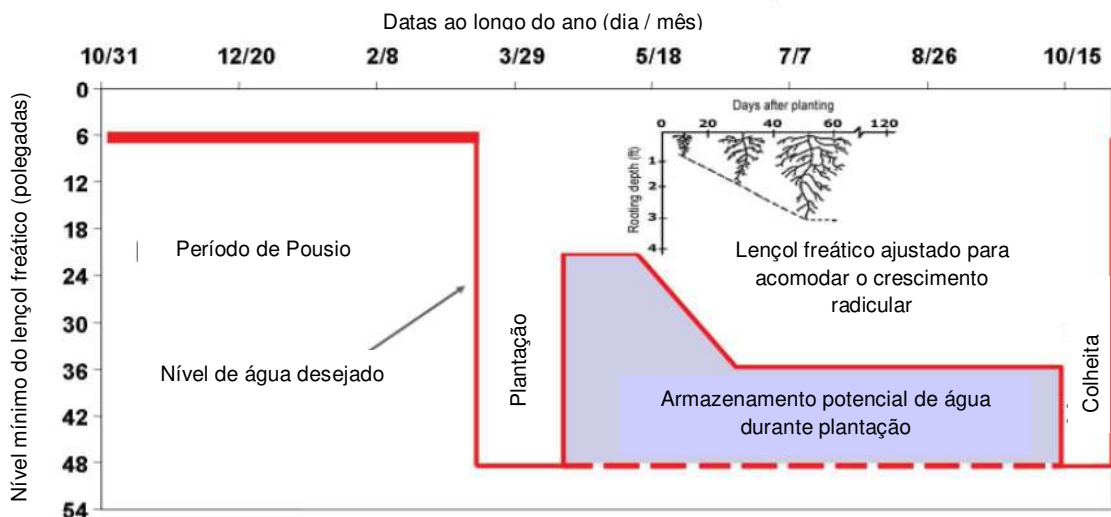


Fonte: Departamento de Agricultura e Engenharia Biológica da Faculdade de Purdue, 2013

3.6.3 Plano de gerenciamento de água de drenagem

O sucesso do manejo da água de drenagem não depende apenas do projeto, ou da instalação adequada das estruturas. Também é necessário um plano de gerenciamento que considere as etapas da cultura, ou seja, ajustar a altura do lençol para acompanhar o crescimento radicular permitindo que a água fique sempre ao alcance das raízes conforme *Figura 17*. O plano também permite reter mais água no solo em momentos de seca de forma a diminuir a necessidade de recarga artificial.

Figura 17 - Exemplo de Plano de Gerenciamento de Água de Drenagem



Fonte: USDA, 2022

Nesse exemplo, o lençol freático é elevado durante o pousio, sendo rebaixado durante o período de plantação para possibilitar o acesso a máquinas e equipamentos. Posteriormente, o lençol vai sendo periodicamente ajustado conforme crescimento radicular da planta, armazenando a úmida no solo e reduzindo a quantidade de água drenada. O lençol é novamente rebaixado no período de colheita.

3.6.4 Áreas onde o gerenciamento de controle de drenagem é utilizado

A NRCS é um grupo dentro do departamento de agricultura dos Estados Unidos (USDA) que tem como objetivo ajudar os agricultores americanos com

assistência técnica e financeira para que a conservação seja voluntariamente considerada, não somente ajudando o meio ambiente, mas também as operações.

Um time dedicado ao gerenciamento de águas foi destinado pelo departamento de agricultura para auxiliar os estados nos esforços voluntários de conservação para redução do nível de nitrato das águas oriundas da drenagem agrícola. O foco inicial de atuação dessa equipe são as áreas intensivamente drenadas do Rio Mississippi que inclui as áreas de Indiana, Illinois, Iowa, Missouri, Minnesota e Ohio. Posteriormente essa área de foco foi expandida para incluir a Bacia Great Lakes e Red River Valley adicionando Michigan, Wisconsin, South Dakota e North Dakota.

A prática também é utilizada em outras partes do mundo, seja em maior ou menor escala, tendo registros de sua utilização no Canadá, Suécia, Itália, Egito, Índia e Nova Zelândia, entre outros.

3.6.5 Normatização da prática

O departamento de agricultura dos Estados Unidos (USDA) publicou um padrão para o Gerenciamento de Água de Drenagem – Code 554 (USDA, 2016). O padrão descreve os requisitos mínimos para implementação do sistema, tais como estabelecimento dos controles e áreas de influência de cada estrutura, determinação de critérios para redução da carga de nutrientes e pesticidas, aumento da produtividade e saúde das plantas, redução da oxidação do solo e implementação de um plano de gerenciamento do sistema, incluindo aspectos relativos à operação e manutenção.

Adicionalmente, o padrão Code 587 (USDA, 2005) descreve os critérios necessários para o projeto das estruturas de controle, incluindo condições onde sua aplicação é recomendada, suas funções e os pontos que devem ser observados durante planejamento, projeto e implementação da estrutura de controle. A norma também estabelece a documentação mínima que deve ser emitida e arquivada, assim como a necessidade de notificação sobre a instalação da estrutura.

Nenhuma norma referente a prática foi identificada no Brasil ou em outra parte do mundo.

4. METODOLOGIA

Este trabalho é o resultado do levantamento das principais publicações existentes sobre manejo de água de drenagem. O processo de identificação, seleção e inclusão dos documentos nesse estudo seguiu conforme etapas abaixo:

- a) Primeira etapa: Foram identificadas as publicações que atendiam os critérios da pesquisa nas bases de dados Google Acadêmico, Elsevier, Science Direct, Web of Science, Scopus, conforme palavras chaves descritas na *Tabela 3*.

O filtro utilizado permitiu estudos e revisões de literatura como resultado. Não foi selecionado um intervalo de datas de publicação por se tratar de um tema relativamente novo e onde não foram encontradas nenhuma publicação em território nacional.

- b) Segunda etapa: Foi feita a primeira seleção entre os resultados com uma breve leitura do título e do resumo.
- c) Terceira etapa: Foi feita uma segunda leitura um pouco mais detalhada, porém não total e foram excluídos estudos que tinham foco na drenagem urbana, na irrigação, estudos duplicados ou que não estavam na área de estudo.
- d) Quarta etapa: Os estudos restantes foram lidos na íntegra e selecionados de acordo com o seguinte critério de elegibilidade: Estudos, publicações e revisões que testaram a eficácia e aplicabilidade do manejo de água de drenagem e como a prática se relaciona com as variáveis ligadas à produção agrícola por meio de medições ou observações de resultados.
- e) Quinta etapa: Nesta etapa foi feita uma última seleção que buscava enfatizar a distribuição geográfica dos estudos de modo a dar uma visão global da prática. Outro cuidado adotado na seleção foi o de tentar diversificar as fontes de publicação para uma amostra o mais heterogênea

possível, já que os jornais selecionam os artigos que querem publicar. Nesta etapa também foi feita uma seleção dos estudos que testaram a eficácia do manejo de água de drenagem segundo os seguintes parâmetros abaixo:

- Qualidade da água;
- Tipo de solo;
- Topografia;
- Uso de fertilizantes;
- Fatores financeiros
- Salinidade;
- Produtividade
- Volume drenado;
- Concentração de nutrientes;
- Economia de água;
- Escoamento superficial;

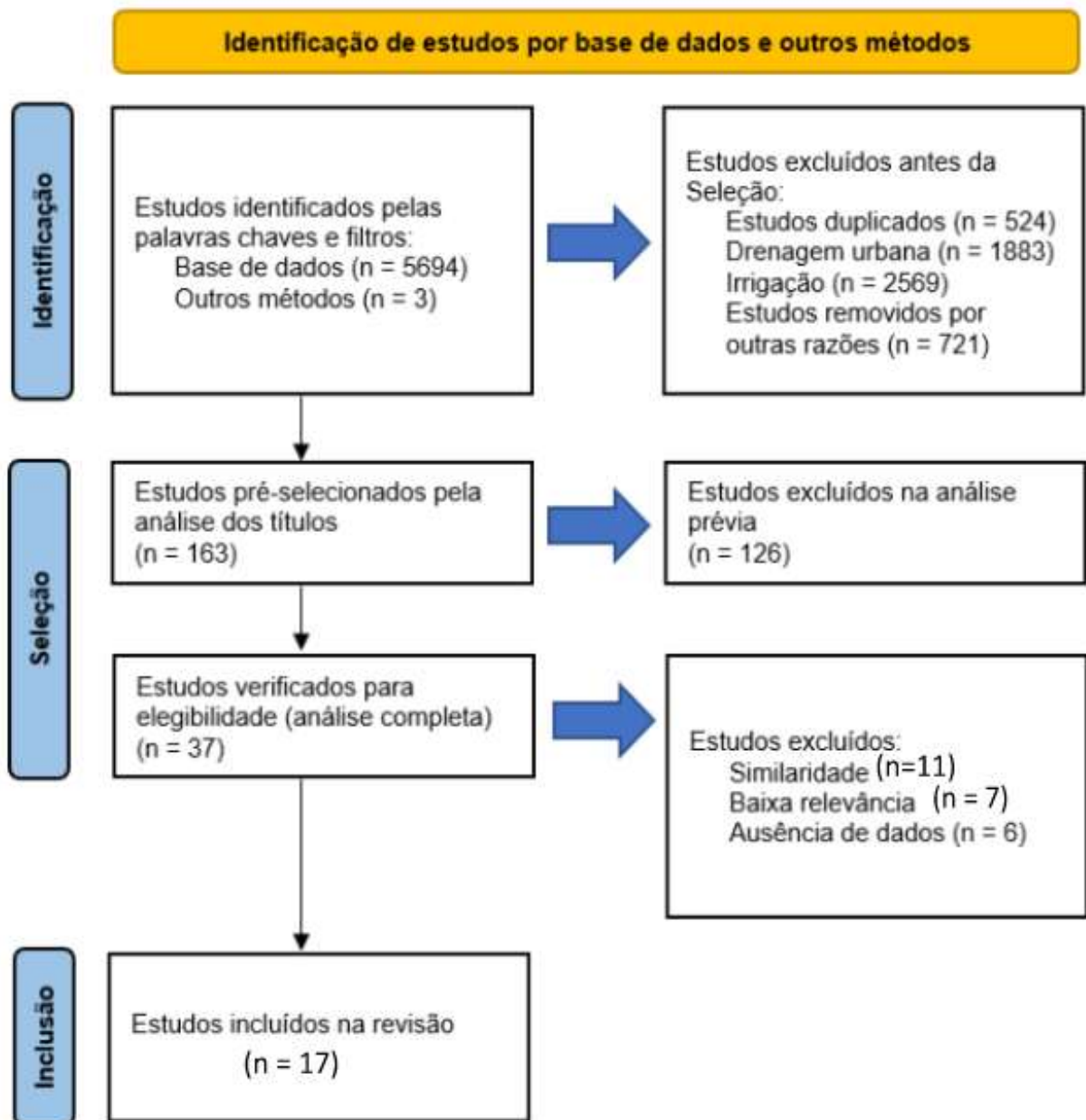
f) Após a seleção estar concluída cada artigo foi lido integralmente e deles foi retirado um grupo de informações que serviram de conteúdo para confecção de um resumo individual de cada estudo que se encontra neste documento e posteriormente as análises e conclusões do estudo. As informações extraídas dos estudos se encontram abaixo:

- Nome dos autores;
- Local de publicação;
- Ano de publicação;
- Objetivo do estudo;
- Tipo de solo;
- Cultura;
- Motivação do estudo;
- Local onde o estudo foi realizado;
- Tempo de duração do estudo;
- Metodologia do estudo;
- Variáveis consideradas;
- Resultados;

- Sugestões de estudos futuros.

Essa metodologia para pesquisa, identificação e seleção dos estudos está resumizada na *Tabela 2* abaixo:

Tabela 2 - Material e Métodos de Pesquisa



Fonte: Elaboração própria, 2022

As bases de dados utilizadas para pesquisa das palavras chaves estão detalhadas conforme *Tabela 3*. Foram levantados 5697 documentos, todos na língua inglesa.

Tabela 3 - Metodologia de Pesquisa

Base de dados utilizados	Google Acadêmico, Elsevier, Science Direct, Web of Science, Scopus
Palavras chaves pesquisadas	“Drainage Water Management”, “Controlled Drainage”, “Drainage Control System”, “Drenagem Controlada”, “Manejo de água de drenagem”, “Estrutura de controle de drenagem”
Documentos selecionados por local de publicação	Agricultural Water Management Journal - 5 Journal of Soil and Water Conservation – 3 Journal of Irrigation and Drainage Engineering - 1 Crops and Soil Magazine - 1 Hydrology and Earth System Sciences - 1 International Journal of Water Resources and Arid Environments - 1 Irrigation and Drainage – Wiley Interscience - 1 Journal Journal of Hydrology Research – IWA Publishing - 1 Science of the Total Environment Journal - 1 Spring International Publishing - 1 New Zealand Journal of Agricultural Research -1

Fonte: Elaboração própria, 2022

Após esse levantamento o material foi analisado, interpretado e sintetizado para uma melhor definição do problema, com o propósito de nos situar em qual ponto se encontram os estudos e a percepção das lacunas referentes ao manejo de água de drenagem.

Os documentos listados na *Tabela 4* abaixo foram selecionados e incluídos nesse estudo.

Tabela 4 - Lista de Estudos Selecionados

Artigo #	Nome	Autor	Ano	Local
1	Performance of drainage water management in Illinois, US	R.Cooke & S.Verma	2012	Journal of Soil and Water Conservation
2	A synthesis and comparative evaluation of factors influencing the effectiveness of drainage water management	J.A. Ross & et al	2016	Agricultural Water Management Journal
3	Drainage water management combined with cover crop enhances reduction of soil phosphorus loss	T.Q. Zang	2017	Science of the Total Environment Journal
4	Controlled versus Conventional Drainage Effects on Water Quality	R.O.Evans, R.W. Skaggs & J.W. Gilliam	1995	Journal of Irrigation and Drainage Engineering
5	Drainage water management effects on tile discharge and water quality	M.R. Williams, K.W. King & N.R. Fausey	2015	Agricultural Water Management Journal
6	Managing Controlled drainage in irrigated farmer's fields: A case study in the Moghan plain, Iran	H.J. Jouni & et. al	2018	Agricultural Water Management Journal
7	Review of technologies and practices for improving agricultural drainage water quality in Egypt	M. Elshemy	2017	Springer International Publishing
8	Subsurface drainage volume reduction with drainage water management: Case studies in Ohio, USA	K.M. Gunn	2015	Agricultural Water Management Journal
9	Improving water and nutrient use efficiency with Drainage Water	T. Ehmke	2013	Crops & Soil Magazine
10	High-frequency monitoring of water fluxes and nutrient loads to assess the effects of controlled drainage on water storage and nutrient transport	J.C. Rozemeijer & et.al	2016	Hydrology and Earth System Sciences

11	Drainage water management	R.W. Skaggs, N.R.Fausey & R.O. Evans	2012	Journal of Soil and Water Conservation
12	Controlled drainage systems to reduce contaminant losses and optimize productivity from New Zealand pastoral systems	D.J. Ballantine & C.C. Tanner	2013	New Zealand Journal of Agricultural Research
13	Mapping suitability of controlled drainage using spatial information of topography, land use and soil type, and validation using detailed mapping, questionnaire and field survey	A. Joel, I. Wesstrom & I. Messing	2009	Journal of Hydrology Research – IWA Publishing
14	Controlled drainage and crop production in a long-term experiment in North- Eastern Italy	M. Tolomio & M. Borin	2019	Agricultural Water Management Journal
15	Effects of drainage water management on crop yields in North Carolina	C.A. Poole & Et.al	2013	Journal of Soil and Water Conservation
16	Innovative Technologies for Water Saving in Irrigated Agriculture	S. A. Kulkarni	2011	International Journal of Water Resources and Arid Environments
17	Irrigation water saving by management of existing subsurface drainage in Egypt	M.A. Wahba & E. Christen	2005	Irrigation and Drainage – Wiley Interscience Journal

Fonte: Elaboração própria, 2022

5. REVISÃO DE LITERATURA:

5.1 Artigo 1 – Estados Unidos

Um trabalho conduzido por Richard Cooke, professor associado, e Siddhartha Verma (COOKE; VERMA, 2012), assistente de pesquisa de pós-graduação do departamento de Agricultura e Biológica Engenharia da Universidade de Illinois. O artigo teve como objetivo testar a hipótese de que a instalação de estruturas de controle de fluxo em sistemas de drenagem pode reduzir as cargas de substâncias lançadas nos corpos hídricos sem afetar a produtividade da cultura. O estudo teve início no ano de 2006 e foi finalizado em 2009 tendo uma duração de três anos. O solo do estudo foi predominante argiloso-siltoso, e a cultura não foi informada.

Foi impulsionado pelo National Ocean Service que constatou que Illinois era responsável por 16% da carga de nitrogênio e fósforo lançados no Golfo do México, contribuindo para geração de inúmeros problemas de saúde para a população que se beneficia da água oriunda desse local, e contaminação ambiental.

Foram acompanhados 4 pares de campo em Illinois, Estados Unidos, cada um constituído de uma parte com drenagem convencional e o outro com gerenciamento da água de drenagem. Foram observados parâmetros como precipitação, vazão e qualidade da água residuária.

Segundo os autores os resultados foram uma redução média de 61% da carga de nitrato, podendo ser um pouco menor por conta de algumas dificuldades na medição das águas que eventualmente deixam o campo por outras vias que não os drenos. O estudo teve como base a observação dos resíduos e não o rendimento da cultura, porém não foram observadas perdas nem ganhos significativos e foi sugerido que outros estudos que contemplassem uma duração superior fossem feitos para maior análise desses rendimentos.

5.2 Artigo 2 – Canada, Estados Unidos, Suécia

Um trabalho de revisão conduzido por Jared A. Ross e equipe (ROSS et al., 2016) do The Nature Conservancy nos Estados Unidos. O artigo teve o objetivo avaliar a eficácia do gerenciamento da água de drenagem na redução da descarga de nutrientes do solo, identificar variáveis que influenciam na eficácia da prática, comparar as diferenças entre a drenagem controlada e a tradicional, e observar possíveis mudanças no comportamento do escoamento superficial com a implementação dessas diferentes práticas de drenagem.

Para isso, o estudo utilizou como base de dados para coleta de suas variáveis um total de dezessete estudos. Os estudos foram feitos em países diversos como Canadá, Estados Unidos, Suécia, entre outros. As variáveis coletadas foram analisadas pelo método de regressão linear múltipla para examinar as associações entre as variáveis.

A sugestão dos autores é que pesquisas futuras devem ser feitas para tentar quantificar as perdas de água e nutrientes por outras vias que não os drenos como escoamento superficial, fluxo preferencial, recarga de águas subterrâneas e absorção biológica, e também o impacto do uso dessa prática nessas variáveis.

Foi também sinalizado pelos autores a falta de pesquisa na redução do fósforo e potássio sendo uma outra sugestão para futuros estudos. Estudos onde as propriedades de solo, clima, topografia entre outros estiverem especificados ajudará a esclarecer em que circunstâncias o uso da drenagem controlada será mais eficiente.

Os resultados nos mostram que a o gerenciamento de água de drenagem diminui a carga de nitrato lançada nos corpos hídricos em todos os campos agrícolas independente das variações de características entre eles.

Foram notados os impactos do controle de drenagem no escoamento superficial, sendo que em áreas mais úmidas foi relatado um aumento do escoamento superficial devido ao aumento da saturação do solo provocado pela prática.

Nos momentos em que o lençol é posicionado mais próximo a superfície também foi notado um aumento no escoamento superficial já que o perfil do solo é menor, ou seja, tem menos espaço para água infiltrar.

Drenos mais espaçados foram relacionados a menores porcentagens de redução de descarga, enquanto drenos mais profundos estão relacionados a porcentagens maiores de redução de descarga.

5.3 Artigo 3 – Canadá

Este estudo foi realizado no Canadá entre os anos de 1999 e 2003 com o objetivo de avaliar a eficácia da drenagem controlada e da cobertura do solo na redução da perda do fósforo utilizado para fertilização através dos drenos e do escoamento superficial. A principal motivação para o estudo foi o aumento do uso do fósforo como fertilizante devido a crescente necessidade de aumento da produção, com conseqüente impacto no meio ambiente.

O grupo de estudo liderado pelo pesquisador T.Q.Zhang (ZHANG et al., 2017) contou com oito blocos de 15 x 67 metros cada, com plantações de milho e soja sendo intercaladas e diferentes combinações de técnicas sendo testadas. Os drenos foram instalados a 0.7m da superfície, com a lâmina de água variando até 0.3m da superfície dependendo da fase da colheita.

Como forma de prevenir a movimentação da água entre os diferentes blocos e aumentar a confiabilidade do estudo, uma barreira foi instalada ao redor de cada área, com 30cm acima da superfície e 1.2m abaixo da superfície.

A perda de fósforo foi monitorada tanto na descarga dos drenos quanto na água proveniente do escoamento superficial, em combinação com cobertura de solo em alguns dos experimentos, de forma a permitir a comparação entre as diferentes técnicas e suas combinações.

O estudo demonstrou que a drenagem controlada reduz o volume de água na descarga dos drenos, mas aumenta o escoamento superficial, enquanto a cobertura do solo tem um efeito oposto no resultado. Ambas as técnicas se mostraram eficientes na redução da perda de fósforo, com resultados ainda melhores quando utilizadas combinadas em conjunto, com uma redução média de 23% quando se comparadas a drenagem livre convencional.

Desta forma, o estudo recomenda a utilização de uma combinação entre a cobertura do solo e drenagem controlada, como forma de reduzir a perda de fósforo, melhorar a qualidade da água na região do estudo e aumentar a produtividade da colheita.

5.4 Artigo 4 – Estados Unidos

A proposta deste artigo publicado pelos pesquisadores R.O. Evans, R.W. Skaggs e J.W. Gilliam (EVANS; SKAGGS; GILLIAM, 1995) foi sumarizar a literatura existente à época e comparar as características da drenagem convencional e da drenagem controlada e seus efeitos na qualidade da água em regiões úmidas.

O estudo foi baseado prioritariamente em revisões de literatura apresentadas por R.O. Evans em 1991 e por R.W. Skaggs em 1994 referentes a estudos diversos realizados na Carolina do Norte, Estados Unidos, com o objetivo de sumarizar as características que podem ser generalizadas dessas revisões, em especial com relação ao impacto da drenagem na qualidade da água dos corpos hídricos.

Nesses estudos, a redução do volume de descarga dos drenos mostrou-se de aproximadamente 30% para as regiões onde a drenagem controlada foi implementada durante todo o ano. Entretanto, a drenagem controlada se mostra mais eficiente em estações secas, com redução de sua eficiência em períodos chuvosos e extremamente úmidos.

Com relação ao transporte de nutrientes e sedimentos, a drenagem controlada quando em comparação a drenagem convencional apresentou reduções de aproximadamente 20% no nitrato e 40% no fósforo. Já quando falamos de transporte de pesticidas, o impacto não se encontrava devidamente documentado, com diversos estudos em andamento e com ausência de resultados concretos.

Considerando-se a facilidade da implementação do sistema de drenagem controlada em áreas onde o sistema convencional de drenagem já se encontra instalado, e que somente 10% das áreas possíveis de implementação possuem o sistema, o estudo considera que melhorias significativas podem ser alcançadas na qualidade da água conforme o sistema seja utilizado em cada vez mais plantações.

5.5 Artigo 5 – Estados Unidos

Esse estudo foi realizado em Ohio, nos Estados Unidos, entre os anos de 2006 e 2012 pelos pesquisadores M.R. Williams, K.W. King e N.R. Fausey (WILLIAMS; KING; FAUSEY, 2014), tendo sido publicado no ano de 2014.

Para realização desse estudo, duas áreas com uma área total de 389 hectares foram monitoradas, com plantações de milho e soja sendo realizadas em rotação. Ambas as áreas possuíam sistema convencional de irrigação, sendo que em uma delas foi implementada a drenagem controlada entre os anos de 2009 e 2012.

Os principais objetivos dos pesquisadores foram avaliar o impacto da drenagem controlada na descarga dos drenos, a concentração dos nutrientes e a carga de nutrientes na água proveniente do sistema de drenagem nas diferentes configurações.

Os resultados indicaram uma redução de até 34% no fluxo de água drenada com a utilização da drenagem controlada, enquanto a carga de nutrientes foi reduzida em média 21.3%. A concentração de nutrientes no solo entretanto não sofreu mudanças significativas após a implementação da drenagem controlada, se mantendo estável nas duas áreas durante o período de estudo.

A conclusão do estudo suporta a implementação do sistema de drenagem controlada como o sistema preferencial para melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos da região. Entretanto, a eficácia do sistema está condicionada a diversos fatores tais como o gerenciamento da altura do lençol freático e a topografia do local, devendo sua implementação ser avaliada caso a caso.

5.6 Artigo 6 – Iran

Este artigo foi realizado no Noroeste do Iran, motivado pela baixa eficiência da irrigação e problemas ambientais devido ao sistema de drenagem livre existente na região. Desta forma, o pesquisador Hamidreza Jouni (JOUNI et al., 2018) da Universidade do Teerã e sua equipe realizaram esse experimento em 2018 em 2 plantações, totalizando uma área total de 32 hectares.

O solo da região escolhida possui uma baixa permeabilidade e com uma topografia predominante plana, com inclinação máxima de 0,5%. Durante o período do estudo, entre novembro de 2015 e outubro de 2016, foram acompanhadas as culturas de milho, trigo e cevada.

O objetivo do estudo foi avaliar a eficácia de duas diferentes técnicas de drenagem controlada, uma com o lençol freático sendo mantido a 70cm abaixo do

solo e outra com a altura do lençol freático variando conforme estágio da plantação, e comparar os resultados com o sistema convencional de drenagem livre.

Durante o estudo, diversas variáveis foram acompanhadas e medidas, tais como descarga nos drenos, salinidade, perda de nutrientes, eficiência no uso e qualidade da água, entre outros.

Os resultados foram extremamente promissores para a utilização da drenagem controlada, tanto com o lençol freático fixo em 70cm quanto para a opção variável.

A redução média na descarga dos drenos foi entre 33% e 45% para a drenagem controlada quando comparada com a drenagem convencional. Já as perdas de nitrato e outros nutrientes foram reduzidas em até 15% na drenagem controlada nas 3 colheitas.

Também foram observados um aumento considerável da produtividade da colheita em ambos os sistemas de drenagem controlada em relação a convencional. Para os campos onde o lençol freático foi fixado em 70cm, o aumento de produção observado foi de 27% para o trigo, 18% para a cevada e 19% para o milho. Já para os campos com a altura do lençol regulável, o aumento na produtividade foi de 41% para o trigo, 25% para a cevada e 25% para o milho.

Como ponto negativo, foi observado um aumento na salinização do solo para os campos com drenagem controlada. Este efeito foi minimizado no campo onde a altura do lençol foi variável abaixando o lençol para 90cm no final da colheita, de forma a aumentar a infiltração da água no solo.

O artigo indica que a utilização do sistema de gerenciamento de água de drenagem é um método bastante efetivo para aumentar a produtividade das colheitas e melhorar a utilização e qualidade dos recursos hídricos da região estudada e outras com condições similares.

5.7 Artigo 7 – Egito

Essa revisão realizada pelo pesquisador Mohamed Elshemy (ELSHMY, 2017) da Universidade de Tanta, no Egito, apresenta um panorama dos sistemas de drenagem e apresenta uma discussão sobre as práticas de gerenciamento de água de drenagem e tecnologias atuais.

As vantagens referentes a implementação da drenagem controlada identificadas são a remoção de 25% a 40% do nitrato, redução na descarga nos drenos em torno de 30%, manutenção da umidade no solo em períodos secos, nenhuma necessidade de diminuição da área de plantio e baixa manutenção.

Já as desvantagens listadas foram a limitação topográfica do local, possibilidade de danos as tubulações subterrâneas em sistemas mais antigos e um aumento no escoamento superficial e erosão quando utilizados em solos mais úmidos.

A revisão também apresenta os resultados da drenagem controlada em experimentos realizados no Egito, onde reduções significativas de até 68% foram observados na descarga dos drenos, redução de até 73% no nitrato e um aumento de 15% na produtividade da colheita do trigo.

Como conclusão, recomenda-se a aplicação do sistema de controle de água de drenagem nas plantações do Egito, levando-se em consideração o tamanho da área drenável e as fontes de poluição na seleção do melhor processo.

5.8 Artigo 8 – Estados Unidos

Um trabalho conduzido por Kpoti M. Gunna et al. (GUNNA et al., 2014) do Department of Food, Agricultural and Biological Engineering, em Ohio, Estados Unidos. O artigo teve o objetivo de quantificar os efeitos do manejo de água de drenagem de origem de sistemas subterrâneos em solos mal drenados do noroeste de Ohio.

Foram acompanhados campos agrícolas com drenagem subterrânea em seis fazendas diferentes, com início em 2007 e término em 2011. Os campos foram divididos sendo parte regido pela drenagem controlada e parte por drenagem convencional. Os solos variam em argila, silte e barro, todos tinham solos com textura e lenta permeabilidade e cultura de milho e soja. Terrenos relativamente planos com declividade que variam entre 0,2% e 1,6%. Os pares de campo tiveram manejo idênticos em termos de cultivo, preparo do solo e fertilização antes e durante o estudo.

A redução percentual do volume diário de drenagem subterrânea variou de 40% a 100% dependendo do local. A redução observada foi somente em cima do

volume, porém essa redução pode se traduzir em uma redução nas cargas de nutrientes exportados dos campos agrícolas drenados. Nada sobre a produtividade ou qualquer outro parâmetro foi mencionado no estudo.

Foi sugerido que outros estudos que acompanhem o destino das águas de drenagem para avaliar melhor os impactos que essa diminuição de vazão teria na qualidade da água descartada.

5.9 Artigo 9 – Estados Unidos

Nessa publicação de julho de 2013 da revista *Crops & Soils* da Sociedade Americana de Agronomia nos Estados Unidos, o economista, escritor e produtor rural Tanner Ehmke (EHMKE, 2013) apresenta o sistema de drenagem controlada e descreve os benefícios dessa técnica para controle do nível do lençol freático.

Entre os diversos benefícios listados com base em artigos científicos publicados, estão a redução superior a 45% na descarga dos drenos, redução na carga dos nutrientes e aumento da produtividade das colheitas entre 10% e 20%.

O principal ponto coberto pela publicação é o custo associado a instalação e o lucro resultante da implementação desse sistema, reforçando que nos Estados Unidos a implementação desse sistema é subsidiada em até 75% pelo Departamento de Agricultura através do Programa de Incentiva para melhoria do Meio Ambiente, cujo objetivo principal é reduzir a contaminação proveniente da agricultura, promover o uso eficiente de nutrientes e aumentar a qualidade do solo.

O custo de implementação das torres de controle fica em torno de \$ 1600 dólares americanos por cada torre, sendo que em média uma torre é requerida a cada 20 ou 30 hectares. Com o incentivo do governo, o produtor desembolsa somente \$ 20 por hectare com uma amortização em 20 anos, ou seja, \$ 1 dólar por ano por hectare.

Considerando que o sistema apresentará um aumento mínimo de 5% na produtividade, além de uma redução considerável na quantidade de fertilizantes, a implementação do sistema mostra-se extremamente vantajosa para o produtor.

Sistemas ainda mais modernos dotados de sensores, painel solar e motores para controle automatizado e remoto das estruturas também estão disponíveis por

aproximadamente \$ 2500 dólares americanos, tornando o sistema acessível até para regiões de difícil acesso da plantação.

A reportagem reforça que na época da publicação, o sistema de controle de drenagem estava disponível em menos de 1000 fazendas nos Estados Unidos, entretanto as expectativas eram de que essa quantidade dobraria anualmente nos anos seguintes.

5.10 Artigo 10 – Holanda

Esta pesquisa foi conduzida entre os anos de 2007 e 2011 em um campo experimental de 1 hectare com o objetivo de quantificar os efeitos da drenagem controlada no transporte de nutrientes da plantação para os corpos hídricos. No ano de 2015, a pesquisa realizada por uma equipe de sete pesquisadores liderados pelo pesquisador J.C.Rozemeijer (ROZEMEIJER et al., 2015)

A área selecionada para o estudo possuía um sistema de drenagem convencional instalada, e teve os seus parâmetros monitorados entre os anos de 2007 e 2008, com plantação de milho sendo realizada. O sistema de drenagem controlada foi então implementado e a área monitorada entre os anos de 2009 e 2011, de forma a possibilitar a comparação entre os dois modelos e acompanhar as mudanças hidrológicas e químicas na plantação selecionada.

O plano de gerenciamento de água de drenagem considerado manteve o lençol freático elevado na maior parte do ano, tendo o seu nível reduzido durante o período de cultivo e colheita.

O estudo confirmou a capacidade da drenagem controlada de aumentar a altura do lençol freático, e registrou uma redução de até 58% no volume de descarga nos drenos. Um pequeno aumento na descarga por infiltração reportada, porém desprezível em comparação a redução do volume de água nos drenos.

Com relação a concentração de Nitrato and Fósforo, não foram observadas reduções significativas na água proveniente do sistema de drenagem. Entretanto, a redução no volume de descarga possibilita a redução da carga dos nutrientes descarregados nos corpos hídricos.

O estudo conclui que o sistema de controle de água de drenagem foi extremamente eficaz na redução da descarga nos drenos e no aumento da reserva

de água no solo. Entretanto, não foi possível identificar efeitos positivos na perda de nutrientes para os corpos hídricos.

5.11 Artigo 11 – Estados Unidos

Este trabalho foi conduzido pelos professores R. Wayne Skaggs, Norman R. Fausey e Robert O. Evans (SKAGGS; FAUSEY; EVANS, 2012) do Departamento de Biologia e Engenharia Agropecuária da Universidade Estadual da Carolina do Norte. Teve como objetivo avaliar a eficácia do uso da drenagem controlada na melhora da qualidade da água residuária da drenagem e quantificar ganhos de rendimento da cultura.

O estudo fez uma análise dos resultados de vários estudos feitos em terras localizadas no Centro Oeste dos Estados Unidos. A motivação do estudo foi o fato de 25% das terras agricultáveis nos Estados Unidos necessitarem de drenagem e por consequência a contaminação por Nitrogênio dos corpos hídricos comprometendo a qualidade da água. O tempo de observação dos estudos variou de 1 a 5 anos espalhados em 13 estudos que analisaram juntos diversos campos com localizações diversas dentro dos Estados Unidos. Os campos apresentavam solos, áreas e condições climáticas diversas, porém todos tinham partes assistidas com drenagem convencional e parte assistida com drenagem controlada.

Os estudos observaram redução de volume médio anual de drenagem que variou de 18 a 85% dependendo do local e ano. A carga de nutrientes foi reduzida entre 18 e 79%. A análise dos dados concluiu que em experimentos específicos, a drenagem controlada contemplou uma redução de 16% na drenagem subsuperficial, redução na perda de nitrogênio de 20%, reduziu a drenagem subterrânea em 35%, aumento do escoamento superficial em 20% e reduziu o escoamento total em 16%.

Os efeitos da drenagem controlada na produtividade foram diferentes para cada localidade e cultura em estudo, com resultados variando entre 1% até 18% de aumento em alguns locais, enquanto em outros não foram identificados nenhum efeito significativo. Uma das colheitas em estudo apresentou redução da produtividade. Devido ao curto período da maioria dos estudos e a complexidade dos fatores envolvidos, o estudo recomenda que estudos mais detalhados sejam realizados.

5.12 Artigo 12 – Nova Zelândia

Este artigo foi liderado pelos pesquisadores D.J. Ballantine e C.C. Tanner (BALLANTINE; TANNER, 2013) do National Institute of Water and Atmospheric Research em Hamilton, Nova Zelândia, tendo sido publicado em 2013.

O principal objetivo do estudo foi realizar uma revisão da literatura científica existente referente a drenagem controlada de forma a verificar sua aplicabilidade aos sistemas de pastos da Nova Zelândia, com foco na redução da perda de nutrientes e aumento da produtividade da cultura.

Foram revisados estudos sobre drenagem controlada em plantações de diferentes partes do mundo, tais como Itália, Suécia, Canadá, Estados Unidos e Nova Zelândia.

De maneira geral, a utilização de sistemas de gerenciamento da água de drenagem foi considerada benéfica principalmente na redução da carga e concentração de nutrientes para os corpos hídricos, assim como para aumentar a eficiência no uso da água e fertilizantes.

Desvantagens potenciais foram relatadas, tais como aumento do escoamento superficial e limitações de trânsito de veículos agrícolas nas áreas onde o sistema foi aplicado.

A recomendação final do estudo foi a realização de estudos específicos para a Nova Zelândia, considerando que os autores acreditam que a utilização do sistema de drenagem controlada pode ter impactos ambientais positivos para os sistemas de pastos no país sem comprometimento da produtividade.

5.13 Artigo 13 – Suécia

Este estudo foi realizado na região sul da Suécia pelos pesquisadores A. Joel, I. Wesstrom e I. Messing (WESSTROM; MESSING, 2009) do Departamento de Soil Sciences, da Universidade de Ciências Agrícolas da Suécia.

A intenção do estudo foi desenvolver e testar uma metodologia para classificação das áreas agricultáveis de acordo com a sua maior ou menor propensão para a utilização do sistema de drenagem controlada, baseado em parâmetros como topografia e permeabilidade do solo. Esses dados foram

posteriormente verificados em campo e mapeados em conjunto com a altura do lençol freático e tipos de plantação.

A topografia do local foi classificada em 5 classes, de acordo com a inclinação do terreno, sendo elas (1) menor que 0.5% de inclinação, (2) entre 0.5 e 1%, (3) entre 1 e 1.5%, (4) entre 1.5 e 2% e (5) maior que 2%.

Já os solos foram classificados em 3 classes, de acordo com sua permeabilidade, sendo elas (1) alta capacidade de drenagem, com menos de 5% de argila, (2) moderada capacidade de drenagem, com percentual de argila entre 5 e 15% e (3) baixa capacidade de drenagem, com mais de 15% de argila em sua composição.

O estudo utilizou o Software ArcInfo e GIS para processamento das informações coletadas de diversas formas, tais como mapas oficiais do terreno, dados disponíveis sobre o solo e um questionário preenchido pelos agricultores.

Após o processamento e análise dos dados, as regiões foram classificadas conforme *Tabela 5*.

Tabela 5 - Classificação das Áreas para Drenagem Controlada

Classe	Capacidade de drenagem	Inclinação
Classe 1	Tipo (1)	Tipo (1)
Classe 2	Tipo (1)	Tipo (2)
Classe 3	Tipo (2)	Tipo (1)
Classe 4	Tipo (2)	Tipo (2)
Classe 5	Tipo (1)	Tipo (3)
Classe 6	Tipo (1)	Tipo (4)
Classe 7	Tipo (2)	Tipo (3)
Classe 8	Tipo (2)	Tipo (4)
Não propenso	Tipo (3) ou	Tipo (5)

Fonte: Elaboração própria, 2022

Um total de 726.254 hectares de área agricultáveis foram analisados nesse estudo, sendo os mesmos classificados em 9 categorias. Desse total, em torno de 98.000 hectares foram classificados como altamente propensos a implementação da

drenagem controlada, 95000 hectares como possíveis de implementação, e 278.000 hectares como não propensos.

A metodologia foi validada através de pesquisas de campo, e considerada promissora para aplicação na Suécia. O grupo de estudo considera que a mesma metodologia pode ser aplicada em diferentes regiões, podendo alguns parâmetros serem adaptados conforme requerimentos locais.

Foi também evidenciada a necessidade de melhoria nas bases de dados disponíveis para facilitar a utilização dos dados existentes para esse tipo de estudo.

5.14 Artigo 14 – Itália

Este artigo (TOLOMIO; BORIN, 2019) publicado em 2019, referente a um experimento de longa duração realizado em Padano Valley, localizado na região nordeste da Itália, que teve como objetivo avaliar a eficácia da drenagem controlada em diferentes tipos de cultura em dois longos períodos de tempo de forma a minimizar impactos relativos a variações climáticas.

Liderado pelos pesquisadores Massimo Tolomio e Maurizio Borin, o estudo contou com uma área total de 5.5 hectares, divididos em 12 diferentes blocos, nos quais 4 combinações diferentes foram testadas: (CD-O) Drenagem Controlada com calhas abertas, (CO-P) Drenagem Controlada com drenos subterrâneos, (FD-O) Drenagem livre com calhas abertas e (FP-P) drenagem livre com drenos subterrâneos, cada qual com 3 blocos cada, conforme exemplificado na figura abaixo.

Os períodos de monitoramento do estudo foram de 1995 a 2002, e de 2006 a 2013, nos quais plantações de trigo, beterraba, soja e milho foram monitoradas sob diferentes condições de drenagem. As condições de manejo da agricultura foram mantidas as mesmas para todas as culturas, tais como irrigação e fertilização.

O estudo demonstrou resultados diferentes para cada cultura, conforme estação do ano (seca ou chuvosa) ou profundidade radicular requerida pela cultura.

O resultado mais promissor foi o do milho, onde foi observado um aumento de 26,3% na produtividade da cultura nos blocos com drenagem controlada, enquanto a da soja não apresentou diferenças significativas.

Já para a cultura de beterraba, o resultado obtido não foi conclusivo, pois mostrou-se dependente de ajuste constante ao crescimento do sistema radicular da planta.

Para a cultura de trigo, a drenagem controlada não apresentou variações na produtividade, o que já era esperado pelo fato de ser uma cultura para épocas úmidas, o que reduz a ação da drenagem controlada.

De maneira geral, os blocos com drenagem controlada apresentaram menores variações na altura do lençol freático e uma redução média de 69% na descarga de água.

5.15 Artigo 15 – Estados Unidos

A proposta desta pesquisa (POOLE et al., 2013) foi apresentar os dados referentes aos efeitos da drenagem controlada aplicada nas plantações de milho, trigo e soja em 2 plantações na Carolina do Norte, Estados Unidos, com dados sendo coletados entre 1990 e 2011.

Na primeira localização, foram utilizadas 4 áreas de um total de 13.8 hectares, com um solo com baixa porosidade drenável, utilizando a drenagem controlável e livre.

Na segunda localização, o solo era de boa porosidade drenável, com drenos de superfície, divididos em dois lotes de 12 hectares, sendo um com drenável convencional e outro com drenagem controlada.

O estudo monitorou um total de 18 colheitas no período, com resultados variando conforme a cultura, com uma relação direta com a estação de cada colheita.

Para as plantações de milho observou-se um aumento médio de 11% na produtividade da colheita, enquanto para a soja o aumento observado na produtividade foi de 10%.

Já para as plantações de trigo, não se observou ganhos na produtividade. Esse resultado já era esperado visto que esta cultura é predominante realizada nas estações chuvosas, onde o impacto da drenagem controlada apresenta-se limitado.

Em todos os casos, a drenagem controlada apresentou-se eficiente na redução do volume de água drenada e na perda de nitrato, resultando em uma maior absorção de nutrientes pelas plantas.

5.16 Artigo 16 – Índia

Este artigo elaborado por Suresh Kulkarni (KULKARNI, 2011) no ano de 2011 em Nova Déli, Índia, com a proposta de apresentar várias tecnologias e práticas inovadoras para economia de água em áreas agrícolas em diversos países.

A motivação para esse estudo se deve principalmente ao fato de irrigação de áreas agrícolas contribuem em mais de 70% do consumo de água doce do planeta, sendo que em alguns outros países esse valor ultrapassa os 90%.

Com a previsão de aumento da área agricultável nos próximos anos para atendimento a crescente demanda, esse elevado consumo é extremamente preocupante levando-se em conta a restrição de água em várias localidades.

Entre as várias tecnologias apresentadas estão a irrigação por pivô central realizada no Brasil, com uma economia aproximada de água de até 50% em comparação ao sistema de superfície, e a prática da drenagem controlada, foco principal do nosso estudo.

Para a drenagem controlada, estudos realizados no Egito são utilizados como referência para indicar um potencial de redução de até 40% no consumo de água, podendo exceder 50% de economia para plantações de arroz.

O estudo reconhece que o uso da tecnologia por si só não será suficiente para assegurar uma economia de água, sendo necessário a criação de políticas e reformas institucionais de forma a fomentar a implementação de técnicas que permitam que esse objetivo seja alcançado.

5.17 Artigo 17 – Egito

O objetivo deste estudo realizado pelos pesquisadores M.A.S. Wahba, E.W. Christen e M.H. Amer (WAHBA; CHRISTEN; AMER, 2005) foi desenvolver e avaliar novos conceitos para gerenciamento dos sistemas convencionais de drenagem

existentes no Egito, de forma a possibilitar a economia de água da irrigação mantendo a produtividade da colheita.

O estudo concentrou-se na comparação de duas técnicas para gerenciamento do sistema de drenagem, sendo elas a modificação do espaçamento de drenos e o controle da altura do lençol freático a partir de torres de controles. O programa Drainmod-S foi utilizado para simulação dos modelos propostos e comparação com o sistema convencional de drenagem.

Em todas as simulações realizadas, o uso do sistema de controle de drenagem se mostrou efetivo tanto para a economia de água quanto para a manutenção ou eventualmente aumento na produtividade das colheitas.

A economia potencial de água para as regiões analisadas é estimada em até 20% com relação ao uso com sistemas de drenagem convencionais. Essa economia na utilização da água permite a expansão da área agricultável e conseqüente aumento da produção agrícola para atendimento a crescente demanda no Egito.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos referentes à técnica de drenagem de terras agrícolas inicialmente tinham foco no aumento e expansão de área para exploração produção agrícola, já que a drenagem além de manter o equilíbrio de proporções de água, gases e matriz do solo, favorece o plantio em áreas com problemas de encharcamento. Em seguida as pesquisas passaram a se concentrar na determinação da magnitude dos impactos ambientais negativos que os efluentes da drenagem exercem sobre o meio ambiente. Seguindo essa linha, os estudos referentes aos sistemas de gerenciamento de água de drenagem surgiram inicialmente com um propósito de redução da carga e concentração de nitrogênio e fósforo descarregados nos corpos hídricos, que impactam significativamente a qualidade da água em regiões afetadas (EVANS; GILLIAM; SKAGGS, 1996).

Ao longo do tempo, esses estudos foram se ampliando de forma a incluir pesquisas referentes aos impactos da técnica em diferentes culturas, outros nutrientes, no uso de fertilizantes, concentração de nutrientes no solo e no aumento da produtividade. O gráfico da *Figura 18* descreve os diferentes assuntos nos artigos abordados na revisão.

Figura 18 - Gráfico Áreas de Estudo x Número de Artigos



Fonte: Elaboração própria, 2022

A abrangência dos estudos indica a importância do sistema e seus múltiplos benefícios. A minimização dos impactos negativos no meio ambiente apresenta-se nos estudos como uma das principais vantagens da drenagem controlada, com ênfase na redução do consumo de água e na redução do volume de água descartada através dos drenos, impactando diretamente na melhoria da qualidade de água dos corpos hídricos. O aumento na produtividade aparece logo na sequência em escala de importância.

Por outro lado, a limitação de implementação do sistema devido a topografia do local é um dos pontos negativos que devem ser considerados durante o processo de projeto do sistema de drenagem, assim como os custos para implementação das caixas de controle e a indisponibilidade desses equipamentos no mercado brasileiro. A utilização dos sistemas de controle de drenagem apresenta-se mais eficaz em plantações localizadas em regiões com topografia predominantemente plana, com inclinações máximas de 1% (AYARS; CHRISTEN; HORNBUCKLE, 2006). Outros fatores, tais como tipo de solo e altura do lençol freático também são fatores a serem considerados no processo decisório.

Os estudos relativos a essa prática são predominantemente realizados nos Estados Unidos, entretanto na revisão fica patente que a prática está se espalhando

no mundo, com pesquisas sendo realizadas em diversos países, tais como Canadá, Egito, Suécia, Itália, Índia, Nova Zelândia, Iran e Holanda, conforme ilustrado na *Figura 19*.

Figura 19 - Distribuição Geográfica dos Estudos



Fonte: Elaboração própria, 2022

Comparativamente, a drenagem controlada pode ser considerada como uma adição ao sistema de drenagem convencional, incluindo alguns atributos ao sistema, tais como possibilidade da implementação de um plano de gerenciamento da água de drenagem, redução da descarga nos drenos e melhoria na qualidade da água drenada. Entretanto, a drenagem controlada possui um custo maior de instalação, e caso um plano eficaz de gerenciamento não seja implementado pode ocasionar um aumento da drenagem superficial, diminuição da produtividade, problemas com relação a salinização do solo, entre outros.

Um comparativo entre a drenagem convencional e a drenagem controlada é apresentado na *Tabela 6*.

Tabela 6 – Comparativo entre Drenagem Convencional X Drenagem Controlada

Fatores	Drenagem Convencional	Drenagem Controlada
Torna viável a agricultura em áreas com problemas de drenagem natural;	✓	✓
Melhora as condições do solo para o desenvolvimento da cultura;	✓	✓ ✓
Aumento da produtividade;	✓	✓ ✓
Reduz a salinização do solo;	✓	?
Adequação do lençol freático a uma cultura específica;	✓	✓
Redução da descarga nos drenos;	✗	✓
Melhoria na qualidade da água na descarga dos drenos;	✗	✓
Possibilidade de uso de um plano de gerenciamento de águas de drenagem	✗	✓
Manutenção da umidade do solo em épocas de seca;	✗	✓
Custo de Implantação	\$	\$ \$
Aumento do escoamento superficial	✓	?
Permite utilização em áreas de inclinação > 1%	✓	✗
Pesquisas específicas para o Brasil	✓	✗

✓	Boa Performance	✓✓	Ótima Performance	✗	Não Atende	?	Variável	\$	Alto	\$ \$	Muito Alto
---	-----------------	----	-------------------	---	------------	---	----------	----	------	-------	------------

6.1 Drenagem controlada no Brasil

Até o momento desse trabalho, não foram encontradas nenhuma publicação ou pesquisas relacionadas ao gerenciamento de água de drenagem no Brasil. Também não foi identificado nenhuma empresa capaz de fornecer o sistema em território nacional.

Com uma estimativa de um consumo de 64,59 bilhões de metros cúbicos de água anualmente (FAO, 2022) em todo o Brasil, sendo 37,55 bilhões de metros cúbicos somente para a agricultura, representando 58% do total de consumo de água do país, a preocupação com o consumo, disponibilidade e qualidade da água utilizada na agricultura é de fundamental importância para o país, conforme demonstrado na *Tabela 7*.

Tabela 7 - Área Cultivada e Consumo de Água no Brasil

	2008-2012	2013-2017	2018-2022
Área total (1000 hectares)	851.577	851.577	851.577
Área Cultivada total (1000 hectares)	62.189	63.518	63.518
% de Área cultivada (%)	7,3%	7,45%	7,45%
Consumo total de água (10 ⁹ m ³ /ano)	69,93	65,68	64,59
Consumo na Agricultura (10 ⁹ m ³ /ano)	40,09	39,43	37,55
% de Consumo na Agricultura (5)	57,32%	60,03%	58,14%

Fonte: Adaptado FAO, 2022

Com base nas práticas realizadas em outras partes do mundo, acredita-se que a implementação da drenagem controlada possa ser benéfica para a agricultura brasileira, necessitando de maiores pesquisas nessa área com base nas características do país.

A implementação de um sistema de mapeamento das áreas agricultáveis similar ao realizado na Suécia (JOEL; WESSTROM; MESSING, 2009) poderia ser de grande valia no processo de decisão sobre em qual área a implementação é recomendável.

Os maiores desafios a serem enfrentados pelos agricultores brasileiros são a ausência de incentivos relacionados a implementação do sistema e a não disponibilidade de equipamentos no país. Sendo assim, além de absorverem integralmente o custo adicional de implementação do sistema, os agricultores ainda precisaram importar os equipamentos ou construí-los de maneira artesanal em suas propriedades.

6.2 Aspectos ambientais

A grande maioria dos estudos sobre drenagem controlada nos últimos anos possuem como foco principal a redução da carga ou concentração do Nitrato-Nitrogênio descarregado nos corpos hídricos, assim como do fósforo utilizado para fertilização e outros contaminantes como herbicidas.

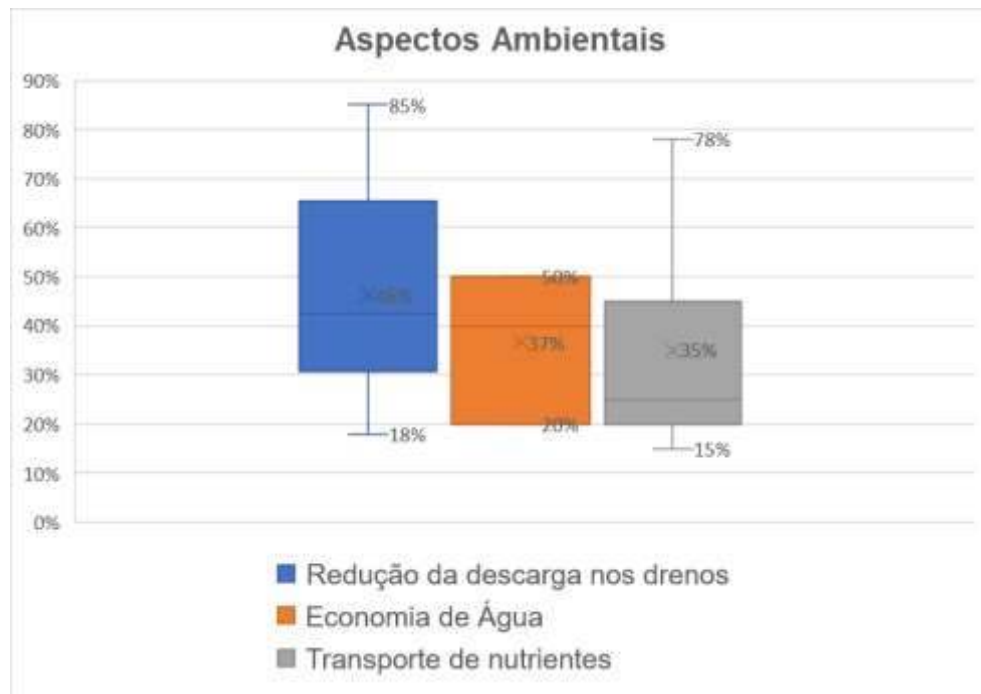
O lançamento desses nutrientes nos rios e lagos é responsável pelo processo de eutrofização, ocasionando um desequilíbrio do meio aquático. A redução da descarga desses nutrientes é um dos principais benefícios da drenagem controlada.

Outro fator de extrema importância ambiental é a redução no consumo de água necessária para irrigação das plantações. Sendo a água um dos principais

insumos da colheita, essa redução permite ao agricultor uma redução nos custos operacionais e uma possibilidade de aumento da área cultivável com a mesma quantidade desse recurso.

Em todos os casos acima, o gerenciamento da água de drenagem mostra-se eficaz na redução da contaminação dos corpos hídricos e aumento da disponibilidade de água para a fazenda, impactando de maneira positiva o meio ambiente. A *Figura 20* detalha os intervalos de mínimo e máximo dos aspectos ambientais medidos nos estudos.

Figura 20 - Aspectos Ambientais



A salinidade do solo, entretanto, é um fator de atenção ao utilizarmos essa prática, devendo ser monitorado ao longo do ano. O correto gerenciamento do sistema deve ser implementado para assegurar que o lençol freático seja rebaixado a um nível adequado pós-colheita de forma a não permitir esse impacto negativo.

6.3 Aspectos operacionais

O principal fator para uma implementação de sucesso é relacionado ao balanço entre a redução dos contaminantes que afetam a qualidade da água e a manutenção da produtividade da plantação.

Outro ponto a ser considerado é a elaboração de um plano para gerenciamento da altura do lençol freático, levando-se em consideração a estação do ano, tipo de solo, cultura e estágio da plantação. Com base nos estudos, acredita-se que o sistema possui uma maior eficiência nas estações de seca, contribuindo para a manutenção da umidade no solo e conseqüente melhoria da produtividade nessa estação. A *Figura 17 - Exemplo de Plano de Gerenciamento de Água de Drenagem*, mostrando seu funcionamento em maiores detalhes.

Como o gerenciamento é feito diretamente nas estruturas de controle através da inclusão ou remoção de placas, existe a necessidade de intervenção manual do produtor. Para áreas mais remotas ou com limitação de acesso, a tecnologia atual possui o controle remoto das caixas de controle através de sistemas alimentados por placas de energia solar, o que permite ao agricultor o acesso a distância para implementação do plano de gerenciamento, sem necessidade de deslocamento para o local de instalação do equipamento.

A elaboração de um plano de manutenção e operação das estruturas deve ser elaborado em conjunto com o agricultor ou operador responsável pelos equipamentos, e deve conter (USDA, 2016):

- Objetivo da prática para a cultura.
- Requerimentos de segurança.
- Definição das alturas do lençol desejado conforme época do ano e estágio do sistema radicular
- Rotina de monitoramento da elevação do lençol freático.
- Instruções para manter a velocidade dentro dos limites permitidos ao rebaixar o lençol freático.
- Rotinas de manutenção e reparo da estrutura de controle para prevenir vazamentos.

Outro fator operacional a ser levado em consideração é o controle do trânsito de equipamentos e máquinas agrícolas na colheita conforme etapa do plano de gerenciamento de drenagem, de forma a evitar a compactação do solo.

6.4 Aspectos produtivos

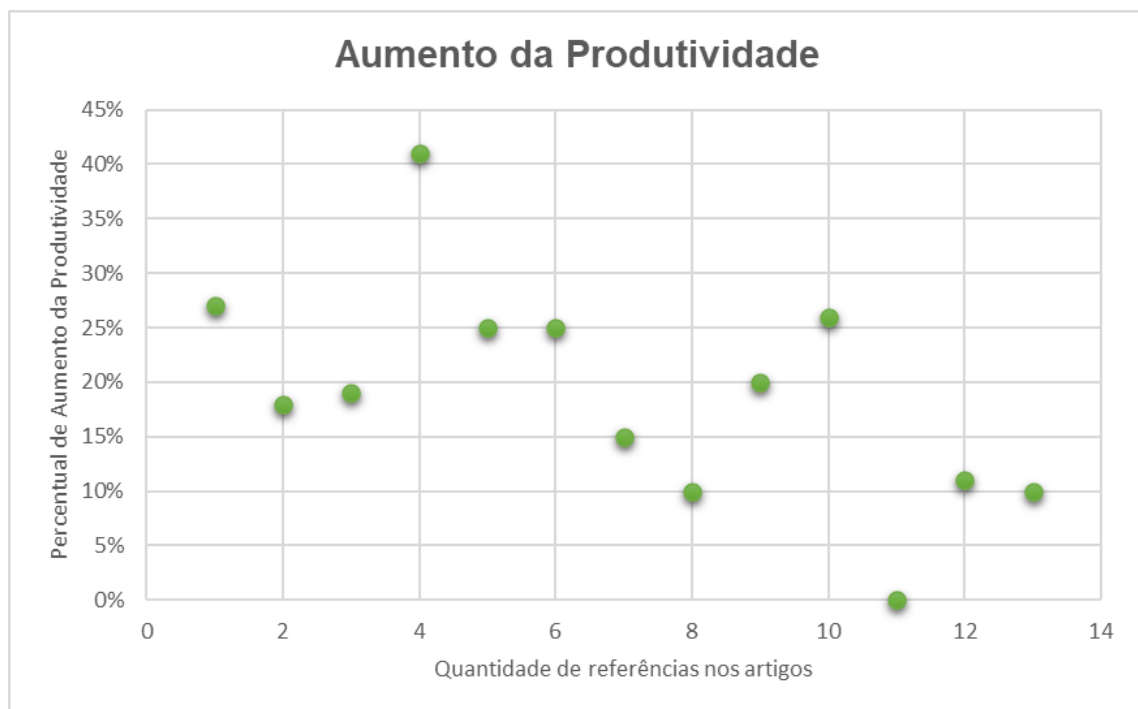
Alguns estudos buscam avaliar o aumento da produtividade associada a utilização da drenagem controlada em diferentes tipos de plantação e em diferentes épocas do ano.

De maneira geral, os resultados apresentados são positivos, em particular durante estações secas onde a drenagem controlada permite uma maior disponibilidade de água no solo.

Também são reportados uma maior eficiência no uso de fertilizantes quando em comparação a área com drenagem livre.

Os resultados, no entanto, variam de acordo com a plantação em estudo, tipo de solo e época do ano, conforme gráfico da *Figura 21*, onde podemos verificar a dispersão do percentual de aumento da produtividade nos artigos.

Figura 21 - Aspectos Produtivos Associados ao Aumento da Produtividade



6.5 Aspectos financeiros

A grande maioria dos estudos não contemplam a parte de custo e retorno do investimento com a implementação do sistema. Entretanto, os avanços recentes na implementação do sistema de controle de água de drenagem nos Estados Unidos indicam que o retorno no investimento se torna promissor.

O baixo custo de aquisição do sistema nos Estados Unidos – entre \$ 1000 e \$ 2400 dólares americanos por cada estrutura de controle, associado aos subsídios governamentais para sua implementação tornam o sistema altamente atrativo, principalmente para um projeto que será utilizado ao longo de anos com uma amortização de até 20 anos.

Os ganhos referentes ao aumento da produção e da redução no uso de fertilizantes, reduzem o prazo para retorno do investimento, criando um elevado potencial de geração de lucro em pouco tempo.

A redução no consumo de água associada a utilização do sistema também é um fator de extrema importância, visto que a diminuição da necessidade de irrigação das culturas interfere diretamente no consumo de energia elétrica e uma redução na mão de obra, gerando uma oportunidade potencial de redução de custos.

6.6 Riscos associados ao sistema de gerenciamento de água de drenagem

Apesar dos benefícios acima citados, a drenagem controlada introduz alguns riscos potenciais a agricultura.

Alguns estudos sugerem que ao reduzir o fluxo de água nos drenos, ocorre um aumento da infiltração de água em camadas mais profundas, o que pode significar que os contaminantes continuam a atingir os corpos hídricos através de um caminho diferente e mais demorado (BOHLEN; VILLAPANDO, 2011).

Outros estudos também associam o aumento do escoamento superficial com a prática, devido a reduzida capacidade dos drenos (SINGH; HELMERS, 2007). Este é um fator de preocupação devido a erosão do solo, assim como a perda de contaminantes diretamente para os corpos hídricos.

Além disso, se um plano de gerenciamento apropriado para o objetivo da colheita não for implementado, pode ocasionar aumento da salinidade do solo,

diminuição da produtividade, diminuição da porcentagem orgânica do solo e compactação do solo pelo trânsito de máquinas. Todos esses problemas são acarretados pela manutenção do lençol alto por longos períodos.

Por fim, os danos a colheita também devem ser considerados, visto que o gerenciamento da água de drenagem pode ocasionar um aumento na disponibilidade de água no solo, impactando negativamente na planta caso não seja corretamente administrado.

7. CONCLUSÕES

A partir do que foi pesquisado na literatura é possível concluir que existem diversos benefícios com a aplicação da prática de Drenagem Controlada, em especial com relação a redução do impacto ambiental nos corpos hídricos, diminuição da perda de nutrientes, economia no consumo de água utilizada para irrigação e uma melhor eficiência na utilização dos fertilizantes, com consequente melhoria na produtividade das culturas agrícolas.

Entretanto, a análise dos artigos, apesar de indicarem uma perspectiva positiva para o gerenciamento de água de drenagem, ainda apresenta resultados por muitas vezes inconclusivos, com ausência de dados importantes e recorrentes sugestões de realização de estudos mais específicos.

A metodologia de medição e monitoramento dos parâmetros também não foi uniforme nas diferentes pesquisas, o que de maneira geral dificulta uma comparação direta dos resultados e impede uma afirmação sobre a eficácia do sistema em diferentes condições.

A grande maioria dos estudos foram realizados em um período de tempo muito curto, o que impacta diretamente na confiabilidade dos dados coletados, já que a drenagem controlada depende de vários fatores climáticos e sazonais que podem não ter sido capturadas. Também não foram observados estudos focados nos fatores indiretos que causaram os resultados reportados, como por exemplo a redução da concentração de nutrientes, que pode ter sido ocasionada pela maior diluição dos mesmos ou foi pelo fato da água passar mais tempo em contato com o solo e as raízes possibilitando maior tempo para sua absorção.

A dificuldade na coleta de dados também foi identificada em vários artigos. A medição da vazão total de descarga, por exemplo, mostrou-se deficiente, seja pelo

fato de que nem toda descarga de água é feita através dos drenos, ou pela dificuldade de pequenas vazões serem detectadas pelos aparelhos utilizados.

Assim como verifica-se em outros países, acredita-se que o gerenciamento de águas de drenagem pode trazer impactos positivos para a agricultura no Brasil, tanto quanto com relação ao meio ambiente quanto a sua produtividade. Desta forma, se torna importante que estudos específicos para as condições climáticas e de solo das culturas do Brasil sejam realizados de forma mais ampla. Estudos que levem em consideração o mapeamento das áreas com potencial para implementação do sistema, com base na topografia, tipos de solo e condições climáticas das regiões de plantio no Brasil, assim como o impacto na produtividade das principais colheitas do país, tais como milho, soja, arroz e trigo, que são responsáveis por quase a totalidade da safra de cereais, leguminosas e oleaginosas.

De maneira geral a drenagem controlada apresenta bons resultados em estações secas, com redução da sua eficiência em períodos chuvosos e extremamente úmidos. A implementação de um plano de gerenciamento de águas de drenagem específico para cada caso, levando em consideração a cultura, tipo de solo e época do ano é fundamental para o sucesso da prática.

Uma das restrições a ser enfrentada pelo agricultor brasileiro é a ausência de produtos relacionados a drenagem controlada no Brasil. O custo associado ao processo de importação dessas estruturas pode inviabilizar a implementação do sistema para produtores de médio e pequeno porte. Alternativamente, as estruturas de controle podem ser fabricadas diretamente na fazenda com materiais de construção disponíveis localmente.

Experiências em outros países demonstram que incentivos públicos são os maiores responsáveis pela divulgação e implementação do sistema, onde a questão da preservação ambiental tem um papel central nessas políticas de incentivo, com foco na redução do consumo de água utilizada na irrigação e na melhoria da qualidade da água descarregada. Devido a importância desses temas, recomenda-se que os órgãos governamentais brasileiros analisem essa prática e avaliem seu potencial para mitigação dos impactos da agricultura no meio ambiente.

Por fim, recomenda-se a implementação de diretrizes normativas de forma a determinar os requisitos mínimos para projeto, implementação, gerenciamento e manutenção do sistema de controle de água de drenagem no Brasil.

Com base nas informações coletadas e análise pessoal, sugerem-se os seguintes tópicos para continuação do estudo:

- Experimentos feitos em território nacional, em condições de clima, solo e culturas locais.
- Criação de normas para implantação da prática a partir desses estudos.
- Projeto de estruturas de controle alternativas.
- Mapeamento das áreas drenadas com potencial de implementação do gerenciamento de água de drenagem.
- Elaboração de instruções para conversão de sistemas de drenagem convencional em drenagem controlada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADS Pipe. Agriculture Division – Corporate Website. Disponível em: <<https://www.adspipe.com/markets/agriculture>>. Acesso em 18 Fevereiro 2022.
- Agri Drain Corporation. Corporate Website. Disponível em: <<https://www.agridrain.com/>>. Acesso em 27 Fevereiro 2022.
- Agri Drain Corporation. Inline water level control structure installation instructions. Disponível em: <<https://www.agridrain.com/webres/File/Inline%20Structure%20Installation%20Instructions.pdf>>. Acesso em 20 Maio 2022.
- Ambev. A disponibilidade de água no mundo e no Brasil. Disponível em: <<https://saveh.ambev.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil>>. Acesso em: 10 Abril 2021.
- AYERS, J.E.; CHRISTEN, E.W.; HORNBUCKLE, J.W. 2006. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. *Agriculture Water Management Journal*.
- BALLANTINE, D.J.; TANNER, C.C. 2013. Controlled drainage systems to reduce contaminant losses and optimize productivity from New Zealand pastoral systems. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 56:2, 171-185.
- BOHLEN P.J.; VILLAPANDO, O.R. 2011. Controlling runoff from subtropical pastures has differential effects on nitrogen and phosphorus loads. *Journal of Environmental Quality* 40: 989-998.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. Legislação: Lei 6.894 de 16 de Dezembro de 1980. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6894-16-dezembro-1980-371561-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em 02 Maio 2022.
- CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Panorama do Agro. Disponível em: <<https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>>. Acesso em: 11 novembro 2021.
- CEPEA. 2022. Mercado de trabalho/CEPEA: População ocupada no agronegócio atinge maior contingente desde 2016. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/mercado-de-trabalho-cepea-em-2021-populacao-ocupada-no-agronegocio-atinge-maior-contingente-desde-2016.aspx#:~:text=Cepea%2C%208%2F03%2F2022,de%20informa%C3%A7%C3%B5es%20dos%20microdados%20da>>. Acesso em: 19 julho 2022.
- COOKE, R.; VERMA, S. 2012. Performance of drainage water management in Illinois, US. *Journal of Soil and Water Conservation*.
- Crumpler Plastic Pipe. Flashboard Risers. Disponível em: <http://www.cpp-pipe.com/flashboard_risers.html>. Acesso em 14 Maio 2022.

EMBRAPA. 2017. Nasa confirma dados da Embrapa sobre área plantada no Brasil. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30972114/nasa-confirma-dados-da-embrapa-sobre-area-plantada-no-brasil>>. Acesso em: 01 novembro 2021.

EMBRAPA. Solos. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/solos>>. Acesso em: 25 maio 2022.

EHMKE, T. 2013. Improving water and nutrient use efficiency with drainage water. Crops & Soil Magazine.

ELSHEMY, M. 2017. Review of technologies and practices for improving agricultural drainage water quality in Egypt. Springer International Publishing.

Evans, R.O., R.W. Skaggs, and J.W. Gilliam. 1995. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. Journal of Irrigation and Drainage.

Evans, R.O., R.W. Skaggs, and J.W. Gilliam. 1996. Controlled Drainage Management Guidelines for Improving Drainage Water Quality. North Carolina Cooperative Extension Service: AG 443.

FANG, Q.X.. 2011. Modeling the effects of controlled drainage, N rate and weather on nitrate loss to subsurface drainage. Agricultural Water Management Journal.

FAO. Aquastat. Disponível em: < <https://www.fao.org/aquastat/en/>>. Acesso em 09 Julho 2022.

FERREIRA, P.A. 2005. Drenagem Agrícola - Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <<https://www.scribd.com/document/132613288/Cap1-Apostila-de-Drenagem>>. Acesso em 18 novembro 2021.

FRANKENBERGER, J. 2014. Drainage water management in the corn belt. Resilient Agriculture Journal:14-15.

FRANKENBERGER, J. *et al.* 2007. Drainage water management for the midwest. Purdue Agriculture Journal Rev12/07.

G1. OMS: água contaminada mata 28 mil por ano no País. Disponível em: <<https://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL629327-5598,00-OMS+AGUA+CONTAMINADA+MATA+MIL+POR+ANO+NO+PAIS.html>>. Acesso em 09 Abril 2022.

GILLIAM, J.W.; SKAGGS, R.W.; and WEED, S.B. 1979. Drainage control to diminish nitrate loss from agricultural fields. Journal of Environmental Quality 8:137-142.

GUNN, K.M. 2015. Subsurface drainage volume reduction with drainage water management: Case studies in Ohio, USA . Agricultural Water Management Journal. HAGEDORN, J. *et al.* 2020. Pollution Swapping of N₂O and CH₄ Emissions with dissolved nitrogen and phosphorus export in drainage water managed agricultural fields. Earth and Space Science Open Archive.

IBGE. 2022. Estimativa de junho aponta safra recorde de 261,4 milhões de toneladas. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/34238-estimativa-de-junho-aponta-safra-recorde-de-261-4-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 10 julho 2022.

IBGE. 2022. População do Brasil. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/box_popclock.php>. Acesso em: 19 julho 2022.

ICID - Comissão Internacional de Agricultura e Drenagem. Recursos - Drenagem. Disponível em: <https://www.icid.org/res_drainage.html>. Acesso em: 24 outubro 2021.

JOEL, A.; WESSTROM, I.; MESSING, I. 2009. Mapping suitability of controlled drainage using spatial information of topography, land use and soil type, and validation using detailed mapping, questionnaire and field survey. *Hydrology Research Journal – IWA Publishing* 40.4.

JOUNI, H.J. *et al.* 2018. Managing Controlled drainage in irrigated farmer's fields: A case study in the Moghan plain, Iran. *Agricultural Water Management Journal*.

KULKARNI, S. 2011. Innovative Technologies for Water Saving in Irrigated Agriculture. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*.

LIMA, J.E.F.W. Recursos Hídricos no Brasil e no mundo. Primeira Edição, Editora Embrapa Cerrados. 2001.

LU, B. *et al.* 2016. The effects of controlled drainage on N concentration and loss in paddy fields. *Journal of Chemistry*.

MACEDO, L.S; SOUZA, M.R; MORRILL, W.B.B; 2007. Drenagem para controle da salinidade. *Jornal de Tecnologia e Ciência Agropecuária de João Pessoa*.

MEKK, B.D. *et al.* 1970. Applied nitrogen losses in relation to oxygen status of soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 33:575-578.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. CMN aprova elevação dos limites da receita anual para efeito da classificação do produtor rural. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/cmn-aprova-elevacao-dos-limites-da-receita-anual-para-efeito-da-classificacao-do-produtor-rural>>. Acesso em: 15 outubro 2021.

MOZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. História das agriculturas no mundo. Do neolítico à crise contemporânea. Primeira Edição, Editora Unesp. 2009.

Nações Unidas – Brasil. População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/189756-populacao-mundial-chegara-8-bilhoes-em-novembro-de-2022>>. Acesso em: 19 julho 2022.

NEGM, Abdelazim. Unconventional Water Resources and Agriculture in Egypt. Primeira Edição, Editora Springer. 2019.

POOLE, C.A. *et.al.* 2013. Effects of drainage water management on crop yields in North Carolina. *Journal of Soil and Water Conservation* 68:429-437.

Revista Globo Rural. CMN Eleva limites da receita Bruta Agropecuária Anual para Classificar o Produtor. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Economia/noticia/2021/07/cmn-eleva-limites-da-receita-bruta-agropecuaria-anual-para-classificar-produtor.html>>. Acesso em: 03 novembro 2021.

RITZEMA, H.P. Drainage Principles and Applications. Segunda Edição, 1994.
ROSS, J.A. *et al.* 2016. A synthesis and comparative evaluation of factors influencing the effectiveness of drainage water management. *Agricultural Water Management Journal*.

ROZEMEIJER, J.C. *et al.* 2016. High-frequency monitoring of water fluxes and nutrient loads to assess the effects of controlled drainage on water storage and nutrient transport. *Hydrology and Earth System Sciences*.

SKAGGS, R.W.; FAUSEY, N.R.; and EVANS, R.O. 2012. Drainage Water Management. *Journal of Soil and Water Conservation*.
Science Direct. Water Research Volume 142 de 01 de Outubro 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135418304123#undfig1>>. Acesso em: 28 janeiro 2022.

SINGH, R.; HELMERS, M.J. 2007. Predicting effects of drainage water management in Iowa's subsurface drained landscapes. *Agricultural Water Management* 92:162-170.

SMEDEMA, S.K.; SMEDEMA L.K.; and VLOTMAN, W.F. 2004. Modern Land Drainage: Planning, Design and Management of Agricultural Drainage Systems. London: Taylor and Francis Group.

SOUZA, Ana. MORASSUTI, Claudio. DEUS, Warley. Poluição do ambiente por metais pesados e utilizados de vegetais como Bioindicadores. *Acta Biomedica Brasiliensia /Volume 9/ no 3/ dezembro de 2018*. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6789234.pdf>>. Acesso em: 04 maio de 2022.

TOLOMIO, M.; BORIN, M. 2019. Controlled drainage and crop production in a long-term experiment in North-Eastern Italy. *Agricultural Water Management* 222:21-29.

TRANSFORMING DRAINAGE. Controlled drainage. Disponível em: <<https://transformingdrainage.org/practices/controlled-drainage/>>. Acesso em: 19 abril 2022.

TRANSFORMING DRAINAGE PROJECTS. DWM #6: Drainage Water Management Layouts - New and Retrofit Design drainage. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=sT3HVt7n9z8>> Acesso em: 24 julho 2022.

TUCCI, Carlos; HESPANHOS, Ivanildo; NETTO, Oscar. Gestão da Água no Brasil. Ed. Unesco. Primeira Edição, 2001.

USDA. Agriculture Water Management – Practices Planned. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1166901.pdf>. Acesso em 01 junho 2022.

USDA. Agriculture Water Management – Practices Applied. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1166900.pdf>. Acesso em 01 junho 2022.

USDA. Natural Resource Conservation Service Website. Disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/national/home/>>. Acesso em 15 maio 2022.

USDA. 2005. Drainage Water Management Code 554-CPS-1. Natural Resource Conservation Service.

USDA. 2016. Structure for Water Control 587-1. Natural Resource Conservation Service.

USDA. Water Management - NRCS. Disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/water/manage/>>. Acesso em 22 maio 2022.

WAHBA, M.A.S; CHRISTEN, E.W.; AMER, M.H. 2005. Irrigation water saving by management of existing subsurface drainage in Egypt. Irrigation and Drainage Wiley Interscience.

WILLIAMS, M.R.; KING, K.W.; FAUSEY, N.R. 2015. Drainage water management effects on tile discharge and water quality. Agricultural Water Management Journal.

ZANG, T.Q. 2017. Drainage water management combined with cover crop enhances reduction of soil phosphorus loss. Science of the Total Environment Journal.