



TECNOLOGIAS DE IRRIGAÇÃO E O USO EFICIENTE DA ÁGUA: O CASO DO GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

Guilherme de Moura Haguenaer

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientadores: Alessandra Magrini

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

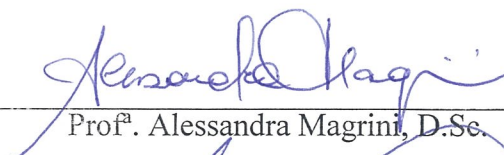
Rio de Janeiro
Dezembro de 2016

TECNOLOGIAS DE IRRIGAÇÃO E O USO EFICIENTE DA ÁGUA: O CASO DO
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

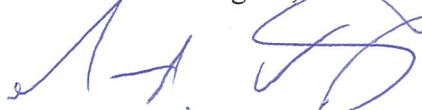
Guilherme de Moura Haguenuer

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

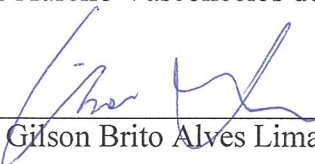
Examinada por:



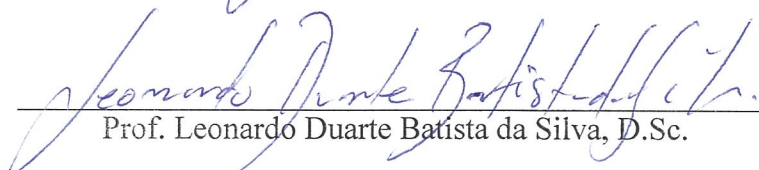
Prof.^a Alessandra Magrini, D.Sc.



Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, D. Sc.



Prof. Gilson Brito Alves Lima, D.Sc.



Prof. Leonardo Duarte Batista da Silva, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

DEZEMBRO DE 2016

Haguenauer, Guilherme de Moura

Tecnologias de Irrigação e o Uso Eficiente da Água:
O Caso do Gotejamento Subsuperficial / Guilherme de
Moura Haguenauer. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE,
2016.

XIII, 100 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Alessandra Magrini

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de
Planejamento Energético, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 93-99.

1. Irrigação. 2. Gotejamento Subsuperficial. 3. Cana-
de-açúcar. 4. Semiárido brasileiro. I. Magrini, Alessandra
et al. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE,
Programa de Planejamento Energético. III. Título.

“Todo homem é culpado do bem que não fez.”

Voltaire

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Alessandra Magrini e Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, pela confiança depositada e por todos os incentivos ao longo destes dois anos.

À minha família, pelo amor e apoio incondicional. Martha, Gil, Márcia e Júlia, não existem palavras que expressem a gratidão e alegria que possuo em tê-los em minha vida.

Um agradecimento especial à minha madrastra, Denise Faertes, por todo apoio, amor e orientação ao longo dessa jornada e, principalmente, por fazer do meu pai um homem mais saudável e feliz.

À minha avó Elba, pelo exemplo de coragem e de mulher.

À minha namorada, Nathália, por estar sempre ao meu lado e me fazer tão feliz.

Aos meus amigos, em especial ao *pack*, pelo companheirismo e amizade. Vocês são a família que escolhi.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação até aqui, minha eterna gratidão e admiração por vocês.

A todos do PPE, em especial Sandrinha, pelas incansáveis ajudas e conselhos ao longo deste período.

Por fim, um agradecimento a todos que fazem deste mundo um lugar melhor e mais bonito de se viver.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

TECNOLOGIAS DE IRRIGAÇÃO E O USO EFICIENTE DA ÁGUA: O CASO DO GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

Guilherme de Moura Haguenaer

Dezembro/2016

Orientadores: Alessandra Magrini

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Programa: Planejamento Energético

A agricultura responde por 69% do consumo de água doce no mundo. Deste total, 70% são destinados à irrigação. Apesar de apresentar mais do que o dobro de produtividade que a agricultura de sequeiro, grande parte das áreas irrigadas no mundo ainda se baseia em métodos de irrigação antigos que, por sua vez, utilizam grandes quantidades de água, nutrientes e energia. A maior parte destes recursos nem chega a atingir a planta e o cultivo excessivo leva à erosão do solo, à baixa produtividade e à perda da qualidade da água utilizada. Este trabalho propõe uma metodologia de avaliação comparativa e seleção de diferentes métodos de irrigação, com base na ponderação de variáveis pré-definidas. Também faz parte deste estudo a apresentação de um caso base, para o qual será feita uma análise crítica dos resultados, tomando como referência a metodologia proposta. O caso escolhido é o do cultivo de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro. Em 2007, a usina Agrovale implementou um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em parte dos seus canais. Os resultados apresentados pelo caso da Agrovale e pela metodologia proposta corroboram para uma mesma conclusão: A irrigação por gotejamento subsuperficial é a forma mais adequada para aumentar a eficiência hídrica e produtiva de culturas canavieiras em regiões com estresse hídrico. A metodologia apresentada pretende prover ferramental para o processo de tomada de decisão e, para que a mesma possa ser utilizada em outros cultivos e localidades, é necessária a análise crítica das variáveis definidas, considerando-se caso a caso.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

IRRIGATION TECHNOLOGIES AND THE EFFICIENT USE OF WATER: THE
SUBSURFACE DRIP IRRIGATION CASE

Guilherme de Moura Haguenaer

December/2016

Advisors: Alessandra Magrini
Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Department: Energy Planning

Agriculture accounts for 69% of the world's freshwater consumption. Of this total, 70% is devoted to irrigation. Although the irrigation technology presents more than twice the productivity of rainfed agriculture, most irrigated areas in the world are still based on primary irrigation methods, that, in turn, use large amounts of water, nutrients and energy. Unfortunately, most of these resources do not even reach the plant, and over-cultivation leads to soil erosion, poor productivity and loss of water quality. This dissertation proposes a methodology for a comparative evaluation and selection of the best option between different irrigation methods, based on the weighting of pre-defined variables. This study also presents a basic case, for which a critical analysis of the results will be carried out, taking as reference the proposed methodology. The case selected is the cultivation of sugarcane in the Brazilian semi-arid region. In 2007, the Agrovale plant implemented a subsurface drip irrigation system in part of its sugar cane fields. The results presented by the case study and by the proposed methodology indicate the same conclusion: subsurface drip irrigation is the most adequate method to increase productivity and water efficiency of sugar cane crops in water-stressed regions. The presented methodology intends to provide a useful tool for decision-making processes and, when looking at its application to other crops and locations, it is recommended that a critical analysis be performed, considering case by case.

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos da dissertação	3
1.2	Procedimento metodológico	4
2	Estado da arte da irrigação no mundo e no Brasil	7
2.1	Contexto mundial.....	7
2.2	Irrigação no Brasil	14
3	Conceitos e Metodologias associados a projetos de irrigação.....	27
3.1	Geral.....	27
3.2	Contexto histórico.....	27
3.3	Composição de um sistema de irrigação.....	30
3.4	Métodos de irrigação	32
3.4.1	Irrigação por Superfície	34
3.4.2	Irrigação por Aspersão	37
3.4.3	Irrigação Localizada	45
3.4.4	Irrigação Subterrânea.....	48
3.5	Critérios básicos para a seleção de sistemas de irrigação.....	50
3.5.1	Topografia	50
3.5.2	Solo.....	51
3.5.3	Recursos hídricos.....	54
3.5.4	Clima	55
3.5.5	Cultura	56
3.5.6	Fatores humanos	58
3.5.7	Aspectos econômicos, sociais e ambientais	58
3.6	Análise comparativa dos principais métodos de irrigação.....	59
4	Estudo de caso: implementação de um sistema de irrigação por Gotejamento Subsuperficial em culturas anuais de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro.....	67
4.1	Sobre o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil.....	67
4.1.1	Contextualização	67
4.1.2	Aspectos relevantes sobre o cultivo de cana-de-açúcar.....	69
4.1.3	Irrigação na cultura canavieira nacional	71
4.2	Sobre o Semiárido brasileiro.....	72
4.3	Apresentação do estudo de caso	75

4.3.1	Descrição do caso	75
4.3.2	Proposição de metodologia a ser utilizada para o estudo de caso	78
4.3.3	Análise comparativa dos resultados obtidos pela metodologia aplicada e pelo estudo de caso	84
5	Conclusões e recomendações	91
	Referências Bibliográficas.....	93
	Anexo I: Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro.....	100

Índice de Figuras

Figura 1.2.1: Estrutura conceitual da dissertação.....	5
Figura 2.1.1: Mapa digital das áreas irrigadas no mundo.....	8
Figura 2.1.2: Percentual de área cultivada por meio de irrigação nos cinco continentes.	9
Figura 2.1.3: Países que mais irrigam no mundo.	10
Figura 2.1.4: Principais culturas irrigadas no mundo.....	11
Figura 2.1.5: Análise comparativa dos principais métodos de irrigação utilizados no mundo.....	12
Figura 2.1.6: Países com maior área irrigada no mundo (em milhões de hectares).	13
Figura 2.2.1: Distribuição da água doce no Brasil.	14
Figura 2.2.2: Demanda consuntiva total estimada no Brasil em 2013 (m ³ /s).....	16
Figura 2.2.3: Demanda consuntiva total consumida no Brasil em 2013 (m ³ /s).	16
Figura 2.2.4: Evolução da área irrigada no Brasil (em milhões de hectares).	17
Figura 2.2.5: Área irrigada e área potencial para irrigação no Brasil.....	20
Figura 2.2.6: Estados Brasileiros que mais irrigam.....	21
Figura 2.2.7: Área colhida das principais culturas irrigadas no Brasil (mil hectares)....	22
Figura 2.2.8: Incremento anual de área irrigada por tipo de equipamento.....	24
Figura 2.2.9: Incremento anual da área irrigada no Brasil entre 2000 e 2013.....	25
Figura 3.2.1: Canal egípcio possibilitando a passagem de água para áreas mais secas.	28
Figura 3.4.1: Ilustrações dos quatro métodos de irrigação.....	32
Figura 3.4.2: Métodos de irrigação e seus principais sistemas.....	33
Figura 3.4.3: Campos de arroz inundados no sul da China.	35
Figura 3.4.4: Irrigação por sulcos retilíneos (à esquerda) e em ziguezague (à direita). .	36
Figura 3.4.5: Esquema de um sistema de irrigação por faixas.	37
Figura 3.4.6: Irrigação por faixas.	37
Figura 3.4.7: Principais sistemas de irrigação por aspersão.....	38
Figura 3.4.8: Esquema de um sistema de irrigação convencional.....	39
Figura 3.4.9: Sistemas de irrigação por aspersão convencional.	40
Figura 3.4.10: Esquema de um sistema por aspersão convencional em malha.	41
Figura 3.4.11: Sistemas de irrigação por aspersão mecanizada.	42
Figura 3.4.12: Visão aérea de um campo irrigado por sistema de irrigação tipo Pivô Central.	43

Figura 3.4.13: Sistema de irrigação por aspersores autopropelidos tipo Carretel enrolador.....	44
Figura 3.4.14: Tomada de água de um sistema de montagem direta.....	45
Figura 3.4.15: Funcionamento de um sistema de irrigação por gotejamento superficial.	47
Figura 3.4.16: Sistema de microaspersão no cultivo de laranjas.....	48
Figura 3.4.17: Funcionamento de um sistema de irrigação por Gotejamento Subsuperficial.....	49
Figura 3.6.1: Eficiência dos principais métodos de irrigação.....	65
Figura 4.1.1: Principais estados produtores de cana-de-açúcar no Brasil.	69
Figura 4.2.1: Localização geográfica do Polo Petrolina-Juazeiro.	74
Figura 4.3.1: Implementação dos tubos gotejadores por meio de tratores.	76
Figura 4.3.2: Irrigação por gotejamento subsuperficial no cultivo de cana-de-açúcar...	76
Figura 4.3.3: Plantio de cana-de-açúcar - área de cultivo, casa de bombas e reservatório.	78

Índice de Tabelas

Tabela 2.1.1: Evolução do uso de terras cultivadas no mundo (1961 - 2009).....	7
Tabela 2.2.1: Área irrigada por região brasileira e por método de irrigação.....	23
Tabela 3.6.1: Influência dos principais fatores na seleção do método de irrigação.	60
Tabela 3.6.2: Vantagens e desvantagens inerentes aos métodos de irrigação por Superfície.....	61
Tabela 3.6.3: Vantagens e desvantagens inerentes aos métodos de irrigação por Aspersão.	62
Tabela 3.6.4: Vantagens e desvantagens dos métodos de irrigação Localizada e Subterrânea.	63
Tabela 4.3.1: Proposição de critérios para ponderação de variáveis.	80
Tabela 4.3.2: Pontuação para qualificação das variáveis utilizadas no estudo de caso..	81
Tabela 4.3.3: Estudo de caso – indicador final para a seleção de métodos de irrigação.	83
Tabela 4.3.4: Produtividade média anual de cana-de-açúcar irrigada por métodos distintos, em toneladas de cana por hectare.....	87

Índice de Siglas

ANA: Agência Nacional de Águas

CAPEX: Custo de investimento, do inglês *Capital Expenditure*

CODEVASF: Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

DNOCS: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

FAO: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, do inglês *Food and Agriculture Organization*

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MI: Ministério da Integração Nacional

MMA: Ministério do Meio Ambiente

OPEX: Custo de operação, do inglês *Operational Expenditure*

TCH: Toneladas de cana por hectare

WWDR: Relatório mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, do inglês *World Water Development Report*

1 Introdução

A água é fundamental para a sobrevivência de toda e qualquer espécie do planeta Terra. Diversas teorias indicam que a vida surgiu nessa substância, possuindo em sua composição apenas dois elementos químicos: o hidrogênio e o oxigênio. Embora seja um recurso natural renovável, deve ser tratado com muito cuidado, já que seus gastos excessivos indiscriminados, aliados à poluição e a fenômenos climáticos, poderão causar sérios transtornos no abastecimento futuro.

Os recursos hídricos já estão entre os maiores motivos de disputa deste milênio, marcado pela escassez de água doce. Apesar de mais de 70% da superfície terrestre ser recoberta de água, 97,5% desta é salgada. Dos 2,5% restantes, cerca de 2/3 estão armazenados nas geleiras e calotas polares, restando apenas 0,77% de água doce disponível e própria para o nosso consumo. Esta pequena quantidade está alocada, em escala decrescente, em aquíferos, chuvas, lagos naturais, reservatórios e rios (ANA, 2013).

Para piorar a situação, o estoque de água doce aproveitável no mundo está distribuído de forma desigual. O continente asiático, por exemplo, conta com cerca de 60% de toda população mundial, mas detém apenas 36% dos recursos hídricos aproveitáveis (WWDR, 2015).

Cabe lembrar que o volume desse precioso recurso permanece constante ao longo do tempo, enquanto que o seu consumo é feito sob taxas crescentes. Dados do *World Water Development Report 2015* indicam que a população mundial quadruplicou no último século, enquanto que, nesse mesmo período, a retirada de água doce foi multiplicada por sete. Tal desproporção constitui grave ameaça ao futuro da humanidade, que tem agora como principais desafios o combate à pobreza e à exaustão de seus recursos naturais (WWDR, 2015).

As retiradas de água doce são divididas em três categorias: - setor agrícola, incluindo práticas de irrigação, pecuária e aquicultura; setor industrial; e consumo doméstico, referente à água tratada para beber, higiene pessoal, limpezas em geral e cocção de alimentos. Os três setores respondem, respectivamente, por 69%, 19% e 12% do consumo total médio de água doce no mundo (FAO, 2016). Estes percentuais variam significativamente de acordo com a região estudada. De modo geral, países desenvolvidos possuem uma proporção de retiradas de água doce muito maior para a

indústria do que países menos desenvolvidos, aonde a agricultura é quem sempre responde pelo maior consumo. Neste sentido, pode-se dizer que a relevância da agricultura no uso de água é altamente dependente do clima e da posição que o setor agrícola ocupa na economia de determinado local (FAO, 2016).

Segundo o *World Water Development Report 2015*, em 2050, o setor agrícola, sendo responsável por cerca de 70% de todas as retiradas de água doce no mundo e mais de 90% na maioria dos países subdesenvolvidos, deverá produzir 60% a mais de alimentos para poder abastecer os estimados 9,3 bilhões de indivíduos que residirão no planeta Terra.

Cabe lembrar que apenas 11% de toda terra no planeta é considerada cultivável, e esta já está quase totalmente explorada (WWDR. 2014). Como a atual taxa de crescimento da demanda hídrica na agricultura é insustentável, o setor busca continuamente encontrar formas de aumentar sua eficiência no uso da água, de modo a reduzir perdas e aumentar a produtividade dos cultivos.

O emprego da técnica da irrigação é tão antigo quanto outras práticas que possibilitaram a sobrevivência do ser humano na Terra. No entanto, face às atuais restrições espaciais, de recursos hídricos e de crescimento populacional, a técnica de irrigação assume status de ciência moderna e campo de desenvolvimento tecnológico nos quatro cantos do globo (IVIG – COPPE/UFRJ, 2011).

De fato, a irrigação moderna constitui um caso de sucesso do último século. Representando somente 21% de toda a área agrícola do planeta, as lavouras irrigadas são responsáveis por mais de 40% de toda a produção de alimentos no mundo, e mais de 70% de todo o seu valor de produção (FAO, 2016).

No entanto, a irrigação responde por cerca de 70% de toda retirada de água doce destinada à agricultura (WWDR. 2014). Apesar de apresentar mais do que o dobro de produtividade que a agricultura de sequeiro, grande parte das áreas irrigadas ainda se baseia em métodos de irrigação antigos que, por sua vez, utilizam grandes quantidades de água, nutrientes e energia. A maior parte desses recursos nem chega a atingir a raiz da planta e o cultivo excessivo leva à erosão do solo, à baixa produtividade e à perda da qualidade da água utilizada (NETAFIM, 2015). Segundo estimativas da FAO, cerca de 60% da água que é fornecida aos projetos de irrigação se perdem por evaporação ou percolação, e, anualmente, 10 milhões de hectares de áreas são abandonados no mundo por efeito da salinização e processos decorrentes (FAO, 2013).

Por outro lado, muitos avanços tecnológicos no setor agrícola vêm sendo implementados nas últimas décadas. Países que sofrem com escassez de água, como é o caso de Israel, vêm desenvolvendo soluções para o desperdício de água, por meio da adoção de métodos de irrigação mais eficientes, como o gotejamento, e do reuso da água tratada do esgoto em cultivos irrigados (SZUSTER, 2014).

Tendo em vista as projeções futuras de crescimento populacional e do uso da água, países com representação significativa na produção mundial de alimentos deveriam seguir este exemplo do Estado Democrático Judeu. O Brasil, além de ser um dos maiores produtores agrícolas, é também um dos países com maior potencial de área irrigável no globo (FAO, 2013). Sendo assim, fica clara a necessidade de tornar este setor da economia brasileira mais eficiente.

O desafio do mundo de hoje é consumir menos recursos naturais e, ao mesmo tempo, encontrar a melhor maneira de extrair mais alimentos de nossas terras cultiváveis. Frente a esta problemática, fica o questionamento: Como produzir mais alimentos com menos água? Quais são os métodos de irrigação mais eficientes e como funcionam?

No que se refere à economia no uso de água e fertilizantes, à preservação do solo e ao aumento da produtividade agrícola, considera-se a tecnologia de irrigação por gotejamento subsuperficial combinado com fertirrigação como uma das formas mais indicadas para aumentar a eficiência dos cultivos. Para testar esta hipótese, foi realizado um estudo de caso relacionado à plantação de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro. A definição do cultivo e do local de estudo foi devido à grande relevância do setor sucroalcooleiro na economia brasileira, assim como o problema de escassez hídrica vivido por esta região.

1.1 Objetivos da dissertação

Considerando que a irrigação é um fator de melhoria do ambiente de produção, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o potencial da implementação de sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo em culturas agrícolas no Brasil, à luz da escassez de recursos hídricos.

Dentre os objetivos específicos do estudo estão a apresentação dos seguintes tópicos: (a) o estado da arte das diferentes tecnologias de irrigação existentes no mundo, assim como as vantagens e desvantagens inerentes a cada uma delas; (b) a

contextualização, conceitos e metodologias associados a projetos de irrigação; (c) os critérios básicos para a seleção adequada de sistemas de irrigação; (d) o estudo de caso, que inclui: a descrição de um projeto de implementação de um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em culturas anuais de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro; uma proposição de metodologia para a avaliação comparativa entre diferentes tecnologias de irrigação; e análise de resultados.

1.2 Procedimento metodológico

Um método é um conjunto de processos pelos quais se torna possível conhecer uma determinada realidade, produzir determinado objeto ou desenvolver certos procedimentos ou comportamentos (OLIVEIRA, 1999). Em pesquisa científica, caracteriza-se pela escolha de procedimentos sistemáticos para descrição e explicação de uma determinada situação sob estudo, e sua escolha deve estar baseada em dois critérios básicos: a natureza do objetivo ao qual se aplica e o objetivo que se tem em vista no estudo (FACHIN, 2001). Com o intuito de atender aos objetivos da dissertação e responder às perguntas de pesquisa, utiliza-se neste trabalho a metodologia de revisão bibliográfica unida a um estudo de caso.

A revisão bibliográfica é a base que sustenta qualquer pesquisa científica. Para conseguir avançar em determinado campo do conhecimento, é preciso, primeiramente, conhecer o que já foi desenvolvido nessa área por outros pesquisadores (VIANNA, 2001). Desta forma, a revisão bibliográfica é indispensável para a delimitação do problema em um projeto de pesquisa e para obter uma ideia precisa sobre o estado atual dos conhecimentos sobre determinado tema (LAKATOS & MARCONI, 2010). Nesse sentido, a revisão bibliográfica do presente trabalho busca traçar um panorama atual da agricultura irrigada no Brasil e no mundo, apresentar conceitos e metodologias envolvendo sistemas de irrigação, assim como fazer uma análise comparativa das diferentes tecnologias de irrigação vigentes na atualidade.

O estudo de caso, por sua vez, é uma estratégia de pesquisa que compreende um método que abrange tudo em abordagens específicas de coletas e análise de dados (YIN, 2001). Este método é útil quando o fenômeno a ser estudado é amplo e complexo, e não pode ser estudado fora do contexto onde ocorre naturalmente. Trata-se de um estudo empírico que busca determinar ou testar uma teoria (YIN, 2001). Nesse sentido, seleciona-se um caso único para esta pesquisa, o do cultivo de cana-de-açúcar no

Semiárido brasileiro por meio da irrigação por gotejamento subsuperficial, considerando-se que as lições tiradas poderão ser aplicadas em diferentes culturas e regiões brasileiras. A coleta de dados conta com múltiplas fontes, como revisão de literatura, análise documental, entrevista com um consultor experiente da área e observações diretas do próprio pesquisador.

De modo a simplificar o entendimento da metodologia utilizada, a Figura 1.2.1 apresenta a estrutura conceitual da dissertação.

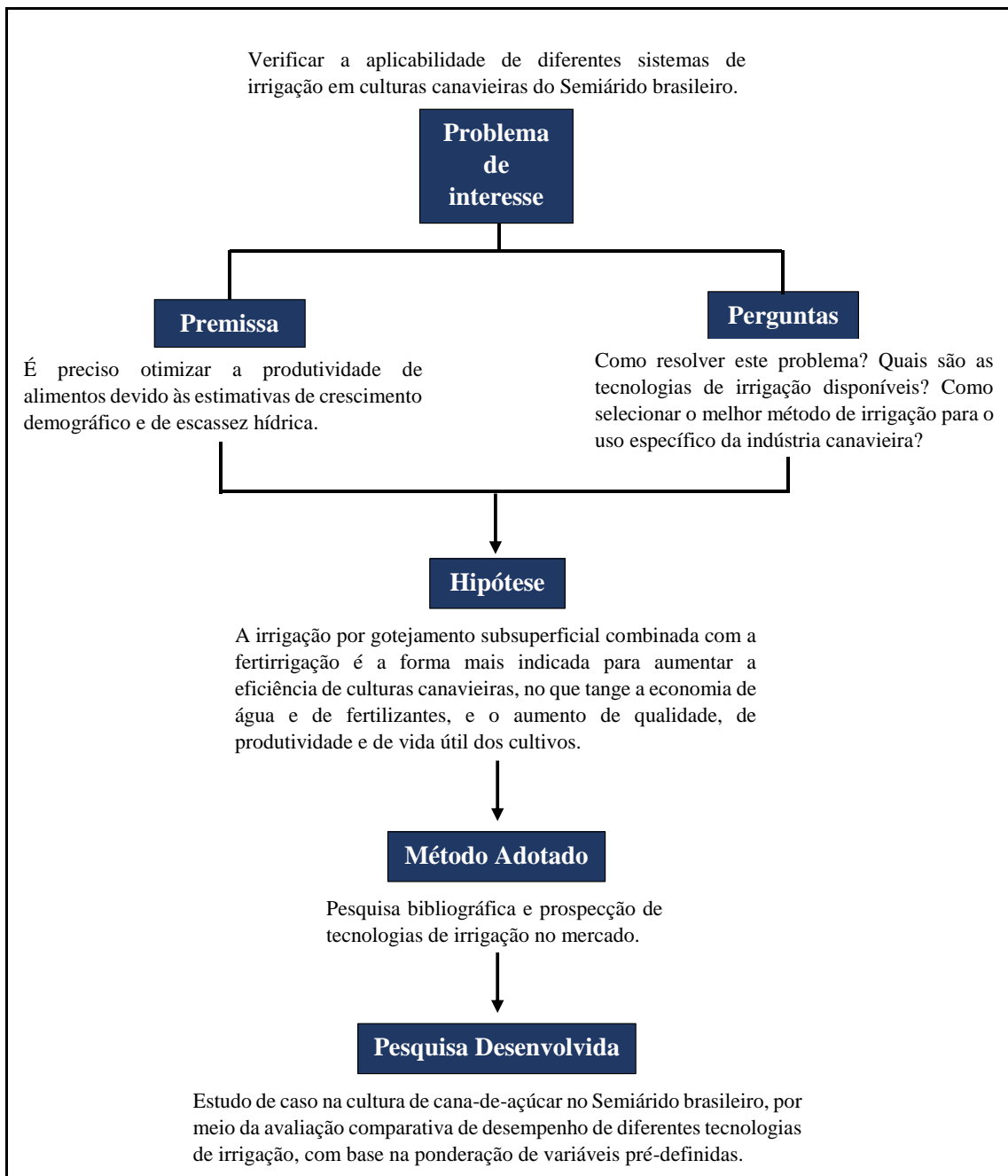


Figura 1.2.1: Estrutura conceitual da dissertação.

Fonte: Elaboração própria, baseado em FARIA, 2016.

Esta dissertação é composta por cinco capítulos. O presente capítulo busca introduzir o tema da irrigação no contexto atual, justificando a sua relevância. O Capítulo 2 discute o estado da arte das tecnologias de irrigação no Brasil e no mundo. O Capítulo 3 apresenta uma revisão literária sobre os conceitos e metodologias associados à projetos de irrigação, assim como uma análise comparativa das principais tecnologias de irrigação vigentes na atualidade. O Capítulo 4 constitui o estudo de caso da dissertação, que trata da implementação de um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em culturas anuais de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro. Esta seção apresenta uma proposição de metodologia para a avaliação comparativa e seleção de diferentes tecnologias de irrigação utilizadas neste tipo de cultivo. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões, limitações e propostas de trabalhos futuros.

2 Estado da arte da irrigação no mundo e no Brasil

2.1 Contexto mundial

A área de terra do planeta cobre um total de, aproximadamente, 14 milhões de hectares – um pouco menos do que um terço da superfície da Terra (FAO, 1995). Desse total, pouco mais de 10% são terras agrícolas, isto é, áreas destinadas ao cultivo de alimentos. Conforme Tabela 2.1.1, apresentada pelo relatório da FAO de 2011, em menos de meio século a produção agrícola cresceu entre 2,5 e 3 vezes, enquanto que a área cultivada só aumentou em 12%. Nesse mesmo período, o número de hectares necessários para alimentar uma pessoa reduziu pela metade, passando de 0,45 para 0,22 hectares por pessoa (FAO, 2011). Este aumento de eficiência e de produtividade só foi possível graças, dentre outros fatores, ao desenvolvimento das áreas irrigadas que, entre 1961 e 2009, dobraram em superfície, passando de 139 milhões de hectares, em 1961, para mais de 300 milhões de hectares em 2009.

Tabela 2.1.1: Evolução do uso de terras cultivadas no mundo (1961 - 2009).

	1961 (milhões de hectares)	2009 (milhões de hectares)	Aumento líquido (%)
Terra cultivada	1 368	1 527	12.0
Agricultura não irrigada	1 229	1 226	-0.2
Irrigada	139	301	117.0

Fonte: FAO, 2011.

De fato, a irrigação moderna constitui um caso de sucesso do último século. Representando somente 21% de toda a área agrícola do planeta, as lavouras irrigadas são responsáveis por mais de 40% de toda a produção de alimentos no mundo (FAO, 2016). A Figura 2.1.1, pertencente ao relatório elaborado pela FAO em conjunto com a Universidade de Bonn em 2013, ilustra o estado da arte da irrigação no globo terrestre. Os dados referentes aos percentuais de área irrigada de cada país baseiam-se, em sua grande maioria, em estatísticas elaboradas no período entre os anos 2000 e 2008.

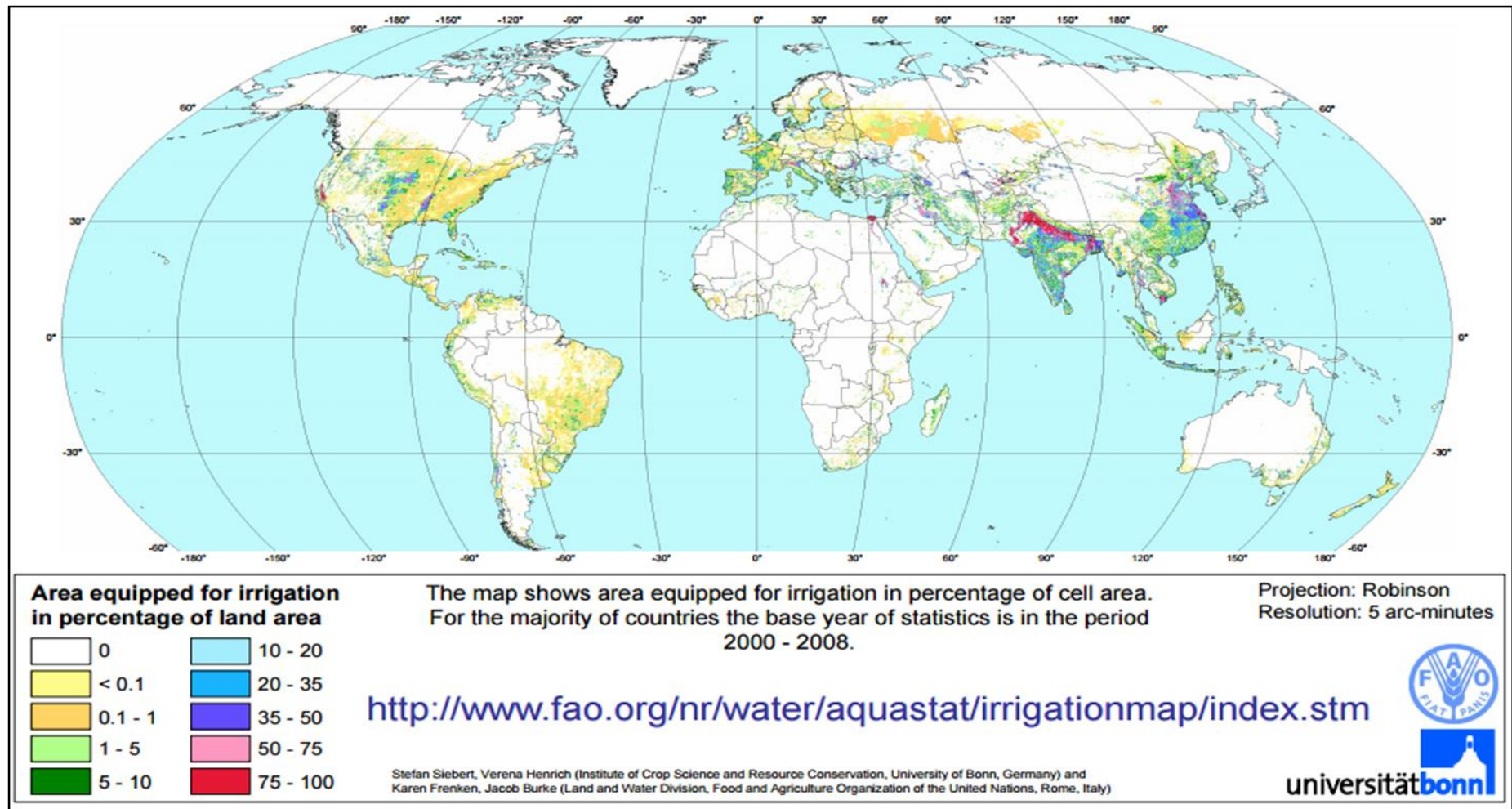


Figura 2.1.1: Mapa digital das áreas irrigadas no mundo.

Fonte: FAO, 2013.

Em 2012, dos 324 milhões de hectares equipados para irrigação no mundo, cerca de 85% - ou 275 milhões de hectares - eram efetivamente irrigados. Só o continente asiático responde por 70% desse total, com cerca de 230 milhões de hectares de áreas equipadas para irrigação (FAO, 2014). A Ásia é também o continente que mais se beneficia pela irrigação, já que 89% de sua área equipada para irrigação é efetivamente irrigada. A irrigação, em conjunto com o desenvolvimento de pesticidas e fertilizantes, teve um papel fundamental na Revolução Verde¹ do continente asiático. Atualmente, 41% de toda a terra cultivada² na Ásia é irrigada. Em 1970, eram apenas 26%. Este avanço tecnológico contribuiu consideravelmente para a redução da subnutrição do continente, que passou de 24%, em 1990-92 para 14%, em 2010-12 (FAO, 2014). A Figura 2.1.2 apresenta a relação existente entre áreas irrigadas e áreas agrícolas nos cinco continentes.

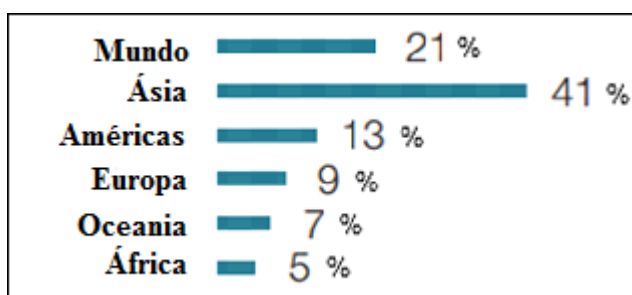


Figura 2.1.2: Percentual de área cultivada por meio de irrigação nos cinco continentes.

Fonte: FAO, 2014.

Nota-se que a Ásia é o continente com o maior percentual de área irrigada por área cultivada no mundo, com 41%. Este valor equivale a, aproximadamente, o dobro da média mundial, de 21%.

De fato, quatro dentre os cinco países que mais irrigam são asiáticos. China e Índia lideram o ranking mundial de áreas equipadas para irrigação, com 69,15 milhões e

¹ Revolução Verde corresponde ao processo de inovação tecnológica na agricultura iniciado na década de sessenta para suprir a demanda de países com déficit de alimentos. Pesquisas em sementes, fertilização do solo, utilização de agrotóxicos e mecanização no campo (dentre outros) foram desenvolvidos visando o aumento de produtividade. O continente asiático foi o que mais se beneficiou por esta revolução.

²A terra pode ser cultivada através de técnicas de irrigação ou pela agricultura natural (de sequeiro), que depende apenas da água da chuva para se desenvolver.

67 milhões de hectares, respectivamente. Juntas, as duas nações concentram 42% da área irrigada no globo e quase 40% de toda a população mundial. Em seguida, encontram-se Estados Unidos, Paquistão e Irã, com 26,1 milhões, 20,2 milhões e 9,6 milhões de hectares irrigados, respectivamente (FAO, 2014). A Figura 2.1.3, baseada em dados coletados pela FAO em 2013, ilustra esta relação dos cinco países com maior área irrigada no mundo.

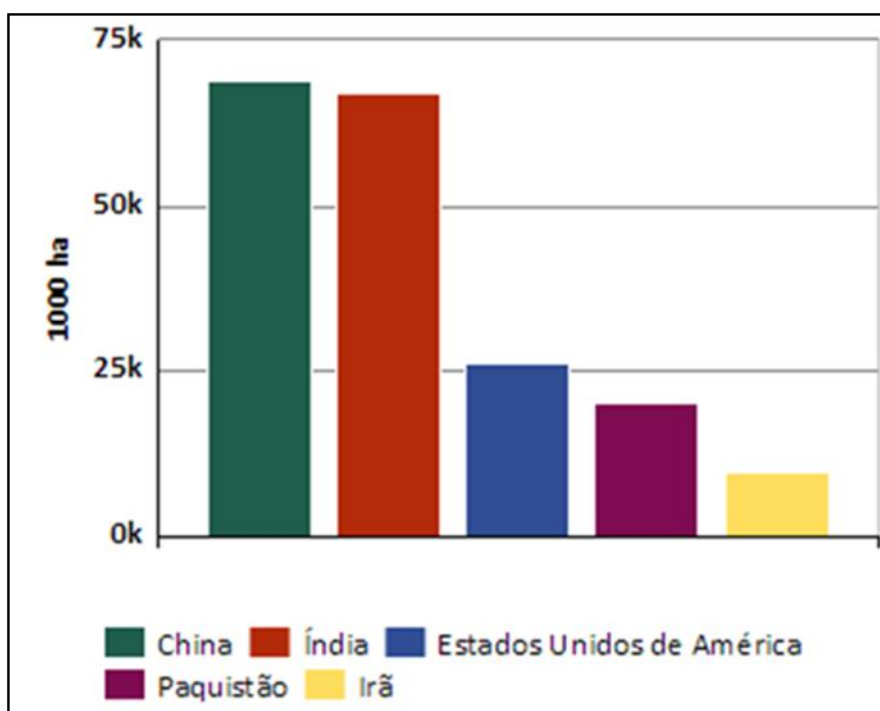


Figura 2.1.3: Países que mais irrigam no mundo.

Fonte: FAO, 2014.

Quanto aos cultivos irrigados, pode-se afirmar que o arroz é o principal alimento produzido por meio da irrigação. Só este cereal ocupa 29% de toda área irrigada do planeta (FAO, 2014). De fato, os cereais são o cultivo irrigado de maior representatividade no globo, correspondendo a 61% de toda área irrigada, dos quais 87% estão localizados somente no continente asiático. Em seguida, encontram-se, em ordem decrescente, o cultivo de vegetais, forragens³, oleaginosas – principalmente soja e girassol -, culturas frutíferas, têxteis ou fibrosas – essencialmente linho e algodão – e

³ Forragem consiste nas plantas destinadas ao pasto, isto é, à alimentação do gado.

açucareiras - sobretudo cana-de-açúcar. A Figura 2.1.4 apresenta esta repartição de cultivos irrigados em termos percentuais.

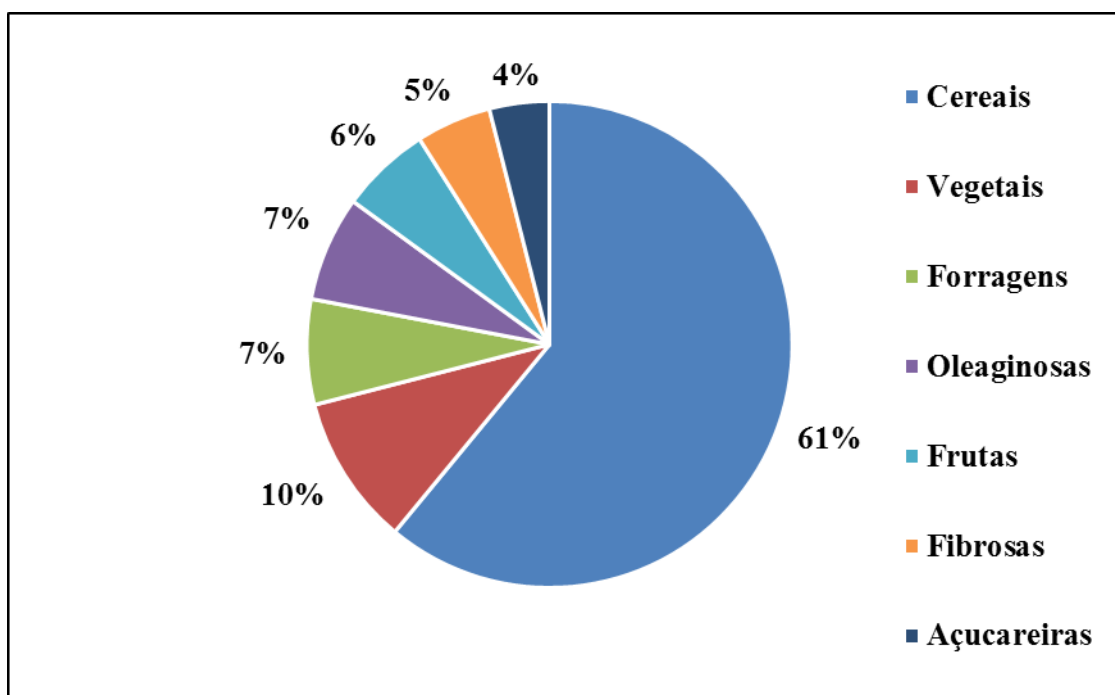


Figura 2.1.4: Principais culturas irrigadas no mundo.

Fonte: Elaboração própria, baseado em dados da FAO, 2014.

Interessante notar que a diversificação em culturas irrigadas é maior em continentes e países desenvolvidos, tais como Europa e Estados Unidos, aonde a importância relativa do cultivo de cereais é menor. Já em países subdesenvolvidos, aonde a agricultura é, basicamente, de subsistência, culturas irrigadas de cereais são predominantes, respondendo por 76% de toda a área irrigada nesses locais (FAO, 2014). Tais cultivos são irrigados, principalmente, por técnicas por superfície, que aproveitam a água de chuva para inundar os campos.

De fato, dos 324 milhões de hectares de área equipadas para irrigação no mundo, 86% correspondem a métodos por superfície, 11% à aspersão convencional e mecanizada e 3% à irrigação localizada. A Figura 2.1.5, além de ilustrar esta repartição, apresenta dados de custo, eficiência e mobilidade do equipamento, relativos aos principais métodos de irrigação – por superfície, por aspersão e localizada. O capítulo 3 do presente trabalho aprofundará melhor estes conceitos referentes aos diferentes sistemas de irrigação.




	 Superfície	 Aspersão	 Localizada
Área em 2012	280 million ha	35 million ha	9 million ha
% do total	86	11	3
Preço	\$	\$\$	\$\$\$
Eficiência	+	++	+++
Mobilidade	-	+/-	+

Figura 2.1.5: Análise comparativa dos principais métodos de irrigação utilizados no mundo.

Fonte: FAO, 2014.

Existem diversas razões para explicar esta desigual repartição dos métodos de irrigação. Dentre as principais, destacam-se: (a) a tradição, pois, diferente das outras tecnologias de irrigação, métodos por superfície são utilizados pelo homem há mais de 7.500 anos (HEMERY; DEBRIER; DELEAGE, 1993); (b) o aspecto climático que, em regiões tropicais, favorece as inundações dos campos. A Ásia Oriental e Meridional, por exemplo, estão submetidas aos regimes de monções, com excesso de chuvas no verão, possibilitando assim a inundação, sem grandes esforços, dos seus campos irrigados; (c) a disponibilidade hídrica do local; (d) o tipo de agricultura, podendo ser de subsistência ou comercial; e (d) a disponibilidade de capital e de conhecimento técnico por parte dos países produtores.

No caso chinês e indiano, aonde a agricultura é, em grande parte, de subsistência, métodos por superfície para o cultivo de cereais são predominantes. Em contraposição, países desenvolvidos como os Estados Unidos apresentam uma agricultura mais voltada para o comércio, o que explica o maior uso de tecnologias modernas de irrigação que, por sua vez, visam a maximização da produção e dos lucros. De modo a reforçar esta argumentação, é apresentada a Figura 2.1.6, que ilustra o uso das diferentes tecnologias de irrigação nessas três potências agrícolas.

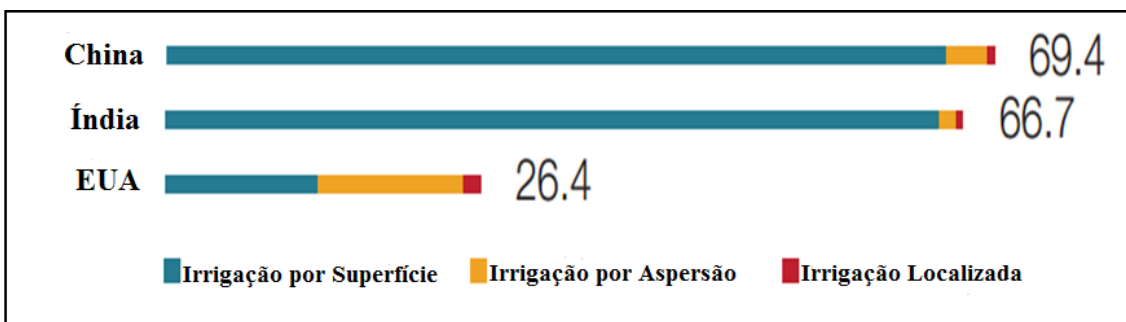


Figura 2.1.6: Países com maior área irrigada no mundo (em milhões de hectares).

Fonte: FAO, 2014.

O grande inconveniente da irrigação por superfície, principal método de irrigação no mundo, é a utilização indiscriminada de água e nutrientes (ANDRADE, 2009). Segundo dados do relatório de 2014 do Fórum Mundial de Desenvolvimento da Água, sistemas de irrigação respondem por cerca de 70% de toda retirada de água doce destinada à agricultura e, segundo estimativas da FAO de 2014, para cada hectare de cultura irrigada, são necessários, em média, 7.700 m³ de água retirada anualmente. Em 2010, dos 2.700 km³ de água retirada para irrigação, 1.500 km³ foram efetivamente utilizados, resultando em uma eficiência global dos sistemas de irrigação⁴ de 56% (FAO, 2014).

Frente ao iminente crescimento demográfico e ao aumento do consumo hídrico, torna-se clara a necessidade de aumentar os investimentos e pesquisas em tecnologias de irrigação mais eficientes e eficazes na a produção de alimentos.

A África subsaariana, apesar de ser a região com o menor percentual de área cultivada por meio de irrigação no mundo - pouco mais de 3% -, é também aquela com o maior potencial de expansão de agricultura irrigada no mundo (FAO, 2014). Outra região com grande potencial de expansão da agricultura irrigada é a América do Sul, onde apenas um quarto de sua capacidade é equipada, ou seja, 16 milhões de hectares de um potencial de 60 milhões de hectares (FAO, 2014).

O Brasil, além de ser um dos maiores produtores agrícolas, é também um dos países com maior potencial de expansão de área irrigável no globo (FAO, 2014). Sendo

⁴Eficiência de um sistema de irrigação consiste na relação existente entre a quantidade de água utilizada pelas culturas irrigadas e o volume retirado para a atividade de irrigação.

assim, é preciso tornar este setor da economia nacional mais eficiente, de modo que o Brasil possa desempenhar um papel ainda mais relevante e competitivo no mercado mundial de produção de alimentos.

2.2 Irrigação no Brasil

Com cerca de 8,5 milhões de km² e uma população de 206 milhões de habitantes, o Brasil é o quinto país do mundo em extensão territorial, superado apenas por Rússia, Canadá, China e Estados- Unidos (IBGE, 2016). Localizado na parte centro-oriental da América do Sul, cortado pela Linha do Equador e pelo Trópico de Capricórnio, possui boa parte de suas terras nas latitudes mais baixas do globo, o que lhe confere características de país tropical. Detentor da maior bacia hidrográfica do planeta – a Bacia Amazônica -, o Brasil é o país mais rico em água doce no mundo, concentrando 12,5% da disponibilidade hídrica global, ou 18%, se a contribuição dos países vizinhos for considerada (ANA, 2013). Mesmo com uma disponibilidade hídrica superficial de 91 m³/s e subterrânea de 4 m³/s, o país, dependendo da região, apresenta graves problemas de distribuição, desperdício, baixa qualidade e déficit de oferta de água (ANA, 2013). Conforme indicado pela Figura 2.2.1, 69% da água doce brasileira encontram-se na Região Amazônica e 31% nas demais regiões, as quais concentram 95% da população.

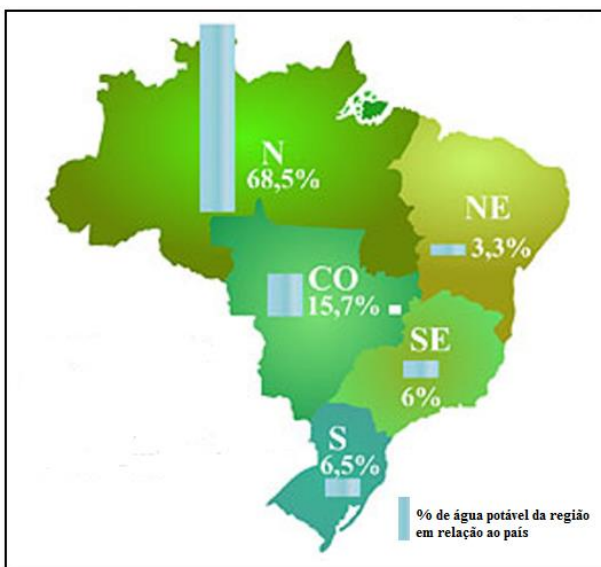


Figura 2.2.1: Distribuição da água doce no Brasil.

Fonte: ANA, 2012.

Esta disparidade traz inúmeros problemas econômicos, sociais e ambientais ao país, seja pela baixa qualidade e alta demanda do recurso hídrico nas periferias das grandes zonas metropolitanas, principalmente na região Sudeste, seja pela escassez, cada vez mais grave, na região Nordeste, onde a sobrevivência, a permanência da população e o desenvolvimento agrícola dependem essencialmente da oferta de água (CHRISTOFIDIS, 2002).

Outro grave problema relacionado ao abastecimento de água do país consiste no desperdício deste recurso. No Brasil, cerca de 40% da água tratada pelos sistemas de coleta e distribuição acaba perdida antes de chegar à população, devido a vazamentos nas tubulações, ligações clandestinas e redes com defeito por falta de manutenção (ANA, 2013).

No Brasil, a exemplo de outros países, a maior demanda por água é da agricultura, especialmente na irrigação. De acordo com o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil de 2015, da Agência Nacional de Águas (ANA), a irrigação responde por 75% do consumo de água no Brasil. Este percentual é alto, porém razoável, se levar em consideração que o setor agrícola brasileiro, em franca expansão nas últimas décadas, foi responsável por cerca de 25% do PIB brasileiro em 2015 (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2015). Dessa forma, fica clara a necessidade de um uso mais sustentável deste recurso no meio agrícola, seja pelo aumento de eficiência de aplicação, seja pela redução de perdas da água durante os cultivos.

A Figura 2.2.2 e a Figura 2.2.3 ilustram a demanda consuntiva total (estimada e consumida), em metros cúbicos por segundo, do Brasil no ano de 2013.

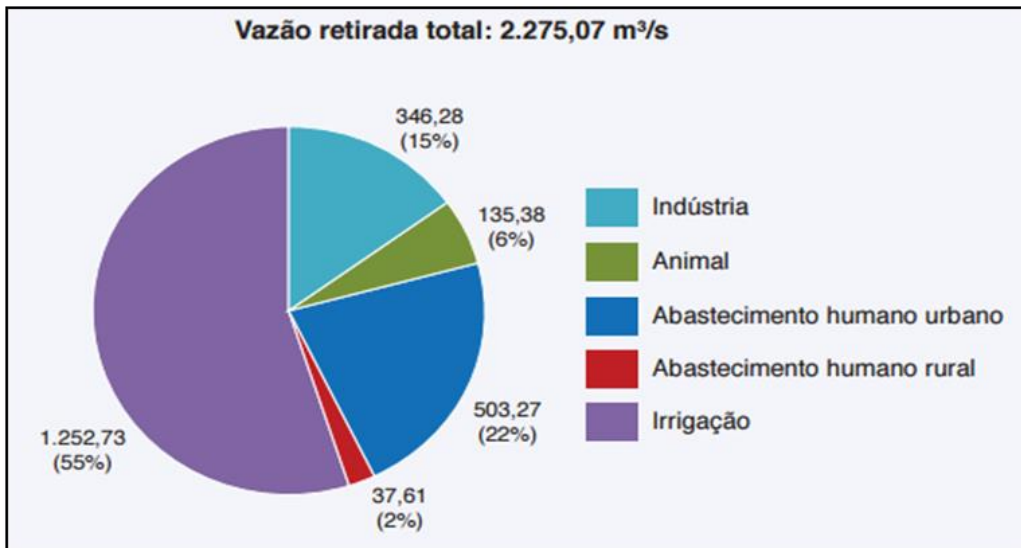


Figura 2.2.2: Demanda consuntiva total estimada no Brasil em 2013 (m³/s).

Fonte: ANA, 2015.

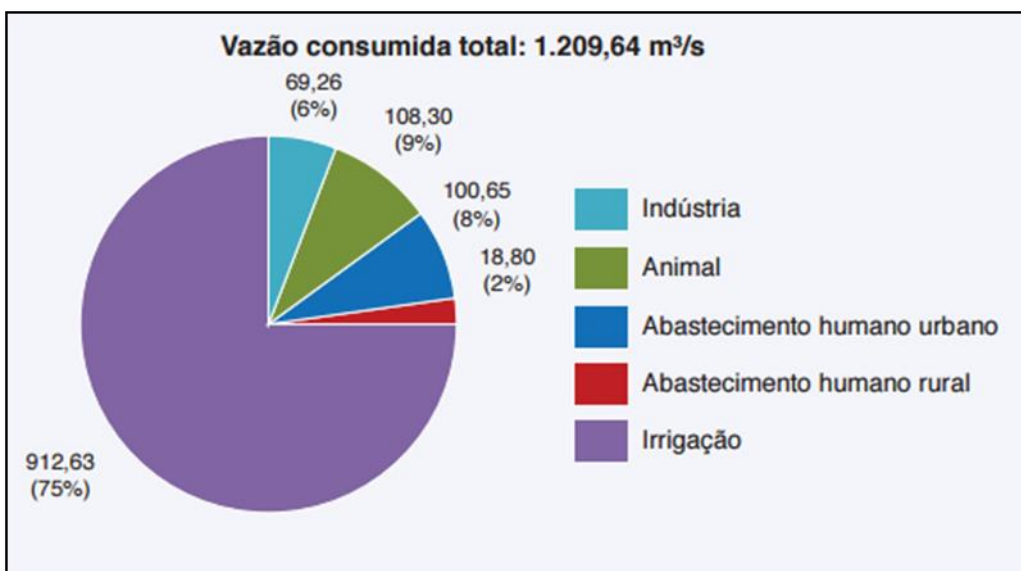


Figura 2.2.3: Demanda consuntiva total consumida no Brasil em 2013 (m³/s).

Fonte: ANA, 2015.

Conforme indicado na Figura 2.2.2, a demanda consuntiva total estimada para o Brasil, em 2013, foi de 2.275,07 m³/s, quando considerada a vazão retirada. O setor de irrigação foi responsável pela maior parcela de retirada, 55% do total, seguido das vazões de retirada para fins de abastecimento humano urbano, industrial, animal e abastecimento humano rural. A vazão efetivamente consumida foi de 1.209,64 m³/s, dos

quais 913,63 m³/s, ou 75% do total, conforme citado anteriormente, foram destinados à irrigação (ANA, 2015).

Conforme indicado pela Figura 2.2.4, em 1970, a irrigação no Brasil correspondia a apenas 2,3% da área total cultivada, chegando a 6,0% em 1995, e alcançando o patamar de 8,3% em 2012. Neste ano, eram 5,8 milhões de hectares de área irrigada, de um total de, aproximadamente, 70 milhões de hectares de área cultivada (ANA, 2013). Trata-se de um percentual ainda muito baixo, considerando que a média mundial de área irrigada por área cultivada é de 21% (FEBRAPDP, 2014). Segundo um estudo de EMBRAPA de 2010, as principais razões da pequena área irrigada no Brasil são: (a) a desagregação dos órgãos envolvidos; (b) a instabilidade da legislação ambiental e de recursos hídricos; (c) a dificuldade de obtenção de financiamentos; (d) a falta de difusão e de transferência de tecnologia ao agricultor; (e) a falta de assistência técnica específica; (f) o custo de energia elétrica; (g) a baixa organização dos produtores; (h) a desarticulação e desestruturação das cadeias produtivas, com dificuldade de inserção da produção nos mercados; e (i) a pouca ênfase em políticas públicas para a agricultura irrigada no Brasil.

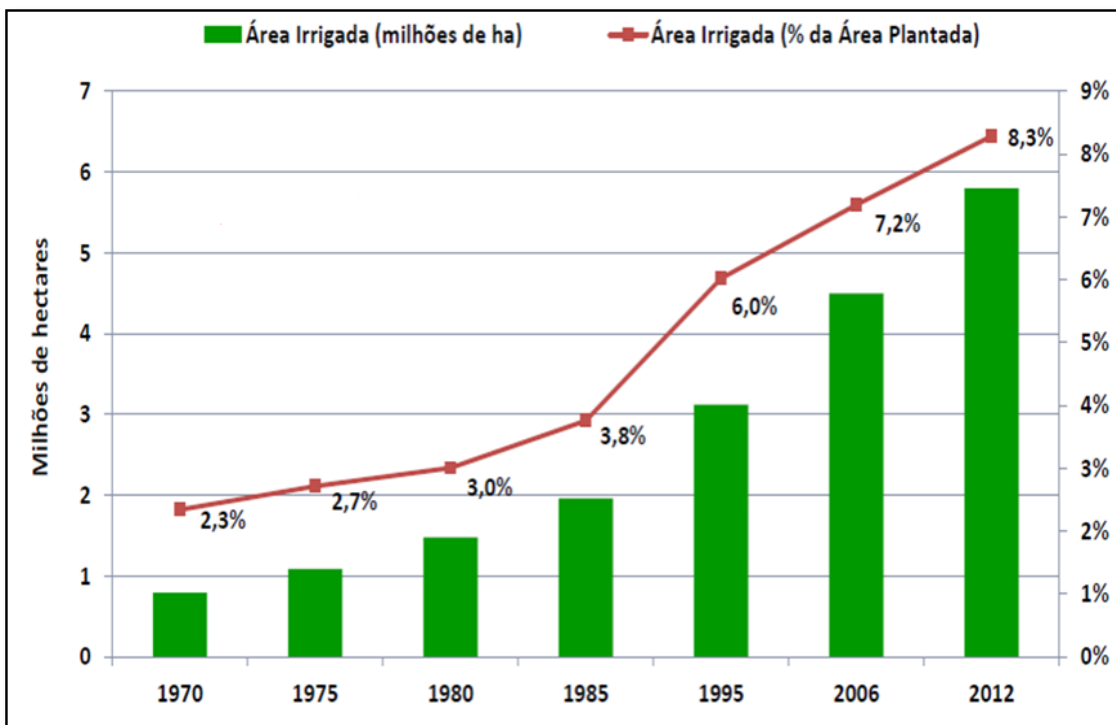


Figura 2.2.4: Evolução da área irrigada no Brasil (em milhões de hectares).

Fonte: ANA, 2013.

O crescimento significativo da irrigação no Brasil, verificado a partir da década de 1980, deriva, principalmente, dos importantes programas nacionais de incentivo criados durante este período: Programa Nacional para Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis – Provárzeas (1981), Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação – Profir (1982), Programa Nacional de Irrigação – Proni (1986) e Programa de Irrigação do Nordeste – Proine (1986). Juntos, estes programas forneceram marcos tanto para o investimento direto do setor público em obras coletivas de grande impacto regional, quanto, principalmente, para estimular a iniciativa privada, que atualmente responde por 96,6% das áreas irrigadas (ANA, 2013). As demais áreas irrigadas, correspondentes aos 3,4% restantes, estão concentradas nos 101 perímetros públicos de irrigação espalhados pelo país (ANA, 2013). A administração destes perímetros é feita tanto pelo Ministério da Integração -MI, com 23 projetos, quanto pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – Dnocs, com 37 projetos e pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – Codevasf, com 41 projetos. As regiões hidrográficas São Francisco e Atlântico Nordeste Oriental são as que mais contemplam projetos de irrigação, em especial na região do Semiárido (ANA, 2013).

Em regiões com déficit hídrico, como é o caso do Semiárido brasileiro, a irrigação assume papel primordial no desenvolvimento dos arranjos produtivos. Embora aumente o consumo de água, os investimentos no setor resultam em um aumento substancial da produtividade e do valor da produção, diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas para cultivo (CHRISTOFIDIS, 2013). Além disso, exigências legais e instrumentos de gestão, como a outorga de direito de uso água⁵, fomentam o aumento da eficiência e a consequente redução do desperdício.

⁵ A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos. A outorga é, assim, um instrumento de gestão do uso dos recursos hídricos capaz de produzir efeitos positivos em favor dos usuários da água, do poder público e para a sociedade civil organizada.

A área irrigada em 2014 foi estimada em 6,11 milhões de hectares, ou 21% do potencial nacional, que corresponde a 29,564 milhões de hectares⁶ (ANA, 2013). Atualmente, segundo CHRISTOFIDIS (2013), somos o 9º país em área irrigada. Se o país aproveitasse 100% do seu potencial de área irrigável, pularia para a sétima posição no ranking, ficando atrás apenas de Índia, China, Estados- Unidos, Rússia, Paquistão e Iran (CHRISTOFIDIS, 2013).

A Figura 2.2.5 apresenta o total de área irrigada e o potencial de área irrigável no país, dividido por região. Os dados correspondem a valores referentes ao ano de 2012, quando a área irrigada brasileira somava 5,798 milhões de hectares.

De acordo com o último Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, de 2006, as possibilidades da agricultura irrigada estão em todas as regiões brasileiras. Nota-se, pela Figura 2.2.5, que a região Norte é aquela com maior disponibilidade de área irrigável - 49,4% do potencial brasileiro - e menor taxa de utilização. Em contrapartida, a Região Nordeste é a que apresenta menor disponibilidade de área irrigável - apenas 4,4% do potencial brasileiro -, e maior taxa de utilização em relação ao seu potencial. Nesta região, a água é o principal fator limitante para o desenvolvimento, e o abastecimento contínuo da mesma só é possível graças ao uso de açudes e reservatórios, uma vez que os rios naturalmente secam durante os meses de estiagem. A região Sudeste é a que mais possui áreas irrigadas no país, somando 38% do total instalado. Em seguida, encontram-se a região Sul (22,3%), Nordeste (21,4%), Centro-Oeste (14,8%) e Norte (3,5%).

⁶ Este potencial de irrigação, calculado através de modelagem espacial, e tendo como base as bacias hidrográficas brasileiras, foi apresentado pelo estudo “Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada”, realizado pela ESALQ/USP* em parceria com o IICA e a Secretaria Nacional de Irrigação do Ministério da Integração Nacional, no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica “Agricultura Irrigada no Brasil Sob Cenários Sustentáveis”.

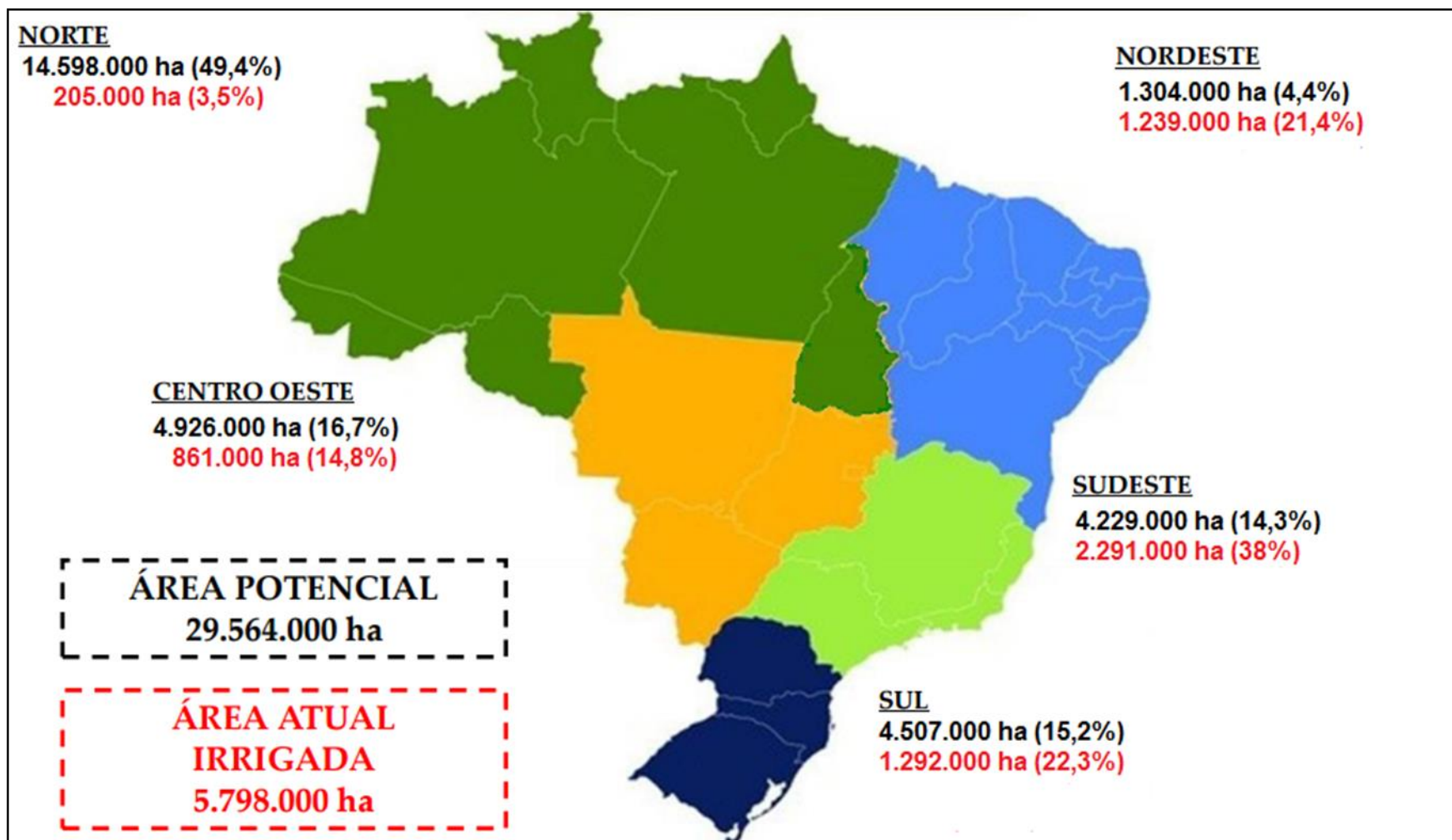


Figura 2.2.5: Área irrigada e área potencial para irrigação no Brasil.

Fontes: MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MI), 2013.

Considerando-se as diferenças socioeconômicas regionais, os recursos naturais e as condições edafoclimáticas, a distribuição das áreas irrigadas no Brasil ocorre de forma desigual. Conforme ilustrado pela Figura 2.2.6, em 2006, a agricultura irrigada concentrava-se nos estados do Rio Grande do Sul (997,1 mil ha), São Paulo (786 mil ha), Minas Gerais (525,2 mil ha), Bahia (299,5 mil ha) e Goiás (269,9 mil ha). Estes dados pertencem ao Censo Agropecuário 2006 do IBGE, na época em que o Brasil possuía apenas 4,45 milhões de hectares irrigados. No ano de 2016, era prevista a publicação de um novo Censo Agropecuário com a atualização destes dados. No entanto, até o presente momento, este não foi lançado, o que comprometeu, em parte, a análise.

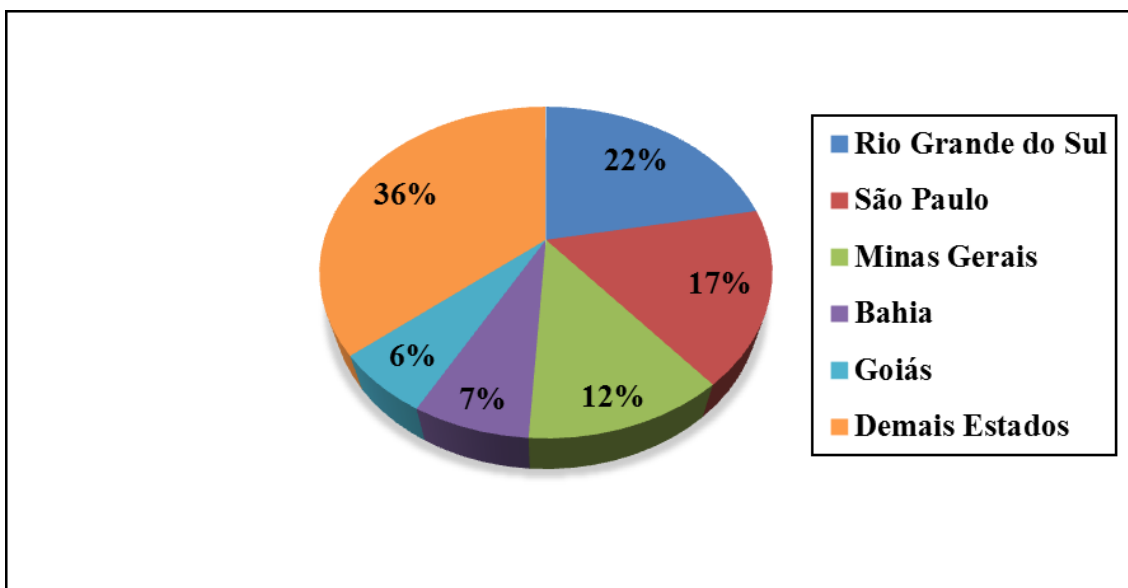


Figura 2.2.6: Estados Brasileiros que mais irrigam.

Fonte: IBGE, 2006.

De modo a tornar a análise de distribuição de áreas irrigadas no país mais precisa e atual, são apresentados, a seguir, dados da Conjuntura de Recursos Hídricos da ANA de 2013, referentes às regiões hidrográficas brasileiras.

Dentre as diferentes regiões hidrográficas do país, a do Paraná destaca-se com a maior área irrigada - cerca de 2,1 milhões de hectares em 2012. As regiões Atlântico Sul, São Francisco, Atlântico Nordeste Oriental e Uruguai também se destacam com valores superiores a 400 mil hectares irrigados cada e, somadas à região hidrográfica do Paraná, respondem por quase 77% da área irrigada do país (ANA, 2013). Considerando

a relação entre área irrigada e área total cultivada, as regiões hidrográficas Atlântico Sul e Atlântico Sudeste apresentam o mais elevado percentual de irrigação, com respectivos 19,4% e 24,0%, em 2012. As regiões São Francisco e Atlântico Nordeste Oriental também se destacam com irrigação em 12,8% e 14,0% da área total cultivada em 2012, enquanto que a região Amazônica é aquela que apresenta o menor percentual, com apenas 1,6% de suas áreas de cultivo efetivamente irrigadas. Embora possua a maior área irrigada, a região Paraná apresenta apenas 7,5% de sua área cultivada sob irrigação (ANA, 2013).

Com relação às principais culturas irrigadas no Brasil, pode-se dizer que, em 2006, a cana-de-açúcar era o cultivo com mais áreas irrigadas – cerca de 1,705 milhões de hectares -, seguida pelo arroz em casca, soja, milho em grão, feijão de cor, laranja, café Canephora, café Arábica, outros feijões, cebola, melancia, algodão e trigo (IBGE, 2006). A Figura 2.2.7 apresenta a distribuição da área colhida das culturas com maiores áreas irrigadas no Brasil.

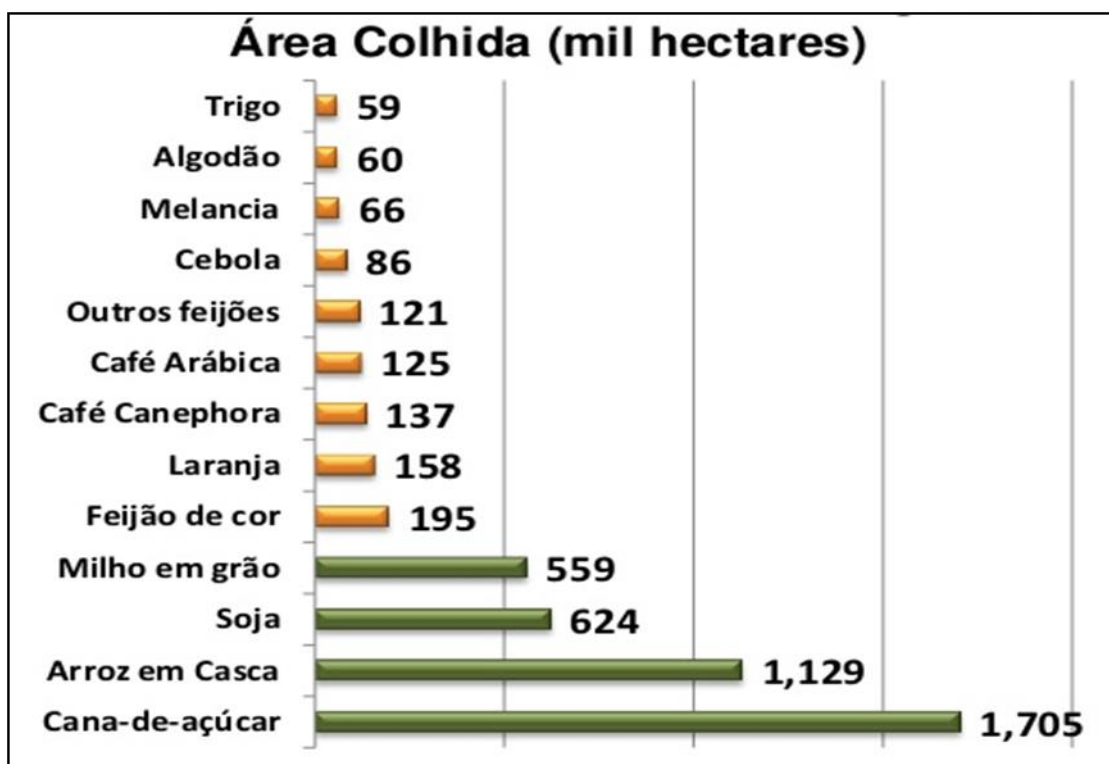


Figura 2.2.7: Área colhida das principais culturas irrigadas no Brasil (mil hectares).

Fonte: Censo Agropecuário IBGE, 2006.

Quanto à repartição dos métodos de irrigação no país, dados do Censo Agropecuário 2006 indicam que, em 2006, a os métodos por aspersão, exceto Pivô Central, representavam 35% de toda a área equipada com irrigação no Brasil, seguidos por Inundação (24%), Pivô Central (19%), Localizada (7%) – incluindo Gotejamento e Microaspersão -, outros métodos (8%) e Sulcos (6%). A Tabela 2.2.1 apresenta esta informação em números reais.

Tabela 2.2.1: Área irrigada por região brasileira e por método de irrigação.

	Área irrigada (ha)	Inundação	Sulco	Pivô Central	Aspersão	Localizada	Outros Métodos
Norte	107.789	34.309	3.906	8.777	30.277	5.017	25.500
Nordeste	985.347	69.619	109.713	201.281	407.769	102.969	93.994
Centro- Oeste	549.465	29.237	32.181	173.053	289.897	9.411	15.685
Sudeste	1.586.744	27.744	28.319	395.586	736.589	192.814	205.690
Sul	1.224.578	923.825	82.547	61.348	108.426	17.653	30.775
Brasil	4.453.925	1.084.736	256.668	840.048	1.572.960	327.866	371.647
Total	100%	24,35%	5,76%	18,86%	35,32%	7,36%	8,34%

Fonte: Censo Agropecuário IBGE, 2006.

Notam-se que os métodos de irrigação são aplicados de forma desigual no Brasil. Isto ocorre pelo fato dos sistemas de irrigação dependerem, dentre outros fatores, do nível tecnológico compatível e acessível economicamente do produtor (ANA, 2015). Há que se considerar, ainda, a dimensão do território brasileiro, com suas adversidades mais distintas como solo, clima e recursos hídricos, levando ao desenvolvimento da agricultura irrigada segundo as capacidades regionais. É o caso, por exemplo, da cultura arrozeira irrigada na região Sul, de grãos e cereais nas regiões Sudeste e Centro-Oeste e, ultimamente, do crescimento da fruticultura irrigada na região Nordeste (ANA, 2015).

Conforme mencionado anteriormente, houve um aumento expressivo da agricultura irrigada no Brasil nas últimas décadas, devido à implantação de programas nacionais e ao desenvolvimento de tecnologias mais modernas de irrigação. De fato, os métodos que mais cresceram nos últimos anos foram a irrigação Localizada e por Pivô Central, conforme apresentado pela Figura 2.2.8.

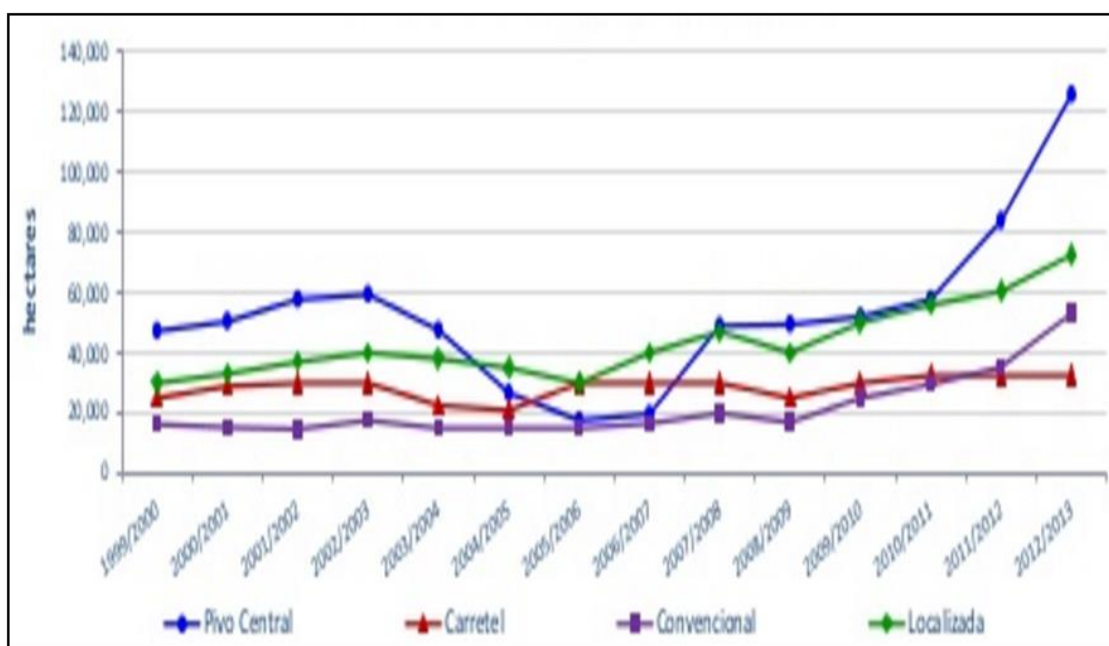


Figura 2.2.8: Incremento anual de área irrigada por tipo de equipamento.

Fonte: ANA, 2013.

Ao analisar a Tabela 2.2.1 e a Figura 2.2.8, nota-se que, de 2006 a 2013, a irrigação Localizada – incluindo Gotejamento e Microaspersão, dobrou de área, passando de 328 mil hectares para, aproximadamente, 700 mil hectares irrigados. Nesse mesmo período, a irrigação por Pivô Central aumentou em 32%, passando de 840 mil hectares, em 2006, para 1.278 milhões de hectares irrigados, em 2013.

Levando em consideração a importância do setor agrícola para a economia, o governo federal brasileiro anunciou planos e programas incentivando o desenvolvimento da agricultura irrigada no país. Estas diretrizes se inserem na nova Política Nacional de Irrigação, disposta na Lei 12.787/13, que tem como objetivo: (a) incentivar a ampliação da área irrigada no país; (b) aumentar a produtividade das culturas; (c) promover o aumento da competitividade do agronegócio brasileiro; (d) incentivar a formação e a capacitação de recursos humanos para o setor; (e) fortalecer o crédito rural para viabilizar a aquisição de equipamentos de irrigação, contribuindo para o uso eficiente dos recursos hídricos; e (f) promover a articulação dos Ministérios da Integração Nacional (MI) e do Desenvolvimento Agrário (MDA) para assistência técnica rural a agricultores irrigantes (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2014). Dentre os instrumentos instituídos pela Lei 12.787/13 estão o Conselho Nacional de Irrigação, para atuar na discussão e fortalecimento da Política Nacional, o Sistema

Nacional de Informações sobre Irrigação, para subsidiar as decisões referentes à gestão de políticas e projetos do setor, e os Planos de Irrigação, para orientar o planejamento da Política Nacional (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2014).

Dentre os planos de irrigação, destaca-se o Plano para expansão, aprimoramento e desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, anunciado em abril de 2016 pela antiga ministra da agricultura, pecuária e abastecimento. O projeto, oriundo de um acordo entre ANA, MMA, MI, MAPA e setores afins da agricultura irrigada, visa aumentar a área irrigada do país de 6,2 milhões para 11,2 milhões hectares irrigados em 10 anos, gerando estimados 7,5 milhões de empregos e diminuindo a pressão sobre a abertura de novas áreas de produção (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016). A expansão de 5 milhões de hectares, ou 80% do total da área irrigada atual, constitui meta audaciosa, visto que, de 2000 a 2013, este crescimento não passou de 6% ao ano, conforme indica a Figura 2.2.9.



Figura 2.2.9: Incremento anual da área irrigada no Brasil entre 2000 e 2013.

Fonte: ANA, 2013.

Além dos planos inseridos na Política Nacional de Irrigação, um outro grande acordo entre MAPA e FAO foi anunciado recentemente, visando a elaboração de um atlas para o desenvolvimento sustentável da irrigação. Segundo CRISTHOFIDIS (2015), o estudo pretende fazer uma radiografia da irrigação no país para, em seguida, apontar em que regiões determinadas técnicas de irrigação podem ser ampliadas,

indicando áreas prioritárias, onde a tecnologia pode ser mais ou menos intensificada e desenvolvida com maiores retornos econômicos, sociais e ambientais. Este levantamento já foi realizado em 2013 pela ANA, em parceria com a EMBRAPA, mas só mapeou as áreas equipadas com a tecnologia de Pivô Central. A ideia é aprimorar e expandir este mapeamento para todas as técnicas de irrigação utilizadas no país.

3 Conceitos e Metodologias associados a projetos de irrigação

3.1 Geral

Irigar significa aplicar artificialmente a água ao solo, em quantidades apropriadas, com o objetivo de propiciar a umidade necessária ao desenvolvimento das plantas neste solo cultivadas, de modo a suprir a ausência ou a má distribuição das águas pluviais naquele determinado local. Em outras palavras, o que se pretende com a irrigação é satisfazer as necessidades hídricas das culturas, aplicando a água uniformemente e de forma eficiente, sem modificar as condições físicas e químicas do solo, e com mínima interferência sobre os demais fatores indispensáveis à produção cultural (MELLO E SILVA, 2009).

Os elementos primordiais para o fornecimento da água necessária à máxima produtividade são basicamente água, energia, mão-de-obra e as armações de transporte do recurso hídrico. Tais componentes devem estar inter-relacionados, de tal forma que o mau funcionamento de um comprometa o andamento do conjunto, prejudicando o sistema como um todo (MELLO E SILVA, 2009).

Dentre os numerosos benefícios da prática de irrigação na agricultura, destacam-se a maior eficiência no uso da água e de fertilizantes, o aumento da produtividade pela ampliação do tempo de exploração e do número de colheitas, a melhoria da qualidade do produto agrícola, a preservação do solo, o controle eficaz de patógenos, pragas e ervas daninhas e a maior previsibilidade de produção, já que o sistema não depende exclusivamente das chuvas para desenvolver-se (SALASSIER; SOARES; MANTOVANI, 2008).

3.2 Contexto histórico

Na literatura, observa-se que a prática da irrigação foi uma das primeiras transformações realizadas pelo homem primitivo no ambiente. Os primeiros experimentos ligados à irrigação foram bastante rudimentares, mas abriram frente para que o homem dominasse uma técnica hoje imprescindível para a sua sobrevivência: o manejo da água. Graças à irrigação, tribos nômades puderam instalar-se em

determinadas regiões, estabelecendo zonas de plantio em terras férteis e, dessa forma, assegurando produtividade suficiente para a sua subsistência (HEMERY; DEBRIER; DELEAGE, 1993).

Nesse sentido, pode-se dizer que a história da humanidade se confunde com a história da agricultura irrigada. Dados históricos indicam o surgimento das primeiras grandes civilizações na margem de grandes rios, como o rio Nilo, no Egito, por volta de 6000 a.C., rio Tigre e Eufrates, na Mesopotâmia, por volta de 4000 a.C., e rio Amarelo, na China, por volta de 3000 a.C. (HEMERY; DEBRIER; DELEAGE, 1993).

Todos os anos, as águas do Nilo ganhavam volume durante as chuvas de setembro e outubro, cobrindo as margens do rio e se alastrando pelo território egípcio. Ao baixarem, deixavam uma camada de húmus extremamente fértil, aonde seus camponeses aproveitavam para plantar trigo e colocar seus animais para pastar. Entretanto, havia inconvenientes: quando as cheias eram muito altas, havia devastação, e quando as mesmas eram muito fracas, havia menos terras férteis e, logo, escassez de alimentos. Foi sob a liderança do faraó Ramsés III que os egípcios se aprimoram no manejo da água e passaram a controlar essas cheias. Para tal, ergueram diques de modo a prensar o rio em um vale estreito, elevando o nível da água e represando-a em grandes reservatórios, de onde desciam para os campos através de canais, e nutriam a terra com a quantidade adequada para o cultivo (MELLO E SILVA, 2009). A Figura 3.2.1 ilustra esse sistema de canais egípcios erguidos para a irrigação.



Figura 3.2.1: Canal egípcio possibilitando a passagem de água para áreas mais secas.

Fonte: ICID, 2016.

Já no caso chinês, sua enorme população sempre se empenhou arduamente no cultivo de arroz. Com muito engenho, seus camponeses elevavam a água manualmente até os terraços construídos nos declives de suas montanhas para, de lá, distribuí-la minuciosamente, quadra por quadra, de modo a aproveitar totalmente o recurso e o espaço disponíveis.

Seja pelos esforços no cultivo de trigo por parte dos egípcios ou do arroz por parte dos chineses, o homem começava a dominar a ciência da irrigação e se dava conta de sua importância para o progresso. Com o avanço das práticas e difusão das mesmas, a irrigação foi se espalhando pelos quatro cantos do mundo.

Na Índia, há indícios do uso de irrigação em 2500 a.C., nos vales dos rios *Indo* e *Ganges*. Nas Américas, arqueólogos encontraram três canais de irrigação construídos pela civilização Inca, todos localizados no vale *Zaña*, no Peru, e datados de 4000 a.C., 3000 a.C. e do século IX. Na Europa, foram os espanhóis, gregos e italianos os primeiros a praticar a irrigação. No Irã, os *Qanats*, sistemas de aquedutos subterrâneos conduzindo água das montanhas para as planícies, foram desenvolvidos pelos persas há cerca de 3000 anos e são utilizados até então. Tanques de irrigação em Sri Lanka, bem como barragens de terra erguidas para irrigar arroz no Japão, datam pouco mais de 2000 anos e também se encontram em pleno uso (MELLO E SILVA, 2009).

Já no Brasil, credita-se aos padres jesuítas da antiga fazenda de Santa Cruz, no estado do Rio de Janeiro, em torno de 1589, a vanguarda de sistemas irrigatórios para fins agrícolas. (MELLO E SILVA, 2009).

Nos EUA, há indícios da prática de irrigação pelos índios nativos da região sudoeste há 100 a.C.. No entanto, foi com a chegada dos exploradores espanhóis que as tecnologias de irrigação foram desenvolvidas mais a fundo, com a introdução de novas técnicas de irrigação e dando origem a novas culturas, tais como as frutíferas, as oliveiras, o trigo, a cevada e muitas outras. Graças aos gigantes e numerosos investimentos nessa área de estudo, os EUA detêm hoje a posição de maior produtor de alimentos do mundo (MELLO E SILVA, 2009).

O Estado Judeu Democrático constitui um caso à parte. Sem as avançadas tecnologias de irrigação, o cultivo de alimentos em Israel seria inviável. Para desenvolvê-lo, os habitantes deste pequeno país de clima desértico, solo pedregoso e um único rio perene, construíram um imenso aqueduto ligando o lago Tiberíades ao deserto de Neguev. Maximizando o aproveitamento hídrico do pequeno rio Jordão, extraindo

água dos mananciais subterrâneos e empregando modernos processos de irrigação e de racionamento de água, Israel consegue não só abastecer-se como também exportar alimentos para países vizinhos. De fato, o pequeno país se tornou referência nas áreas de pesquisa e desenvolvimento no que diz respeito ao uso eficiente da água e, por tal razão, assume hoje um papel importante na luta mundial contra a escassez deste nobre recurso (MELLO E SILVA, 2009).

Os exemplos acima aclaram a relação direta existente entre o progresso das antigas civilizações e o sucesso das práticas de irrigação. Graças ao desenvolvimento desta ciência, foi possível estabelecer uma fonte mais estável de alimentos e de fibras capazes de suportar populações mais densas. Por outro lado, há de se considerar que o mal-uso das mesmas, seja por razões físicas, como a inabilidade em lidar com inundações e salinidade, seja por razões sociais, como a falta de cooperação entre os povos na gestão de sistemas de irrigação, pode ter ocasionado o fracasso e o desaparecimento de civilizações.

O tempo passou e a irrigação, de prática rudimentar, consagrou-se como verdadeira ciência moderna e campo de desenvolvimento tecnológico em todo o planeta. Face ao atual contexto de crescimento populacional e de restrições relativas à expansão de terras agricultáveis, a irrigação ganha relevância e hoje é tida como solução para futuros problemas de escassez de recursos (IVIG – COPPE/UFRJ, 2011). Para se ter uma ideia, estima-se que hoje cerca de metade da população mundial já se alimenta de produtos agrícolas oriundos da irrigação. E este percentual só tende a aumentar (FAO, 2016).

3.3 Composição de um sistema de irrigação

Os sistemas de irrigação podem ser definidos como um conjunto de técnicas agrícolas, que tem por objetivo distribuir água ao cultivo de forma eficiente e adequada ao desenvolvimento da espécie vegetal (SALASSIER; SOARES; MANTOVANI, 2008).

Essencialmente, projetos de irrigação são compostos por dois sistemas principais: o sistema de irrigação e o de drenagem, quando demandado.

Um sistema de irrigação é composto basicamente por três subsistemas: - o de captação; o de condução; e o de aplicação dos recursos hídricos (TESTEZLAF, 2011).

O subsistema de captação pode ser realizado por bombeamento ou por gravidade. A primeira opção é a mais empregada, uma vez que, na grande maioria dos casos a fonte de água encontra-se em um nível inferior à área a ser irrigada. A captação por bombeamento pode ser realizada por diversas fontes de energia: - Por meio do emprego de um motor elétrico; com o auxílio de animais de tração; com a força do vento; do sol; ou até com a força humana. Como as fontes aquíferas são distintas (reservatórios, nascentes, poços, etc.), são poucos os casos aonde a captação é feita por gravidade. Quando a água é proveniente de um rio, por exemplo, tal modalidade pode ser executada por meio de um canal, ligando-se os dois pontos e distribuindo a água na área desejada. Esta tomada, mais conhecida como “a fio d’água”, é pouco usual em rios, uma vez que a época com maior necessidade de irrigação coincide com períodos de seca, aonde o nível do rio é mais baixo. A captação por gravidade é recorrente em ambientes com um controle maior do fluxo de água, como é o caso dos reservatórios (TESTEZLAF, 2011).

Subsistema de condução é o conjunto de estruturas hidráulicas, incumbido do transporte e da distribuição do recurso hídrico em todo o espaço a ser irrigado. Cada método de irrigação possui um subsistema de condução próprio à sua estrutura e, por essa razão, este subsistema será explorado mais detalhadamente, à medida que os diferentes métodos de irrigação forem apresentados nessa dissertação (MELLO E SILVA, 2009).

Assim como a condução, subsistemas de aplicação da água também variam de acordo com o método de irrigação empregado, já que cada método possui sua própria especificidade de aplicação. Como exemplo, no método por sulcos de infiltração, são empregados sifões que aplicam a água de um canal de distribuição para os sulcos, enquanto que no método de aspersão, a aplicação da água é feita por meio de aspersores. Os subsistemas de aplicação também serão apresentados com maiores detalhes conforme os métodos de irrigação forem apresentados no seguimento deste trabalho (MELLO E SILVA, 2009).

Além dos subsistemas de captação, condução e aplicação, dependendo do método de irrigação em questão, é comum encontrar juntamente subsistemas de automação e de tratamento da água, responsáveis pelo controle de vazão e pelo condicionamento da água a ser utilizada na irrigação, respectivamente (TESTEZLAF, 2011).

Sistemas de drenagem são utilizados principalmente em métodos de irrigação por superfície, já que são responsáveis pela eliminação dos excessos de água, causados pela irrigação e pelas chuvas. As outras tecnologias de irrigação, como os métodos por aspersão ou de irrigação localizada, dispensam o uso de sistemas de drenagem, devido a sua eficiente aplicação da água no solo (MELLO E SILVA, 2009).

3.4 Métodos de irrigação

A escolha do método de irrigação constitui fator determinante para o sucesso de qualquer empreendimento agrícola. Outros fatores, tais como a realização criteriosa do projeto, o uso de aparato adequado, os cuidados no decorrer da implantação do sistema, assim como a boa manutenção do mesmo também contribuem para o bom resultado (SCALOPPI, 1986).

De acordo com TESTEZLAF (2011), os métodos de irrigação são diferenciados pela maneira ou local no solo onde a água é disponibilizada à planta. Partindo desta definição, é possível classificar os diferentes sistemas de irrigação em quatro grupos: (a) Irrigação por superfície, aonde a distribuição da água se dá por gravidade através da superfície do solo; (b) Irrigação por aspersão, na qual jatos pressurizados de água são lançados ao ar por aspersores, caindo sobre a cultura na forma de chuva; (c) Irrigação localizada, na qual a aplicação da água é feita superficialmente, através de emissores operando sob pressão e identificando o volume de água necessário nas áreas de interesse; e (d) Irrigação subterrânea ou subsuperficial, onde a água é aplicada abaixo da superfície do solo, dentro do volume explorado pelas raízes das plantas (TESTEZLAF, 2011). A Figura 3.4.1 ilustra os quatro grupos de sistemas de irrigação comentados.

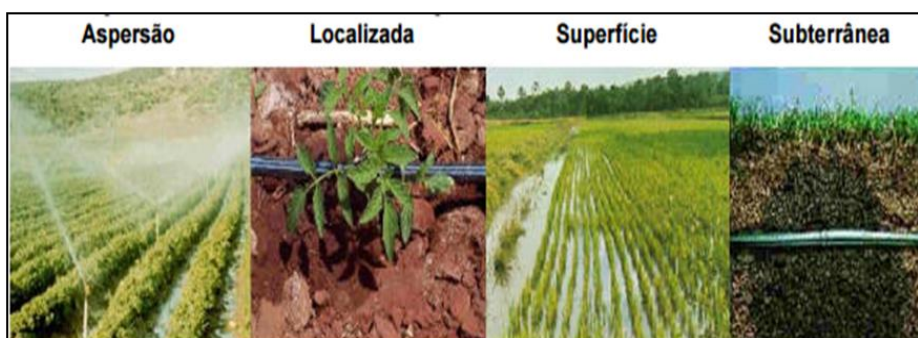


Figura 3.4.1: Ilustrações dos quatro métodos de irrigação.

Fonte: TESTEZLAF, 2011.

Conforme apresentado pela Figura 3.4.2, para cada um dos quatro métodos citados, existem dois ou mais sistemas de irrigação que podem ser empregados. Esta classificação varia de autor para autor, principalmente no que tange o gotejamento subsuperficial. Alguns autores como ANDRADE (2001) e FRIZZONE (2011), englobam o gotejamento subsuperficial e o gotejamento superficial em um único grupo - o gotejamento -, pertencente à irrigação Localizada, enquanto que outros, como TESTEZLAF (2011), consideram o gotejamento subsuperficial como um método de irrigação Subterrânea, já que a água é aplicada abaixo da superfície do solo. O presente trabalho baseou-se nessa segunda definição para elaborar a sua análise.



Figura 3.4.2: Métodos de irrigação e seus principais sistemas.

Fonte: TESTEZLAF, 2011.

A razão de existirem tantos métodos vem da grande variação existente de solos, topografias, áreas, climas, culturas, disponibilidade de energia e realidades socioeconômicas para as quais o sistema de irrigação deve ser adaptado. Como a irrigação ocorre em diferentes meios e condições, não é possível apontar um método ideal capaz de suprir todos os interesses físicos, biológicos e econômicos do ambiente e dos indivíduos envolvidos. O processo de seleção deve basear-se em uma análise

criteriosa das condições, em função das premissas de cada método de irrigação (FRIZZONE, 2010).

As próximas secções deste capítulo serão dedicadas à apresentação dos principais métodos de irrigação utilizados atualmente, assim como os critérios básicos de seleção dos mesmos na elaboração de projetos de irrigação. Em seguida, uma análise comparativa das diferentes metodologias será proposta, de modo a elucidar as vantagens e desvantagens referentes a cada uma delas.

3.4.1 Irrigação por Superfície

Sistemas por superfície são também conhecidos como irrigação por gravidade, uma vez que a água é aplicada diretamente sobre a superfície do terreno e sua movimentação e infiltração no solo ocorre por efeito da gravidade. Tal condição só é possível graças a processos de sistematização do terreno ou pela simples uniformização da superfície (SALASSIER; SOARES; MANTOVANI, 2008).

A irrigação por superfície possui diferentes configurações, cujos critérios de classificação variam substancialmente, sendo englobados nos seguintes sistemas: (a) Irrigação por inundação; (b) Irrigação por sulcos; e (c) Irrigação por faixas.

(a) Irrigação por inundação – Trata-se do método de irrigação mais antigo da humanidade. Civilizações antigas, como as do Egito e da Mesopotâmia, já praticavam a irrigação por superfície milênios antes de Cristo, desviando a água de rios para áreas adjacentes inundáveis, usando barragens ou canais de distribuição. Basicamente, este tipo de irrigação consiste na inundação total do terreno por contenção da água na superfície do solo. A aplicação do recurso hídrico é realizada por meio de áreas planas e de tamanho e formas variadas (bacias e tabuleiros retangulares ou em contorno), margeadas por pequenos diques ou taipas⁷ que impedem sua evacuação. Requer sistematização mais rigorosa do terreno, elaboração de redes de canais para a distribuição de água e um eficiente sistema de drenagem para combater o efeito de salinização do solo (PEREIRA, *et al.*, 2010). A inundação pode ser permanente ou temporária, sendo a técnica mais utilizada no mundo para a irrigação de arroz. Com

⁷ Taipas: processo de construção de paredes que utiliza barro amassado para preencher os espaços criados por uma espécie de gradeamento feita por paus, bambus, caules de arbustos, entre outros.

manejo regular da lâmina d'água, é adaptável a diferentes culturas, como por exemplo, milho, pomares, ameixa, cebola, pastagens, entre outras. Este método não é recomendável em culturas sensíveis à saturação do solo na zona radicular, ou em solos que, uma vez saturados, formam crostas duras na superfície do terreno. A Figura 3.4.3 ilustra a técnica de irrigação por inundação no cultivo de arroz em campos no sul da China.



Figura 3.4.3: Campos de arroz inundados no sul da China.

Fonte: Andrade R. S., 2010.

(b) Irrigação por Sulcos – Consiste na inundação parcial e temporária do terreno, aonde a condução da água é feita através de pequenos canais ou sulcos, paralelos às fileiras de plantio, durante o tempo necessário para umedecer a superfície do solo ocupada pelas raízes (TESTEZLAF, 2011). Os sulcos podem ser configurados de diferentes formas, variando de acordo com as condições do terreno, tipo de cultura e preferências do produtor. Os mais utilizados são os retilíneos com gradiente, retilíneos em nível, em contorno, em dentes, em ziguezague, entre outros. A Figura 3.4.4 ilustra dois campos irrigados por sulcos com configurações diferentes.

O sistema por sulcos é adaptável à maioria dos cultivos, principalmente àqueles em fileiras, como feijão, algodão, trigo, milho, batata, entre outros. Por não demandar tubulações e pressurização, a irrigação por sulcos apresenta menor custo de implantação e operação do que sistemas pressurizados. Entretanto, demanda mais mão-de-obra por unidade de área e maior experiência por parte dos irrigantes na distribuição de água do canal secundário para os sulcos, e no controle da vazão durante a irrigação. Em relação aos demais sistemas por superfície, é vantajoso por ser mais tolerante a condições

topográficas adversas, por ser mais facilmente manejado (sulcos retilíneos) e por possibilitar redução substancial na vazão aplicada por unidade de largura, minimizando assim as perdas de água por evaporação (FRIZZONE, 2010). Contudo, demanda terrenos bem sistematizados e, em condições de solo ou água salinos, requer cuidados especiais, podendo resultar em sérios problemas para o cultivo quando manejado incorretamente (SALASSIER; SOARES; MANTOVANI, 2008).



Figura 3.4.4: Irrigação por sulcos retilíneos (à esquerda) e em ziguezague (à direita).

Fonte: ANA, 2004.

(c) Irrigação por Faixas – Consiste na inundação total da área, com a aplicação da água no solo ocorrendo em faixas de terreno, compreendidas entre diques paralelos. A capacidade de infiltração do solo é determinante no tamanho das faixas que, por sua vez, podem ser erguidas em nível, assemelhando-se aos tabuleiros de inundação, ou com gradiente longitudinal, com pequenos declives na direção de escoamento. Em ambos os casos, a inclinação transversal deve ser nula para possibilitar uma melhor uniformidade da distribuição de água. A Figura 3.4.5 exhibe a esquematização convencional de um sistema de irrigação por faixas.

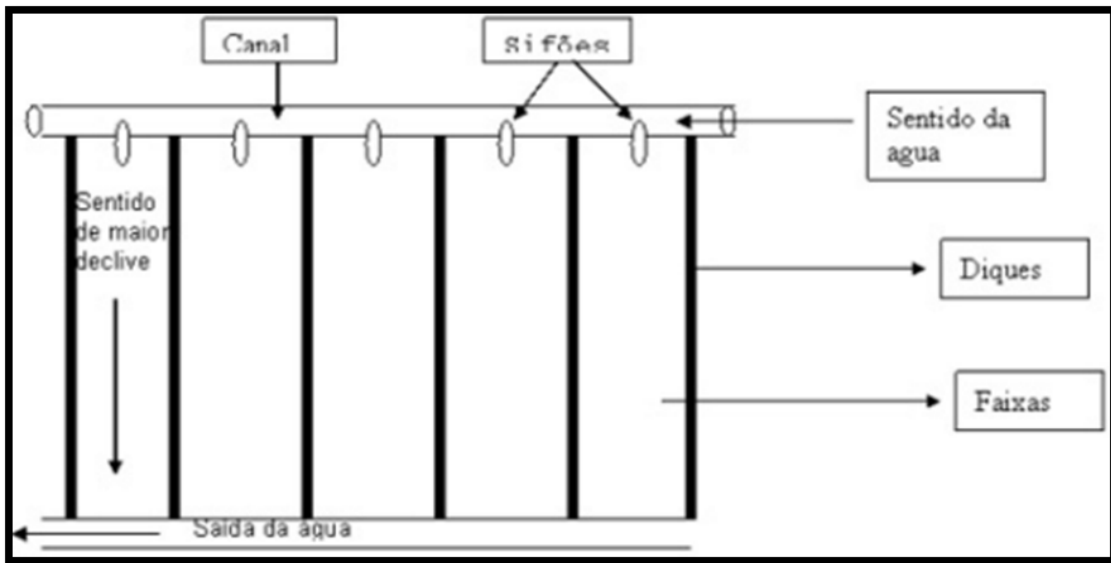


Figura 3.4.5: Esquema de um sistema de irrigação por faixas.

Fonte: SALEMA *et al.*, 2010.

A irrigação por faixas, ilustrada na Figura 3.4.6, adapta-se melhor a culturas cobrindo totalmente a superfície do solo, tais como capineiros, alfafa, pastagens, entre outros (SALASSIER; SOARES; MANTOVANI, 2008). Exige boa sistematização do terreno e grandes vazões, adequando-se melhor a solos de textura média.



Figura 3.4.6: Irrigação por faixas.

Fonte: SALEMA *et al.*, 2010.

3.4.2 Irrigação por Aspersão

A irrigação por aspersão, apesar de ter sido criada no início do século XX, só se desenvolveu realmente após a segunda guerra mundial, graças à produção de tubos de

alumínio leves e acessórios de rápida acoplagem, facilitando assim o transporte manual, a operação e o manejo dos materiais (FRIZZONE, 2010).

Na irrigação por aspersão, a água é distribuída uniformemente na forma de gotas sobre toda a cultura e superfície do solo, reproduzindo o efeito da chuva. As gotas são formadas pela passagem de água sob pressão através de orifícios existentes em dispositivos mecânicos chamados de aspersores ou *sprays*.

Muito utilizados em culturas anuais⁸, como milho, feijão, cenoura e batata, este sistema é geralmente classificado em dois grandes grupos: (I) Sistemas convencionais; e (II) Sistemas mecanizados (SALASSIER; SOARES; MANTOVANI, 2008). Cada um pode ser subdividido em diferentes tipos, cujos principais estão ilustrados na Figura 3.4.7.

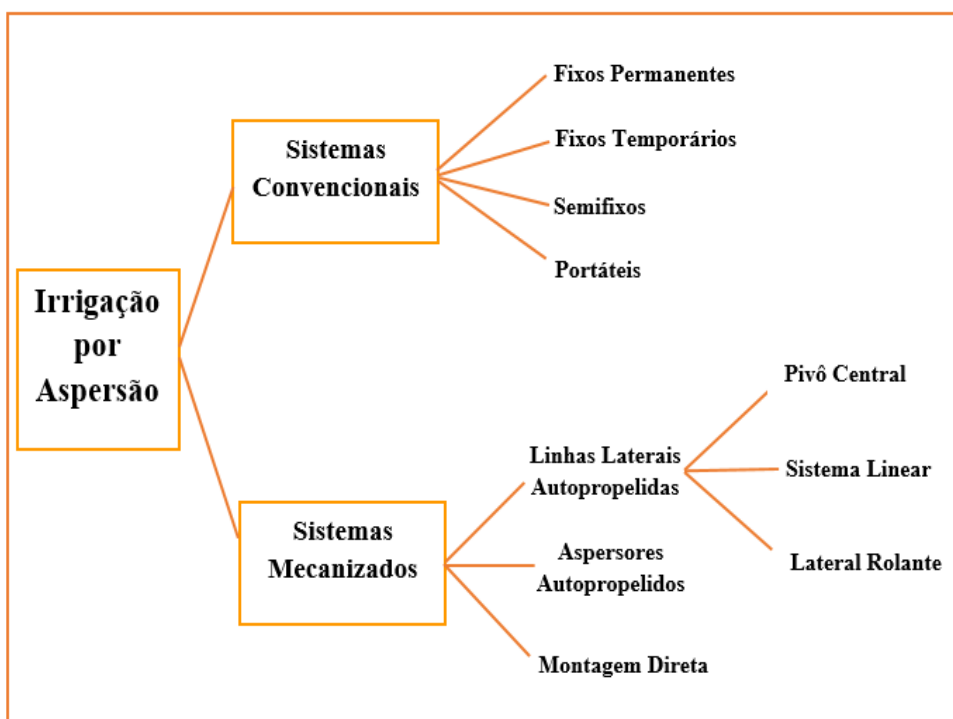


Figura 3.4.7: Principais sistemas de irrigação por aspersão.

Fonte: Elaboração própria, baseado em IVIG – COPPE/UFRJ, 2011.

⁸ Culturas anuais: São aquelas que têm uma única produção por ciclo. Após a sua produção, ela “morre” e é preciso cultivar outra planta para se ter uma nova produção. O cultivo de cereais como trigo, arroz e milho (entre outros) constituem culturas anuais. Além disso, existe outra categoria de cultura denominada de “semi perene”, na qual uma mesma planta pode produzir por alguns anos. Um bom exemplo de cultura semi perene é a cana-de-açúcar.

I. Sistemas convencionais

A aspersão convencional constitui no sistema básico de irrigação por aspersão, do qual derivaram todos os demais. É composto por equipamentos tradicionais de aspersão, como motobombas, tubulações, aspersores e outros acessórios (MELLO E SILVA, 2009). As motobombas, movidas normalmente por motores elétricos ou a diesel, têm a função de captar a água na fonte e suprir o sistema. As tubulações, usualmente de alumínio, aço zincado, aço galvanizado ou PVC rígido, conduzem a vazão necessária desde a motobomba até os aspersores que, por sua vez, distribuem a água sob o terreno na forma de chuva. Aspersores podem conter diferentes especificações, tais como tamanho, ângulo de inclinação e pressão, que variam de acordo com o tipo de cultura e preferências do agricultor.

A aspersão convencional apresenta baixo consumo de energia e maior demanda de força de trabalho. Caracteriza-se pelo uso de tubulações móveis (linhas) de encaixe rápido ou fixo e enterrado, com diversos aspersores atuando simultaneamente numa mesma linha lateral, de modo a irrigar toda a área desejada.

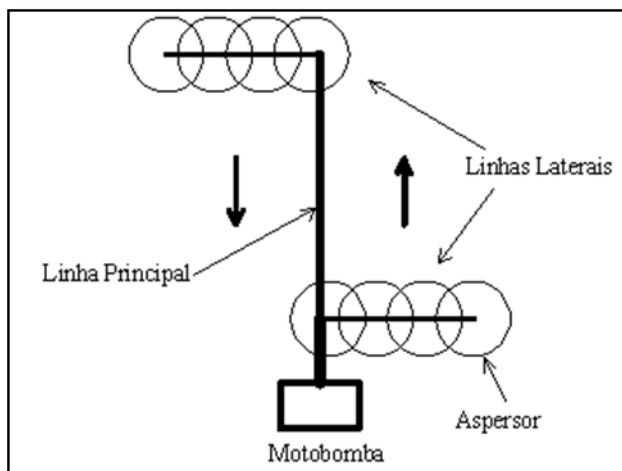


Figura 3.4.8: Esquema de um sistema de irrigação convencional.

Fonte: MENDONÇA *et al.*, 2007.

Conforme apresentado na Figura 3.4.8, sistemas convencionais são constituídos por uma linha principal e linhas laterais, e a mobilidade destas linhas é o que define os diferentes tipos de sistemas convencionais, podendo subdividir-se em (a) Fixos permanentes; (b) Fixos temporários; (c) Semifixos (ou semi-portáteis); e (d) Portáteis

(FRIZZONE, 2010). A Figura 3.4.9 ilustra os quatro tipos de aspersão convencional citados.



Figura 3.4.9: Sistemas de irrigação por aspersão convencional.

Fonte: Elaboração própria, com base em TESTEZLAF (2011) e ANA (2004).

(a) Fixos permanentes – Todas as tubulações do sistema são enterradas ao longo da área irrigada e só as hastes dos aspersores e dos registros permanecem aparentes na superfície do terreno. Por apresentarem elevado custo de aquisição, são normalmente aplicados em pequenas áreas, em culturas de alto valor econômico, e aonde a mão-de-obra é cara e/ou escassa. Além disso, são também empregados na irrigação de jardins e gramados, utilizando aspersores escamoteáveis, isto é, que podem ser embutidos.

Dentre os sistemas fixos, o que mais tem se destacado no Brasil é o sistema em malha, devido a sua praticidade operacional. Nele, as tubulações são enterradas e cada linha lateral (malha) possui um único aspersor que se movimenta sobre ela, de diâmetro reduzido, exigindo assim um conjunto motobomba de baixa potência. A Figura 3.4.10 apresenta um esquema simplificado de um sistema por aspersão convencional em malha.

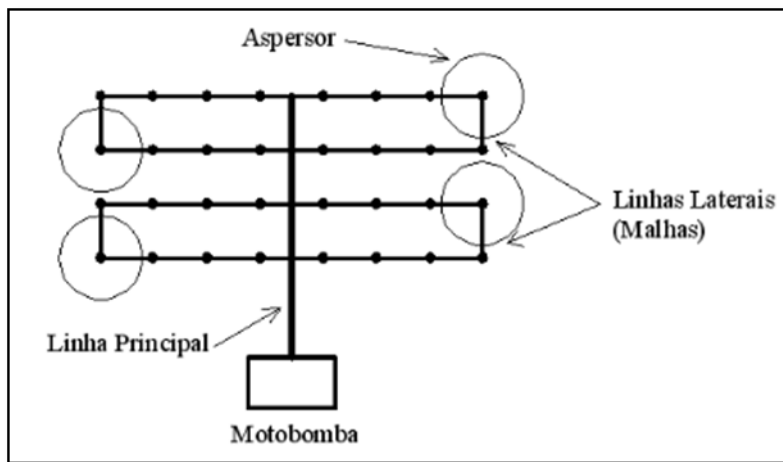


Figura 3.4.10: Esquema de um sistema por aspersão convencional em malha.

Fonte: MENDONÇA *et al.*, 2007.

(b) Fixos temporários – As tubulações (linhas principais e laterais) não são enterradas e permanecem fixas na superfície do terreno ao longo de todo ciclo da cultura, podendo ser deslocadas ao final.

(c) Semifixo - As linhas principais permanecem fixas, sendo enterradas ou não, enquanto que as laterais se deslocam pela área irrigada. Todos os componentes (tubulações, conexões, acessórios, etc.) são leves e de fácil manuseio, de modo a facilitar o deslocamento manual do sistema.

(d) Portáteis – Todas as linhas e componentes do sistema são desmontáveis e deslocam-se pela área irrigada que, por sua vez, é dividida em parcelas. Após a irrigação de uma parcela, todo o sistema é desmontado e armado em outra. Este sistema apresenta menor custo de aquisição de equipamentos, porém elevado custo de mão-de-obra, devido ao constante deslocamento dos materiais.

II. Sistemas mecanizados

Os sistemas por aspersão mecanizados foram desenvolvidos para reduzir a mão-de-obra empregada na movimentação das tubulações, de modo a otimizar o processo de irrigação e ampliar o seu alcance. Constituem em estruturas metálicas móveis e com mecanismos de propulsão (hidráulico, elétrico ou com auxílio de tratores), assegurando simultaneamente o seu deslocamento e a irrigação do terreno. Enquadram-se como mecanizados os sistemas de linhas laterais autopropelidas, de aspersores autopropelidos e de montagem direta (FRIZZONE, 2010).

➤ Sistemas de linhas laterais autopropelidas

Sistemas de linhas laterais autopropelidas são aqueles cuja linha lateral, contendo os aspersores, possui mecanismos de propulsão assegurando seu deslocamento contínuo ou intermitente no terreno a ser irrigado. A classificação dos sistemas de movimentação contínua é feita conforme a direção de deslocamento da estrutura, podendo ser de deslocamento radial (pivô central) ou de deslocamento linear (sistema linear). Dentre os sistemas de deslocamento intermitente, o mais utilizado é o lateral rolante (ou rolão), aonde a linha lateral opera como um eixo de rodas metálicas espaçadas (MANTOVANI; SALASSIER; POLARETTI, 2009). A Figura 3.4.11 exhibe os três tipos de sistemas de irrigação por aspersão mecanizada mais utilizados, sendo: (a) Pivô Central; (b) Sistema de deslocamento linear com movimentação contínua; e (c) Sistema de deslocamento linear com movimentação intermitente.

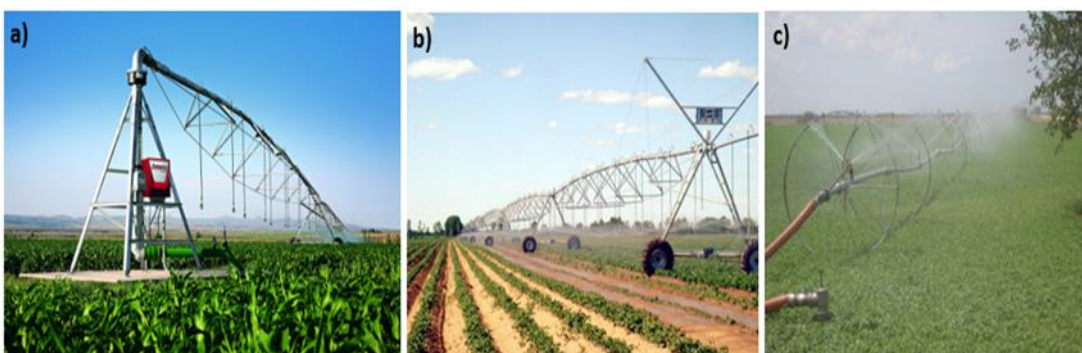


Figura 3.4.11: Sistemas de irrigação por aspersão mecanizada.

Fonte: Elaboração própria, com base em ANDRADE (2009) e FRIZZONE (2010).

(a) Sistema de irrigação tipo Pivô Central – Sistema com aplicação de água por aspersores, emissores ou difusores regularmente espaçados na linha lateral e suspensos por uma estrutura composta por torres dotadas de rodas, triângulos e treliças. Trata-se do método de aspersão de maior crescimento em uso no Brasil, pois apresenta médio consumo de energia e baixa necessidade de mão-de-obra, além de adaptar-se à maioria das culturas, desde o feijão, o milho, a soja até a cana-de-açúcar e o café (SALASSIER; SOARES; MANTOVANI, 2008). A aspersão por pivô central adequa-se preferencialmente à irrigação em médias – acima de 40 ha - e grandes áreas (IVIG – COPPE/UFRJ, 2011). Sua propulsão é por energia elétrica e sua movimentação é circular, em torno de um ponto pivô (torre central) que, por sua vez, serve de tomada de

água e ancoragem. O custo de aquisição deste sistema é dado como médio, mas seu requerimento por mão-de-obra é baixo (ALBUQUERQUE & DURÃES, 2008). Além disso, quanto mais longas as linhas laterais, menor é o custo do sistema por unidade de área. A Figura 3.4.12 apresenta uma visão aérea de campos irrigados por Pivô Central.



Figura 3.4.12: Visão aérea de um campo irrigado por sistema de irrigação tipo Pivô Central.

Fonte: TESTEZLAF, 2011.

(b) Sistema de deslocamento linear com movimentação contínua – Sistemas lineares apresentam estrutura de sustentação e movimentação da linha lateral única similares aos de Pivô Central. No entanto, o deslocamento da estrutura ocorre de forma lateral e ao longo de toda a área, sem a existência de eixo de rotação (pivô central). Este sistema irriga áreas quadradas e retangulares sendo que, quanto maior a diferença entre o comprimento e a largura do terreno, melhor a relação de custo/benefício do sistema. A topografia da área a ser irrigada é o principal limitante deste método, sendo necessária a avaliação criteriosa do espaço antes de sua implementação. No Brasil, sistemas lineares têm sido bastante empregados na cultura de cana-de-açúcar, devido à ampliação da superfície irrigada e à sua viabilidade econômica (MANTOVANI; SALASSIER; POLARETTI, 2009).

(c) Sistema de deslocamento linear com movimentação intermitente – No sistema lateral rolante (ou rolão), a linha lateral contendo os aspersores fica na posição horizontal e opera como um eixo com rodas metálicas regularmente espaçadas (FRIZZONE, 2010). O elemento propulsor, geralmente constituído de um motor à gasolina, situa-se na parte central dessa linha e proporciona a rotação dessa tubulação, assim como o deslocamento do conjunto. O sistema permanece estático durante a irrigação. Terminada a aplicação de água, este se desloca em direção ao próximo ponto de irrigação.

➤ **Sistemas de aspersores autopropelidos**

Em sistemas de aspersores autopropelidos, canhões hidráulicos montados sobre uma plataforma irrigam faixas longas, de largura variável, deslocando-se de forma contínua e linear no sentido do eixo da faixa. Cada aspersor opera setorialmente, de modo que o seu deslocamento se dá em solo seco. O sistema é composto por um motor de propulsão, um aspersor tipo canhão de alcance superior a 30 metros, uma mangueira de até 500 metros de comprimento operando em alta pressão (superior a 3000 kPa), um cabo de aço, um carretel enrolador e uma plataforma para instalação (SALEME, 2010). Pode ser tracionado por mangueira ou cabo de aço e apresenta média eficiência de irrigação e elevado consumo de energia, devido à alta pressão de funcionamento requerida pelo canhão hidráulico. No caso brasileiro, a irrigação por autopropelido é normalmente implementada em cultivos de citros e de cana-de-açúcar, conforme ilustrado pela Figura 3.4.13.



Figura 3.4.13: Sistema de irrigação por aspersores autopropelidos tipo Carretel enrolador.

Fonte: ANDRADE, 2001.

➤ **Sistema de montagem direta**

Sistemas de montagem direta são frequentemente empregados em zonas canavieiras, para distribuir efluentes oriundos do processo de fabricação do álcool, conhecidos como vinhaça ou vinhoto (TESTEZLAF, 2011). Consiste em uma unidade móvel de bombeamento, alimentada por um motor de combustão interna e um aspersor tipo canhão hidráulico, podendo ser instalado na mesma unidade móvel, ou então na extremidade da mangueira. Este conjunto, conforme ilustrado pela Figura 3.4.14,

costuma ficar estacionado ao lado de canais ou reservatórios localizados na área a ser irrigada, de modo a garantir o suprimento de efluentes.

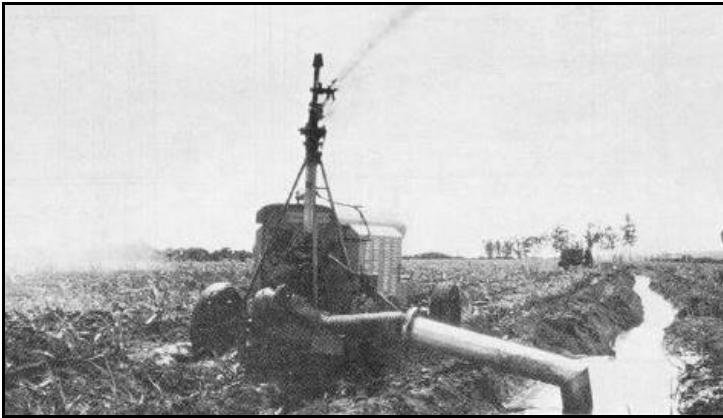


Figura 3.4.14: Tomada de água de um sistema de montagem direta.

Fonte: TESTEZLAF, 2011.

3.4.3 Irrigação Localizada

A irrigação localizada, também conhecida como microirrigação, consiste na aplicação de água em apenas uma fração da área cultivada, em pequenas intensidades (baixa vazão) e alta frequência, de modo a manter o solo na zona radicular da planta sob alto regime de umidade. Neste sistema, muito utilizado em culturas perenes⁹, a água é distribuída por uma rede de tubos, dispostos na superfície do solo ou enterrados, e atuando sob baixa pressão. Os emissores são acoplados à essas tubulações que, por sua vez, seguem as linhas de plantio.

Segundo Lamm & Camp (2007), a área máxima molhada em cultivos perenes não deve ultrapassar 60% da área total da plantação, enquanto que a superfície mínima molhada deve ser da ordem de 20% em regiões de clima úmido e 30% em regiões do árido e semiárido. A menor exposição de área úmida à atmosfera ocasiona na menor perda de água por fenômenos de evaporação direta do solo. A economia desse recurso

⁹ Culturas perenes: Também conhecida como cultura permanente, trata-se de lavouras em que não é preciso semear ou plantar uma nova planta após um ciclo para que se tenha outro. Por exemplo, após a produção de um ano de um pé de café, pimenta ou boa parte das árvores frutíferas, não é preciso replantar outra árvore para que se tenha novos frutos.

deriva também do rigoroso controle de suas quantidades fornecidas às plantas. Nesse sentido, pode-se dizer que o interesse pela irrigação localizada vem, principalmente, dos resultados de economia de água e energia que o método apresenta, aliados às excelentes condições de manejo oferecidas para o desenvolvimento e produtividade das plantas (FRIZZONE, 2010).

Atualmente, a irrigação localizada tem se desenvolvido bastante graças aos avanços tecnológicos voltados à produção de materiais de irrigação, como tubos, filtros, válvulas e emissores, além do notável progresso na informática, possibilitando um alto grau de automatização nesses sistemas, reduzindo assim o emprego de mão-de-obra.

Assim como outros métodos de irrigação, a microirrigação não se adequa a todas as condições de solo, topografia, clima, planta e água. Seu grande potencial de uso ocorre em situações de (a) solo arenoso, afloramentos rochosos e/ou declividades acentuadas; (b) regiões aonde a água é cara e seu acesso é limitado; e (c) em culturas de alto valor agregado, sensíveis a pequenas variações de umidade do solo e exigindo aplicações frequentes de fertilizantes, visto que o método possibilita a fertirrigação¹⁰. Em contrapartida, trata-se de um sistema com elevados custos iniciais, exigindo mão-de-obra especializada e manutenções com maior frequência (FRIZZONE, 2010).

Existem diversos sistemas de microirrigação e sua classificação varia de acordo com um critério de vazão: Sistemas de baixa vazão (inferior a 16 L/h) e sistemas de alta vazão (16 a 150 L/h), sendo o gotejamento e a microaspersão seus principais representantes em uso comercial, respectivamente.

➤ **Irrigação por Gotejamento Superficial**

Na irrigação por gotejamento superficial, a água é aplicada de forma pontual na superfície do solo, através de emissores acoplados às linhas laterais da tubulação, conforme demonstrado pela Figura 3.4.15. Estes dispositivos, mais conhecidos como

¹⁰ Fertirrigação: Também conhecida como quimigação, trata-se da aplicação de fertilizantes líquidos ou solúveis dissolvidos em água através do sistema de irrigação de forma parcelada e eficiente. Não só adubos são aplicados por meio da água de irrigação, mas também inseticidas, fungicidas, herbicidas e reguladores de crescimento.

gotejadores, são responsáveis pela dissipação da energia de pressão da água ao longo da rede de condutos, aplicando-a uniformemente em pequenas vazões, na forma de gotas.



Figura 3.4.15: Funcionamento de um sistema de irrigação por gotejamento superficial.

Fonte: SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, 2015.

O uso de sistemas por gotejamento vem crescendo bastante ao longo dos últimos anos, principalmente pela economia de água, fertilizantes e energia oferecidos. Por tratar-se, em sua grande maioria, de sistemas automatizados, oferece maior controle da quantidade de água aplicada, no momento certo e na quantidade certa (manejo da irrigação), proporcionando aumento da produtividade, conservação do solo e melhoria da qualidade do produto final (TESTEZLAF, 2011). Entretanto, por tratar-se de um sistema fixo, os elevados custos de instalação e a demanda por mão-de-obra especializada tendem a inibir a utilização desta técnica. Além disso, gotejadores podem apresentar problemas de entupimento, sendo necessária a instalação de um sistema de filtragem eficiente, elevando ainda mais os custos do sistema.

➤ **Microaspersão**

Os sistemas de microaspersão foram desenvolvidos como uma alternativa ao gotejamento, objetivando aumentar a área molhada por cada emissor. Neste método, microaspersores ou sprays plantados a uma pequena altura do solo aplicam a água na superfície, preferencialmente nas áreas sombreadas pela copa das plantas, conforme ilustrado pela Figura 3.4.16. De modo geral, microaspersores são mais vantajosos que o

gotejamento em condições de solo arenoso (mais permeável) e na irrigação de cultivos arbóreos, além de serem menos propensos a entupimentos e, logo, menos exigentes quanto à filtragem. Por outro lado, operam com maiores pressões e vazões (100 kPa a 250 kPa; 30 L/h a 300 L/h) e, dessa forma, consomem mais energia que o gotejamento (FRIZZONE, 2010).

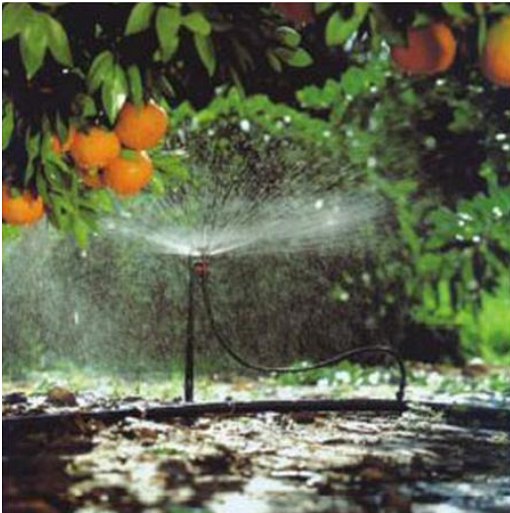


Figura 3.4.16: Sistema de microaspersão no cultivo de laranjas.

Fonte: ANDRADE, 2001.

3.4.4 Irrigação Subterrânea

A irrigação por gotejamento subterrânea vem ganhando força nas últimas décadas, graças ao avanço da informática e o desenvolvimento de novos materiais (FRIZZONE, 2010). Neste método, as linhas laterais de gotejadores são enterradas, conforme ilustrado na Figura 3.4.17, permitindo assim a aplicação de água debaixo do solo, diretamente na raiz das plantas. A profundidade da tubulação varia de acordo com o tipo de cultivo e as características do solo. Para hortaliças, por exemplo, se utiliza uma profundidade menor do que para árvores e a profundidade a que são enterradas as tubulações depende também se o solo é arenoso ou argiloso. Além disso, usa-se, em geral, uma cobertura protetora de material orgânico colocada ao redor das plantas, de modo a evitar a evaporação, impedir o crescimento de ervas daninhas e auxiliar na proteção das raízes contra os danos causados por congelamento. A principal vantagem deste método é a remoção das tubulações da superfície do solo, facilitando o tráfego e os

tratos culturais, além de aumentar a vida útil do material utilizado (MANTOVANI; SALASSIER; POLARETTI, 2009). A área molhada na superfície é quase inexistente, reduzindo as perdas de água pelo fenômeno de evaporação direta do solo. No entanto, esse sistema apresenta limitações como a dificuldade de detecção de possíveis entupimentos ou reduções nas vazões dos gotejadores (FRIZZONE, 2010).

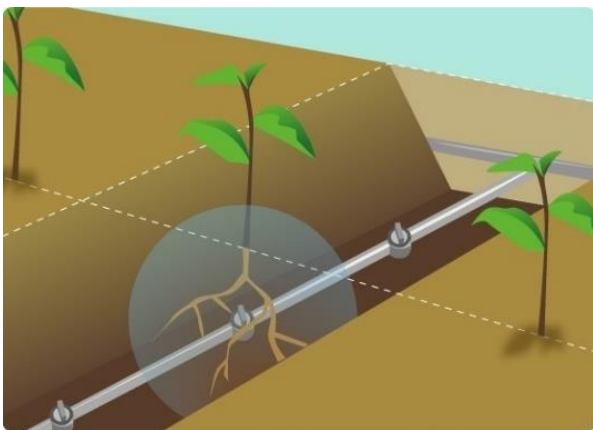


Figura 3.4.17: Funcionamento de um sistema de irrigação por Gotejamento Subsuperficial.

Fonte: Sociedade Nacional de Agricultura, 2015.

Apesar de menos utilizada, outra aplicação da irrigação subterrânea é pelo método de elevação do lençol freático. Também chamada de subirrigação ou drenagem controlada, consiste na aplicação de água na região subterrânea do solo, geralmente pela formação, manutenção e controle de um lençol freático artificial ou controle de um natural, mantendo-o a certa profundidade, capaz de permitir um fluxo de água adequado à zona radicular da cultura. Quando mantido a uma profundidade conveniente (entre 0,3 e 0,8 metros), proporciona a umidade necessária às raízes das plantas, proporcionando assim as condições ideais para o seu desenvolvimento (ROBBINS; VINCHESI, 2011). Segundo Mantovani (2008), a elevação do lençol freático só pode ser adotada em condições especiais, que atendam a requisitos específicos, tais como uniformidade da superfície a ser irrigada, presença de uma camada permeável (areia, solo orgânico ou argiloso estruturado) justo abaixo da superfície do solo e uma camada impermeável abaixo desta, suprimento de água livre de sais e manejo da água adequados, entre outros. No Brasil, esse método de irrigação tem sido empregado com relativo sucesso no projeto do Rio Formoso, em Tocantins (ANDRADE, 2001).

3.5 Critérios básicos para a seleção de sistemas de irrigação

A escolha correta do método de irrigação tem por objetivo manter as condições de desenvolvimento das culturas favoráveis, estabelecendo a viabilidade técnica e econômica do projeto, de modo a maximizar sua eficiência e minimizar os seus custos de investimento e de operação (FRIZZONE, 2010). Entre os critérios mais utilizados, destacam-se a topografia do terreno, propriedades do solo, disponibilidade e qualidade da água, características do clima, tipo de cultura a ser irrigada, fatores humanos e os aspectos econômicos, sociais e ambientais (SCALOPPI, 1986). De fato, não existe um método de irrigação considerado ideal, ou seja, capaz de atender da melhor forma possível todas as condições do espaço físico, a grande variedade de culturas e os interesses econômicos, sociais e ambientais de todos os envolvidos. Uma análise criteriosa deve ser realizada para cada caso em particular, ponderando os fatores citados anteriormente em função das características de cada sistema e da análise econômica de cada alternativa. A seguir, serão discutidos alguns critérios primordiais a serem analisados visando a seleção coerente de um sistema de irrigação para um determinado projeto:

3.5.1 Topografia

As condições topográficas do terreno têm caráter relevante na escolha do método de irrigação, visto que afetam o dimensionamento, a operação e o manejo da área a ser cultivada. Os elementos topográficos básicos envolvidos na seleção do sistema de irrigação são o dimensionamento e a forma da área, sua direção e gradiente de declive, e a questão dos acidentes topográficos (MELLO E SILVA, 2009).

Quanto ao primeiro aspecto, pode-se dizer que áreas retangulares superiores a 50 ha possibilitam a utilização de qualquer método de irrigação. No entanto, terrenos pequenos e com fronteiras irregulares dificultam a utilização de alguns sistemas, como superfície e aspersão mecanizada. Os métodos de aspersão convencional e de microirrigação se adequam melhor a estas condições.

Os parâmetros de direção e gradiente de declive do terreno definem a sua uniformidade topográfica. Superfícies com condições topográficas uniformes são adaptáveis a qualquer método de irrigação. Superfícies com declive limitam a utilização

de irrigação por superfície, mas podem ser irrigadas por sistemas de aspersão e de microirrigação. A baixa uniformidade topográfica de determinados terrenos pode ser corrigida por processos de sistematização, no entanto é necessário levar em consideração os custos da operação, além do comprometimento da qualidade do solo após a reforma.

Acidentes topográficos, como a presença de rochas, construções e áreas alagadas, podem comprometer o cultivo no terreno. Sistemas de irrigação por aspersão convencional e microirrigação admitem esses inconvenientes, contudo equipamentos mecanizados de aspersão só toleram a presença de obstáculos com altura inferior à do vão livre em todo o seu percurso (ANDRADE, 2009).

3.5.2 Solo

As propriedades do solo têm grande valia na seleção do método de irrigação a ser implementado. Nesse sentido, os principais fatores a serem considerados para projetos de irrigação são a capacidade de água disponível do solo (afetada por sua textura, profundidade efetiva, estrutura e massa específica), sua capacidade de infiltração e sua salinidade (ANDRADE, 2009).

a) Capacidade de água disponível - Solos com alta capacidade de água disponível requerem a aplicação de volumes excessivos de água e com baixa frequência, característicos da irrigação por superfície. Por outro lado, solos com baixa capacidade de água disponível são melhor atendidos por sistemas com controle efetivo da quantidade de água aplicada, como a microirrigação e a aspersão, já que demandam irrigações contínuas e de baixo volume. A capacidade de água disponível do solo varia de acordo com algumas de suas propriedades, tais como textura, profundidade efetiva, estrutura e massa específica.

A textura representa a ordenamento de partículas do solo por tamanho. O solo é considerado argiloso quando tem maior porcentagem de partículas com diâmetros inferiores a 0,002mm; limoso ou siltoso, quando predominam partículas com diâmetros entre 0,02mm e 0,002mm; arenoso quando prevalecem partículas com diâmetro entre

0,02mm e 2mm (FRIZZONE, 2010). O ponto de murcha¹¹ permanente e a capacidade de campo¹² constituem propriedades do solo e são decisivos na disponibilidade de água. Em solos mais argilosos, com baixa capacidade de infiltração, é aconselhável a utilização da irrigação por inundação. Já em solos muito argilosos e solos arenosos, aonde o intervalo entre os limites superior e inferior de água disponível é pequeno, sistemas de aplicação contínua e de baixo volume, como a microirrigação, são preferíveis. Solos limosos, isto é, de textura mediana, e com amplo intervalo de água disponível, favorecem a utilização de qualquer sistema de irrigação. Segundo Frizzone (2010), o solo ideal para o cultivo seria aquele apresentando as seguintes proporções entre suas frações constituintes: 45% de partículas minerais, 25% de ar, 25% de água e 5% de matéria orgânica.

A profundidade efetiva do solo também determina a capacidade de retenção de água do meio. Solos com pouca profundidade efetiva são terrenos normalmente situados sobre rochas, cascalhos, camadas adensadas ou então com lençol freático elevado. A capacidade de água disponível nessas áreas costuma ser baixa, sendo aconselhável o uso de sistemas com controle efetivo da quantidade de água aplicada, como a microirrigação e a aspersão.

A estrutura do solo diz respeito à composição das suas partículas. Solos com estrutura granular possuem maior capacidade de armazenamento e disponibilização de água e nutrientes para as plantas, sendo então mais apropriados para a prática da agricultura. Solos bem estruturados possuem argila em quantidade suficiente para formar aglomerados e possibilitar a irrigação por qualquer sistema. Da mesma forma, solos sem estruturação, normalmente de grãos simples e não agregados, como alguns arenosos, dificultam a prática da irrigação.

Já a massa específica do solo, também conhecida como densidade aparente, consiste na relação com a porosidade do solo e com sua capacidade de armazenamento de água. Este fator não costuma ter influência objetiva na escolha final de um sistema de

¹¹ Ponto de murcha do solo: Corresponde ao ponto em que o conteúdo de água de um solo no qual as folhas de uma planta que nele crescem atingem, pela primeira vez, um murchamento irreversível.

¹² A capacidade de campo corresponde à quantidade de água retida pelo solo após a drenagem ter ocorrido ou cessado em um solo previamente saturado por chuva ou irrigação.

irrigação, visto que não há uma diferença expressiva entre as diferenças de ordem de grandeza das massas específicas dos solos.

b) Taxa de infiltração da água - A velocidade de infiltração da água no solo é um elemento crucial para qualquer projeto de irrigação. Na irrigação por superfície, é o que determina o comprimento ótimo da parcela de uma dada vazão de entrada e inclinação do terreno. Na irrigação por aspersão, é o que determina o tamanho e a capacidade dos aspersores, assim como o distanciamento entre eles. De modo geral, solos com baixa velocidade de infiltração possibilitam maiores comprimentos das parcelas na irrigação por superfície, resultando em sistemas mais econômicos e mais favoráveis a operações mecanizadas. Para terrenos inclinados, a baixa velocidade de infiltração da água pode aumentar os riscos de erosão do solo. Sendo assim, o uso de sistemas com controle efetivo da quantidade de água aplicada, como microirrigação e aspersão convencional, são mais indicados para esses casos. Já os solos com alta velocidade de infiltração da água, como é o caso dos arenosos, representam um problema para a implantação de sistemas de irrigação, já que há maior perda de água por percolação profunda¹³ e os custos de irrigação são mais elevados. Como um critério geral, avalia-se que solos com velocidade de infiltração básica superior a 30 mm/h devem ser irrigados apenas por sistemas localizados ou de aspersão. Para velocidades de infiltração inferiores a 10 mm/h, o método mais adequado é a irrigação por superfície. Para valores intermediários de velocidade de infiltração, os quatro métodos podem ser empregados, porém outros critérios governam a seleção (FRIZZONE, 2010).

c) Salinidade do solo – Solos salinos são característicos de regiões áridas e semiáridas, aonde o nível de precipitação é inferior à demanda evaporativa da atmosfera. No decorrer do tempo, esse desequilíbrio gera acúmulo de sais nocivos às plantas, capazes de tornar o solo estéril, caso nenhuma providência seja tomada. Além disso, a irrigação com água salina intensifica esse acúmulo, tornando indispensável a presença de um sistema de drenagem subterrânea eficiente no local. Em solos com problemas potenciais de salinidade, deve-se evitar a utilização de métodos de irrigação

¹³ Percolação profunda: Passagem lenta de um líquido através de um meio filtrante. No caso da agricultura, corresponde ao movimento da água para baixo, através do perfil do solo abaixo da zona da raiz. Esta água é perdida para as plantas e eventualmente é absorvida pelas águas subterrâneas. Estas perdas de água podem ser significativas e ficam muitas vezes fora do local.

por sulco e subterrânea, dando-se preferência aos regimes de irrigação frequentes e localizada. Métodos de aspersão ou por faixas, por aplicarem lâminas adicionais de irrigação, podem obter sucesso em terrenos salinos. Entretanto, a microirrigação é a que apresenta maiores vantagens nessas condições, pois possibilita o deslocamento dos sais para fora da zona radicular da planta, mantendo o teor de água sempre elevado, reduzindo assim a concentração salina no local. (MELLO E SILVA, 2009).

3.5.3 Recursos hídricos

A água para irrigação provém de diversas fontes, podendo ser de natureza superficial (lagos, rios, represas, etc.) ou subterrânea (aquíferos). Os principais fatores hídricos que implicam na seleção de projetos de irrigação são a localização da fonte de água, a vazão e o volume total de água disponível, sua qualidade e o seu custo (SCALOPPI,1986).

a) Localização da fonte d'água – A situação topográfica da fonte d'água em relação à área a ser irrigada é de extrema relevância, pois influi na distribuição, no manejo e no custo do sistema de irrigação. É preferível o uso de fluxo por gravidade, já que a seleção do local de captação do recurso hídrico deve ser realizada de modo a minimizar a diferença de altura e as distâncias de condução e de distribuição, principais responsáveis pelo consumo de energia na irrigação.

b) Vazão e volume total de água disponível – A vazão disponível é determinada por critérios estatísticos, enquanto que o volume total é função da capacidade de armazenamento hídrico ou da construção de reservatórios. O potencial hídrico, função da vazão e do volume total disponível, é o que determina a eficiência de irrigação necessária para irrigar todo o terreno. Áreas carentes de alta eficiência de irrigação devem dar preferência a sistemas por aspersão e de microirrigação.

c) Qualidade da água – Constitui na concentração e na natureza de sólidos em suspensão. Fontes hídricas com elevada concentração de material sólido em suspensão não se adequam a sistemas de microirrigação, devido à constante obstrução dos emissores e aos elevados gastos com sistemas de filtragem. Esta impureza é menos significativa para sistemas por aspersão e irrelevante em métodos por superfície.

d) Custo da água – Varia de acordo com a localização, disponibilidade e qualidade da água. Quanto mais alto o custo da água for, mais eficiente deve ser o

método de irrigação. Convém distinguir os custos entre água superficial e subterrânea. A primeira é considerada um bem livre, cuja gestão é realizada preferencialmente pelo poder público, com custos de obtenção relativamente baixos, enquanto que a segunda é tida como bem econômico, cuja gestão é feita principalmente por entidades privadas, com custos de obtenção mais elevados. No caso brasileiro, cabe lembrar que o país atualmente implementa as outorgas de água, consequentes da Lei 9433/97, que determina a cobrança pelo uso da água em toda a nação (ANDRADE, 2009).

3.5.4 Clima

Os principais agentes climáticos que interferem na escolha do método de irrigação a ser implementado em determinado projeto são a frequência e a quantidade de precipitações na região, a ocorrência de ventos fortes e geadas, assim como a temperatura e a umidade relativa do ar (ANDRADE, 2009).

a) Precipitação – A frequência e a quantidade de chuvas durante o ciclo das culturas ditam a relevância da irrigação para a produção agrícola. Nas regiões áridas e semiáridas, é inviável cultivar sem o apoio da irrigação. Contudo, em áreas mais úmidas, a irrigação pode ter caráter apenas complementar e os sistemas de menor custo. De modo geral, quanto menor a quantidade de água necessária proveniente da irrigação, menor deve ser o investimento de capital voltado para esta prática. Dessa forma, em regiões aonde as chuvas contribuem com a maior parte dessa parcela, menores deverão ser os investimentos com sistemas de irrigação, legitimando-se o uso de sistemas por superfície, desde que não necessite de grandes aportes financeiros em sistematização do terreno, e a aspersão com equipamentos portáteis.

b) Vento – Ventos fortes ou grandes variações de velocidade e direção são fatores limitantes para o método de aspersão, já que a uniformidade de distribuição da água é prejudicada, reduzindo assim a eficiência da aplicação. O dano é maior em sistemas de irrigação por aspersão convencional e rolamento lateral, cujos aspersores atuam estacionados, ou nos sistemas por aspersão autopropelidos, aonde as faixas irrigadas são relativamente largas. Existem diversas formas de combater essa

adversidade, sendo as principais a utilização de quebra-ventos¹⁴, a redução do espaçamento entre os aspersores ou das faixas irrigadas, ou o uso de irrigação apenas quando o vento apresenta condições favoráveis. Contudo, a adoção dessas práticas pode aumentar significativamente o custo da irrigação, sendo preferível, em grande parte dos casos, a escolha de outro método de irrigação. Sistemas pivô central e deslocamento linear apresentam melhor desempenho do que os citados acima, quando confrontados a essa adversidade. O vento quase não possui efeito sobre sistemas de irrigação por superfície, subterrânea e por gotejamento, tornando-os preferíveis nestas condições.

c) Geadas – A prática da irrigação é tida como ferramenta de proteção às plantas em crescimento em regiões com riscos de geadas. Sistemas de aspersão, quando fixos e dimensionados para irrigar toda a área simultaneamente, consistem em um método efetivo para combater geadas leves e intermitentes, sobretudo no cultivo de frutas e hortaliças. (ANDRADE, 2009).

d) Temperatura e umidade relativa do ar – A transferência de água para a atmosfera no estado de vapor, seja pela evaporação das superfícies líquidas e úmidas, seja pela transpiração vegetal, constitui relevância no ciclo hidrológico (MELLO E SILVA, 2009). Elevadas temperaturas e baixa umidade relativa possuem efeito direto no fenômeno de evapotranspiração¹⁵, principalmente em sistemas de aspersão, sendo consideradas elevadas quando superiores a 15% (FRIZZONE, 2010). As perdas de água por este fenômeno são desprezíveis para o sistema de gotejamento. Em irrigação por sulcos e faixas são pequenas, enquanto que na irrigação por inundação e microaspersão, podem ser expressivas.

3.5.5 Cultura

Para cada cultura, é possível associar um método de irrigação mais adequado, que satisfaça as necessidades do agricultor, sem esquecer de suas limitações (financeira,

¹⁴ Quebra-ventos: Dispositivos naturais ou artificiais, destinados a deter ou, pelo menos, diminuir a ação dos ventos fortes sobre as plantações, reduzindo assim os danos por ele provocados.

¹⁵ Evapotranspiração é um processo combinado pelo qual a água é transferida da superfície terrestre para a atmosfera envolvendo a evaporação da água da superfície do solo e a água interceptada pelas plantas, e a transpiração proporcionada por elas.

espacial, climática, etc.). Os principais parâmetros da cultura a serem considerados na seleção do método de irrigação mais apropriado são o sistema de plantio, as exigências agronômicas, o tamanho e os estágios de crescimento das plantas, assim como a profundidade do seu sistema radicular (FRIZZONE, 2010).

a) Sistema de plantio - Um bom plantio é aquele que distribui, em número, espaço, tempo e profundidade, a quantidade de sementes recomendada, otimizando a produtividade e maximizando os lucros (ANDRADE, 2009). Para culturas em linhas, é preferível a adoção de sistemas de irrigação por sulco, aspersão e gotejamento. No cultivo de olerícolas (hortaliças) e de cereais de pequeno porte, como trigo, centeio e cevada, o espaçamento entre linhas não comporta a elaboração de sulcos sem prejudicar a densidade do plantio, sendo preferível nesse caso a adoção da irrigação por faixas. Para culturas que ocupam a superfície total do terreno, é interessante a utilização de irrigação por aspersão. Para culturas que ocupam parcialmente a área cultivada, como as frutíferas, é mais vantajoso o uso de sistemas com aplicação de água mais eficientes, como a microirrigação (TESTEZLAF, 2011).

b) Exigências agronômicas: As diferentes culturas apresentam graus distintos de resistência a doenças. Neste quesito, a irrigação por aspersão apresenta desvantagens. Uma delas é o fato de os aspersores molharem as folhas, espalhando defensivos e favorecendo a propagação de agentes patogênicos. O tomate, por exemplo, é bastante sensível, especialmente em regiões úmidas, e necessita de tratamentos sistemáticos, o que desfavorece o uso de aspersão e favorece sistemas de irrigação por gotejamento. O mesmo vale para as bananeiras, pois quando irrigadas por aspersão, a probabilidade de seus frutos apodrecerem é maior. A videira, pereira e macieira, são árvores muito sensíveis ao calor e, dessa forma, não devem ter sua folhagem molhada durante períodos de sol forte (FRIZZONE, 2010).

c) Tamanho das plantas – O único modelo de irrigação que apresenta restrições relativas à altura das plantas é o por aspersão. Culturas de grande porte, como boa parte das fibrosas (milho, cana-de-açúcar, etc.) demandam estruturas de aspersão de altura compatível, o que intensifica o consumo de energia e restringe a uniformidade de distribuição da água e sua eficiência de aplicação. Sistemas tipo pivô central e deslocamento linear não são recomendáveis para plantações com altura superior a 3 metros, enquanto que sistemas de rolamento lateral são adaptáveis apenas em culturas rasteiras.

d) Estádios de crescimento – Durante a germinação, numerosas culturas necessitam de irrigações leves e frequentes, o que credencia o uso de sistemas por aspersão, desde que bem ajustados. Ao longo dos estádios de crescimento e maturação, não há restrição quanto ao método de irrigação a ser empregado. Já na fase de colheita, certas culturas, como o algodão, não toleram o molhamento da parte aérea, o que limita o uso de aspersão.

e) Profundidade do sistema radicular – Culturas com raízes rasas, como a bananeira e a cebola, demandam irrigações leves e frequentes, sendo mais eficiente o uso da irrigação localizada. Em contrapartida, culturas com raízes mais profundas, por aproveitarem maior volume de solo, demandam irrigações com menos frequência e com maiores laminas, característicos de métodos por superfície.

3.5.6 Fatores humanos

A seleção do método de irrigação é bastante afetada pelos fatores humanos. Hábitos, tradições, preferências, preconceitos e modismo são decisivos nessa escolha e costumam dificultar a inserção de inovações tecnológicas no meio agrícola (ANDRADE, 2009). Agricultores menos capacitados costumam persistir em métodos mais tradicionais e já assimilados, como a irrigação por superfície e por aspersão convencional. Ao considerarem suas inconveniências como inevitáveis, não se permitem enxergar o horizonte de possibilidades oferecidas por métodos mais modernos como a microirrigação e a aspersão mecanizada. Em contrapartida, irrigantes com melhor formação tecnológica tendem a obter melhores resultados, além de contribuírem para o progresso da agricultura, superando expectativas de desempenho e maximizando os seus lucros.

3.5.7 Aspectos econômicos, sociais e ambientais

O objetivo principal da implementação tecnológica em qualquer atividade agrícola envolvendo irrigação é a maximização de lucros. Contudo, impactos nos aspectos sociais e ambientais do projeto não podem ser ignorados. (ANDRADE, 2009).

Para cada sistema de irrigação potencial, deve-se realizar uma análise em termos de eficiência econômica do projeto. A decisão final, entretanto, deverá contemplar uma simples comparação entre custos do projeto para cada sistema de irrigação e o valor

econômico da cultura em questão. A análise econômica de sistemas de irrigação é bastante complexa, pois envolve numerosos fatores que variam constantemente. Para tal, é necessário o emprego de planilhas e sofisticados *softwares* para auxiliar nos cálculos.

Além da disponibilidade de recurso financeiro, o produtor também deve atentar a dois outros aspectos fundamentais para o sucesso do empreendimento: o tempo de implantação do projeto de irrigação e a capacitação tecnológica dos operantes.

Quanto ao tempo, pode-se dizer que a implantação de um sistema de irrigação costuma durar alguns meses, já que está sujeita a muitas variações, tais como o tamanho e a localização do terreno, a distância da fonte de água à área a ser irrigada, o método de irrigação a ser implementado, dentre outros. Cabe ao produtor medir o tempo que estará disposto a abrir mão para implantar o sistema de irrigação mais adequado.

Quanto à operação, é sabido que tais sistemas exigem conhecimento técnico para que possam se manter operantes. A capacitação tecnológica vai desde a manutenção dos componentes do sistema (bombas, motores, tubulações, válvulas, conexões, emissores, dentre outros) até o manejo adequado da irrigação, que consiste no conhecimento sobre a demanda de água pela cultura desejada, para que se aplique o volume ideal em cada irrigação. Um bom manejo da irrigação contribui para a longevidade da área irrigada e para o aumento da produtividade da cultura.

Além de tempo, capital e capacitação tecnológica, aspectos como a geração de emprego, a produção local de alimentos, a utilização de equipamentos produzidos localmente e a existência de incentivos governamentais devem ser levados em consideração na seleção final do método de irrigação a ser implementado.

Por último, porém não menos importante, devem-se considerar os impactos ambientais associados a cada método, tais como a erosão do solo, a degradação da qualidade da água e dos habitats naturais, dentre outros. Tais aspectos devem ser incluídos na análise econômica, por meio de multas ou de incentivos governamentais.

3.6 Análise comparativa dos principais métodos de irrigação

Conforme apresentado no item 3.4, não é possível apontar um método ideal padronizado para cada cultura. A escolha do sistema de irrigação depende de diversos fatores, e cada caso deverá ser analisado separadamente, sugerindo-se soluções em que

as vantagens inerentes possam compensar as limitações naturais dos diferentes métodos de irrigação. Apesar de não abranger todos os aspectos abordados anteriormente, a Tabela 3.6.1 busca sintetizar a adaptabilidade dos diferentes métodos de irrigação a partir da influência dos fatores considerados mais determinantes na seleção de um método de irrigação.

Tabela 3.6.1: Influência dos principais fatores na seleção do método de irrigação.

FATORES MÉTODO	Declividade	Taxa de infiltração	Sensibilidade da cultura ao molhamento	Efeito do vento
Superfície	Área deve ser plana ou nivelada artificialmente a um limite de 1%. Maiores declividades podem ser adotadas em culturas que cobrem toda superfície do solo.	Não recomendado para solos com taxa de infiltração acima de 60 mm/h ou com taxa de infiltração muito baixa.	Adaptável à maioria das culturas, podendo ser prejudicial em culturas que não toleram o encharcamento das raízes, como a batata.	Usualmente, não constitui problema para este método.
Aspersão	Adaptável a diversas condições.	Adaptável às mais diversas condições.	Adaptável à maioria das culturas. No entanto, pode propiciar o desenvolvimento de doenças foliares.	Costuma afetar a uniformidade de distribuição da água e sua eficiência de aplicação.
Localizada*	Adaptável às mais diversas condições.	Todo tipo. Pode ser usado em casos extremos, como solos muito arenosos ou muito pesados.	Menor efeito de doenças que a aspersão. Permite umedecimento de apenas parte da área.	Nenhum efeito no caso do gotejamento e pequeno efeito no caso da microaspersão.
Subterrânea (Elevação do Lençol Freático)	Área deve ser plana ou nivelada.	O solo deve ter uma camada impermeável abaixo da zona das raízes, ou lençol freático alto que possa ser controlado.	Adaptável à maioria das culturas. Pode prejudicar a germinação de culturas com semeadura rasa.	Não tem efeito.

Fonte: Elaboração própria, a partir de Andrade (2001), adaptado de Turner (1971) e Gurovich (1985).

* Andrade (2001) engloba o Gotejamento Subterrâneo e o Gotejamento Superficial em um único grupo - o Gotejamento -, pertencente à irrigação Localizada.

Conforme apresentado na Tabela 3.6.1, a irrigação localizada é aquela que, de maneira geral, melhor se adapta aos diversos tipos de topografia, solo, culturas e efeitos climáticos. Os diferentes métodos por aspersão ficam em segundo lugar em termos de

adaptabilidade. Métodos por superfície e de elevação do lençol freático possuem mais exigências quanto ao nivelamento do terreno e questões ligadas ao solo.

De modo a aperfeiçoar ainda mais a análise comparativa dos diferentes métodos de irrigação apresentados, serão discutidas, pelas Tabelas Tabela 3.6.2, Tabela 3.6.3 e Tabela 3.6.4, as principais vantagens e limitações associadas a cada método de irrigação.

Tabela 3.6.2: Vantagens e desvantagens inerentes aos métodos de irrigação por Superfície.

MÉTODO DE IRRIGAÇÃO	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
S	- Menor custo fixo e operacional;	- Projeto e manejo mais complexos;
U	- Equipamentos simples e sem mão-de-obra especializada;	- Elevados custos de sistematização de áreas irregulares;
P	- Baixo consumo de energia;	- Requer ensaios de campo para obtenção do dimensionamento;
E	- Desempenho não é afetado pelo vento;	- Requer frequentes reavaliações de campo para assegurar bom desempenho;
R	- Não é tão afetado pela qualidade de água aplicada;	- Mais mão-de-obra operacional do que outros sistemas;
F	- Não interferem com os tratamentos fitossanitários da cultura; e	- Se mal planejado e/ou manejado, baixa eficiência de distribuição de água;
Í	- Adaptável a várias culturas, principalmente o arroz.	- Mais agressivos ao meio ambiente (risco de salinização);
C		- Não recomendado em solos extremamente permeáveis ou com altas velocidades de infiltração; e
I		- Limitações para aplicação de agroquímicos e fertilizantes.
E		

Fonte: Elaboração própria, com base em publicações de Robbins; Vinchesi (2011); Scaloppi (1986), Andrade (2001); Pereira *et al.* (2010); Salassier; Soares; Mantovani (2008); Mantovani; Salassier; Polaretti (2009); Frizzone (2010); Mello e Silva (2009); e Testezlaf (2011).

Tabela 3.6.3: Vantagens e desvantagens inerentes aos métodos de irrigação por Aspersão.

MÉTODO DE IRRIGAÇÃO	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
A S P E R S Ã O	<ul style="list-style-type: none"> - Dispensa preparo ou sistematização do terreno; - Adaptável às diversas condições de solo, topografia e culturas; - Eficiência na distribuição de água, quando comparado ao método de superfície; - Pode ser totalmente automatizado; - Fácil aplicação de fertilizantes e tratamentos fitossanitários; - Muito eficiente contra geadas; e - Mais prático. Facilidade no tráfego de máquinas e equipamentos para outras áreas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada demanda hídrica; - Muito afetado pela ação dos ventos; - Custos de operação e manutenção elevados, se comparados a métodos por superfície; - Elevados custos de energia com o bombeamento de água; - Pode favorecer a disseminação de pragas e doenças cujo veículo é a água; e - Impróprio para águas residuais ou com alto teor salino.

Fonte: Elaboração própria, com base em publicações de Robbins; Vinchesi (2011); Scaloppi (1986), Andrade (2001); Pereira *et al.* (2010); Salassier; Soares; Mantovani (2008); Mantovani; Salassier; Polaretti (2009); Frizzone (2010); Mello e Silva (2009); e Testezlaf (2011).

Tabela 3.6.4: Vantagens e desvantagens dos métodos de irrigação Localizada e Subterrânea.

MÉTODO DE IRRIGAÇÃO	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
<p>L</p> <p>O</p> <p>C</p> <p>A</p> <p>L</p> <p>I</p> <p>Z</p> <p>A</p> <p>D</p> <p>A</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia versátil: facilmente adaptável a diferentes tipos de solo, topografia e culturas; - Grande economia de água e de energia; - Muita eficiência na aplicação de defensivos e fertilizantes (possibilidade de fertirrigação); - Aumento da produtividade; - Melhoria na qualidade do produto final; - Melhor aproveitamento do terreno; - Menos afetado por variações climáticas e ambientais; - Menor incidência de doenças, por não molhar a parte aérea da cultura; e - Menor risco do efeito de sais para as plantas, sendo adaptável a solos e águas de alto teor salino. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado custo de instalação; - Requer conhecimento específico; e - Problemas de entupimento dos emissores, sendo necessária a utilização de sistemas de filtragem eficientes.
<p>S</p> <p>U</p> <p>B</p> <p>T</p> <p>E</p> <p>R</p> <p>R</p> <p>Â</p> <p>N</p> <p>E</p> <p>A</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Economia no uso da água, devido à redução de perdas por evaporação; - Oferece condições ideais para desenvolvimento da planta, por proporcionar umidade necessária às suas raízes; - Sem tubulações na superfície, facilitando tráfego de máquinas e tratos culturais; e - Aumento da durabilidade dos materiais, pela não exposição ao sol, no caso do Gotejamento Subterrâneo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado custo e processo complexo de instalação. - Problemas de entupimento dos emissores no caso do Gotejamento Subterrâneo; e - Projeto e manejo muito complexos e específicos, no caso da Elevação do Lençol Freático;

Fonte: Elaboração própria, com base em publicações de Robbins; Vinchesi (2011); Scaloppi (1986), Andrade (2001); Pereira *et al.* (2010); Salassier; Soares; Mantovani (2008); Mantovani; Salassier; Polaretti (2009); Frizzone (2010); Mello e Silva (2009); e Testezlaf (2011).

Conforme indicado pelas Tabelas Tabela 3.6.2, Tabela 3.6.3 e Tabela 3.6.4, cada método de irrigação apresenta uma série de benefícios e de limitações. De modo geral, pode-se dizer que métodos de irrigação localizada e subterrânea – ou irrigação de precisão - se adequam melhor a agricultores que almejam o aumento da produtividade e da qualidade de seus produtos a qualquer custo. Apesar de apresentarem elevados custos iniciais, estes métodos altamente tecnológicos costumam ser mais eficientes e eficazes que os demais, no que tange a economia de recursos naturais, o aumento da produção e a preservação do solo. Habitualmente, são implementados em cultivos de maior valor agregado, como frutas e sementes, para poderem compensar o investimento (GALLON *et al*, 2015). No entanto, situações como o estudo de caso, apresentado no capítulo 4 do presente trabalho, demonstram como estes métodos altamente tecnológicos podem se adaptar a culturas mais simples e de larga escala.

No que diz respeito aos métodos por superfície, pode-se dizer que estes representam a passagem da agricultura natural (de sequeiro¹⁶) para a agricultura irrigada. Representando a maior parte dos cultivos irrigados no mundo, tais métodos são ideais para produtores mais tradicionais e com pouco acesso a fontes de energia e a tecnologias de automação. Muito implementados por países subdesenvolvidos, são responsáveis pelo abastecimento primário de grandes populações como China e Índia (HEMERY; DEBRIER; DELEAGE, 1993). Por tratar-se de sistemas mais rústicos, costumam ser menos custosos no início, porém mais trabalhosos, o que pode levar à frustração de muitos Produtores.

Quanto às tecnologias de aspersão, pode-se dizer que estas representam o meio termo entre a irrigação altamente tecnológica e a irrigação mais tradicional. Trata-se de uma tecnologia de fácil adaptação e altamente flexível, por ser aplicável a quase todos os tipos de cultura e ambientes. No entanto, é a que mais consome energia dentre os quatro métodos, pois exige bombeamento da água em alta pressão.

Com relação a custos de implementação, pode-se dizer que técnicas de irrigação de ponta, como a localizada, com o gotejamento e a microaspersão, e a aspersão mecanizada, com o pivô central, apresentam custo médio variando entre R\$ 6.000 e R\$

¹⁶ Agricultura de sequeiro corresponde à cultura agrícola que cresce apenas com a água da chuva, sem a necessidade de adição de água ao solo por meio de irrigação. Trata-se de uma técnica agrícola para cultivar terrenos onde a pluviosidade é diminuta, como nos planaltos africanos ou no sertão nordestino brasileiro. A expressão “sequeiro” deriva da palavra seco e refere-se a uma plantação em solo firme.

10.000 por hectare, enquanto que sistemas por aspersão convencional costumam custar entre R\$ 3.000 e R\$ 5.000 (AGRISHOW, 2016). Esses valores costumam variar consideravelmente, já que dependem de diversos fatores, como qualidade do material utilizado, grau de automatização do sistema, tipo de cultura a ser irrigada, dentre outros. Cabe lembrar também que, quanto maior a área a ser irrigada, menores são os custos relativos do sistema, já que ocorre um barateamento dos equipamentos como um todo. Quanto aos sistemas por superfície, é difícil estabelecer um valor médio por hectare, pois variam muito de acordo com a necessidade de sistematização do terreno. No entanto, por não serem pressurizados e necessitarem de menos energia, costumam apresentar custo inicial inferior aos métodos citados acima (ANDRADE, 2001).

No que tange a eficiência de aplicação da água, pode-se dizer que o gotejamento é o método de melhor aproveitamento, pois aplica a água de maneira direcionada e pontual, além de permitir a redução da área irrigada para entre 20 e 80% do total. Na sua modalidade subterrânea, o gotejamento apresenta uma eficiência ainda maior (acima de 90%), já que a perda de água por evaporação é reduzida devido à sua menor exposição ao sol (ANDRADE, 2001). A Figura 3.6.1 ilustra a relação de eficiência de irrigação e de aproveitamento de área apresentados pelos principais métodos.

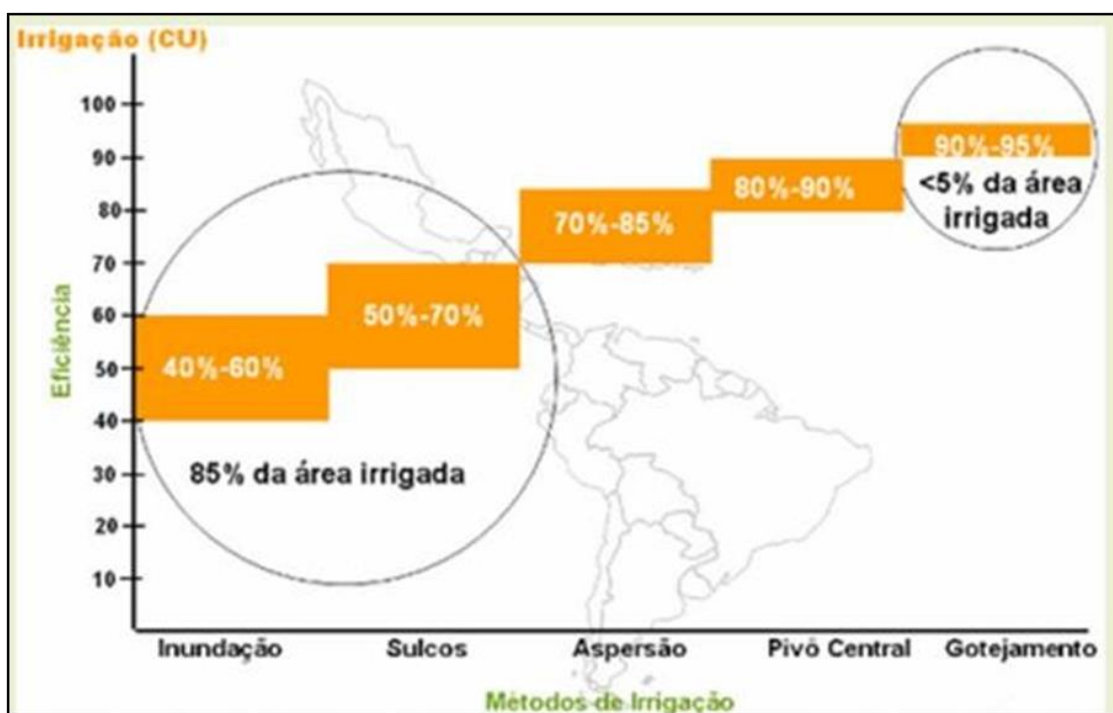


Figura 3.6.1: Eficiência dos principais métodos de irrigação.

Fonte: NETAFIM, 2015.

Nota-se pela Figura 3.6.1 que a técnica por pivô central pode alcançar uma eficiência de irrigação de até 90%. Isso ocorre porque, nesses sistemas, também é viável a aplicação localizada da água através da utilização de tubos de descida nos braços do pivô central, permitindo a aproximação dos bocais de aspersão ao solo. Tal modalidade é denominada de sistema híbrido de aspersão com pivô central e a irrigação localizada.

Além da eficiência de irrigação, existe também a questão do uso de defensivos e fertilizantes. Neste quesito, métodos de irrigação localizada também levam vantagem, pois possibilitam uma aplicação mais econômica e otimizada dos produtos agroquímicos através da fertirrigação (FRIZZONE, 2010).

Com o intuito de verificar os benefícios atrelados à irrigação de precisão citados anteriormente, tais como aumento da produtividade e a maior eficiência na irrigação, é apresentado um estudo de caso no capítulo 4, referente à implementação de um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em cultivos de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro.

4 Estudo de caso: implementação de um sistema de irrigação por Gotejamento Subsuperficial em culturas anuais de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro

No sentido de atender ao objetivo da dissertação e de responder às perguntas de pesquisa, investiga-se o potencial de implementação do método de irrigação por gotejamento subsuperficial em canaviais no Semiárido brasileiro. Adota-se o cultivo de cana-de-açúcar devido a sua relevância na agricultura e na economia nacional, enquanto que a escolha do Semiárido decorre de sua vulnerabilidade natural frente às condições climáticas adversas ao cultivo de alimentos.

O presente capítulo está dividido em três partes: primeiramente, são descritos alguns aspectos básicos relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar no Brasil; em seguida, é feita uma breve apresentação do Semiárido brasileiro, local no qual o estudo de caso foi desenvolvido; finalmente, é apresentado o estudo de caso do trabalho, o qual propõe uma metodologia de avaliação comparativa e seleção de diferentes métodos de irrigação, com base na ponderação de variáveis pré-definidas. Também faz parte deste capítulo, a apresentação de um caso base, para o qual será feita uma análise crítica dos resultados, tomando como referência a metodologia proposta. O caso escolhido como base é o da usina Agrovale, com o cultivo irrigado de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro. Em 2007, a usina implementou um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em parte dos seus canaviais. Após a descrição do caso é realizada, por fim, uma análise dos resultados obtidos pela Agrovale, à luz da metodologia proposta.

4.1 Sobre o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil

4.1.1 Contextualização

Introduzida durante o período colonial, a cana-de-açúcar foi o cultivo de maior relevância no processo de ocupação agrícola do país (SANTIAGO *et al*, 2006). Até o século XIX, o açúcar brasileiro era produzido, sobretudo, na Região Nordeste, por uma indústria caracterizada pelo atraso tecnológico e pela força de trabalho escrava. Somente após 1870, com o início do processo abolicionista e o favorecimento das exportações,

graças a uma política cambial favorável, é que os senhores de engenho se viram forçados a modernizar o setor. A principal mudança ocorreu na separação das atividades de cultivo e de processamento da cana-de-açúcar, dando início à fase de especialização de cada uma das etapas do sistema de produção. Foi então que, em 1890, surgiram os engenhos centrais, complexos canavieiros correspondentes às atuais usinas (CHEQUIN; GRANDI, 2016).

Um século se passou e a cana-de-açúcar seguiu como uma das principais culturas da economia brasileira. O país não é apenas o maior produtor de cana-de-açúcar, como também o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol, além de conquistar, cada vez mais, o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética (MAPA, 2015).

Quando observada a indústria açucareira no mundo, constata-se que, no Brasil, esta atividade tem características próprias, o que a diferencia de outros países produtores, especialmente nos três pontos adiante indicados:

1- o primeiro ponto relevante consiste no fato de a maior parte das indústrias nacionais produzir uma proporção bastante significativa da cana-de-açúcar que processa. (CONAB, 2010). O padrão internacional, ao contrário, mantém a atividade agrícola da produção de cana separada da produção industrial. Esse modelo de organização brasileiro pode ser explicado pela enorme dimensão territorial, pela grande disponibilidade de terras férteis e pela tradição agrária do país;

2- o segundo ponto relevante está na grande diversidade de produtos comerciais brasileiros que são fabricados a partir do caldo da cana-de-açúcar e dos resíduos líquidos e sólidos da moagem (CONAB, 2010). Além do açúcar e do álcool etílico, destacam-se nesta lista a cachaça e a rapadura, produtos extraídos do caldo e produzidos em pequenas fábricas especializadas nesta atividade e a cogeração de energia elétrica, gerada com a queima do bagaço. Tal característica estabeleceu-se a partir da década de setenta, como decorrência da criação de programas como o Proálcool, em 1975, que incentivou o aumento da produção e o uso mandatório de álcool etílico como combustível automotivo; e

3- o terceiro ponto de destaque na organização desse setor está na distribuição espacial de suas unidades de produção dentro do território nacional. A posição geográfica do Brasil no globo é privilegiada, possibilitando a produção de cana-de-açúcar e de seus derivados em quase toda a sua extensão territorial. Conforme indicado

pela Figura 4.1.1, a cana-de-açúcar é produzida em quase todo o país, sendo São Paulo o principal estado produtor, com mais de 50% de toda a área colhida. As demais regiões produtoras de porte são o Triângulo Mineiro, o estado do Paraná e a Zona da Mata Nordestina (MAPA, 2015).

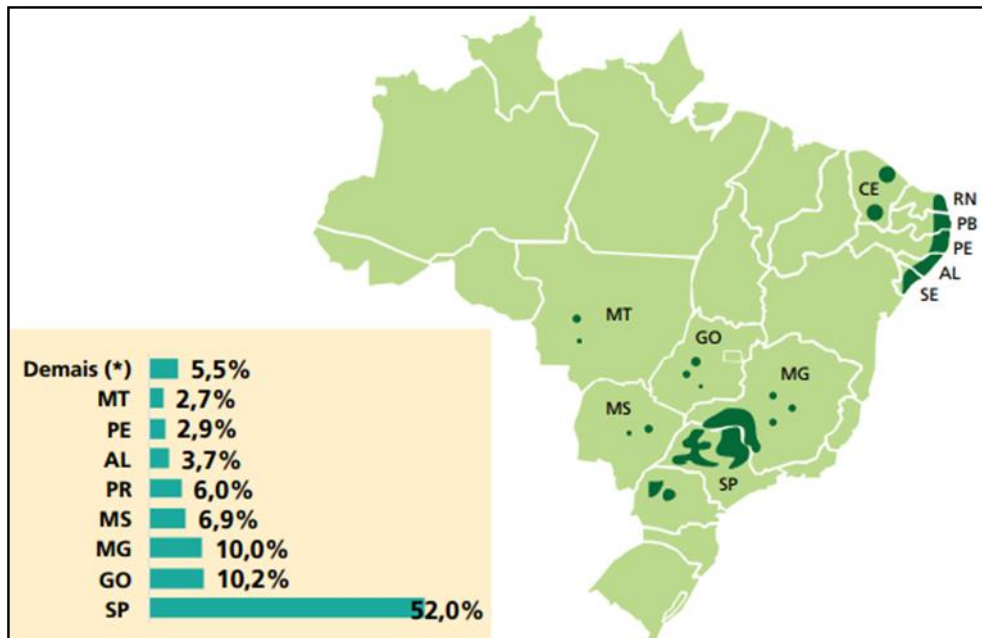


Figura 4.1.1: Principais estados produtores de cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: Conab, 2016.

Em 2009, o governo federal lançou uma política para orientar a expansão sustentável da cana-de-açúcar no país. Esta política, que teve como base critérios ambientais, econômicos e sociais, foi definida a partir do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAECana). Tal estudo estipulou as áreas mais propícias ao plantio da cultura, considerando tipos de clima, solo, biomas, declividade do terreno, e necessidade de irrigação, dentre outras características (EMBRAPA, 2009).

4.1.2 Aspectos relevantes sobre o cultivo de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, por ser uma cultura semiperene, pode ser aproveitada por vários ciclos consecutivos, antes de sua total renovação, por meio da substituição das mudas antigas. Uma vez plantada, esta gramínea é colhida por vários anos, até seu rendimento não ser mais economicamente viável. Nesse momento, é realizada a reforma

do canavial, que consiste no plantio de novas gemas ou toletes. Este complexo processo de cultivo gera uma divisão em classes de idade nas áreas exploradas com cana-de-açúcar. Esta divisão é relativamente importante, porque a produtividade de cada classe de idade é decrescente, isto é, quanto mais velha a planta, menos produtiva ela se torna (CONAB, 2013).

Um aspecto relevante sobre o cultivo de cana-de-açúcar consiste no desenvolvimento e experimentação de novas espécies da planta (CONAB, 2013). Estudos e pesquisas de novas variedades de mudas¹⁷ associadas ao clima, solo e manejo têm colaborado significativamente para o aumento da competitividade do setor. As novas variedades de cana-de-açúcar estão cada vez mais produtivas, com maior potencial de acúmulo de sacarose, resistentes às principais doenças e adaptadas às condições atuais de manejo.

Outra questão importante sobre o cultivo da cana-de-açúcar consiste na escolha adequada da época de plantio. Esta é fundamental para o bom desenvolvimento da cultura, que necessita de condições climáticas ideais para se desenvolver e acumular açúcar. Para o seu crescimento, a cana necessita de alta disponibilidade de água, temperaturas elevadas e alto índice de radiação solar. A cultura pode ser plantada em três épocas diferentes: sistema de ano e meio ou cana de 18 meses, sistema de ano ou cana de 12 meses, e plantio de inverno (CONAB, 2013). Cada um destes sistemas possui vantagens e desvantagens, sendo a cana de 18 meses a que apresenta, de modo geral, melhor produtividade e a cana de ano, a mais prática, já que permite dividir claramente o processo de cultivo em dois períodos distintos, otimizando assim, máquinas e pessoal.

Quanto às etapas de produção, pode-se dizer que a colheita da cana-de-açúcar foi a que mais sofreu mudanças nos últimos anos. Com as novas exigências socioambientais¹⁸ proibindo o emprego do fogo para a despalha da planta nos canaviais,

¹⁷ As mudas são canas jovens, com oito a dez meses, plantadas em condições ótimas, bem fertilizadas, com controle de pragas e doenças.

¹⁸ Leis e Protocolos, como a Lei Estadual 47.700, de 11 de março de 2003, e o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro, de 4 de junho de 2007, antecipam os prazos legais para a eliminação gradativa do emprego do fogo para a despalha da cana-de-açúcar nos canaviais paulistas. A extinção dessa prática, também conhecida como “queima controlada da palha da cana”, é de grande interesse agrícola e ecológico, pois estabelece prazos, procedimentos, regras e proibições que visam a regulamentar as queimas em práticas agrícolas.

a colheita manual vem sendo gradativamente substituída pela mecanizada. A mecanização da colheita, que hoje já representa mais de 50% de toda cana plantada no Brasil, não só reduz os impactos ambientais - por dispensar a queima de resíduos -, como também maximiza o rendimento operacional do procedimento e aumenta a produtividade e a longevidade da cultura. Por outro lado, apresenta desvantagens como o alto investimento na aquisição de maquinário e o aumento do desemprego, devido à diminuição da demanda de mão-de-obra não qualificada (NADAL, O. E., 2008).

4.1.3 Irrigação na cultura canavieira nacional

A irrigação na cana-de-açúcar ainda é uma tecnologia pouco disseminada e bem inicial em sua curva de aprendizagem. Na agroindústria canavieira nacional, ainda impera o conceito de utilizar a irrigação somente em regiões de menor precipitação, como o Nordeste, apenas para salvar a lavoura (PAIVA & ROBERTO, 2014). De acordo com alguns autores, o que se ganha em aumento de produtividade, se neutraliza pelo aumento do custo, o que leva as usinas a escolherem áreas para plantio mais seguras, que dispensem o investimento, como é o caso de São Paulo (SILVA *et al.*, 2014). Praticamente toda a cana produzida no estado de São Paulo é cultivada em condições de sequeiro, cuja tradição é sustentada no paradigma de que a irrigação de cana-de-açúcar é economicamente inviável nas condições de solo e clima apresentadas pela região (SILVA *et al.*, 2014).

Para se ter uma ideia, apenas 2% dos 9,5 milhões de hectares de cana plantada no Brasil são irrigados (PAIVA & ROBERTO, 2014). No entanto, diante dos prejuízos cada vez mais constantes impostos pelas mudanças do clima, a saída encontrada por muitos agricultores para garantir maior estabilidade à produção tem sido investir em tecnologia e conhecimento. O rendimento e a produção de açúcar e de etanol da cana-de-açúcar irrigada dependem de diversos fatores, tais como a quantidade de água aplicada, o manejo de irrigação, a variedade da cana-de-açúcar, a idade do corte, o tipo de solo e clima da região, dentre outros (DANTAS NETO *et al.*, 2006). Nos canaviais brasileiros, são muito utilizados os canhões em montagem direta ou carretel enrolador, especialmente quando se faz irrigação com vinhaça¹⁹. Outros sistemas automatizados

¹⁹ A vinhaça é um resíduo pastoso e malcheiroso gerado na produção do álcool. Para cada litro de álcool são produzidos cerca de 10 a 13 litros de vinhaça. Por ser rico em potássio e outros minerais, este material

que operam com pressões menores são os pivôs centrais, deslocamento linear e o gotejamento (DALRI & CRUZ, 2008).

O estudo de caso, a ser apresentado na secção 4.3 do presente trabalho, busca demonstrar como a irrigação, aliada à tecnologia, pode influenciar no desenvolvimento da cultura canavieira. Mais especificamente, como o método de irrigação por gotejamento subterrâneo pode promover saltos significativos de produtividade e de longevidade do canavial, mesmo em regiões com déficit hídrico e clima severo, como é o caso do Semiárido brasileiro.

4.2 Sobre o Semiárido brasileiro

O Brasil, por possuir dimensões continentais, apresenta grande diversidade climática, geológica e biológica, ora favoráveis, ora desfavoráveis à fixação e ao desenvolvimento do homem em seu território (IVIG – COPPE/UFRJ, 2011).

A região Nordeste, apesar de ser a segunda mais populosa do país, com mais de 55 milhões de habitantes, apresenta condições adversas à sobrevivência humana, como escassez hídrica e características climáticas severas (IBGE, 2015). De fato, é no Nordeste que se estende a maior parte do Semiárido brasileiro (anexo 1). Ocupando 18,2% (982.566 km²) do território nacional, o Semiárido se estende pelos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Minas Gerais. Além disso, abrange mais de 20% dos municípios brasileiros (1.135), abriga cerca de 12% (22,5 milhões) da população nacional e contém uma das bacias hidrográficas mais importantes do país: A Bacia do São Francisco (IBGE, 2015). No Semiárido ocorrem dois biomas principais: a Caatinga e o Cerrado. Ambos apresentam características climáticas severas, tais como: Precipitação pluviométrica baixa e irregular, sendo a média anual inferior a 800 mm e concentrada em uma única estação de três a cinco meses; Altas temperaturas, com elevadas taxas de evapotranspiração e balanço hídrico negativo durante parte do ano; Elevado índice de insolação (2.800

é reaproveitado nas plantações através da irrigação. O uso controlado da vinhaça é reconhecidamente uma boa prática na cultura da cana do ponto de vista ambiental e produtivo, pois permite a total reciclagem dos resíduos industriais, o aumento da fertilidade do solo, a redução da captação de água para irrigação, além da redução do uso de fertilizantes químicos e dos custos decorrentes.

h/ano); Baixa umidade relativa do ar; e solos predominantemente rasos, pouco permeáveis, sujeitos à erosão e de razoável fertilidade natural (FRANÇA, 2000).

Outro dado relevante sobre a região é o fato de que, segundo estudos do Ministério da Integração Nacional, a oferta insuficiente de água não ocorre pela falta de chuvas, mas pela alta taxa de evapotranspiração, aliada à má distribuição dos recursos hídricos no local (LINS & CARVALHO, 2005).

Devido às particularidades climáticas, biológicas e geográficas do Semiárido brasileiro, determinou-se, no início da década de sessenta, que o implemento da irrigação no território constituiria um potencial instrumento de promoção do desenvolvimento econômico para a região. Foi com esse pensamento que, durante a década de sessenta, surgiram os primeiros perímetros irrigados na região, por meio da implementação dos projetos-piloto de Mandacaru, na Bahia, e Bebedouro, em Pernambuco (IVIG – COPPE/UFRJ, 2011). Com o decorrer dos anos, diversos programas governamentais de desenvolvimento rural no Semiárido brasileiro foram criados, grande parte com o intuito de conter o êxodo rural e de ampliar as condições de fixação do homem ao campo (VALDES *et al.*, 2004). Dentre eles, destacam-se o Programa Plurianual de Irrigação, implementado em 1970 através da Política Nacional de Irrigação, o Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis (PROVARZEAS), em 1981, e o Programa de Fomento da Pequena Indústria Rural (PROFIR), em 2015. Atualmente, a região é tida como prioridade nacional, por tratar-se de um ponto estratégico e com potencial de expansão, abrigando projetos de irrigação de grande expressão no país, com cerca de 500 mil hectares irrigados em diversas culturas (IVIG – COPPE/UFRJ, 2011).

O polo Juazeiro e Petrolina, situado na divisa entre os estados de Pernambuco e Bahia, no submédio São Francisco, é uma das regiões do Semiárido que mais se destaca pelo acelerado crescimento da produção agrícola. É, inclusive, considerado por muitos autores como o Polo de irrigação de maior sucesso do Nordeste (ORTEGA & SOBEL, 2010). A região, segundo FRANÇA (2000), apresenta condições privilegiadas para o cultivo irrigado, tais como a disponibilidade de terra e de água de boa qualidade e em quantidade suficiente, assim como a alta insolação e a baixa umidade relativa do ar. Além disso, destaca-se pela proximidade ao hemisfério norte, o que facilita o escoamento da produção para mercados externos. Calcula-se, por exemplo, que a proximidade com o mercado europeu e norte-americano encurta o transporte marítimo

em até seis dias, quando comparado às cargas saídas de portos da região Sudeste (IVIG – COPPE/UFRJ, 2011). A Figura 4.2.1 delimita o Polo Juazeiro-Petrolina, situado na divisa entre os estados da Bahia e Pernambuco.

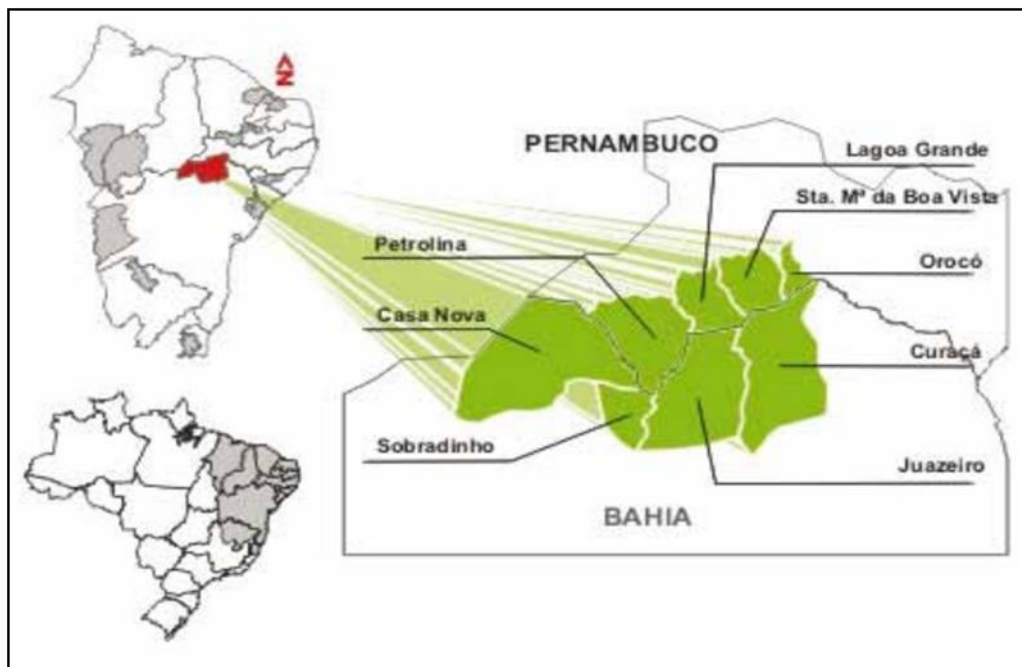


Figura 4.2.1: Localização geográfica do Polo Petrolina-Juazeiro.

Fonte: Banco do Nordeste do Brasil (BNB), 2007.

Atualmente, existem sete perímetros irrigados em funcionamento no Polo Juazeiro e Petrolina: Bebedouro, Senador Nilo Coelho e Maria Tereza, em Petrolina e Curacá, Maniçoba, Mandacaru e Tourão em Juazeiro. Estes foram implementados em diferentes épocas e condições, sendo Bebedouro o primeiro a ter sido construído no Polo, no ano de 1968 (ORTEGA & SOBEL, 2010). A agência responsável pela implementação e acompanhamento desses perímetros é a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF, antiga SUVALE.

As características climáticas e biológicas de cada perímetro irrigado da região variam de acordo com suas respectivas localizações. Para o Polo Juazeiro e Petrolina, a precipitação pluviométrica média anual gira em torno de 450 mm/ano, com períodos de chuva concentrados entre os meses de dezembro e março. Além disso, apresenta

evapotranspiração potencial média de aproximadamente 2.000 mm anuais e déficit hídrico médio em torno de 1.650 mm/ano (CODEVASF, 1999).

Apesar de, em cada perímetro implantado pela CODEVASF, existirem “áreas de colonização” e “áreas de empresas”, isto é, zonas destinadas à agricultura familiar e zonas de agricultura extensiva, este trabalho foi dirigido ao estudo destes últimos.

4.3 Apresentação do estudo de caso

4.3.1 Descrição do caso

O caso selecionado para análise foi o da Agroindústria do Vale do São Francisco S.A. (Agrovale), uma das principais produtoras de açúcar, etanol e bioenergia do país. Localizada a 370 metros acima do nível do mar, no perímetro de Tourão, no município de Juazeiro (BA), a companhia sucroenergética foi fundada em 1972 e teve sua primeira safra de cana-de-açúcar em 1980. Com sua área de cultivo completamente irrigada – cerca de 16.000 ha – é a empresa âncora do perímetro de Tourão, ocupando mais de 90% da área irrigável (AGROVALE, 2015).

Em 2007, a Agrovale, com o auxílio da Netafim²⁰, deu início a um processo de modernização dos seus sistemas de irrigação, com o intuito de aprimorar os seus processos e de aumentar a produtividade dos seus canaviais. O projeto consistiu na implementação de 3.080 ha de um sistema automatizado de irrigação por gotejamento subsuperficial, combinado com fertirrigação, no cultivo de cana-de-açúcar. O programa incluiu uma solução de irrigação completa, do bombeamento da água do reservatório até a transferência do recurso hídrico, por meio das tubulações, para o sistema de gotejamento no campo. A Netafim, além de auxiliar na instalação do sistema, ofereceu treinamentos e prestou suporte técnico e agrônômico contínuo aos funcionários e executivos da Agrovale, de modo a garantir o sucesso do empreendimento.

A primeira etapa referente à implantação do canal foi o planejamento da área. Levantamentos topográficos da área disponível para o plantio foram realizados e, uma vez selecionada, uma sistematização do terreno foi feita. Uma casa de bomba perto do

²⁰ Netafim é uma companhia israelense especializada em sistemas de irrigação. Fundada em 1965, atua em mais de 110 países oferecendo soluções de irrigação por gotejamento e microaspersão.

reservatório foi erguida e testes de vazão e pressão hídrica foram efetuados. A água é bombeada diretamente do rio São Francisco e tratada em pequenas estações anexas ao reservatório. Para a instalação e soterramento dos tubos gotejadores, foram utilizados tratores específicos, conforme ilustrado na Figura 4.3.1.



Figura 4.3.1: Implementação dos tubos gotejadores por meio de tratores.

Fonte: NETAFIM, 2015.

Os tubos foram enterrados a uma profundidade de 20 centímetros, e o espaçamento entre os mesmos foi de 1,8 metros (NETAFIM, 2015). Para cada linha de gotejadores foram plantadas duas linhas de cultivo, conforme apresentado pela Figura 4.3.2.

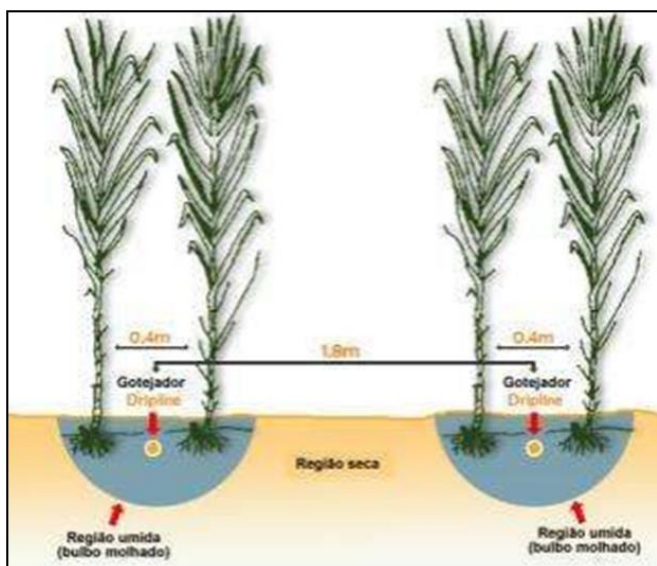


Figura 4.3.2: Irrigação por gotejamento subsuperficial no cultivo de cana-de-açúcar.

Fonte: NETAFIM, 2015.

O espaçamento entre cada gotejador da mesma linha foi de 0,5 metros e o gotejamento, com vazão média de 0,6 L/h, foi programado para durar oito horas por dia, em média, formando um bulbo de umidade em todo o sistema radicular da planta (NETAFIM, 2015). Cabe lembrar que esta configuração de profundidade, vazão, espaçamento entre linhas gotejadoras e entre cada emissor de uma mesma tubulação varia de cultura para cultura. O sistema de irrigação para o cultivo de milho, por exemplo, é mais caro do que o da cana, pois requer um menor espaçamento entre cada linha e entre os gotejadores de uma mesma linha, demandando então mais tubulações para cobrir a área a ser irrigada (NETAFIM, 2015).

Quanto à automação do sistema, tensiômetros²¹ foram instalados ao longo das linhas gotejadoras, para monitorar a quantidade de água retida no solo. O volume de água é calculado respeitando a evapotranspiração de cada dia e em cada local da propriedade. A evapotranspiração considera a temperatura do ambiente e quanto foi transpirado pelas plantas na atmosfera. Todas essas informações são compiladas por um computador central situado na casa de bomba e, a partir disso, tem-se a necessidade de reposição de água. Este poderoso software, capaz de programar a irrigação por tempo e quantidade, monitora todas as válvulas e sensores espalhados, indicando alterações, em tempo real, de acordo com os dados pré-programados (NETAFIM, 2015). O sistema 100% automatizado, ao redefinir pressão, tempo de gotejo e distribuição de nutrientes de acordo com a demanda de cada momento, garante a melhor performance do cultivo.

Segundo supervisor da Netafim, a preparação do terreno e a implementação de todo o sistema de irrigação durou cerca de 6 meses. Uma vez implementados, mudas de cana foram plantadas ao longo das linhas gotejadoras, em uma proporção variando entre 10 e 15 toneladas por hectare. A Figura 4.3.3 apresenta o conjunto reservatório, casa de bombas e área de cultivo, após a plantação das mudas.

²¹ Tensiômetros são equipamentos que medem a tensão ("força") com que a água é retida pelo solo, a qual afeta diretamente a absorção de água pelas plantas. As unidades de medida podem ser em kPa, cbar, mmHg e cmH₂O.



Figura 4.3.3: Plantio de cana-de-açúcar - área de cultivo, casa de bombas e reservatório.

Fonte: NETAFIM, 2015.

4.3.2 Proposição de metodologia a ser utilizada para o estudo de caso

Esta seção tem como objetivo apresentar uma proposição de metodologia para a avaliação comparativa dos diferentes métodos de irrigação. Esta metodologia será utilizada para uma análise crítica dos resultados da implementação do método de gotejamento subsuperficial na Agrovale, que será foco do estudo de caso, apresentado nesta dissertação.

A metodologia apresentada poderá servir de suporte para a avaliação comparativa do desempenho e seleção de diferentes métodos de irrigação, em diferentes culturas e ambientes, observando-se as especificidades de cada caso.

Para o desenvolvimento da metodologia voltada para o caso da cana-de-açúcar no Semiárido, implementado pela Agrovale, serão definidas as variáveis que deverão ser consideradas, assim como os critérios de ponderação que serão utilizados para a seleção do método de irrigação mais adequado.

A definição das variáveis baseou-se em pesquisa literária e prospecção de tecnologias aplicadas no mercado, conforme ilustrado pelas tabelas 3.6.1, 3.6.2, 3.6.3 e 3.6.4 deste trabalho. Os critérios de ponderação foram construídos a partir do suporte provido por um consultor com quinze anos de experiência reconhecida pelo mercado na implementação de sistemas de irrigação.

Neste estudo de caso, será feita uma avaliação comparativa do desempenho de três diferentes métodos de irrigação, muito utilizados no cultivo de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro: irrigação por sulcos; pivô central; e gotejamento subsuperficial.

O método de irrigação por Carretel Enrolador com vinhaça, apesar de muito utilizado neste tipo de cultivo, não fará parte desta análise, pois a Agrovale não se baseia nesta tecnologia em seus cultivos, e a falta de dados referentes ao mesmo poderia comprometer a análise final.

4.3.2.1 Variáveis e critérios de ponderação

As variáveis consideradas relevantes na escolha do método de irrigação mais adequado para o cultivo de cana-de-açúcar, em regiões brasileiras com estresse hídrico, estão descritas a seguir:

- 1- produtividade média anual, definida como toneladas de cana produzida anualmente por hectare (TCH);
- 2- produtividade hídrica média anual, definida como quilos de cana-de-açúcar produzidos por metro cúbico de água utilizada (kg/m^3);
- 3- longevidade do canavial, definida como a quantidade de ciclos produtivos até que o rendimento não seja mais economicamente viável (ciclos / safras);
- 4- adaptabilidade do sistema de irrigação, definida como a capacidade de determinado método de se adequar a diferentes topografias, declividades e terrenos;
- 5- eficiência na aplicação de defensivos e fertilizantes;
- 6- consumo energético do método, por meio da queima de combustíveis para o bombeamento e do uso de tratores e maquinários no cultivo;
- 7- vulnerabilidade do método à variações climáticas, tais como efeitos do vento e geadas;
- 8- possibilidade de disseminação de doenças por meio da água aplicada pelo método de irrigação;
- 9- custos de investimento (CAPEX) – custos de aquisição, preparação do terreno, instalação, logística, sobressalentes, impostos, tributos, dentre outros (R\$); e
- 10- custos de operação (OPEX) – custos de operação, manutenção, inspeção, mão-de-obra, maquinário, sobressalentes, logística e insumos (R\$).

Cabe ressaltar que estas variáveis foram selecionadas especificamente para o caso do cultivo canavieiro em regiões de estresse hídrico. Desse modo, pode-se dizer que as variáveis consideradas relevantes para a escolha do método de irrigação mais

adequado dependem intrinsecamente das condições e do tipo de cultivo que se deseja produzir.

A Tabela 4.3.1 apresenta uma proposição de critérios para a ponderação de importância das diferentes variáveis citadas, que serão utilizadas para a seleção do método de irrigação mais adequado. A ponderação varia de 1 a 3, sendo 3 a nota de maior peso na escolha final do produtor de qual método de irrigação implementar em sua cultura.

Tabela 4.3.1: Proposição de critérios para ponderação de variáveis.

CRITÉRIO	PESO
1- Produtividade média anual	3
2- Produtividade hídrica média anual	3
3- Longevidade do canavial / Preservação do solo	3
4- Adaptabilidade do sistema de irrigação	2
5- Eficiência na aplicação de defensivos e fertilizantes	2
6- Consumo energético	2
7- Vulnerabilidade a variações climáticas	2
8- Possibilidade de disseminação de doenças	2
9- Custos de investimento (CAPEX)	3
10- Custos de operação (OPEX)	3

Fonte: Elaboração própria.

Para o cálculo do indicador final, a ser utilizado na seleção do método de irrigação, também será considerado um critério de pontuação, conforme apresentado na Tabela 4.3.2. A pontuação, variando de 1 a 5, visa atribuir uma nota para qualificação de cada uma das variáveis definidas anteriormente, de acordo com o método de irrigação estudado.

Tabela 4.3.2: Pontuação para qualificação das variáveis utilizadas no estudo de caso.

PONTUAÇÃO	CATEGORIZAÇÃO
1	Ruim
2	Razoável
3	Bom
4	Muito bom
5	Ótimo

Fonte: Elaboração própria.

Para as variáveis de caráter negativo, isto é, variáveis nº 6, 7, 8, 9 e 10 da Tabela 4.3.1, quanto maior o efeito negativo do método para determinada variável, menor será a nota dada ao mesmo. Dessa forma, quanto maiores as possibilidades de disseminação de doenças e o consumo energético apresentados pelo método de irrigação, menor será a nota dada ao mesmo. Da mesma forma, quanto maiores os custos de investimento e de operação do sistema de irrigação, menor será a pontuação deste sistema para esta variável.

A pontuação total, referente a cada método, foi calculada por meio do somatório dos produtos, compostos pela pontuação da qualificação de cada variável - variando entre 1 e 5 -, multiplicada pelo seu respectivo peso, conforme fórmula a seguir:

Total = $\sum (V.P)$, sendo “V” a pontuação dada à variável para determinado método (Tabela 4.3.3) e “P” o peso da variável (Tabela 4.3.1).

4.3.2.2 Aplicação da metodologia no estudo de caso

A seguir, é apresentada a Tabela 4.3.3, referente à avaliação comparativa dos três métodos de irrigação utilizados pela Agrovale no cultivo de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro: irrigação por Sulcos; Pivô Central; e Gotejamento Subsuperficial.

Para cada um dos métodos, foi atribuído um valor final, expresso pelo somatório do produto da qualificação das variáveis pré-definidas, multiplicado pela pesagem de suas respectivas importâncias. O indicador provê suporte para o processo de tomada de decisão quanto à seleção do método de irrigação mais adequado a cada caso.

O preenchimento das Tabelas Tabela 4.3.1, Tabela 4.3.2 e Tabela 4.3.3 foi elaborado por um consultor agrícola que atua na área de tecnologias de irrigação há mais de quinze anos.

Tabela 4.3.3: Estudo de caso – indicador final para a seleção de métodos de irrigação.

VARIÁVEIS	MÉTODOS	Sulcos	Pivô Central	Gotejamento Subsuperficial
1- Produtividade média anual		1 x 3	3 x 3	5 x 3
2- Produtividade hídrica média anual		1 x 3	3 x 3	5 x 3
3- Longevidade do canavial		1 x 3	3 x 3	5 x 3
4- Adaptabilidade do sistema de irrigação		1 x 2	4 x 2	4 x 2
5- Eficiência na aplicação de defensivos e fertilizantes		1 x 2	2 x 2	5 x 2
6- Consumo energético		5 x 2	2 x 2	4 x 2
7- Vulnerabilidade do sistema à variações climáticas		3 x 2	2 x 2	4 x 2
8- Possibilidade de disseminação de doenças		2 x 2	1 x 2	3 x 2
9- Custos de investimento (CAPEX)		5 x 3	2 x 3	1 x 3
10- Custos de operação (OPEX)		4 x 3	3 x 3	2 x 3
TOTAL*		60	70	94

Fonte: Elaboração própria.

* **Total** = $\sum (V.P)$, sendo “V” a nota da variável para determinado método (Tabela 4.3.3) e “P” o peso da variável (Tabela 4.3.1).

4.3.3 Análise comparativa dos resultados obtidos pela metodologia aplicada e pelo estudo de caso

4.3.3.1 Análise dos resultados da metodologia aplicada

Ao analisar os resultados obtidos pela Tabela 4.3.3, observa-se que a tecnologia de gotejamento subsuperficial é, dentre os três métodos estudados, aquele que apresenta a maior pontuação geral, e, segundo a metodologia proposta, é o método mais indicado para o cultivo de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro. A pontuação final da tecnologia de gotejamento subsuperficial foi de 94 pontos, contra 70 do método de pivô central e 60 da irrigação por sulcos. Para uma análise mais completa, é preciso desmembrar esta pontuação geral, de modo a analisar as pontuações recebidas por cada método para cada uma das variáveis propostas.

Quanto à produtividade média anual, a pontuação proposta pelo consultor agrícola para os três métodos é, segundo a literatura revisada no capítulo 3 deste trabalho, considerada razoável. Métodos de precisão, como é o caso do gotejamento subterrâneo, por fornecerem água e fertilizantes na quantidade, no local e no momento que a planta demanda, auxiliam no aumento significativo da produtividade final. Em seguida, encontram-se os métodos por aspersão, tais como o pivô central, que apresentam ganhos de produtividade frente a métodos por superfície, já que podem ser totalmente automatizados.

Quanto à produtividade hídrica média anual, a pontuação recebida para os três métodos também é apropriada, pois condiz com os conceitos apresentados pela literatura. A tecnologia do gotejamento subsuperficial, por não perder água por efeitos de evaporação, e por aplicar a água apenas na zona radicular da planta, permite um aumento expressivo da produtividade hídrica do cultivo. Métodos por superfície, como a inundação e a irrigação por sulcos, costumam utilizar muita água nos plantios e, portanto, apresentam baixa produtividade hídrica em seus cultivos. Métodos por aspersão, como o pivô central, aonde a água é distribuída uniformemente, reproduzindo o efeito da chuva, apresentam produtividade hídrica média, já que a água é aplicada superficialmente e está sujeita a efeitos de evaporação.

Quanto à longevidade do canavial, a pontuação recebida pelos três métodos também é condizente com os conceitos apresentados pela literatura. A tecnologia de gotejamento subsuperficial, unida à fertirrigação, preserva as condições do solo,

permitindo um aproveitamento mais duradouro do mesmo. Por outro lado, métodos por superfície, como a irrigação por sulcos, costumam apresentar problemas de salinização do solo, reduzindo, assim, a vida útil do mesmo.

Quanto à adaptabilidade do sistema de irrigação, a pontuação obtida pelos três métodos de irrigação também é adequada. Métodos por superfície, como a irrigação por sulcos, exigem que a área de cultivo apresente pequena declividade, o que requer, em boa parte dos casos, uma sistematização do terreno. Já as tecnologias de pivô central e gotejamento subsuperficial apresentam vantagens neste quesito, por serem adaptáveis às mais diversas condições de terreno, tais como declividade e topografia irregular.

Para o quesito “eficiência na aplicação de defensivos e fertilizantes”, a pontuação indicada pela Tabela 4.3.3 também é aceitável. A análise para este quesito é semelhante à explicação dada à produtividade hídrica média anual. Devido à fertirrigação, métodos como o gotejamento subsuperficial apresentam uma maior eficiência na aplicação de fertilizantes e defensivos. Métodos por superfície, como a irrigação por sulcos, costumam ser menos eficientes neste quesito, já que requerem quantias maiores de agroquímicos e estes nem sempre atingem a planta. Para métodos por aspersão, esta eficiência é considerada média, já que os agroquímicos são aplicados na superfície da planta e, muitas vezes, em quantidades maiores do que o necessário.

No que tange o consumo energético de cada tecnologia de irrigação, a pontuação dada ao método de sulcos não está de acordo com os conceitos apresentados pela revisão literária do capítulo 3 deste trabalho. Este método, apesar de, a priori, não demandar energia para o seu funcionamento, quando mal manejado, apresenta uma série de problemas, como, por exemplo, a salinização do solo. Tais problemas só são solucionados por meio do bombeamento da água e, em alguns casos, podem até ocasionar a mudança da área de cultivo. Tais procedimentos, quando utilizados, requerem muito trabalho e energia e, por esta razão, a pontuação que me parece mais razoável para o método de sulcos neste quesito é 3, ao invés de 5. Para os métodos de gotejamento e de pivô central, a pontuação dada é aceitável, visto que o pivô central, por ser um sistema pressurizado, é um grande consumidor de energia.

Cabe ressaltar que, para este quesito de consumo energético, não estão sendo consideradas as fontes de energia renováveis, como a solar e a eólica. Pressupõe-se que a energia fornecida para o sistema de irrigação deriva de combustíveis poluentes, tais como o óleo diesel.

Quanto à variável “vulnerabilidade do sistema à variações climáticas”, a pontuação recebida pelos três métodos está de acordo com os conceitos da literatura revisados no capítulo 3 deste trabalho. É sabido que métodos de aspersão, como o pivô central, são mais sensíveis à variações climáticas, tais como efeito dos ventos e das elevadas temperaturas. Nestes métodos, o efeito dos ventos costuma afetar na uniformidade de distribuição da água, já que a mesma é aplicada a certa altura. Este desequilíbrio acaba prejudicando a eficiência de aplicação da água no cultivo. Além disso, tais métodos também sofrem efeitos causados por elevadas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, já que parte da água aplicada superficialmente é evaporada.

Para o sistema de gotejamento subterrâneo, os efeitos do vento e as perdas de água por evaporação são desprezíveis, já que as tubulações e emissores são enterrados.

Quanto à variável “possibilidade de disseminação de doenças” dos diferentes sistemas de irrigação, a pontuação apresentada pela Tabela 4.3.3 está condizente com os conceitos revisados no capítulo 3 deste trabalho. Métodos por aspersão, como pivô central e carretel enrolador, podem propiciar o desenvolvimento de doenças foliares, já que a água é aplicada na superfície da planta. O mesmo ocorre na irrigação por sulcos. Já a irrigação por gotejamento subsuperficial, por aplicar a água diretamente na raiz das plantas, apresenta menor possibilidade de disseminação de doenças do que as outras tecnologias analisadas.

Quanto ao custo de investimento dos diferentes métodos, tenho críticas à pontuação apresentada para o método de sulcos. Tal método, apesar de menos tecnológico do que os outros, muitas vezes demanda uma sistematização do terreno para o seu bom funcionamento. Este processo costuma ser trabalhoso e custoso. Se considerado, este fator elevaria significativamente o CAPEX do sistema como um todo. A pontuação que mais adequada para este método seria 3, ao invés de 5.

Quanto aos custos de operação, também tenho críticas à pontuação apresentada para o método de sulcos. Se mal manejada, a irrigação por sulcos pode apresentar elevados custos de manutenção, elevando o OPEX do sistema como um todo. A pontuação deste método para a variável “custo de operação” mais adequada seria 3, ao invés de 4.

Uma vez analisadas as pontuações dadas às diferentes variáveis pela metodologia proposta, serão apresentados, a seguir, os resultados obtidos pelo estudo de

caso na Agrovale. Por fim, será realizada uma análise dos resultados da Agrovale, à luz da metodologia proposta.

4.3.3.2 Análise dos resultados do caso da Agrovale

Após os três primeiros cortes do canavial, posteriores à implementação do projeto de irrigação por gotejo subterrâneo, realizou-se um levantamento dos rendimentos das diferentes colheitas de cana-de-açúcar da Agrovale. Os resultados, exibidos na Tabela 4.3.4, figuram o rendimento médio anual obtido pela colheita aonde foi implementado o sistema de gotejamento subsuperficial, assim como o de antigas áreas da Agrovale irrigadas por pivô central e por sulcos.

Tabela 4.3.4: Produtividade média anual de cana-de-açúcar irrigada por métodos distintos, em toneladas de cana por hectare.

MÉTODOS	PLANTA (TCH)	2ª FOLHA (TCH)	3ª FOLHA (TCH)	MÉDIA GERAL (TCH)
Gotejo	239,84	161,54	145,58	182,32
Pivô	136,70	111,88	106,52	118,37
Sulco	122,33	98,09	79,50	99,97

Fonte: NETAFIM, 2015.

Ao analisar a Tabela 4.3.4, observa-se que, para todos os métodos, o rendimento de toneladas de cana por hectare (TCH) reduziu. No entanto, ao comparar a média geral do rendimento de cada sistema ao longo das três primeiras safras, fica evidente o aumento de produtividade gerado pelo método de gotejamento subsuperficial. Quando comparada ao método por sulco, responsável por mais de 50% de toda área irrigada da Agrovale, nota-se que a produtividade aumentou em 82%. Se comparada ao método por pivô central, responsável por cerca de 1.100 hectares de toda cana irrigada pela Agrovale, o aumento foi de 54% (NETAFIM, 2015).

Quanto à produtividade hídrica média anual, isto é, quantos quilos de cana-de-açúcar foram produzidos por cada metro cúbico de água utilizado, os resultados também foram surpreendentes. Pelo método de gotejo subterrâneo, a produtividade hídrica média anual foi de 10,71kg/m³, comparado a 7,79kg/m³ pela técnica de pivô central e

6,74kg/m³ pela irrigação por sulco (NETAFIM, 2015). Em outras palavras, pode-se dizer que, neste quesito, o método por gotejamento foi 35% e 59% mais eficiente que os sistemas por pivô central e por sulco, respectivamente.

Além do aumento de produtividade e do uso racional de água, a irrigação por gotejamento subterrâneo também se mostrou mais econômica na aplicação de fertilizantes e no uso de maquinário e de mão-de-obra (NETAFIM, 2015). Graças à combinação do gotejamento com a fertirrigação²², toda a adubação²³ do cultivo foi realizada por meio do gotejo, reduzindo assim a quantia aplicada de fertilizantes e dispensando o uso de maquinário como tratores, antes utilizados para este fim. Além disso, esta combinação do gotejamento com a fertirrigação também apresentou melhoria na qualidade da cana, que apresentou maiores acúmulos de sacarose do que quando cultivada por outros métodos (NETAFIM, 2015).

Outro aspecto relevante sobre a tecnologia de gotejamento consistiu no aumento da longevidade do canal. Segundo Edward Douglas Pereira, superintendente da Agrovale que acompanhou de perto todo o processo de instalação e experimentação do sistema por gotejo, a tecnologia de gotejamento subterrâneo se manteve por 12 ciclos consecutivos sem manifestar perda significativa de sua produtividade. Por meio desta técnica, o canal apresentou produtividade média anual de cana de 135 toneladas por hectare em 12 cortes anuais, contra 108 ton/ha em 8 cortes pela irrigação por pivô central e 100 ton/ha em 6 cortes pelo método por sulco. Cabe lembrar que a reforma do canal, que ocorre toda vez que o rendimento da produção não é mais economicamente viável, consiste em um procedimento complexo e trabalhoso que envolve fatores de ordem técnica, operacional e financeiro da empresa (CONAB, 2013). Dessa forma, pode-se dizer que a tecnologia de irrigação por gotejamento subsuperficial promove, no longo prazo, praticidade e economia para o agricultor.

²² Fertirrigação: Também conhecida como quimigação, trata-se da aplicação de fertilizantes, líquidos ou solúveis, dissolvidos em água através do sistema de irrigação de forma parcelada e eficiente. Não só adubos são aplicados por meio da água de irrigação, mas também inseticidas, fungicidas, herbicidas e reguladores de crescimento.

²³ Adubação é a prática agrícola que consiste no fornecimento de adubos ou fertilizantes ao solo, de modo a recuperar ou conservar a sua fertilidade, suprimindo a carência de nutrientes e proporcionando o pleno desenvolvimento das culturas vegetais. A adubação correta aumenta a produtividade agrícola.

Quanto ao aspecto financeiro, embora a tecnologia por gotejamento subterrâneo apresente alto custo de implantação – para canaviais, entre R\$ 8.000 e R\$ 10.000 por hectare -, seu retorno, em termos de produtividade, é tão alto que o projeto se paga rapidamente. No caso da Agrovale, o *payback*²⁴ do projeto se deu em pouco mais de três anos após a implementação do gotejamento (NETAFIM, 2015). Vale ressaltar que este retorno de investimento se dá em função de diversos fatores como, por exemplo, o tipo de cultura e o tamanho da área cultivada. Em um cafezal de 100 hectares irrigado por gotejamento subsuperficial, por exemplo, avalia-se que este retorno ocorra em até um ano (NETAFIM, 2015). Em todo caso, após este período de recuperação financeira, todo o aumento de produtividade é convertido em lucro, tornando a aplicação desta tecnologia em um negócio rentável.

4.3.3.3 Análise dos resultados da Agrovale, à luz da metodologia proposta

Ao analisar os resultados obtidos pela implementação do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial na usina Agrovale, é possível validar a metodologia proposta para a seleção do método de irrigação mais adequado em cultivos canavieiros no Semiárido brasileiro. Os resultados apresentados pelo caso da Agrovale e pela metodologia proposta são condizentes e apontam para uma mesma conclusão: de que é vantajosa a implementação do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em canaviais situados em regiões com estresse hídrico. Esta tecnologia, segundo os resultados do item 4.3.3.2, representou um avanço para o setor sucroalcooleiro da Agrovale. Dentre os benefícios apresentados, destacam-se o melhor rendimento de cana-de-açúcar por hectare, o aumento da longevidade do canal, a simplicidade e praticidade da operação, a eficiência na aplicação de água e fertilizantes, a redução de risco da atividade frente às variações climáticas e o aumento de previsibilidade da produção.

Quanto às variáveis de custo – CAPEX E OPEX -, infelizmente, o acesso a informações para o caso da Agrovale foi restrito, limitando-se apenas a conceitos e ao tempo de *payback* do projeto. Apesar do alto investimento inicial, o aumento expressivo da produtividade agiliza o período de recuperação financeira, e, após isso, todo o

²⁴ *Payback* é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento.

aumento de produtividade é convertido em lucro, fazendo com que a aplicação desta tecnologia torne-se um negócio rentável e prático.

No entanto, cabe ressaltar que estas variáveis de custo são extremamente importantes no processo de decisão de qualquer projeto, e devem ser desmembradas e detalhadas ao máximo, sempre que possível, de modo a obter-se uma análise mais completa, respeitando-se as singularidades de cada caso analisado.

A metodologia de avaliação comparativa dos diferentes métodos de irrigação se mostrou eficiente para o caso do cultivo de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro. Para que a mesma possa ser utilizada no processo de decisão de outros cultivos e localidades, é necessária a análise das variáveis utilizadas e de suas respectivas ponderações, considerando-se caso a caso.

5 Conclusões e recomendações

Face às atuais restrições espaciais, de recursos hídricos e de crescimento populacional, as tecnologias de irrigação assumem status de ciência moderna e hoje são tidas como uma das principais soluções no combate à escassez de recursos.

A escolha do método de irrigação constitui fator determinante para o sucesso de qualquer empreendimento agrícola. Outros fatores, tais como a realização criteriosa do projeto, o uso de aparato adequado, os cuidados no decorrer da implantação do sistema, assim como a boa manutenção do mesmo também contribuem para o bom resultado.

Os sistemas de irrigação são diferenciados pela maneira ou local no solo onde a água é disponibilizada à planta, podendo ser classificados em quatro grupos: irrigação por superfície, por aspersão, localizada e subterrânea.

Como a irrigação ocorre em diferentes meios e condições, não é possível apontar um método de irrigação ideal, capaz de atender da melhor forma possível todas as condições do espaço físico, a grande variedade de culturas e os interesses econômicos, sociais e ambientais de todos os envolvidos. Uma análise criteriosa deve ser realizada para cada caso em particular, ponderando os fatores citados anteriormente em função das características de cada sistema e da análise econômica de cada alternativa.

No que tange o cultivo de cana-de-açúcar em regiões com estresse hídrico, um dos métodos de irrigação que mais tem se destacado é o gotejamento subsuperficial combinado com fertirrigação.

Para testar esta hipótese, foi proposto neste trabalho, além da análise de um estudo de caso, uma metodologia de avaliação comparativa para uma seleção adequada do método de irrigação. O estudo de caso consistiu na implementação de um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, combinado com fertirrigação, nos canais da usina Agrovale, situada no polo Juazeiro-Petrolina, no Semiárido brasileiro. Quanto à metodologia de avaliação comparativa proposta, variáveis foram classificadas e ponderadas, e uma pontuação referente à performance de cada método de irrigação foi dada a cada uma delas. O preenchimento destas informações foi realizado por um consultor agrícola, com mais de 15 anos de experiência na área de tecnologias de irrigação.

Os resultados obtidos pela metodologia e pelo estudo de caso da Agrovale apontam para uma mesma conclusão, de que a tecnologia de irrigação por gotejamento

subsuperficial, combinado com fertirrigação, é o método mais indicado para cultivos de cana-de-açúcar em regiões com estresse hídrico. Dentre os benefícios apresentados por esta tecnologia, destacam-se o melhor rendimento de cana-de-açúcar por hectare, o aumento da longevidade do canavial, a melhoria da qualidade do produto final, a maior simplicidade e praticidade da operação, a maior eficiência na aplicação de água e de fertilizantes, o aumento da previsibilidade da produção, e a redução de risco da atividade.

A metodologia proposta para prover uma fundamentação de suporte para o processo de tomada de decisão se mostrou eficiente no caso da cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro. Para que a mesma possa ser utilizada no processo de decisão de outros cultivos e localidades, é necessária a análise crítica das variáveis determinadas e de suas respectivas ponderações, considerando-se caso a caso.

Quanto aos problemas encontrados no decorrer deste trabalho, destacam-se o difícil acesso a informações específicas sobre custos e especificações do projeto da Agrovale, além da lenta comunicação com o consultor agrícola, no que tange o preenchimento das tabelas da metodologia proposta.

Como recomendação para trabalhos futuros, outros aspectos que podem ser explorados são os estudos relacionados ao impacto social que as tecnologias de irrigação proporcionam. Embora muito significativos, tais análises não foram foco deste trabalho.

Por fim, além das tecnologias de irrigação, outras ferramentas para o atendimento da demanda global por alimentos e no combate à escassez hídrica vêm ganhando força. Dentre elas, destacam-se os estudos envolvendo mudança genética, tais como os alimentos transgênicos, e o desenvolvimento de processos de tratamento de esgoto e de dessalinização.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2004. *Agricultura Irrigada e o Uso Racional da Água*. Superintendência de Conservação de Água e Solo, Brasília, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2013. *Relatório de conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html>. Acessado em setembro de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2015. *Relatório de conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_2015.pdf>. Acessado em setembro de 2016.

AGRISHOW. 2016. *Três fatores que você deve considerar em um projeto de irrigação*. Disponível em: <http://agrishow.com.br/blog/tres-fatores-que-voce-deve-considerar-em-um-projeto-de-irrigacao/>. Acessado em 20/05/2016.

AGROVALE, 2016. Disponível em: <<http://www.agrovale.com/?sessao=historico>>. Acesso em junho/2016.

ANDRADE, C.L.T., 2001. *Seleção do sistema de irrigação*. Sete Lagoas: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, dezembro de 2001.

ANDRADE, C.L.T. E BRITO, R. 2009. *Milho e Sorgo. Cultivo do Milho*. Embrapa. Sistemas de Produção, 2. ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 5ª edição : Set., 2009.

ANDRADE, R. S., 2010. *Irrigação por Superfície: Sulco e Inundação*. Universidade Federal do Mato Grosso, curso de Agronomia, departamento de Solo, Cuiabá – MT, junho de 2010.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL (BNB). *Polos de desenvolvimento integrado. Polo Petrolina/Juazeiro – Localização*. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/Polos_Desenvolvimento/Polo_Petrolina_Juazeiro/gerados/polo_petrojua_localizacao.asp>. Acesso em agosto/2016.

BRITO, R.R.; GOMES, E.R.; e LUDWIG, R. 2012. *Uso Da Água Na Irrigação*. ANAP: VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n.2, p. 373-383, 2012.

CHEQUIN, B. G.; GRANDI, G., 2016. *O Setor Sucroalcooleiro Brasileiro: Origem e Desenvolvimento*. 6ª Conferência Internacional de História Econômica e VIII Encontro de Pós-Graduação em História Econômica, São Paulo, julho de 2016. Disponível em: <

http://www.abphe.org.br/uploads/Textos%20Encontro%20P%C3%B3s%20ABPHE%202016/CHEQUIN_Bruno_Giovani.pdf>. Acesso em agosto/2016.

CHRISTOFIDIS, D., 2002. *Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos*. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília: ABID, n.54,p. 46-55, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. *et al.*, 2004. *O uso da irrigação no Brasil*. Instituto Interamericanos de Cooperação para a Agricultura - IICA, 2004.

CHRISTOFIDIS, D., 2013. *Água, Irrigação e Agropecuária Sustentável*. Revista de Política Agrícola : Ano XXII – No 1 – Jan./Fev./Mar., 2013.

CHRISTOFIDIS, D., 2015. Disponível em:<<https://www.youtube.com/watch?v=fI7urLwDMHs>>. Acessado em setembro de 2016.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF), 1999. Disponível em:<<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/tourao>>. Acesso em março 2016.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF), 2006. Polos de desenvolvimento, Juazeiro/Petrolina, 26 jul. 2006. Disponível em: <http://www.codevasf.gov.br/programas_acoes/polos-de-desenvolvimento/juazeiro-petrolina>. Acesso em julho/2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), 2010. *Perfil do Setor do Açúcar e do Alcool no Brasil – Edição para a Safra 2008-2009*, Brasília, maio de 2010. Disponível em:<http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/Perfil_Sucroalcooleiro_2008_09_versao_publicada.pdf>. Acesso em março/2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), 2013. *Perfil do Setor do Açúcar e do Alcool no Brasil – Safra 2011-2012, volume 5*, Brasília, 2013. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_10_02_11_28_41_perfil_sucro_2012.pdf>. Acesso em março/2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), 2016. *Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar - Safra 2015/16 - quarto levantamento*, Brasília, abril de 2016. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em maio e junho/2016.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. *Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial*. Irriga, Botucatu, v. 28, n.3, p. 516-524, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2009. *Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro*. Relatório Técnico da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, setembro de 2009. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2010/14408/1/ZonCana.pdf>>. Acesso em junho/2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2010. *Desafios e perspectivas da agricultura irrigada*. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/documents/10157/3672008/Desafios++perspectivas+da+agricultura+irrigada+por+Marcos+Braga.pdf/f8310e7e-a755-4160-b86f-4265aee37a18>>. Acesso em junho/2016.

FACHIN, ODÍLIA. *Fundamentos de metodologia*. São Paulo: Saraiva. 2001.

FARIA, CLAUDIA DE O. *Governança da biodiversidade sob a perspectiva de sistemas sócio-ecológicos: o caso do bioma da mata Atlântica*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, junho de 2016.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DO PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO – FEBRADP, 2014. *Irrigação – Alternativa para Aumento da produção Agrícola*. 14º Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, Bonito – Mato Grosso do Sul, agosto de 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 1995. *Planning for Sustainable Use of Land Resources: Towards a New Approach*. FAO Land and Water Bulletin 2. Rome, Food and Agriculture Organization

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2011. AQUASTAT website. FAO's global information system on water and agriculture *A Situação da Terra e dos Recursos Hídricos do Mundo para a Alimentação e a Agricultura (SOLAW): Gerenciando Sistemas em Risco*. Roma/Londres, FAO/Earthscan. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2013. AQUASTAT website. FAO's global information system on water and agriculture [Online]. [Citado em: 30 de Maio de 2016.] <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/didyouknow/index3.stm>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2014. AQUASTAT website. FAO's global information system on water and agriculture.[Online]. [Citado em: 30 de Maio de 2016.] <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/didyouknow/index3.stm>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2016. AQUASTAT website. FAO's global information system on water and

agriculture.[Online]. [Citado em: 12 de Maio de 2016.] http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm

FRANÇA, F. M. C.. *Documento referencial do polo de desenvolvimento integrado Petrolina-Juazeiro*. Banco do Nordeste do Brasil (BNB). Disponível em:<http://www.bnb.gov.br/content/Aplicacao/ETENE/Rede_Irrigacao/Docs/Document%20Referencial%20do%20Polo%20Juazeiro-Petrolina.PDF>. Acesso em: junho/2016.

FRIZZONE, J.A. *Irrigação e Drenagem*. Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, 2010.

GALLON, J.F.; GALLON, I.; BASSEGIO, N.; Oliveira, F.G.; MENEGOTTO, M.L.A. *Irrigação por Gotejamento Uso da Água com Tecnologia para a Produção*. I Simpósio internacional de inovação em cadeias produtivas do agronegócio. Caxias do Sul, agosto de 2015.

HEMERY, D.; DEBIER, J.C.; DELEAGE, J.P. *Uma História da Energia*. Editora Unb, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2006. *Censo Agropecuário 2006*. Brasília, 2006. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/>>. Acessado em julho de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2015. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiario.shtm?c=4>>. Acesso em março de 2016.

INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE (ICID), 2016. Disponível em:< <http://www.icid.org/>>. Acessado em Agosto de 2016.

IVIG – COPPE/UFRJ, 2011. *Atlas Soci-Água Brasil*; [coordenador geral Luiz Pinguelli Rosa; coordenador executivo Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas]. Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*. 7ª edição, Atlas Editora, 2010.

LAMM, F.R; CAMP, C.R. *Subsurface drip irrigation*. In: LAMM, F.R.; AYARS, J.E.; KAKAYAMA, F.S. *Microirrigation for crop production: design, operation, and management*. Developments in Agricultural Engineering 13. Amsterdam: Elsevier, 2007. Cap.13, p.473- 551.

LINS, C. C.; CARVALHO, O. *Nova delimitação do Semiárido brasileiro*. Disponível em:

<http://www.integracao.gov.br/download/download.asp?endereco=/pdf/desenvolvimentoregional/cartilha_delimitacao_semi_arido.pdf&nome_arquivo=cartilha_delimitacao_semi_arido.pdf. 2005>. Acesso em agosto /2016.

MANTOVANI, E.C.; SALASSIER, B.; POLARETTI, L.F. *Irrigação: princípios e métodos*. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355p

MELLO, J.L.P. E SILVA, L.D.B. 2009. *Irrigação*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Abril, 2009.

MENDONÇA *et al*, 2007. *Cultivo da Alfafa*. Embrapa pecuária sudeste, novembro 2007. Acessado em 20/05/2016. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Alfafa/SistemaProducaoAlfafa_2ed/irrigacao.htm

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA), 2015. *Cana-de-açúcar*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em maio/2016.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MI), 2013. *Agricultura irrigada impulsiona ganhos de produtividade nas cinco regiões do país*. Portal Brasil, abril de 2013. Disponível em:<<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2013/04/agricultura-irrigada-impulsiona-ganhos-de-productividade-nas-cinco-regioes-do-pais>>. Acessado em Outubro de 2016.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MI), 2014. *Política Nacional de Irrigação*. Disponível em:<<http://www.mi.gov.br/politica-nacional-de-irrigacao>>. Acessado em Outubro de 2016.

NADAL, O. E., 2008. *Colheita mecanizada da cana-de-açúcar*. Informativo Olicana, Olímpia – SP, 2008. Disponível em: <<http://www.olicana.com.br/noticias=ler.php?id=292>>. Acesso em julho/2016.

NETAFIM, 2015. *Histórias de sucesso*. Disponível em: <http://www.irrigacaodesucesso.com.br/historias/cana-de-acucar/usina-agrovale>. Acesso entre março e setembro de 2016.

NETAFIM, 2015. Acessado em 20/05/2016. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=20643&secao=Iriga%20a%E7%E3o%20e%20Pulveriza%E7%E3o> Netafim, 2015.

OLIVEIRA, Silvio Luiz de. *Tratado de metodologia científica*. São Paulo: Pioneira. 1999.

ORTEGA, A. C.; SOBEL, T. F. *Desenvolvimento Territorial e Perímetros Irrigados: Avaliação das Políticas Governamentais Implantadas nos Perímetros Irrigados Bebedouro e Nilo Coelho em Petrolina (PE)*. Planejamento e políticas públicas, IPEA, Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/viewFile/198/192>>. Acesso em: agosto/2016.

PAIVA, L.; ROBERTO, C. *Cana Irrigada*. Portal CanaOnline, edição 08, Ribeirão Preto - São Paulo, março de 2014.

PAULINO, J. *et al.* 2011. *Situação Da Agricultura Irrigada No Brasil De Acordo Com O Censo Agropecuário 2006*. Botucatu: Revista Irriga v. 16, n. 2, p. 163-176, abril-junho, 2011.

PEREIRA, L.S.; VALERO, J.A.J.; BUENDÍA, M.R.P.; MARTÍN-BENITO, J.M.T. *El riego e sus tecnologías*. Albacete: CREA-UCLM, 2010, 296p.

PNUD, 2014. *Relatório do Desenvolvimento Humano. Sustentar o progresso humano: reduzir as vulnerabilidades e reforçar a resiliência*. Editora Camões – Instituto da cooperação e da Língua. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/arquivos/RDH2014pt.pdf>

ROBBINS, J.W.D.; VINCHESI, B.E. *Overview of irrigation systems*. In: STETSON, L.E.; MECHAM, B.Q. (Ed). *Irrigation*. Falls Church: Irrigation association, 2011. Cap. 2, p.5 – 21.

SALASSIER, B.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E.C. *Manual de irrigação*. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008.

SALEMA, G. S.; SILVA, L. R.; BATISTA, R. R. *Irrigação por faixas*. Instituto Federal Minas Gerais Campus São João Evangelista, Curso técnico em agropecuária, São João Evangelista, novembro 2010.

SALEME, D.C..2010. *Pré-seleção de sistemas de irrigação em cana-de-açúcar, para as características da região de São Miguel dos Campos - AL*. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, dezembro, 2010.

SANTIAGO, A. D.; IVO, W. M. P. M.; BARBOSA, G. V. S.; ROSSETO, R., 2006. *Impulsionando a Produtividade e a Produção Agrícola da Cana-de-Açúcar no Brasil*. Workshop Internacional sobre Desenvolvimento da Agricultura Tropical, Brasília, junho de 2006.

SILVA, M. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T.. *Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG, v.18, n.3, p.241–249, 2014.

SCALOPPI, E.J. *Crêterios básicos para sele o de sistemas de irriga o*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.12, 139, p.54 – 62, 1986.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, 2015. *Sistema de irriga o por gotejamento poderá ser alternativa na agricultura*. Disponível em:< <http://sna.agr.br/sistema-de-irrigacao-por-gotejamento-podera-ser-alternativa-na-agricultura/>>. Acesso em Setembro de 2016.

SZUSTER, AMIR. *O país da  gua*. Conexão Israel – Ciência, Tecnologia, Meio Ambiente e Sociedade, maio de 2014.

TESTEZLAF, R. *Irriga o: Métodos, Sistemas e Aplica es*. Ed. não revisada. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 2011.

TESTEZLAF, R. *Irriga o na Propriedade Agrícola*. UNICAMP / Faculdade de Engenharia Agrícola / Departamento de água e Solo. n.19, agosto de 1997.

UNCTAD. 2012. *Water For Food – Innovative Water Management Technologies For Food Security And Poverty Alleviation*. Current Studies on Science, Technology and innovation, n 4. United Nations Conference on Trade and Development: New York and Geneva, 2012.

VALDES, A.; WAGNER, E.; MARZALL, I.; SIMAS, J.; MORELLI, J.; PEREIRA, L.P.; AZEVEDO, L.G.T.E. *Impactos e Externalidades Sociais da Irriga o no Semiárido Brasileiro*. Banco Mundial. 1 edi o, Brasília – 2004, p. 132, 2004.

VIANNA, ILCA O. A. *Metodologia do trabalho científico – um enfoque didático da produ o científica*. Editora E.P.U., 2001.

WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT (WWDR), 2014. *Relatório Mundial das Na es Unidas sobre água e Energia, Volume 1*. UN-Water: Paris 7, Paris, 2014.

WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT (WWDR), 2015. *Relatório Mundial das Na es Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos:  gua Para Um Mundo Sustentável - Sumário Executivo*. UN-Water: Colombella, Perugia, Itália, 2015.

YIN, Roberto K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 2  Ed. Porto Alegre. Editora: Bookmam. 2001.

Anexo I: Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro



Fonte: MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MI), 2014.