

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Viabilidade de irrigação para a produção de cana-de-açúcar nos municípios
de Araçatuba e de Piracicaba**

Elis Braga Licks

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2020**

Elis Braga Licks
Bacharela em Ciências Econômicas

**Viabilidade de irrigação para a produção de cana-de-açúcar nos municípios de
Araçatuba e de Piracicaba**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **CARLOS EDUARDO DE FREITAS VIAN**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Licks, Elis Braga

Viabilidade de irrigação para a produção de cana-de-açúcar nos municípios de Araçatuba e de Piracicaba / Elis Braga Licks. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

124 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Água 2. Cana-de-açúcar 3. Irrigação 4. Preço sombra I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas as pessoas que acreditam que só pode haver desenvolvimento, se este for aliado ao meio ambiente e a sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais esta conquista e por todos momentos de felicidade e de infelicidades, pois nesses momentos nunca fui desamparada. À minha mãe que incansavelmente contribuiu para que eu pudesse cursar o doutorado. Obrigada do fundo do meu coração Mãe! E ao meu pai e avô pelo carinho que sempre me proporcionaram. Um agradecimento especial ao Rubem, amigo e apoiador de todas minhas ideias.

Agradecimento ao apoio do Instituto Escolhas, pela oportunidade de possuir a bolsa, de um instituto sério e de extrema importância para a pesquisa brasileira em economia e meio ambiente. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão de bolsa de doutorado. Dedico meus agradecimentos a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada (PPGEA) – Esalq – USP, em especial ao professor Carlos Eduardo de Freitas Vian, pela paciência e por acreditar que seria possível. Ao professor Alexandre Nunes de Almeida pela parceria e colaboração.

As minhas amigas e colegas de pesquisa, Jaqueline Gisele Gelain e Luciana Montebello de Oliveira, sem vocês não sei se teria sido possível! Obrigada! Aos meus colegas de aula, em especial Iara, Josi, Rafa e Rayssa. E a todos do departamento, inclusive os Cabeças de Baleia pelos momentos em que pudemos compartilhar muitas horas de estudo e trocas de ideias, tanto sobre conteúdos relacionados ao curso, como também pela amizade que construímos. A todos funcionários da instituição, com destaque para Aline, Dona Miriam e Luciana Cipriano, por toda atenção e carinho que tiveram conosco.

Agradeço os amigos que construí ao longo desses anos, em especial ao Josimar, meu melhor aluno e o cara mais inteligente que conheço. A Lu que mostrou o lado bom de Piracicaba e de certa forma, uma forma diferente de se ver a vida. Ao Diego, Mão Santa, Mirela, Nathália (a gata mais embaçada do PPGEA) e Guto (fundador do Cafófo). Também ao grupo das Magas, a Dolores e o Nico.

Aos meus amigos de Pelotas que nunca deixaram de me apoiar, mesmo que a distância, em especial para Gaby e Conrado (minha família Pelotense), Nathalia, Carol, Ísis, Nice, Andrea e Mi. Obrigada a todos! Cada um tem um cantinho especial em meu coração!

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	9
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Objetivos, Problema de Pesquisa, Hipótese e Justificativa	13
2. REVISÃO TEÓRICA	17
2.1. Cana-de-açúcar no Brasil e no mundo.....	17
2.2. A água e sua importância no uso agrícola	31
2.3. Métodos de valoração ambiental dos bens públicos e da água.....	52
2.4. Viabilidade econômica do sistema de irrigação	63
2.5. Custos de produção: Projeto Campo Futuro - Pecege	65
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3.1. Material.....	69
3.2. Métodos	71
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
4.1. Análise dos Custos de Produção.....	77
4.2. Demanda hídrica.....	81
4.3. Cenários propostos	84
4.4. Simulação dos cenários propostos.....	89
4.5. Fluxo de caixa das usinas de cana-de-açúcar, considerando a irrigação	92
4.6. Análise dos indicadores financeiros	104
4.7. Cálculo do preço sombra da água para as usinas de cana-de-açúcar.....	105
5. CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS	115

RESUMO

Viabilidade de irrigação para a produção de cana-de-açúcar nos municípios de Araçatuba e de Piracicaba

A água é um recurso natural, esgotável e necessário para a sobrevivência de todos os seres vivos. Através da busca da conscientização, da conservação quantitativa e qualitativa da água e pela racionalidade e equilíbrio de seu uso, o objetivo do presente estudo é apresentar uma análise econômica para a implantação do sistema de irrigação nos canaviais de cana-de-açúcar nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba, localizadas no estado de São Paulo (SP), para o período que compreende as safras de 2013/2014 a 2017/2018. Assim como averiguar a possibilidade de instalação desse sistema nos canaviais e por fim, apresentar a disposição dos produtores de cana em pagar pelo uso da água, ou seja, o preço sombra da água. Como resultado, encontrou-se, através da análise econômica das usinas de cana-de-açúcar, que é possível a implantação do sistema de irrigação nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba. Contudo, devido a limitação da disponibilidade hídrica das regiões, só é vantajoso irrigar se for empregada a lâmina de 100% do déficit hídrico da cultura. Dado que, desta maneira é maior a disposição a pagar do produtor pelo uso da água. Analisando o cenário de aplicação da lâmina de 50% do déficit hídrico da cana, em duas safras na região de Araçatuba, os preços sombra foram negativos e na região de Piracicaba apenas uma safra obteve o mesmo saldo. Indicando que durante esses períodos a disposição do produtor a pagar pelo uso da água seria zero. O preço sombra encontrado para a água utilizada na produção da cana-de-açúcar, na região de Araçatuba com uma simulação de 100% do déficit hídrico da cultura, foram valores de no máximo R\$ 1,20/m³ a R\$ 0,08/m³, valor mínimo. Para a região de Piracicaba os valores foram de no máximo R\$ 1,10/m³ a R\$ 0,23/m³.

Palavras-chave: Água, Cana-de-açúcar, Irrigação, Preço sombra

ABSTRACT

Irrigation viability for sugarcane production in the municipalities of Araçatuba and Piracicaba

Water is a natural resource, exhaustible and necessary for the survival of all living beings. Through the search for awareness, quantitative and qualitative conservation of water and the rationality and balance of its use, the objective of this study is to present an economic analysis for the implementation of the irrigation system in sugarcane sugarcane in the regions of Araçatuba and Piracicaba, located in the state of São Paulo (SP), for the period from 2013/2014 to 2017/2018. As well as to investigate the possibility of installing this system in the sugarcane fields and, finally, to present the willingness of sugarcane producers to pay for water use, that is, the shadow price of water. As a result, it was found, through the economic analysis of sugarcane plants, that it is possible to implement the irrigation system in the regions of Araçatuba and Piracicaba. However, due to the limited water availability of the regions, it is only advantageous to irrigate if the 100% of the water deficit of the crop is used. Given that this way the producer is more willing to pay for the use of water. Analyzing the scenario of application of the 50% blade of sugarcane water deficit, in two harvests in the Araçatuba region, the shadow prices were negative and in the Piracicaba region only one crop obtained the same balance. Indicating that during these periods the producer's willingness to pay for water use would be zero. The shadow price found for the water used in sugarcane production in the region of Araçatuba with a simulation of 100% of the water deficit of the crop, were a maximum of R\$ 1.20/m³ to R\$ 0.08/m³, minimum value. For the Piracicaba region, the values ranged from R\$ 1.10/m³ to R\$ 0.23/m³.

Keywords: Water, Sugar cane, Irrigation, Shadow price

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. EVOLUÇÃO DA ÁREA COLHIDA DE CANA-DE-AÇÚCAR	23
FIGURA 2. ÁREA COLHIDA E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL NOS ANOS 1974 E 2016	24
FIGURA 3. PRODUÇÃO DE AÇÚCAR POR MACRORREGIÃO BRASILEIRA – EM MIL TONELADAS	25
FIGURA 4. PRODUÇÃO DE ETANOL POR MACRORREGIÃO BRASILEIRA – EM MIL LITROS..	25
FIGURA 5. PRINCIPAIS ESTADOS BRASILEIROS PRODUTORES DE AÇÚCAR DE CANA – EM MIL TONELADAS	26
FIGURA 6. PRINCIPAIS ESTADOS BRASILEIROS PRODUTORES DE ETANOL – EM MIL LITROS	26
FIGURA 7. PRODUTOS SELECIONADOS QUE UTILIZARAM IRRIGAÇÃO NO ANO DE 2006	37
FIGURA 8. DECOMPOSIÇÃO DO VALOR ECONÔMICO DE UM RECURSO AMBIENTAL	53
FIGURA 9. MÉTODOS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL	54
FIGURA 10. PRECIPITAÇÃO E DEFICIÊNCIA HÍDRICA DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A REGIÃO DE ARAÇATUBA - PERÍODO DE 2013 A 2018	82
FIGURA 11. PRECIPITAÇÃO E DEFICIÊNCIA HÍDRICA DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A REGIÃO DE PIRACICABA - PERÍODO DE 2013 A 2018	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ÍNDICE DE RENDIMENTO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL POR UNIDADE DE ATR.....	28
TABELA 2. ÁREA IRRIGADA POR MACRORREGIÃO BRASILEIRA EM HECTARES (HA).....	33
TABELA 3. EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO (EA) IDEAL E ACEITÁVEL	35
TABELA 4. PORCENTAGEM DE ÁREA IRRIGADA NO BRASIL DE ACORDO COM OS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO.....	36
TABELA 5. CUSTOS DE IRRIGAÇÃO PARA A REGIÃO DE ARAÇATUBA.....	70
TABELA 6. CUSTOS DE IRRIGAÇÃO PARA A REGIÃO DE PIRACICABA.....	70
QUADRO 2. FLUXO DE CAIXA.....	72
TABELA 7. CUSTOS DE PRODUÇÃO DAS USINAS DE CANA-DE-AÇÚCAR DA REGIÃO DE ARAÇATUBA	78
TABELA 8. CUSTOS DE PRODUÇÃO DAS USINAS DE CANA-DE-AÇÚCAR DA REGIÃO DE PIRACICABA	79
TABELA 9. RENDAS LÍQUIDAS A PARTIR DO COE NA REGIÃO DE ARAÇATUBA	80
TABELA 10. RENDAS LÍQUIDAS A PARTIR DO COE NA REGIÃO DE PIRACICABA	80
TABELA 11. MÉDIA DA PRECIPITAÇÃO E DEFICIÊNCIA HÍDRICA DA CANA PARA A REGIÃO DE ARAÇATUBA - PERÍODO DE 2013 A 2018.....	81
TABELA 12. MÉDIA DA PRECIPITAÇÃO E DEFICIÊNCIA HÍDRICA DA CANA PARA A REGIÃO DE PIRACICABA - PERÍODO DE 2013 A 2018.....	82
TABELA 13. SIMULAÇÃO DE IRRIGAÇÃO E SUAS RESPECTIVAS PRODUTIVIDADES POTENCIAL PARA A REGIÃO DE ARAÇATUBA	85
TABELA 14. SIMULAÇÃO DE IRRIGAÇÃO E SUAS RESPECTIVAS PRODUTIVIDADES POTENCIAL PARA A REGIÃO DE PIRACICABA	86
TABELA 15. COE COM IRRIGAÇÃO - REGIÃO DE ARAÇATUBA	88
TABELA 16. COE COM IRRIGAÇÃO - REGIÃO DE PIRACICABA	88
TABELA 17. CUSTO DE PRODUÇÃO DA REGIÃO DE ARAÇATUBA – SIMULAÇÃO 100% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA.....	89
TABELA 18. CUSTO DE PRODUÇÃO DA REGIÃO DE PIRACICABA – SIMULAÇÃO 100% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA.....	90
TABELA 19. CUSTO DE PRODUÇÃO DA REGIÃO DE ARAÇATUBA – SIMULAÇÃO 50% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	90
TABELA 20. CUSTO DE PRODUÇÃO DA REGIÃO DE PIRACICABA – SIMULAÇÃO 50% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	91
TABELA 21. CUSTO DE PRODUÇÃO DA REGIÃO DE ARAÇATUBA – SIMULAÇÃO 20% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	91
TABELA 22. CUSTO DE PRODUÇÃO DA REGIÃO DE PIRACICABA – SIMULAÇÃO 20% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	92
TABELA 23. ÁREA DESTINADA À PLANTAÇÃO EM REGIME DE SEQUEIRO NA REGIÃO DE ARAÇATUBA, DESCONTADA PELO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE	93
TABELA 24. ÁREA DESTINADA À PLANTAÇÃO EM REGIME DE SEQUEIRO NA REGIÃO DE PIRACICABA, DESCONTADA PELO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE	93
TABELA 25. RENDAS LÍQUIDAS EM REGIME DE SEQUEIRO NA REGIÃO DE ARAÇATUBA.....	94
TABELA 26. RENDAS LÍQUIDAS EM REGIME DE SEQUEIRO NA REGIÃO DE PIRACICABA.....	95

TABELA 27. FLUXO DE CAIXA DAS USINAS DE ARAÇATUBA – SIMULAÇÃO 100% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	96
TABELA 28. FLUXO DE CAIXA DAS USINAS DE PIRACICABA – SIMULAÇÃO 100% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	97
TABELA 29. FLUXO DE CAIXA DAS USINAS DE ARAÇATUBA – SIMULAÇÃO 50% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	99
TABELA 30. FLUXO DE CAIXA DAS USINAS DE PIRACICABA – SIMULAÇÃO 50% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	100
TABELA 31. FLUXO DE CAIXA DAS USINAS DE ARAÇATUBA – SIMULAÇÃO 20% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	102
TABELA 32. FLUXO DE CAIXA DAS USINAS DE PIRACICABA – SIMULAÇÃO 20% LÂMINA E 23,95% DE ÁREA	103
TABELA 33. VPL E TIR DAS REGIÕES DE ARAÇATUBA E DE PIRACICABA.....	104
TABELA 34. PREÇO SOMBRA DAS USINAS DE ARAÇATUBA – SIMULAÇÃO 100% E 50% DE LÂMINA EM 23,95% DA ÁREA	108
TABELA 35. PREÇO SOMBRA DAS USINAS DE PIRACICABA – SIMULAÇÃO 100% E 50% DE LÂMINA EM 23,95% DA ÁREA	109

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar desempenha um importante papel no cenário econômico brasileiro, destacando-se como uma das principais *commodities* produzidas no Brasil. Essa matéria prima fornece a base para a produção de álcool (anidro e hidratado); de açúcar; de cachaça; de papel; de produtos alimentícios para animais; da vinhaça, utilizada como fertilizante; além da palha e do bagaço, que podem ser empregados como fonte de energia (MARIN, 2014). Segundo Mozambani et al. (2006), a cultura é cientificamente conhecida como *Saccharum officinarum* e, chegou ao Brasil em seguida ao descobrimento do país e se estabeleceu na região Nordeste, o que tornou essa região conhecida como a “civilização do açúcar” (CANABRAVA, 2005; NOVACANA, 2018).

Atualmente a cultura está distribuída em duas regiões do país: Centro-Sul e Nordeste, entretanto os principais produtores encontram-se no Centro-Sul, destacando-se os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná, Mato Grosso, Rio de Janeiro e Espírito Santo, totalizando 88% da produção brasileira de cana (ANA, 2017a). Ressalta-se que o estado de São Paulo possui a maior área produtora de cana no Brasil, representando 52,2% da área colhida na safra 2017/2018 (CONAB, 2018).

Mesmo o clima e o solo da região sendo altamente favoráveis, fatos esses que contribuíram para que o estado de São Paulo se consolidasse como o maior produtor de cana, ainda há muitas perdas de produtividade em consequência dos fatores climáticos adversos que ocorrem em alguns anos. Para resolver esse problema diversas regiões do país utilizam-se do uso do sistema de irrigação como forma de complementar (irrigação suplementar) o déficit hídrico das culturas agrícolas. A irrigação, no estado de São Paulo é pouco utilizada, mas seria necessária principalmente nos plantios de inverno (COSTA, 2011).

Uma vez que a cultura da cana-de-açúcar tem característica semiperene, existe grande dificuldade de a planta passar por vários meses do ano com clima seco, esse fato prejudica a produtividade e a longevidade do canavial quando a cana é cultivada em regime de sequeiro. A irrigação possibilita a redução da dependência do clima, contribuindo com o aumento da produtividade da cultura, com o prolongamento do número de cortes do canavial e com a melhor extração do açúcar no processo produtivo (COSTA, 2011).

Além disso, percebe-se que, com o aumento da produtividade, há redução da área plantada, o que diminui a extensão de terras destinadas para plantação de canaviais e com isso reduz o custo de transporte da cana até as usinas de açúcar. Outra vantagem proporcionada pelo

aumento de produtividade e conseqüente pela redução na área de plantio da cultura é a disponibilização de áreas para preservação de recursos florestais.

A água é o mais importante dos recursos naturais, visto que, essa é essencial para a sobrevivência humana e para grande parte das atividades produtivas. As recentes crises de abastecimento, tanto no Brasil como no mundo, colocaram o tema como uma das prioridades das agendas públicas. Para tentar evitar o uso indevido e indiscriminado da água na agricultura, em 1934 foi promulgado o Decreto nº 24.643 que previa a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (BRASIL, 1934). Porém, essa cobrança só teve seus critérios gerais estabelecidos em 2005 com a Resolução nº 48 (MMA, 2005).

O fato de haver política de cobrança pelo uso dos recursos hídricos em determinado estado brasileiro ou bacia hidrográfica não significa, necessariamente, que a mesma está sendo executada. No estado de São Paulo, por exemplo, existe a cobrança pelo uso da água na agricultura. No entanto, para a cultura da cana-de-açúcar essa cobrança não ocorre, devido ao fato das usinas não utilizarem, na maioria dos canaviais, sistema de irrigação. Isto é, a produção é realizada em regime de sequeiro, utilizando a água da chuva, e em locais mais próximos das usinas, é aplicado a vinhaça nos canaviais.

Apesar de ser importante para os produtores de cana irrigar os canaviais, por outro lado, também seria importante uma política adequada para a cobrança do uso da água, visto que, haveria um incentivo à conservação da água no estado, ocorrendo alocação eficiente do uso da água na agricultura. Desta forma, o presente estudo irá apresentar uma análise econômica para a implantação do sistema de irrigação nos canaviais de cana-de-açúcar nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba, localizadas no estado de São Paulo. Através disso, averiguar se é possível a instalação desse sistema nos canaviais e, a partir de então, apresentar o preço sombra da água.

Para a realização do cálculo do preço sombra será utilizado o Método do Valor Residual (MVR). Esta técnica é útil para a realização do cálculo do valor real da água agrícola (também chamado na literatura de "preço sombra"), a qual é baseada nos custos de produção da propriedade rural. Segundo Yong e Loomis (2014) a análise do MVR interpreta a disposição do produtor a pagar pela água, pois em um mercado onde não ocorre preços de mercado bem definidos, como é o caso da água, exige isolar a parcela de contribuição do recurso no valor total da produção, para se encontrar o resíduo, ou seja, o preço sombra da água.

Destaca-se que no Brasil essa técnica ainda não foi empregada para a cultura da cana-de-açúcar, na literatura internacional encontrou-se o trabalho de Sacolo (2013) que estimou o valor da água, como insumo na produção de cana-de-açúcar em Lowveld – Swaziland.

Os cálculos serão realizados a partir de simulações pré-definidas, baseadas nas lâminas de água aplicada, através da irrigação, na produção de cana-de-açúcar. Ressalta-se que o estudo admite as situações hipotéticas de se ter irrigação na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba-SP e de Araçatuba-SP e se ter cobrança pelo uso da água.

1.1. Objetivos, Problema de Pesquisa, Hipótese e Justificativa

1.1.1. Objetivo geral

Apresentar uma análise econômica para a implantação do sistema de irrigação nos canaviais de cana-de-açúcar, nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba localizadas no estado de São Paulo (SP), para o período que compreende as safras de 2013/2014 a 2017/2018. Averiguar se existe a possibilidade de instalação desse sistema nos canaviais e, a partir de então, apresentar a disposição dos produtores de cana em pagar pelo uso da água, isto é, o preço sombra da água.

1.1.2. Objetivos específicos

- mensurar a quantidade de água utilizada para irrigação da cana-de-açúcar, através do cálculo de déficit hídrico da cultura;
- calcular os custos de produção médios das usinas de cana-de-açúcar no período de estudo;
- simular diferentes cenários de produtividade de acordo com a quantidade de água empregada na irrigação, para obtenção de novas receitas líquidas;
- verificar através da análise econômica referente a implantação do sistema de irrigação, se é favorável a irrigação nas regiões estudadas;
- utilizar o método de valoração residual para valoração econômica da água utilizada na produção de cana-de-açúcar nos municípios de Araçatuba-SP e de Piracicaba-SP.

1.1.3. Problema de Pesquisa

O problema de pesquisa deste estudo está centrado no fato de que através da análise da avaliação econômica referente a implantação do sistema de irrigação, se é favorável ou não a irrigação nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba? Caso for favorável, as usinas terão condições de pagar pelo uso da água?

1.1.4. Hipótese

As hipóteses que norteiam esse estudo é de que a irrigação é favorável nas regiões estudadas e que as usinas poderão pagar pelo uso da água.

1.1.5. Justificativa

A política de valoração da água para a produção de produtos agrícolas exerce um importante impacto no meio ambiente, visto que a utilização da água está fortemente ligada a intensificação da atividade agrícola. Valorar o uso da água na agricultura, além de incentivar o uso eficiente, também, serve como ferramenta de proteção, tanto para a quantidade quanto para a qualidade da água. Partindo do princípio que a água é um recurso finito e limitado na natureza, valorar a água está cada vez mais visto como instrumento de políticas públicas.

Até 2050 é estimado que haja um aumento populacional de cerca de 2 bilhões de pessoas, principalmente em países em desenvolvimento. Há uma grande tendência de que haja aumento na demanda por alimentos, principalmente por proteína animal, que conseqüentemente aumenta a quantidade produzida de grãos. Com o aumento da população e, por conseguinte do consumo, no futuro haverá maior produção de alimentos no mundo, ocasionando maior utilização dos recursos hídricos (CEBDS e GIZ, 2016; ONU, 2016).

Esses aumentos nas demandas acarretará aumento de terras utilizáveis para produção de alimentos. De acordo com Marin (2018) restam cerca de 5% de terras aráveis destinada para a produção no mundo, levando a um paradoxo entre a expansão da produção e a limitação das terras. O autor sugere que a solução para esse problema será o aumento da produtividade das terras que já estão sendo destinadas para essa finalidade.

De acordo com esse contexto, mudanças climáticas também ocorrerão, principalmente relacionados aos Gases de Efeito Estufa (GEE), que são: o dióxido de carbono (CO₂), o ozônio (O₃), o metano (CH₄) e vapores d'água. Esses gases possuem a característica de absorver e refletir uma parcela dos raios infravermelhos, os quais contribuem para o aquecimento do planeta. O aumento desses gases na atmosfera, principalmente pelo processo de industrialização, faz com que se torne abundante os gases de efeito estufa na atmosfera, assim como o aumento do aquecimento global (GOUVÊA, 2008).

Além do aumento das temperaturas, o aquecimento global, pode contribuir no aumento de eventos severos na natureza, como secas e chuvas fora de época, oscilações de calor e frio, derretimento das calotas polares, entre outras situações. Gouvêa (2008) relata que existe uma forte relação entre o clima e a agricultura, visto que os fatores climáticos adversos afetam o crescimento e o desenvolvimento da cultura. Com a forte necessidade de lidar com essas mudanças climáticas,

surge a necessidade de trabalhar com energias renováveis, isto é, reduzir ao máximo o uso de combustíveis fósseis, os quais são grandes geradores dos gases de efeito estufa.

Pesquisas atuais, demonstram que a utilização de energias renováveis é benéfica ao meio ambiente, pois contribui com a redução de poluentes no planeta. A cana-de-açúcar, utilizada na fabricação de álcool, é um notável exemplo brasileiro de utilização de energia alternativa, que causa menos agressões ao meio ambiente, além de que os gases gerados em seu desenvolvimento auxiliam no crescimento da cultura (BNDES e CGEE, 2008).

As necessidades hídricas da produção da cana-de-açúcar variam de acordo com seu estágio de desenvolvimento e a região climática a qual será executada a plantação. Em média a cana necessita de 1.500 a 2.500 mm de água, sendo que no período de crescimento a quantidade hídrica tem que ser maior do que na de maturação (DOORENBOS E KASSAM, 1979). Destaca-se que a deficiência hídrica promove mudanças morfológicas e fisiológicas da planta, levando a uma redução do crescimento e do rendimento da cultura. Por essas razões, surge a necessidade de irrigação nos canaviais, para o melhor proveito da terra e para o desenvolvimento das plantas.

Segundo Freitas et al. (2009) a aplicação de sistemas de irrigação nos canaviais tem gerado muitos benefícios, como: aumento da produtividade (geralmente acima de 140 tonelada/hectare); prolongamento da vida útil do plantio (em torno de dez safras); diminuição da área plantada (reduzindo os custos do plantio e de manutenção); menores custos de transporte (distâncias e áreas menores); estabilidade da produtividade (reduz a variação da produção entre as safras); entre outros.

Portanto, o presente trabalho pretende contribuir com ferramentas métricas que auxiliem a gestão de políticas públicas para adoção da valoração da água utilizada na irrigação da cana-de-açúcar. Baseado na função de produção dos produtores dessa cultura, nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba localizadas no estado de São Paulo. Afim de tornar a utilização da água para essa produção mais racional, a cobrança pelo uso da água pode aumentar a produtividade e a eficiência, redistribuir os custos sociais, além de promover o desenvolvimento regional e ambiental.

O trabalho inicia-se com essa introdução, após será apresentado o referencial teórico, que implicará no estudo sobre a cana-de-açúcar e a água, e todas suas relações com o presente estudo. Iniciará, com as principais características da cana, em seguida a utilização da água no uso agrícola, e de sua importância como recurso natural. Logo após, os principais métodos de valoração ambiental e da água; posteriormente, a exibição da seção que trata sobre a viabilidade econômica de implantação do sistema de irrigação; seguidamente de uma descrição da origem dos dados de custos de produção que serão utilizados no presente estudo.

O terceiro capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados no trabalho, iniciando com as fontes de dados: primeiramente da demanda hídrica, seguido dos dados de custos de produção e por fim, dos custos de irrigação. Após, será exposto o método da valoração da água. O quarto capítulo, apresenta os resultados e a discussões do referido trabalho, e o último são as conclusões e as considerações finais do estudo.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. Cana-de-açúcar no Brasil e no mundo

Nesta seção será realizada uma breve descrição do surgimento e da consolidação da cana no Brasil. Será abordado, ainda a importância da cana-de-açúcar e seus derivados, tanto em âmbito nacional quanto internacional, assim como será explanada a caracterização do processo de produção agrícola e industrial da cana.

2.1.1. Surgimento e consolidação da cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar ou *Saccharum officinarum*, como é conhecida cientificamente, surgiu na ilha de Nova Guiné, na Ásia, e aos poucos foi se espalhando pelo mundo, juntamente com a migração populacional (DOORENBOS E KASSAM, 1979). No Brasil a cana chegou em torno de 1520, junto com os portugueses (CANABRAVA, 2005; NOVACANA, 2018). O primeiro registro da cana na América ocorreu em 1493 na República Dominicana, oriundo da Ilha da Madeira na segunda viagem de Cristóvão Colombo [STEVENSON (1965, apud FIGUEIREDO et al., 2011, p.4)].

O Nordeste, principalmente os estados Pernambuco, Bahia e Alagoas, no período colonial, se consolidou no Brasil como a "civilização do açúcar". O açúcar teve um papel muito importante no desenvolvimento econômico do país, pois era um produto destinado especialmente à exportação, e até o início da fase republicana a região foi a principal produtora de cana-de-açúcar. Somente por volta do século XX a região Centro-Sul, notadamente o estado de São Paulo, tornou-se líder na produção dessa cultura (SHIMADA, 2013).

Segundo Shimada (2013), o domínio do açúcar brasileiro perdeu força internacional no século XVII, iniciando a crise da economia agrária colonial brasileira. Neste período a Espanha dominou Portugal e o Nordeste brasileiro foi invadido pela Holanda. Ao invadirem essa Região, os holandeses aprenderam as técnicas e se especializaram na produção do açúcar para competir com os portugueses. Além disso, os preços competitivos das Antilhas ganhavam espaço no mercado internacional, com isso o Brasil perdeu o monopólio mundial da produção de açúcar (MACHADO, 2003; ARAUJO e SANTOS, 2013).

A Europa, neste período, estabeleceu cotas preferenciais de açúcar às colônias inglesas e holandesas, formando um aparato institucional e estimulando a produção interna das colônias que se localizavam na Austrália, Índia e África do Sul, constituindo um acesso prioritário no mercado europeu. No Brasil, após 1870 o setor iniciou seu processo de modernização,

principalmente no Centro-Sul do País, e para isso foi necessário separar as atividades de cultivo e de industrialização da cana-de-açúcar, assim cada etapa poderia investir mais nas melhorias de suas unidades (SHIMADA, 2013).

Contudo, o processo de avanço tecnológico iniciado na metade do século XIX, pode ser considerado tardio, uma vez que todos os outros países produtores já estavam em um sistema avançado de capacitação. No Brasil, as melhorias do setor, ocorreram através dos processos técnicos tanto do cultivo como nas indústrias e também em relação ao trabalho, que antes era escravo e neste período passou a ser livre, iniciando o processo de assalariamento da mão de obra. O processo de modernização a partir de 1870 contou com a participação do governo imperial, que forneceu subsídios para a construção de novos engenhos centrais e ferrovias (SHIMADA, 2013).

Os responsáveis pela montagem destas novas unidades centrais eram os senhores de engenho, que objetivaram manter o controle sobre o processo produtivo total do açúcar para se apoderarem dos lucros recebidos pela venda do produto no mercado externo. As novas unidades de fabricação de açúcar passaram a ser chamadas de "USINAS" e assim são nomeadas até os dias de hoje (VIAN, 2015). A nova configuração da economia açucareira se traduz na mudança de uma economia orientada por capitais agrários e comerciais, para uma economia controlada por capitais industriais (SHIMADA, 2013).

A partir da segunda metade do século XIX a produção açucareira passou por um processo de estagnação no estado de São Paulo, pois neste período surgiu o café, o qual os produtores viram uma oportunidade de se estabelecer no mercado, produzindo um produto com bons preços para exportação e alta demanda internacional. Somente a partir do século XX, com a supersafra do café em 1929, que a produção do açúcar foi retomada no Estado (RAMOS, 1991).

Com a crise na cafeicultura, houve incentivo na produção da cana no estado de São Paulo, com foco voltado principalmente para a fabricação de açúcar, de cachaça e de alimentação animal. Cabe destacar, que os usineiros paulistas eram também os cafeicultores, comerciantes e proprietários da incipiente indústria de equipamentos. A partir disso, percebe-se que havia uma forte ligação entre as atividades da cana e do café (VIAN, 2015).

Ressalta-se que em 1929/1930 a produção de açúcar do estado de São Paulo em relação ao restante do país, ocupava o quarto lugar em termos de usinas e o sexto observando a produção de usinas e engenhos (RAMOS, 1991). Nesse período, os preços e a produção oscilaram muito, caracterizando uma fase de incertezas no setor açucareiro. Em 1931 iniciaram as formalizações legais que incentivavam a aplicação alternativa da cana (estímulo para a instalação e uso do

álcool como combustível, no Brasil) e a composição de armazenamento reguladores de açúcar. Mas a intervenção ocorreu de fato quando foram criados em 1931 a Comissão de Defesa da Produção de Açúcar (CDPA) e do Instituto do Açúcar e Álcool (IAA) em 1933.

Neste período toda gasolina utilizada no Brasil era importada, e a utilização do álcool misturado à gasolina resolveria dois problemas, primeiro haveria um fim para a sobra de cana e segundo reduziria a importação de petróleo. Mas os usineiros viam o álcool apenas como um resíduo e continuaram a produzir somente o açúcar. Nas safras de 1951/1952 e 1958/1959 o governo adotou ações de incentivo à produção de álcool anidro, mas até 1975 a produção continuou sendo através do melaço. Somente a partir de 1975 o álcool foi produzido pela destilação da garapa com o estabelecimento do Programa Nacional do Álcool: Pró-álcool¹ (VIAN, 2015).

Os objetivos do Pró-álcool eram: i) aumentar a produção tanto em termos de quantidade como também em termos territoriais da cana-de-açúcar; ii) expandir a capacidade industrial de transformação para obtenção de álcool, reduzindo a utilização de petróleo assim como da gasolina; e, iii) inserir sua aplicação na indústria química. O programa se caracterizou por três fases: 1975/1979 como a expansão moderada do Pró-álcool; 1980/1985 fase de expansão acelerada; e, 1986/1995 foi o período de desaceleração e crise no setor (SHIKIDA e BACHA, 1999; SHIMADA, 2013).

A primeira fase do Pró-álcool foi caracterizada pela crise do petróleo, em face disso o IAA incentivou a indústria à produção de álcool anidro (para ser adicionado à gasolina) e ao mesmo tempo já estavam trabalhando no desenvolvimento tanto do álcool combustível, bem como nos veículos com motor adaptado ao álcool (SHIMADA, 2013).

A segunda fase foi marcada por conflitos no Oriente Médio que elevaram o preço do petróleo, através disso foi expandida a produção de álcool e o avanço em novas tecnologias como a fabricação de automóveis movidos a etanol. Esta fase foi considerada a melhor etapa do Pró-álcool, onde a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico foram essenciais para a concretização de todos os projetos elaborados para este período (SHIKIDA e BACHA, 1999).

A terceira fase se destaca por crises no setor e instabilidade financeira, limitando o crescimento da produtividade brasileira. O aumento da inflação, o crescimento da dívida interna e externa e a redução do preço do barril do petróleo, foram fatores determinantes para marcar a terceira fase como a pior do programa. Dados esses fatores, houve uma redução na venda dos

¹ Destaca-se que as crises do petróleo e do setor canavieiro, foram os principais fatores determinantes para o surgimento do Proálcool, na década de 70 (SHIKIDA e BACHA, 1999).

veículos movidos a álcool, pois o governo diminuiu o subsídio ao setor e o IAA foi instinto. As vendas dos automóveis a álcool em 1980 chegaram a aumentar em torno de 90%, já em 1995 a participação caiu para apenas 3,6% (SHIKIDA e BACHA, 1999).

Além disso, em 1989, a instabilidade entre a demanda e a oferta do combustível (álcool) forçou o país à importação do produto, assim como de metanol para adicionar à gasolina. Shikida e Bacha (1999) relatam que um dos objetivos do Pró-álcool era a economia de divisas e que foi uma contradição a importação do álcool.

De acordo com os autores, Shikida e Bacha (1999), a crise no programa Proálcool serviu para acentuar as reais diferenças existentes na produtividade do setor sucroalcooleiro, nas duas regiões do país, Centro-Sul e Norte-Nordeste. Os autores relatam que a diferença entre os rendimentos agroindustriais do açúcar, quilograma por hectare (Kg/ha), nestas regiões, são de 30%, tornando a região Centro-Sul mais eficiente em termos de produtividade que a região Norte-Nordeste. Nessa fase as empresas com menores capacidades tecnológicas encerraram suas atividades ou foram absorvidas pelas indústrias mais dinâmicas.

O início de 1990 foi caracterizado por uma industrialização e produção controlada por usineiros, diferença produtiva (principalmente na manufatura da cana), reduzida exploração dos subprodutos, competitividade baseada em baixos salários e grandes extensões de plantações. Nesta década, São Paulo já estava totalmente consolidada como o novo polo de produção da cana, demonstrando maiores resultados tanto na área agrícola como na industrial (VIAN, 2018).

De acordo com Vian (2015) o fato mais importante da década de 1990 foi a criação da União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA), que surgiu para representar todas as instituições de organizações. A criação dessa organização foi para tentar regular o setor açucareiro e criar uma entidade de representação no Estado.

Cabe destacar que a produção paulista, inicialmente, era destinada somente para a demanda interna, mas com o destaque no aumento da produção, o estado passou a concorrer no mercado internacional. Vian (2015) apresenta em uma tabela a distribuição das usinas de açúcar no Brasil. Segundo o autor, em 1910 o país possuía 187 usinas onde 12 eram localizadas em São Paulo de um total de 53 na região Centro-Sul e 134 na região Nordeste. Já em 1985 houve uma clara mudança da produção brasileira, passando da região Nordeste, 84 usinas, para a região Centro-Sul, 113, sendo que 71 usinas estavam presentes no estado de São Paulo.

Segundo Andrade (2017), dos anos 90 até 2009, a agroindústria canavieira atravessou um período de reestruturação a partir da desregulamentação setorial. Os produtores tiveram que aderir as mudanças tecnológicas a fim de manter a sobrevivência no mercado. Para isso os agentes tiveram que se adequar ao livre mercado, reduzindo custos e aumentando a

produtividade. Com a regulação do fim das queimadas nos canaviais, ocorreu uma maior demanda no setor dos bens de capitais, como as máquinas de colheita mecanizada. Assim como também em outros processos relacionados a cultura, como nos tratamentos do cultivo, sementes com maior retorno produtivo, utilização e fabricação dos subprodutos industriais derivados da cana. Todos esses fatores induziram a modernização e a maior eficiência desse setor.

Destaca-se a criação na década de 1990, e vem sendo aplicada até os dias de hoje, uma precificação da cana-de-açúcar, que foi constituída através da união de cinco representantes de produtores de cana, sugerido pela Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA) e cinco representantes do setor industrial, sugerido pela UNICA, por meio desta junção foi criado o Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA - SP). O objetivo fundamental deste grupo foi o de criar um novo sistema de pagamento pela qualidade de cana, facilitando o entendimento entre os produtores e usineiros, intitulado de Sistema de Remuneração da Tonelada de Cana pela Qualidade.

De acordo com o regulamento do CONSECANA (2018, Art. 8º) "...entende-se por qualidade de cana-de-açúcar a concentração total de açúcares (sacarose e açúcares redutores) recuperáveis no processo industrial, expressa por kg por tonelada de cana." Destaca-se que a concentração total de açúcares é chamada de Açúcar Total Recuperável (ATR). Ainda no regulamento é retratado a formação dos preços: "o preço médio acumulado do kg do ATR será calculado com base na média ponderada dos preços efetivamente praticados dos produtos derivados da cana-de-açúcar nos meses já transcorridos do ano safra "CONSECANA (2018, Art. 15º, Parágrafo 1º).

Através deste novo cálculo foi rejeitado o antigo método de precificação, no qual era baseado na fixação do preço a partir de um determinado padrão, e diante deste valor o pagamento era realizado através de ágios e deságios de acordo com o teor de sacarose. Já o novo método de preços é calculado de acordo com o ATR presente na cana, permitindo o cálculo da quantidade de açúcar e de álcool que poderá ser produzido a partir da matéria-prima. Portanto, a qualidade da cana é de extrema importância para o fornecedor, pois quanto maior a concentração de ATR, maior será a remuneração da mesma (VIAN, 2015).

Após essa breve revisão sobre os principais fatos históricos ligados à cana-de-açúcar, a próxima seção tratará dos principais produtos derivados da cana e sua importância para o Brasil.

2.1.2. Importância da cana-de-açúcar e seus derivados

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas com grande importância socioeconômica no Brasil, seus principais produtos são: açúcar (utilizado como alimento) e o álcool (hidratado e anidro) empregado como combustível em automóveis, sendo estes muito consumidos no mercado internacional. Além desses, também se destacam a aguardente (bebida alcoólica), o bagaço da cana (fonte de energia), a vinhaça (fertilizante), o plástico e o papel. De acordo com dados de 2016, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido da Índia, e representam cerca de 38% e 17%, respectivamente da produção mundial. Somados, esses dois países dominam 55% da disponibilidade total de cana no planeta (FAO, 2018).

De acordo com Conab (2018), a produção de cana-de-açúcar na safra 2017/2018 representou 633,26 milhões de toneladas, com uma redução de 3,6% em relação à safra anterior. A área colhida de 8,73 milhões de hectares, 3,5% a menos comparada com a última safra. A produção de açúcar atingiu 37,87 milhões de toneladas e a de etanol superou 27,76 bilhões de litros. Em relação à safra 2016/2017, o açúcar diminuiu em 2,1% devido ao redirecionamento da produção para o etanol, sobretudo o hidratado; e a produção do etanol reduziu em 0,2%, em virtude da redução da disponibilidade de cana-de-açúcar.

As regiões que mais se destacaram na safra 2017/2018, foram a Sudeste, com produção de 417,47 milhões de toneladas de cana-de-açúcar processada, e a Centro-Oeste, com produção de 133,66 milhões de toneladas. A região Nordeste nessa safra, produziu 41,14 milhões de toneladas, seguida da região Sul, com destaque para o Paraná, com produção de 37,52 milhões de toneladas processadas. E por fim, a região Norte responsável por menos de 1% da produção nacional (CONAB, 2018).

Segundo Conab (2017a) o estado de São Paulo se destaca como o maior produtor nacional, participando com 52,7% da área colhida na safra de 2016/2017. A região Centro-Oeste desde a safra 2010/2011 ocupa o segundo lugar na classificação e vem aumentando a produção conforme os anos, sendo que na última safra, foi responsável por 20% da produção total de cana no Brasil. O estado que mais produziu cana nessa região foi Goiás, representando 10,6% da área colhida total. Essa evolução da região Centro-Oeste pode ser verificada na Figura 1, onde é apresentada a evolução da produção da cana-de-açúcar nas regiões brasileiras.

Na média, 55% da cana produzida no Brasil é utilizada na produção de álcool e 45% para a produção de açúcar. Os brasileiros têm um consumo per capita de 52 kg de açúcar por ano, um valor alto, quando comparado com o consumo mundial, 22 kg (GOMES, 2017). Em 2012 foi produzido no mundo 188.790.258 milhões de toneladas de açúcar, onde 77% da

produção estava concentrado em dez países, sendo que o destaque vai para o Brasil que ocupou o primeiro lugar na produção mundial, com uma participação de quase 22%, em segundo lugar a Índia com 16%, seguido da União Europeia com 10% da produção açúcar (MAPA, 2015). Importante ressaltar que a Índia produz açúcar derivado da cana e da beterraba e a União Europeia produz somente açúcar proveniente da beterraba.

Os três principais produtos derivados da cana estão apresentados a seguir, mostrando quais os seus principais destinos e utilidade. O açúcar é amplamente utilizado na nossa sociedade, tanto para consumo doméstico quanto para a indústria alimentícia. Dos 38,69 milhões de toneladas de açúcar produzido no Brasil na safra 2016/2017, 30% foi destinado ao mercado interno enquanto 70% da produção foi exportada, principalmente para os países: China, Bangladesh e Argélia (GOMES, 2017).

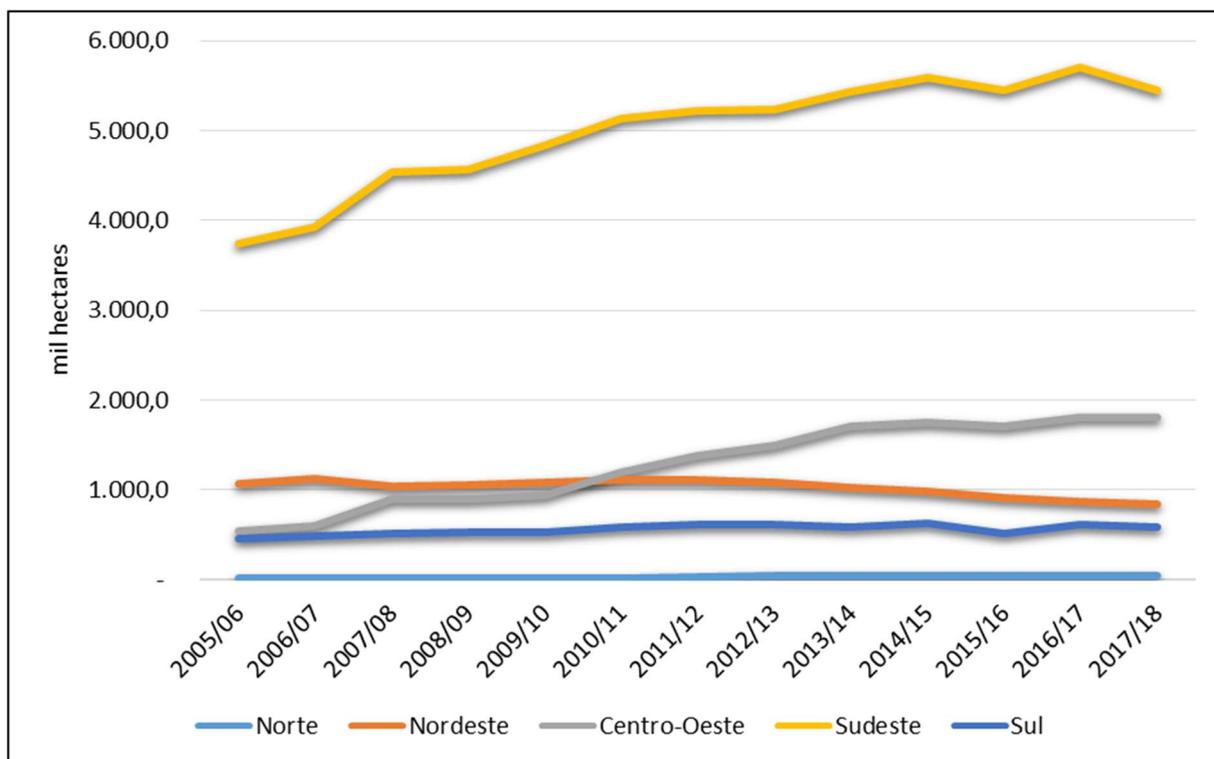


Figura 1. Evolução da área colhida de cana-de-açúcar

Fonte: Conab, 2017a

Já em relação ao etanol, o Brasil é referência internacional em tecnologia canavieira e, dos 27,80 bilhões de litros produzidos, 40% gerou o anidro, que é misturado à gasolina e 60% foi transformado em álcool hidratado que é utilizado como combustível. Deste montante apenas 6% da produção é exportado e os principais destinos são Estados Unidos, 50%, e Coréia do Sul,

25%. Cabe destacar que 60% do etanol produzido mundialmente tem origem da cana-de-açúcar e da beterraba, os outros 40% são de outros grãos como o milho (GOMES, 2017).

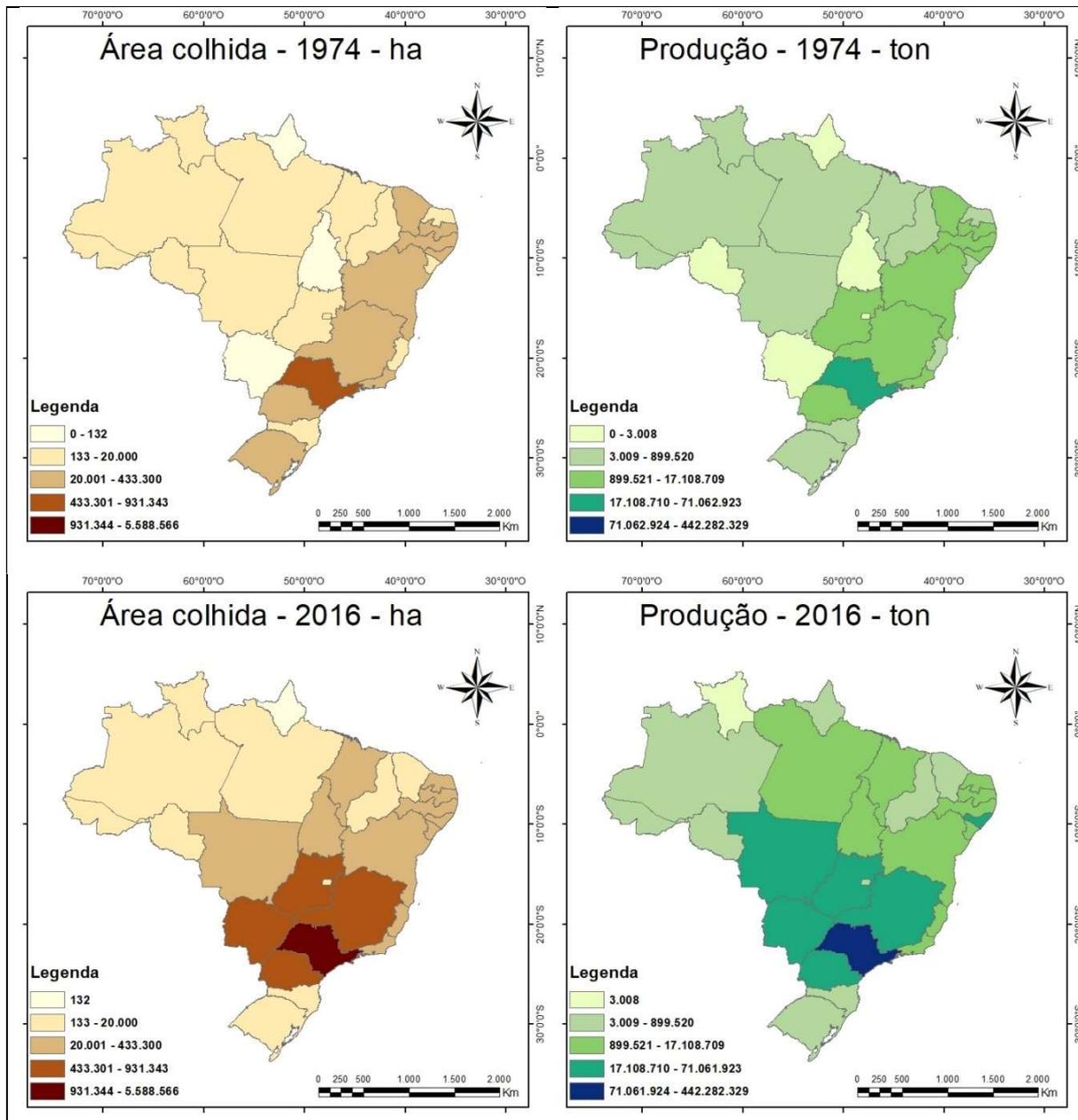


Figura 2. Área colhida e produção de cana-de-açúcar no Brasil nos anos 1974 e 2016

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de IBGE (PAM – tabela 1612)

Além disso, 18% da matriz energética do Brasil é originada a partir do bagaço da cana, a meta é que a participação de fontes renováveis na energia total desenvolvida no país seja a maior do planeta, em torno de 43,5%, praticando o que foi acordado na Conferência do Clima em Paris (COP 21), onde a proposta é a redução das emissões de gases do efeito estufa, para isso, a meta é de que até 2030 seja consumido 50 bilhões de litros de etanol (ANA, 2017a). A

Figura 2 apresenta a distribuição brasileira da plantação de cana-de-açúcar, tanto em área colhida como da produção nos anos de 1974 e 2016 .

Percebe-se que o estado de São Paulo é o maior destaque na produção e em área colhida, configurando-se, ao longo do tempo, como o maior produtor de cana-de-açúcar brasileiro (Figura 2). Observa-se ainda que, em 2016, último ano dessa representação, o estado de São Paulo representa maior área plantada bem como maior quantidade, quando comparado aos outros estados brasileiros, principalmente com os da região Nordeste, a qual foi a precursora na plantação da cana.

Em relação a produção de açúcar e etanol, a região Sudeste é a referência em termos de produção. As Figuras 3 e 4 apresentam a evolução na fabricação desses dois produtos para as safras de 2011/2012 até 2017/2018. Destaca-se que somente esta região na safra de 2017/2018 foi responsável por 74,63% da produção de açúcar brasileira (Figura 3). Em relação à fabricação de etanol essa região representou 57,43% do total produzido (Figura 4).

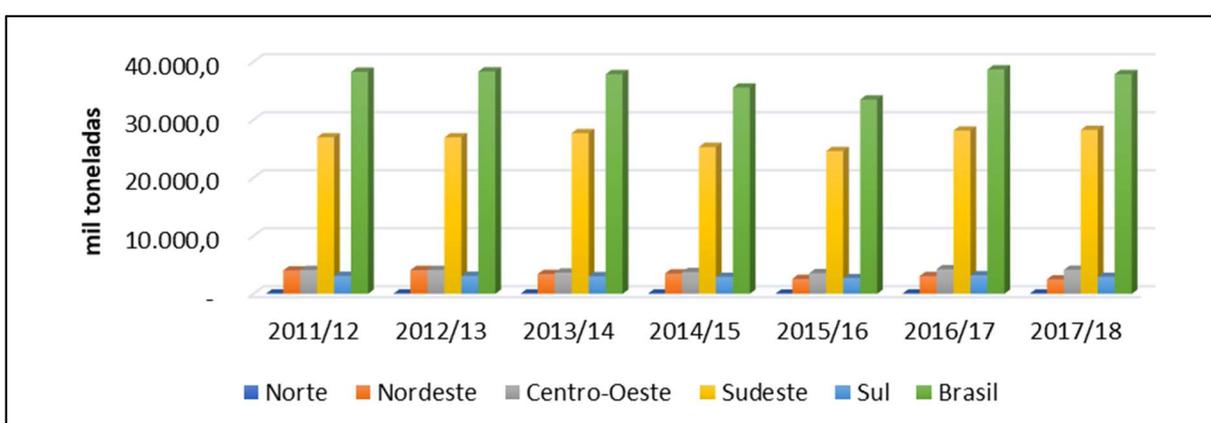


Figura 3. Produção de açúcar por macrorregião brasileira – em mil toneladas

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de Conab (2018)

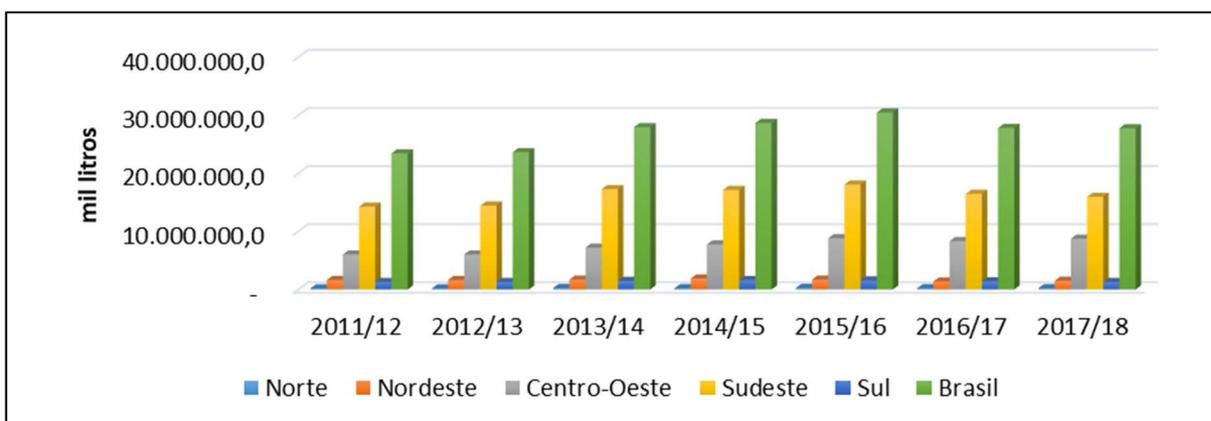


Figura 4. Produção de etanol por macrorregião brasileira – em mil litros

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Conab (2018)

Em se tratando dos estados brasileiros, a Figura 5 apresenta a evolução histórica dos seis principais em termos de produção de açúcar no Brasil. Nota-se que o estado de São Paulo é o principal produtor de açúcar brasileiro, gerando uma produção na safra de 2017/2018 de 23.859,1 mil toneladas, enquanto o segundo lugar é de Minas Gerais que teve um total de 4.237,3 mil toneladas (Figura 5).

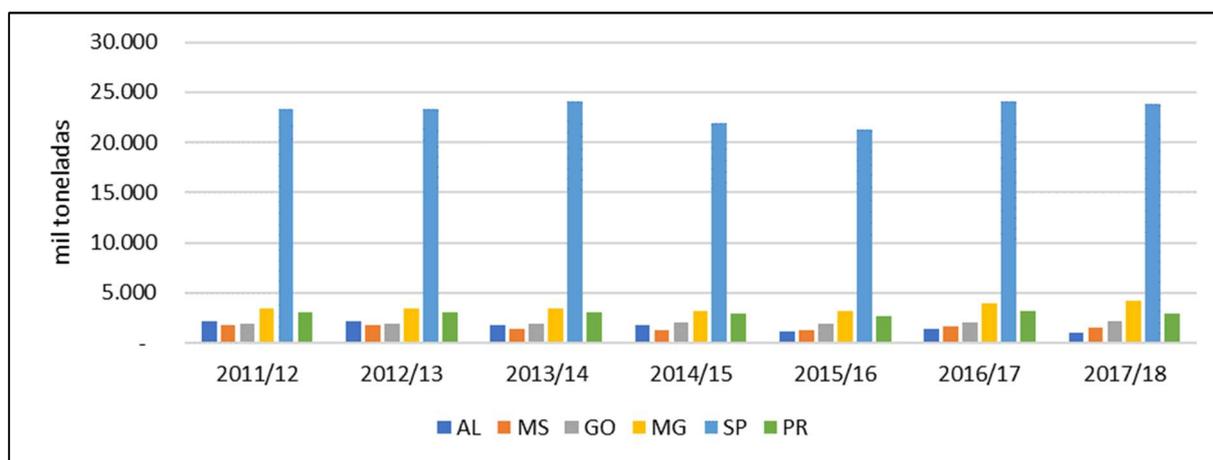


Figura 5. Principais estados brasileiros produtores de açúcar de cana – em mil toneladas
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Conab (2018)

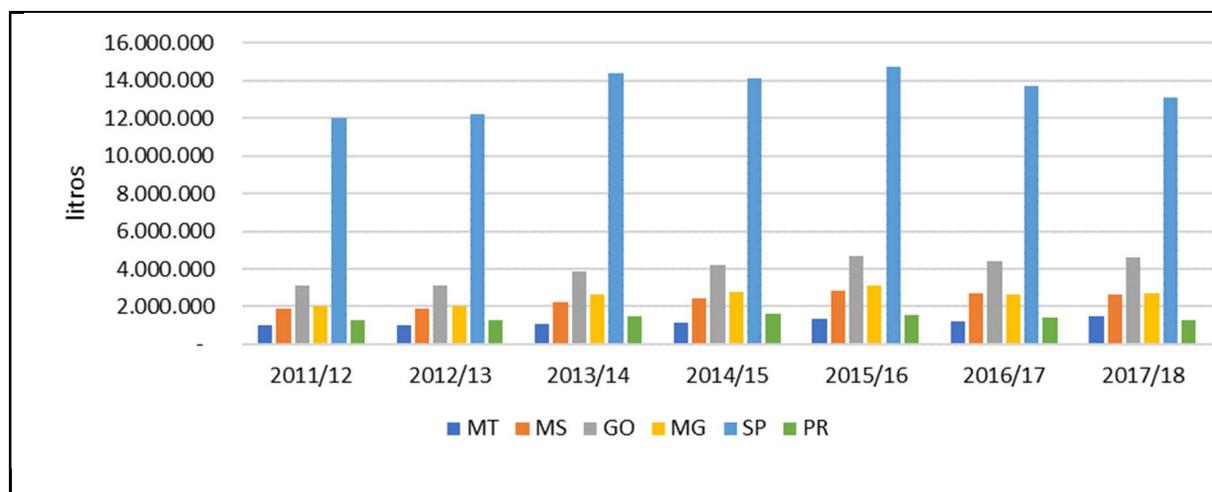


Figura 6. Principais estados brasileiros produtores de etanol – em mil litros
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Conab (2018)

Já na Figura 6, é apresentada a evolução histórica dos seis principais estados do Brasil na produção do etanol. O destaque novamente é para o estado de São Paulo, que na safra 2017/2018 produziu 13.087.055 mil litros do produto. Com isso percebe-se a relevância de estudar este estado, visto que São Paulo é o destaque nacional em termos de importância no setor. A próxima seção é dedicada as principais características do processo de produção da cana.

2.1.3. Caracterização do processo de produção e processamento da cana-de-açúcar

De acordo com a Conab (2013; 2017b) a indústria açucareira brasileira possui um diferencial em relação aos demais países, de acordo com três características:

Em primeiro lugar, a maior parte da cana-de-açúcar empregada na produção industrial é de propriedade da usina. Utilizando o total de cana-de-açúcar processada, tem-se que somente 34,06% da matéria-prima é adquirida de terceiros (produtores agrícolas independentes), em conformidade com os dados da safra 2014/2015 (CONAB, 2017b). Ao contrário de outros países que possuem a produção agrícola separada da industrial.

A segunda característica está na diversidade de produtos oriundos do caldo da cana e dos resíduos líquidos e sólidos resultantes da moagem. Além disso, os incentivos para a produção do álcool combustível na década de 70, constituindo um grande mercado interno, permitiu que o Brasil desenvolvesse um modelo de indústria mista, onde parte do caldo de cana é destinado para produção do açúcar e outra parte para o álcool.

O terceiro ponto está na distribuição do setor de produção no território nacional. A posição geográfica brasileira no Planeta Terra permite a produção da cana em um grande espaço geográfico. A extensão do sentido norte/sul permite que o país detenha vários climas, que possibilita a produção por praticamente todos os meses do ano. Por haver produção em quase todas regiões brasileiras, em períodos diferentes, há uma facilidade na distribuição do álcool combustível para todo o território nacional (CONAB, 2017b).

A cana-de-açúcar por sua peculiaridade de lavoura semiperene, possibilita múltiplas colheitas, em torno de 5 vezes, antes da substituição da plantação por novas mudas. Esta renovação da lavoura envolve diversos fatores, como os de ordem técnico, operacional e financeiro. Estes fatores implicam no planejamento de todo processo de produção agrícola, como a definição das variedades da planta, dos viveiros para as mudas, da área de colheita e do volume da produção para atender a demanda industrial.

A escolha da época de plantio dos canaviais é imprescindível para o bom desenvolvimento da cana, e alguns fatores são necessários para o crescimento e acúmulo de açúcar na planta. Para seu desenvolvimento a cana necessita de alta disponibilidade de água, altas temperaturas e alto nível de radiação solar (CONAB, 2013). Por consequência do clima favorável e solos propícios para plantação, a cana-de-açúcar passou a ser cultivada em quase todos os estados do Brasil, com uma menor expressão no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, devido ao risco de ocorrência de geadas. Cabe destacar que as variedades da cana estão

divididas em três épocas diferentes: cana de ano e meio, cana de inverno e cana de ano (ROSSETTO e SANTIAGO, 2018).

- Cana de ano e meio: é plantada entre os meses de janeiro e abril, constituindo um bom período para a plantação da cana, visto que as condições de temperatura e umidade são ideais para o desenvolvimento das gemas, possibilitando uma rápida brotação e auxiliando na redução de doenças nos toletes. Ocorre o desenvolvimento da planta nos primeiros três meses e no inverno (de abril a agosto) com a seca, o crescimento torna-se mais lento, e passa a vegetar nos meses seguintes (setembro a abril), para então amadurecer quando atingir 16 a 18 meses.

- Cana de inverno: É possível produzir no inverno, época de estiagem, utilizando irrigação ou fertirrigação para fornecer a umidade necessária para a brotação, com essa técnica a plantação pode ocorrer em qualquer parte do ano.

- Cana de ano: a plantação ocorre entre outubro e novembro, a grande vantagem desse plantio consiste na possibilidade de utilizar a mesma mão-de-obra e maquinário no sistema de cana de ano e meio e cana de ano. A desvantagem está no fato de que essa planta terá uma menor produtividade, haja vista que ela terá apenas sete ou oito meses de desenvolvimento efetivo.

A cana é considerada madura e pronta para ser colhida quando ela possui mais de 16% de sacarose e 85% de pureza de suco de cana. Se forem plantadas entre dezembro e janeiro, elas serão classificadas como precoce, médio-tardio e tardio, de acordo com a época que forem colhidas 12, 14 e 16 meses, respectivamente (NETAFIM, 2018).

O ATR é um índice empregado para avaliar o nível de sacarose no caldo da cana. Esse índice varia nos estados e nas regiões, além de variar entre as safras, pois está relacionado com as condições climáticas e com o processo de condução e colheita das lavouras. Existe uma grande relação entre a quantidade de ATR e o produto final, portanto o nível de ATR indica a quantidade de açúcar ou álcool que poderá ser produzido. No Brasil a partir do nível tecnológico para ao tratamento e purificação do caldo, além das perdas que ocorrem no processo, a relação entre o ATR e uma unidade do produto pode ser analisada na Tabela 1.

Tabela 1. Índice de rendimento de açúcar e álcool por unidade de ATR

Produto final	Unidade de produção	Quantidade de ATR
Açúcar	1 kg	1,0495 kg
Álcool etílico anidro	1 litro	1,7651 kg
Álcool etílico hidratado	1 litro	1,6913 kg

Fonte: Elaboração própria baseado na Conab (2013)

Cabe ressaltar que é grande a quantidade de indústrias mistas, que produzem açúcar e álcool, no Brasil. De acordo com Conab (2017b), na safra de 2014/2015 havia 253 unidades mistas no Brasil, 89 de destilarias e, 10 usinas. Especificamente na região Centro-Sul os números são, respectivamente, 213, 71 e 4. E a Norte/Nordeste possuindo 40, 18 e 6. Através destes dados percebe-se que existe maior proporção de usinas no Norte/Nordeste quando comparado ao Centro-Sul. Contudo, há predomínio de unidades mistas nas duas regiões. A vantagem das indústrias mistas está no fato de que pode haver um reaproveitamento do melaço residual, um subproduto do açúcar, que pode ser utilizado na produção do álcool.

Dado este fato, as empresas têm a possibilidade de produzir o bem que está com melhor vantagem no mercado, ou seja, o que apresentar o melhor custo/benefício. Em épocas chuvosas e de elevada umidade, quando o nível de ATR está baixo, é mais adequado produzir uma quantidade maior de etanol ao invés de investir no açúcar. Já em períodos seco, quando o ATR está elevado, o empresário poderá optar em produzir açúcar em um nível mais alto. Claro que não está sendo analisado os preços e nem a quantidade disponível no mercado, o foco está sendo somente na quantidade ótima para a produção partindo do ATR.

Por fim, destaca-se que a produção da cana-de-açúcar se inicia com a cana planta, cujo o tempo de colheita pode ser dos 12 até os 18 meses. Em seguida a primeira colheita, a cana rebrota dando início a um novo ciclo chamado de cana soca ou soqueira. A partir daí a colheita da cana soca pode se repetir por quantas vezes for possível, em regime de sequeiro costuma-se ser de quatro a cinco socas. Normalmente os produtores, plantam somente cana-de-açúcar nas áreas, caracterizando um sistema de monocultura, então após a última colheita, baseado no nível de produtividade, é feita a reforma do canavial, a fim de iniciar o processo novamente (DIAS, 2016).

Pode-se concluir também, diante do contexto, que o clima (principalmente as precipitações em época adequada) é muito importante para a formação da cana-de-açúcar, pois tanto a falta quanto o excesso de chuvas podem afetar o crescimento, desenvolvimento e produtividade da planta. De acordo com Dantas Neto et al. (2006), a falta de água não é restrita somente nas regiões que sofrem com a seca, pois mesmo regiões com clima úmido, a má distribuição das chuvas, podem, em algum momento, restringir o crescimento da cana. Os autores revelam que para obter uma elevada produtividade, atingindo o máximo potencial da planta, é fundamental a tecnologia de irrigação.

De acordo com Dias (2016), o fator mais limitante para o desenvolvimento e produtividade dos colmos da cana-de-açúcar brasileira, é a deficiência hídrica da cultura. O

autor, indica que o uso da irrigação, mesmo que suplementar, é essencial para aumentar a produção da cana no país, a fim de não haver a necessidade de expansão da área plantada.

Monteiro (2012) avaliou o potencial do uso da irrigação por meio do modelo da Zona Agroecológica (modelo FAO) para o cálculo da produtividade potencial e da produtividade atingível² da cultura da cana-de-açúcar em 178 localidades do estado de São Paulo. O autor, constatou que nas regiões Norte e Oeste do estado, o incremento da produtividade de colmos variou entre 70 e 130 toneladas/hectare (t/ha). Como resultado da relação entre a quebra de produtividade e o déficit hídrico das regiões de São Paulo, o autor elucidou que para cada 100 mm de déficit hídrico há uma perda de 11,2 t/ha de cana.

É consenso entre diversos pesquisadores do tema, que a redução do déficit hídrico da cana-de-açúcar, retrata em um aumento na produtividade, visto que, as precipitações nem sempre acompanham as fases mais críticas da demanda hídrica da cultura, sendo indicado o uso da irrigação como fonte de recursos hídricos referentes às intempéries do tempo. A irrigação resulta, além do aumento da produtividade, maior longevidade das soqueiras e aumento no número de colheitas (MATIOLI, et al., 1998; FRIZZONE et al., 2001; MACHADO et al., 2002; BLANCO et al., 2004; INMAN-BAMBER e SMITH, 2005; DANTAS NETO et al., 2006; SANTOS e FRIZZONI, 2006; FREITAS et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011; SILVA et al., 2014; PERIN, 2016; COSTA, 2016; SANTOS, 2016).

Através disso, existem outros aspectos relevantes, que é o benefício dos custos indiretos. Com o uso da irrigação, ocorre uma diminuição dos custos de produção, estes custos estão relacionados aos arrendamentos de fazendas, que as vezes se faz necessário para atender a demanda de cana. Normalmente, estes locais, apresentam-se distantes das usinas e possuem solos com baixa fertilidade. Além dos benefícios dos custos com arrendamentos, ocorre também redução com os custos de transporte, tratos culturais e renovação do canavial (MATIOLI et al., 1998; FRIZZONE et al., 2001; INMAN-BAMBER e SMITH, 2005; FREITAS et al., 2009; COSTA, 2016).

É evidente que não é somente a água responsável pelo desenvolvimento da cultura, deve-se considerar, ainda, a combinação de adubação, a quantidade de fertilizantes, a idade de corte, o tipo de solo, entre outros determinantes. Mas a água é um dos elementos mais

² A produtividade potencial está relacionada com a produtividade de uma planta não possuir em seu desenvolvimento restrições de forma hídrica, nutricional ou bióticas (pragas, plantas daninhas e doenças), isto é, os únicos fatores que podem afetar a planta é a radiação solar, temperatura do ar, concentração de CO₂, características da espécie da planta e fotoperíodo. A produtividade atingível ou limitada pela água, possui um fator limitante, a deficiência hídrica, a qual é vinculada pela quantidade e distribuição de chuvas, tipos de solos e topografia do terreno (DIAS, 2016).

importantes para o bom desempenho da planta e talvez o que, atualmente, não está sobre o controle de produtor. A partir disso, a próxima seção analisará a importância da água e sua utilização no setor agrícola.

2.2. A água e sua importância no uso agrícola

Essa seção irá expor o uso da água na irrigação, além demonstrar como é realizado o cálculo da demanda hídrica da cana-de-açúcar e por fim exibir a importância da valoração da água.

2.2.1. Irrigação

A irrigação é uma prática que emprega um conjunto de técnicas e equipamentos capaz de fornecer à agricultura a quantidade de água necessária para a manutenção das plantas, agregando à produção aquilo que não foi fornecido pelos recursos naturais (chuva e solo). O objetivo da utilização da prática é prover água para as plantações de modo uniforme e eficiente, maximizando o cultivo de maneira que não vá prejudicar o desenvolvimento da planta. Desta forma, é necessário o ajustamento entre os principais elementos da irrigação responsáveis pela potencialização das culturas, que são: água, energia, mão de obra e o meio de deslocamento da água até a lavoura (BERNARDO et al. 2013).

Pode-se ressaltar vários benefícios na prática da irrigação como, o aumento expressivo da produtividade, quando comparado com a agricultura de sequeiro (parte do déficit hídrico da planta só é suprido em épocas de chuvas), a redução de abertura de novas áreas para plantação, o aprimoramento do uso da terra e de insumos (máquinas, implementos, trabalhadores...), a expansão e a frequência na oferta de produtos da agricultura, o incentivo a introdução de agroindústrias, a redução de riscos climáticos, entre outros (ANA, 2017a).

A técnica de irrigação utilizada pelas civilizações primitivas era bastante rudimentar e realizada através de represas de água sitiadas por diques. A agricultura serviu como base para os povos mais antigos, e a formação das civilizações mais poderosas ocorreram em torno de grandes rios, como o rio Nilo localizado no Egito em torno de 6.000 A.C.; rio Tigre e Eufrates na Mesopotâmia (Turquia e Irã); rio Amarelo na China; rios Indus e Ganges na Índia; pelos rios que cercavam o vale sagrado dos Incas localizado no Peru; e pelos rios que rodeavam o México na civilização Maia (MELLO e BATISTA DA SILVA, 2009). Ressalta-se que a irrigação nessa época foi muito importante para o abastecimento de alimentos e o aumento populacional.

A irrigação chegou na América do Sul através dos povos Incas há mais de 2000 anos. No Brasil a iniciação da técnica foi tardia, comparada com outros países, não havendo nenhum indício da prática de irrigação pelos índios. O primeiro relato de projeto relacionado a irrigação ocorreu em 1881 no Rio Grande do Sul, através da iniciativa privada para a construção do reservatório Cadro, que servia para suprir água na lavoura de arroz, o início da utilização da irrigação começou de fato em 1903. Apesar da técnica ser muito antiga, no Brasil tornou-se usual apenas nos últimos 30 anos, iniciando no Rio Grande do Sul através do arroz irrigado por inundação e em São Paulo com café irrigado por aspersão. Por volta da década de 70 se desenvolveu na região Nordeste do Brasil (BRASIL, 2008).

De acordo com FAO (2017) os líderes mundiais de área irrigada são a Índia e a China, onde cada um obtém cerca de 70 milhões de hectares (Mha), após esses, destacam-se os Estados Unidos com 26,7 Mha, Paquistão 20 Mha e Irã com 8,7 Mha. O Brasil aparece entre os dez países com maior área irrigada do mundo, possuindo uma área entre 4 e 7 Mha, neste grupo também estão presentes a Tailândia, Indonésia, Turquia, Bangladesh, Vietnã, Uzbequistão, Itália e Espanha.

O consumo com irrigação em diversos países em desenvolvimento pode chegar a mais de 90% dos recursos hídricos disponíveis. A Inglaterra, país que não tem problemas com estiagem, gasta com irrigação em torno de 1% do consumo humano de água. Já Portugal, Grécia e Espanha, no mesmo continente, a água usada para irrigação supera a ordem 70% do consumo total de água do país. China, Índia e Egito utilizam quase 90% do recurso disponível, em seus respectivos países, para a irrigação (ANA e CEBDS, 2009). No Brasil a irrigação é o maior consumidor de água entre os setores, sendo responsável por mais de 70% do consumo nacional (ANA, 2017a).

Segundo o estudo realizado por ANA e CEBDS (2009) a irrigação foi um grande avanço da revolução verde³, a qual possibilitou diversos países em desenvolvimento a produzir alimentos para toda sua população, sendo, portanto, uma tecnologia relevante para segurança alimentar. Contudo, ainda de acordo com a pesquisa, é interessante notar que a produção mundial está ameaçada, pois o Planeta Terra precisará de mais água para a produção de alimentos, uma vez que terá que suprir os 2 milhões de novos habitantes que existirão nas

³ A revolução verde foi um movimento criado na década de 60 por países em desenvolvimento, que visava utilizar a tecnologia para criar benefícios à agricultura, como a mecanização, utilização de fertilizantes químicos, controle da água de irrigação e demais fatores. Mazoyer e Roudart (2010) relatam que a revolução verde é uma transformação da revolução agrícola contemporânea, destituída de mecanização e com um desenvolvimento muito maior.

próximas décadas. Além disso, é estimado que de 15 a 35% da água mundial utilizada para irrigação é extraída de forma insustentável (ANA e CEBDS, 2009).

É importante destacar que em regiões que sofrem com a seca, como o semiárido brasileiro, a irrigação é importante, dado que, quase toda água necessária para a produção deriva dessa prática, que é chamada de irrigação total. Também serve para regiões onde a escassez da água ocorre em alguns períodos do ano, como na região Sudeste e, principalmente, na região Centro-Oeste, quando a irrigação é realizada em apenas um período do ano, esta é denominada como complementar (ANA, 2017a).

No Brasil desde 1960 a área irrigada tem aumentado em torno de 4% ao ano, iniciando com 462 mil de hectares na década de 60 e em 2015 chegando na marca de 6.954.710 Mha, como pode ser verificado através da Tabela 2. Em relação as regiões, pode-se destacar que a Norte tem uma baixa participação na agricultura irrigada, sendo que Tocantins apresenta a maior área com um total de 127.804 mil ha.

Ocorreu grande crescimento nas áreas irrigadas da região Nordeste, resultado de investimentos público e privado em infraestrutura hídrica, passando de 51.770 (ha) em 1960 para a faixa de 1 milhão de hectares irrigados em 2015. É observado, de 2006 a 2015, uma estagnação em relação a área, consequência da redução de investimentos e da crise hídrica da região, com exceção da Bahia que fechou o ano com 504.781 mil ha (ANA, 2017b).

Tabela 2. Área irrigada por macrorregião brasileira em hectares (ha)

Região	1960	1970	1975	1980	1985	1996	2006	2015
Norte	457	5.640	5.216	19.189	43.244	83.022	109.582	194.002
Nordeste	51.770	115.971	163.358	261.425	366.832	751.886	1.007.657	1.171.159
Sudeste	116.174	184.618	347.690	428.822	599.564	929.189	1.607.681	2.709.342
Sul	285.391	474.663	535.076	724.568	886.964	1.096.592	1.238.812	1.696.233
C. O.*	1.637	14.358	35.490	47.216	63.221	260.952	581.801	1.183.974
Total	455.429	795.250	1.086.830	1.481.220	1.959.825	3.121.642	4.545.533	6.954.710

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados da ANA, 2017b

Nota: *Centro-Oeste

A região Sudeste, através de seu constante crescimento ao longo dos anos, se destaca pela maior área irrigada do Brasil no ano de 2015, São Paulo com 1.300.047 Mha e Minas Gerais conta com 1.082.373 Mha, juntos contribuem com 34% da área irrigada do país e 87,9% da região. A região Sul, tradicionalmente conhecida pela produção irrigada de arroz, também apresentou aumentos na área, se destacando como a segunda maior região produtora, sendo o Rio Grande do Sul, estado de maior área irrigada no país, responsável por 80,6% da área da região Sul e 19,5% da área nacional, com área total, em 2015, de 1.368.327 Mha irrigados. E por fim, a região Centro-Oeste que teve um acelerado crescimento agrícola nas últimas décadas,

partindo de 1960 com 1.637 mil hectares para 2015 com um montante de 1.183.974Mha. O maior destaque dessa Região é o estado de Goiás com uma área irrigada, em 2015, de 717.485 mil hectares (ANA, 2017b).

Quanto aos métodos de irrigação, cabe ressaltar que não existe um sistema de irrigação ótimo, isto é, que seja capaz de responder a qualquer condição do meio físico, variedade de cultura e objetivos econômicos e culturais. É necessário, para a escolha da técnica de irrigação mais adequada, analisar alguns fatores importantes como, a disponibilidade dos recursos hídricos, o tipo de solo, a topografia da área, os aspectos econômicos e culturais da região de cultivo, os custos de implantação do sistema de irrigação e o clima. Os principais métodos de irrigação são: por superfície, por aspersão, localizada e subterrânea (PIRES et al, 1999; IBGE, 2006; MANTOVANI et al., 2007; BERNARDO et al., 2008; ANA, 2017b).

- Irrigação por Superfície: é o método mais utilizado mundialmente, e consiste na aplicação direta da água sobre o solo. Destacando-se três tipos de modalidades desse sistema, irrigação por sulcos, por faixa e por inundação, onde o primeiro sistema fornece uma condução da água através de sulcos ou canais de irrigação, dispostos entre as linhas de plantio das culturas. O segundo sistema é aplicado em faixas de terra, com uma certa declividade longitudinal, separadas por elevações chamada de diques ou taipas. Já o terceiro é realizado através de alagamento ou inundação do terreno para alguns tipos de cultura. Para este tipo de sistema é necessária uma grande quantidade de água e terrenos planos. De acordo com Mantovani et al. (2007), o método de irrigação por superfície é o que mais consome água, possuindo baixa eficiência de aplicação e não pode ser utilizado na fertirrigação.

- Irrigação por Aspersão: a água é aplicada na plantação na forma de chuva artificial, através de jatos de água sob pressão que passam pelos orifícios dos aspersores. O método por pivô central é um dos diferentes tipos que a irrigação por aspersão possui, ele consiste em um sistema móvel, formado por uma barra com diversos aspersores que se movimentam em torno de um ponto fixo. O sistema linear é outro método utilizado por aspersores que é realizado através de mangueiras interligadas a hidrantes ou a canais na beira da área irrigada. Mantovani et al. (2007) relata que esse tipo de sistema é muito utilizado, graças a sua elevada aplicabilidade e boa uniformidade de aplicação de água.

- Irrigação Localizada: também chamada de Microirrigação, consiste na aplicação da água apenas na região das raízes. O sistema possui baixa pressão e alta frequência de irrigação, mantendo o solo úmido. Os métodos de gotejamento e microaspersão são os mais utilizados dentro dessa modalidade. No primeiro, a água é aplicada em forma de gotas, em orifícios com diâmetro muito pequeno e cai diretamente na zona radicular da planta. Já no

segundo, a água é aplicada através de microaspersores, em círculos de 1 a 3 metros de raio, sendo capaz de atingir 5 metros de distância e também trabalha com pressões maiores que o gotejamento. Esses sistemas de irrigação localizados, denotam grande potencial referente a eficiência da água e de produtividade, expandindo sua utilização por todo Brasil (MANTOVANI et al., 2007).

Irrigação subterrânea ou subsuperficial: a água é aplicada abaixo do solo da planta, ou seja, diretamente na raiz. Uma das vantagens dessa técnica é que a superfície não é molhada, então não há perdas de água ocasionada pela evaporação, em contrapartida é de difícil detecção os problemas envolvendo os tubos que estão abaixo da terra.

Tabela 3. Eficiência de aplicação (Ea) ideal e aceitável

Método de irrigação	Ea ideal (%)	Ea aceitável (%)
Superfície		
sulco	≥75	≥60
faixa	≥80	≥65
inundação	≥85	≥65
Aspersão	≥85	≥75
Localizada	≥95	≥80
Subsuperficial		
lençol freático estável	≥70	≥60
lençol freático variável	≥80	≥65

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Bernardo et al. (2008)

A Tabela 3 apresenta a eficiência de aplicação (Ea) ideal e aceitável dos principais sistemas de irrigação. Pode-se perceber que de todas as técnicas de irrigação apresentadas, o método de irrigação localizada é o mais eficiente em termos de aplicação da água – entre 80 e 95% - Tabela 3. Dado o tamanho dessa eficiência na irrigação, os cenários apresentados no presente estudo abordarão a utilização do sistema de irrigação localizada.

Segundo o Censo Agropecuário do IBGE realizado no Brasil no ano de 2006, 6,3% das propriedades rurais do país empregaram a técnica da irrigação, especialmente inundação, pivô central e outros métodos de aspersão (Tabela 4). A dimensão da área irrigada foi de 4,45 milhões de hectares, distribuídos de acordo com o tipo de sistema adotado para irrigação, de tal forma apresentada na Tabela 4.

Em relação a captação da água, 74,8% dos estabelecimentos manifestaram que a fonte era própria, 15,5% revelaram que a água era de fora do estabelecimento, mas que utilizavam máquinas para bombeamento próprio e 7,1% era adquirida através de terceiros por meio de projetos particulares ou comunitários de irrigação. A análise ainda demonstra que houve um aumento de 39% no número de propriedades que utilizavam irrigação e 42% no total de área irrigada no Brasil, comparando os dois últimos censos agropecuários (IBGE, 2006).

Tabela 4. Porcentagem de área irrigada no Brasil de acordo com os métodos de irrigação

Método de irrigação	2006 (%)	2017 (%)
Superfície	30	23,5
sulco	4	1
inundação	26	21
outros métodos	-	1,5
Aspersão	55	48
pivô central	20	21
outros métodos	35	27
Localizada	7	24
Subsuperficial	-	1
Outros métodos de irrigação	8	3,5

Fonte: Elaboração própria, adaptado de IBGE (2006 e 2018b)

Entre os anos de 2006 e 2017, a área total ocupada por estabelecimentos agropecuários cresceu 5% (16.573.292 ha), apesar da redução de 2% (103.484) no número de estabelecimentos. No censo de 2017, 502.425 estabelecimentos agropecuários, relataram que utilizavam algum método de irrigação, totalizando uma área irrigada de 6.903.048 hectares, comparando com censo de 2006, ocorreu um aumento de 52% no número de estabelecimentos que utilizam o sistema de irrigação em suas terras e de 52% na área irrigada (IBGE, 2018a). A Tabela 4 apresenta a porcentagem de área irrigada, de acordo com o tipo de irrigação, segundo os Censos 2006 e 2017. Pode-se notar, através da Tabela 4, que nesses 11 anos, os produtores rurais preocuparam-se em utilizar sistemas de irrigação que são mais eficientes, em termos de gasto de água. Reduzindo o número de áreas que antes utilizavam os métodos de irrigação por superfície e aspersão, por métodos mais eficientes, como irrigação localizada (gotejamento e microaspersão).

Ainda utilizando os dados do Censo 2006, foi realizada uma pesquisa sobre os principais produtos de lavoura temporária no Brasil. Dentre as questões que continham na pesquisa, estava presente o uso ou não de irrigação nas lavouras. Foram selecionados 20 produtos, dos quais 11

estão sendo apresentados na Figura 7, eles foram escolhidos pela quantidade de hectares que abrangeram - mais de 50 mil hectares. Cabe destacar que o produto que mais recebeu irrigação foi a cana-de-açúcar, 1.705.200Mha, seguido do arroz em casca que representou 1.128.860Mha.

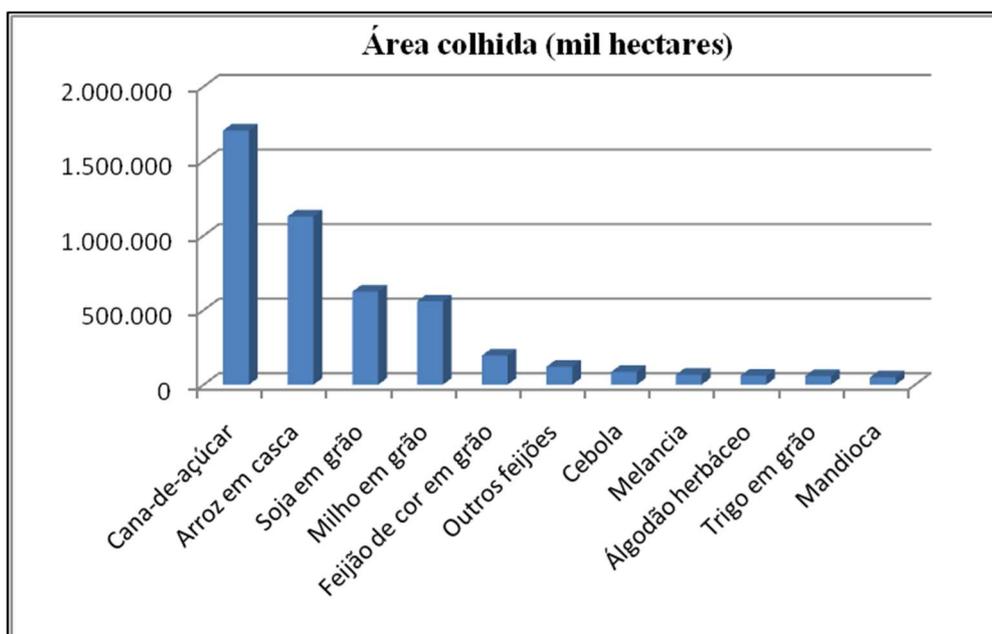


Figura 7. Produtos selecionados que utilizaram irrigação no ano de 2006
Fonte: Elaboração própria, baseado no IBGE (2006)

Segundo a ANA (2017a) na safra 2015/2016 na região Centro-Sul foi irrigado cerca de 1,72 Mha de cana-de-açúcar, o que equivale a 17% da produção na região. O estudo salienta que 375 cidades do Centro-Sul possuem pelo menos mil hectares de cana irrigada, e destas, 101 compreenderam áreas maiores que cinco mil hectares, sendo que 55% estão localizadas em Minas Gerais, Goiás e São Paulo. Outro resultado demonstra que São Paulo apresenta 45% da área irrigada, seguido por Goiás com 22,3% e Minas Gerais com 19,9%, os três estados juntos representam quase 90% da área irrigada da região Centro-Sul.

Diante disso, a irrigação em cana-de-açúcar é de extrema importância visto que é a cultura de maior área irrigada do Brasil, cerca de 30% do total. Mas o cultivo apresenta características que atrapalham sua identificação, como baixa escala de lâminas⁴ de irrigação e alto reuso da água derivada do processo industrial. Estas particularidades da cana a diferenciam de outras culturas, e a caracterizam como baixa consumidora de água por unidade de área, mas de elevada expressão devido ao grande espaço que ocupa, podendo modificar a quantidade de água em uma bacia hidrográfica (ANA, 2017a).

⁴ Quantidade necessária de água para satisfazer a demanda hídrica da planta.

É importante ressaltar que mesmo havendo baixa dotação de água, a produção da cana-de-açúcar não é inviabilizada, podendo ocorrer somente redução da produtividade. Por outro lado, se a cana estiver sob favoráveis condições hídricas, haverá benefícios na produtividade, na vida útil do canavial, assim como na qualidade. Na região Centro-Sul, o período de seca ocorre no outono/inverno, fase a qual ocorre o amadurecimento e colheita da cana, o que favorece essa etapa, pois em períodos de chuvas a colheita e o transporte são prejudicados e até mesmo interrompidos. No entanto se não houver água para a rebrota das soqueiras, a produtividade da plantação é depreciada, como ocorreu na maioria dos canaviais da região Centro-Sul em 2014 (ANA, 2017a).

Segundo ANA (2017a) para superar este problema passou-se a adotar a irrigação no processo produtivo da cana, para auxiliar no desenvolvimento da plantação, especialmente na fase de rebrota. Contudo, a quantidade de água aplicada via irrigação varia entre as diferentes regiões de cultivo. Nas regiões semiáridas, o desenvolvimento da planta só é possível através da aplicação de lâminas de água mais consideráveis, podendo chegar até 1000 mm/ano. Em outros locais onde ocorre alguma escassez de água, as lâminas podem ser menores e representar de 20 a 80 mm/ano. Também existem regiões onde a aplicação das lâminas é ainda menor, menos de 20 mm/ano, mostrando um pequeno impacto no fornecimento de água na lavoura.

Ainda de acordo com a Agência, a irrigação da cana pode ser realizada de diversas formas, mas existem dois tipos que são os mais frequentes, principalmente na região Centro-Sul do Brasil, elas se diferem pelo tipo de sistema de irrigação empregado para a aplicação das lâminas de água. O primeiro tipo é chamado de irrigação plena, ele objetiva a aplicação de lâminas de 300 a 1000 mm/ano, pois são locais que necessitam de 100% de água de fonte externa, ainda dentro dessa classificação tem a irrigação com déficit ou semiplena que visa compor em torno de 50% da deficiência hídrica e utiliza lâminas entre 200 e 300 mm/ano. Cabe destacar que esses dois sistemas são efetuados através de pivôs centrais e sistemas lineares.

O segundo grupo é denominado irrigação de salvamento, utilizado na redução parcial do estresse hídrico no período de estiagem, visando favorecer o desenvolvimento do canavial até as primeiras chuvas. Nessa classificação é utilizada a vinhaça⁵, pura ou diluída na água,

⁵ A vinhaça é uma solução líquida, resultante da destilação de uma dissolvença alcoólica denominada "vinho" ou "vinhoto", obtida através da fermentação na produção do álcool. Ela pode ter origem do caldo de cana, do melaço ou por meio da mistura destes. No final da década de 70, através da Portaria n° 323, de 29 de novembro de 1978, passou a ser proibido o despejo da vinhaça nos rios, lagos ou em correntes de água, pois essa prática trazia malefícios tanto para os humanos quanto para os animais com a degradação da qualidade da água (ELIA NETO, 2016). O autor destaca que a utilização da vinhaça além do controle da poluição, a solução também traz outros benefícios, pois apresenta características físico-químicas capaz de substituir ou reduzir a quantidade de fertilizantes no cultivo da cana, visto que, este resíduo apresenta elevado teor de nitrogênio, potássio e micronutrientes adequados para o solo agrícola.

resultante do processo industrial, aplicada através de um carretel enrolador (hidro roll) ou um pivô rebocável, podendo variar de 20 a 80 mm/ano. Esse tipo de sistema pode ser aplicado em qualquer tipo de região, independente da alta ou baixa ocorrência de chuvas, pois um dos objetivos desse manejo é aumentar a produtividade e longevidade da plantação.

De acordo com ANA (2017a), a maior parte das usinas brasileiras possuem equipamentos de irrigação - carretéis enroladores - para a utilização da vinhaça produzida no processo de destilação do etanol. Esta técnica surgiu para satisfazer as leis voltadas para o descarte direto nos mananciais da água industrial e para a adubação. Para cada litro produzido de etanol outros 10 litros de vinhaça são produzidos, que normalmente são aplicados nos canaviais ao redor das usinas. Segundo a Agência na safra 2016/17 foram produzidos 280 bilhões de litros de vinhaça, quantidade suficiente para a aplicação de uma lâmina de 28 mm de vinhaça em 1Mha. A vinhaça é misturada com água para a fertirrigação das plantações de cana, contribuindo para a fertilização e redução do déficit hídrico das soqueiras após o corte.

Como se observa pelo posto até o momento, a cana-de-açúcar tem uma importância não apenas econômica, mas também estratégica para o país, uma vez que se trata não somente de um bem alimentar, mas também de uma fonte de energia limpa e renovável - biocombustível – que contribui na substituição do derivado do petróleo (gasolina). Para o adequado fornecimento da cana, a irrigação é um dos elementos fundamentais, processo esse que demanda a utilização do recurso natural "água". Partindo do princípio que o recurso é limitado e as necessidades, ou desejos, humanos são ilimitados, e que no futuro será demandado um número maior de cana para a produção do etanol e açúcar, a próxima seção tratará dos critérios necessários para o cálculo da quantidade de água aplicada na irrigação da cana-de-açúcar, cujas quantidades serão utilizadas neste estudo.

2.2.2. Demanda hídrica da cana-de-açúcar

A quantidade de água consumida no processo de irrigação é um dos principais elementos para a valoração da água. Uma vez que, nos questionários aplicados aos produtores, realizado pelo Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (Pecege)⁶, não contém a quantidade de água utilizada na produção de cana, houve a necessidade de realizar essa mensuração através de cálculos agroclimatológicos específicos para esse tipo de situação.

⁶ Os questionários do Pecege fazem parte da fonte de dados do trabalho, que serão apresentados na próxima seção.

Esses cálculos preveem a quantidade de água utilizada na produção da cana-de-açúcar, além de demonstrar o benefício que o recurso agrega no processo produtivo dessa cultura.

Para calcular a demanda de água necessária para o cultivo da cana-de-açúcar, é fundamental avaliar as necessidades hídricas da planta, de acordo com os diferentes estágios de desenvolvimento e sua relação com o clima. A metodologia utilizada para as estimativas foi elaborada por Thornthwaite⁷, em 1948, subsequentemente alterado por Mather, em 1955, que ficou conhecido como “Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather, 1955”. Para a estimativa do consumo da planta é necessário a utilização de alguns indicadores que variam de acordo com a região e cultivo (ANA, 2013a).

Para a realização do cálculo da demanda hídrica das culturas considera-se a evapotranspiração, a qual é responsável pela transferência de água para a atmosfera, que ocorre através da transpiração da planta e pela evaporação da água do solo e da superfície da planta (ANA, 2013a). Cabe ressaltar que a quantidade de água retida pela cultura, chamada de água de constituição, é irrelevante em relação à água transpirada ou evaporada (ANA, 2013a).

Para a execução do cálculo da necessidade de água da planta, Bernardo et al. (2013) descreveram a relação solo-água-planta-atmosfera. A próxima subseção irá tratar sobre os critérios e métodos de avaliação da demanda hídrica da cana-de-açúcar nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba - SP.

2.2.2.1. Relação solo-água-planta-atmosfera

De acordo com Bernardo et al. (2013) para iniciar um projeto de irrigação é necessário obter primeiramente conhecimentos da relação ente solo-água-planta-atmosfera, a fim de reduzir possíveis danos ao meio ambiente, tais como: desperdícios de água, deterioração dos solos e perdas de nutrientes. Assim, será possível se obter máxima produtividade e qualidade do produto.

Através das condições climáticas locais em um determinado período de tempo, a quantidade de água necessária para irrigação é aquela requerida pela cultura, ou seja, é a quantidade suficiente de água para responder à evapotranspiração, sendo essa a parte mais importante quando se trata de necessidade de água à cultura. Para suprir essa necessidade

⁷ Esse método foi escolhido devido à limitação de dados climáticos fornecidos para a elaboração deste estudo.

hídrica da planta é utilizada a irrigação total necessária (ITN), que serve de modo complementar às precipitações (BERNARDO et al., 2013). Para as situações de irrigação suplementar⁸:

$$ITN = \frac{\sum ET - Pe}{E_a} \quad (1)$$

Onde:

ITN = lâmina total de irrigação necessária, no período;

$\sum ET$ = somatório da evapotranspiração, no período;

Pe = precipitação efetiva, no período;

E_a = eficiência de aplicação da irrigação⁹.

Para as condições de irrigação total:

$$ITN = \frac{\sum ET}{E_a} \quad (2)$$

Para a mensuração da quantidade de água necessária para a irrigação, os principais indicadores são: precipitação efetiva (chuva) e evapotranspiração.

2.2.2.1.1. Evapotranspiração (ET)

A evapotranspiração pode ser elucidada como a quantidade de água evaporada e transpirada por uma planta, em um período de tempo, como exemplo tem-se: evaporação da água do solo; evaporação da água proveniente de irrigação; chuva ou orvalho da superfície das folhas e a transpiração vegetal (BERNARDO et al., 2013). Ou seja, é a combinação de dois processos que ocorrem separadamente, por um lado a água que é evaporada da superfície da terra e, por outro lado, a transpiração que ocorre através das plantas (ALLEN et al., 1998). Cabe destacar que para ocorrer o processo de evapotranspiração é necessária energia para a evaporação, sendo a energia básica para esse processo a radiação solar.

A transpiração é definida como um movimento da água, passando do solo para as raízes; das raízes até as folhas; e, das folhas para o ambiente na forma de vapor, isto é, um processo de vaporização da água contida nos tecidos vegetais, através de pequenas aberturas na folha da planta, denominada como estômatos, a partir disso passam os gases e o vapor de água para a

⁸ De acordo com Bernardo et al. (2013) na maior parte do território brasileiro o uso da irrigação é suplementar, ou seja, é um complemento de água para suprir o total do déficit hídrico da cultura. Nas regiões áridas e semiáridas, normalmente, faz-se necessária aplicação de irrigação plena (total).

⁹ Será utilizado os valores de referência apontado na Tabela 3.

atmosfera (BERNARDO et al., 2013; ALLEN et al., 1998). Quando a transpiração excede a absorção da água no solo, ocorre o processo de murchamento da planta (BERNARDO et al., 2013).

A evaporação consiste no curso em que a água passa do estado líquido para o vapor, demandando cerca de 585 calorias por centímetro cúbico de água evaporada, a uma temperatura em torno de 20 graus Celsius (°C). Esse processo ocorre em diversas superfícies, como lagos, rios, calçadas, solos e vegetação úmida (BERNARDO et al., 2013; ALLEN et al., 1998).

Allen et al. (1998) relatam que os processos de evaporação e de transpiração ocorrem concomitantemente, porém a evaporação do solo é determinada principalmente pela quantidade de radiação solar que chega na superfície do solo. Na medida em que a cultura se desenvolve, a copa das plantas reduz a radiação no solo, reduzindo o processo de evaporação. Dessa maneira, quanto menor a cobertura da planta no solo, maior é o processo de evaporação. Assim, quando a cultura tem um cobrimento completo do solo, a transpiração se torna o processo principal da evapotranspiração.

Os principais indicadores meteorológicos que afetam a evapotranspiração são: radiação, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento. Pode-se caracterizar a evapotranspiração de acordo com as condições de vegetação, da dimensão da área vegetada e do fornecimento de água pelo solo, as quais podem ser: de referência; da cultura; e, real (PEREIRA et al., 2007).

2.2.2.1.1.1. Evapotranspiração de Referência (ET_o) ou Potencial (ETP)

A evapotranspiração de referência (ET_o) reflete a quantidade de água que é necessária para uma superfície vegetada com gramínea, com altura variando entre 8 e 15 centímetros (cm), com crescimento ativo, com a superfície do solo totalmente coberta e sem restrição hídrica. A ET_o é restringida pelas condições do ambiente local, e pode ser mensurada através de métodos desenvolvidos e testados para diversas condições climáticas. A ET_o nessas circunstâncias é dita como referência, quando se pretende analisar a evapotranspiração de uma cultura, em situações não padronizadas, ou seja, é uma medida da demanda evapotranspirativa da atmosfera de um local em um determinado período (PEREIRA et al., 2007).

2.2.2.1.1.2. Evapotranspiração da cultura (ET_c)

A ET_c denota a evapotranspiração de culturas bem fertilizadas, livres de doenças, cultivadas em grandes campos, sob condições ótimas de água do solo, e atingindo a plena produção sob as condições climáticas dadas. A quantidade de água necessária para compensar

a perda da evapotranspiração é denominada como a necessidade hídrica da cultura. A ET_c retrata a área foliar, quanto maior essa área maior será a ET_c . O índice utilizado para determinar a área foliar em relação à ocupação de uma área pela planta é chamado de Índice de Área Foliar (IAF). A necessidade de irrigação é representada pela diferença entre a necessidade hídrica da planta e a precipitação efetiva (BERNARDO et al., 2013; PEREIRA et al., 2007; ALLEN et al., 1998). A relação entre a ET_c e a ET_o é descrita como:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (3)$$

Onde o K_c é o coeficiente da cultura, sendo que os valores variam com o tipo de cultura, com o estágio de desenvolvimento, com o comprimento do seu ciclo vegetativo e com as condições climáticas do local. Os valores dos coeficientes utilizado para o K_c , seguem a definição de Doorenbos e Kassam (1979): 0,5 para o plantio; 0,8 para o perfilhamento; 1 para o crescimento vegetativo; 0,8 para o início da maturação; e, 0,6 para a maturação.

2.2.2.1.1.3. Evapotranspiração Real da Cultura (ETR_c)

Esse parâmetro mede a evapotranspiração real, por uma cultura, perante condições padrões de cultivo, não havendo necessidade de o teor de umidade estar próximo à capacidade do campo. Então, a ETR é menor ou igual à ET_c (BERNARDO et al., 2013).

$$ETR_c = K_s \times ET_c \quad (4)$$

Onde o K_s^{10} é o coeficiente que depende da umidade do solo.

Conforme Bernardo et al. (2013) o cálculo da ETR_c é baseado na disponibilidade de umidade do solo, isto é, quando a umidade do solo está perto da capacidade de campo, a evapotranspiração da cultura está no seu máximo potencial e é definido pelo tipo de cultura e pelas condições climáticas local. Quando o solo inicia o processo de perda de umidade, a ETR_c retrata valores abaixo da ET_c . Destaca-se que a caracterização correta da ETR_c é de suma importância para que o uso dos sistemas de irrigação seja o mais específico possível para determinada cultura.

2.2.2.1.1.4. Precipitação

¹⁰ Calculou-se o K_s de acordo com as formulações apresentadas em Bernardo et al. (2013) para esse coeficiente.

Quando ocorre a precipitação, uma parte fica contida nas plantas, outra parte escoá sobre o solo e o restante infiltra na terra. Da quantidade que infiltra na terra, uma parte é destinada para a zona radicular das plantas e a outra escorre para as camadas mais profundas do solo. Em relação à irrigação, importa apenas a parte da precipitação que será empregada diretamente na planta (precipitação efetiva) (BERNARDO et al., 2013).

Bernardo et al. (2013) relatam que para o cálculo da precipitação efetiva é necessário a precipitação total menos a parte que escoá sobre o solo e a parte que escoá abaixo do sistema radicular da planta. Então a precipitação efetiva é a parte da precipitação que é utilizada pela cultura para suprir sua necessidade evapotranspirométrica. É importante frisar que a quantidade de precipitação efetiva dependerá do teor de umidade do solo anterior à precipitação.

2.2.2.1.1.5. Capacidade máxima de água disponível no solo (CAD)

A CAD reflete o máximo de água disponível que determinado tipo de solo pode manter em função de suas características físico-hídricas (SENTELHAS e ANGELOCCI, 2012). Importante ressaltar que a CAD representa o total de água no solo disponível para a planta e não o total de água no solo. O método para calcular a CAD está expresso na eq. (5) (AMORIM NETO, 1989; SENTELHAS e ANGELOCCI, 2012).

$$CAD = (CC - PMP) \times Da \times z \quad (5)$$

Em que:

CAD = capacidade máxima de água disponível (mm);

CC = umidade do solo à capacidade de campo (% peso);

PMP = umidade do solo ao ponto de murcha permanente (% peso);

Da = densidade aparente do solo (g/cm^3)¹¹;

z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm).

2.2.2.1.1.6. Método de Thornthwaite

Estudos agrometeorológicos utilizam a evapotranspiração de referência ou potencial (ET_o) mensal em diversas áreas de trabalho, sobretudo no cálculo de balanços hídricos e no manejo de sistemas de irrigação. A ET_o é descrita como a quantidade de água ideal para que uma dada região não apresente nem déficit e nem excesso hídrico durante um determinado período (PEREIRA et al., 1997).

¹¹ (g/cm^3) é igual a gramas por centímetros cúbicos.

Thornthwaite (1948) desenvolveu equações baseadas no balanço hídrico de bacias hidrográficas e em parâmetros de evapotranspiração efetuadas por lisímetros. O autor utiliza a temperatura do ar como variável independente no modelo proposto. Para o cálculo da evapotranspiração de referência ou potencial média mensal padrão ($ETop$, mm mês⁻¹) é utilizado dados para um mês de 30 dias, onde em cada dia, apenas 12 horas possui fotoperíodo. As equações, de acordo com Thornthwaite (1948), podem ser descritas como:

$$ETop = 16 \times \left(10 \frac{Ti}{I}\right)^a \quad Ti > 0^\circ C \quad (6)$$

$$a = (6,7510^{-7} \times I^3) - (7,7110^{-5} \times I^2) + (1,791210^{-2} \times I) + 0,49239 \quad (7)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2 Ti)^{1,514} \quad Ti > 0^\circ C \quad (8)$$

Em que:

Ti = temperatura média mensal (°C);

I = é o índice de calor da região e deve ser calculado através de valores normais (média climatológica);

i = este subscrito representa os meses do ano.

A $ETop$ é estimada para uma condição padrão de 12 horas de brilho solar e o mês com 30 dias. Para a mensuração da ETo (ETo , mm mês⁻¹) é necessário ajustar a $ETop$ para o mês de ND dias e o fotoperíodo médio mensal N , assim tem-se:

$$ETo = ETop \frac{N}{12} \frac{ND}{30} \quad (9)$$

Salienta-se que existem algumas críticas no que se refere ao método de Thornthwaite (1948), uma vez que o modelo considera somente a temperatura do ar como variável independente (PEREIRA et al., 1997; PEREIRA et al., 2007). De acordo com Pereira et al. (2007), a escolha do método para calcular a ETo depende de diversos elementos, entre os quais, a disponibilidade de dados meteorológicos. O método de Penman-Monteith, método-padrão recomendado pela FAO para a estimativa do ETo (Allen et al., 1998), necessita de dados meteorológicos referente a radiação solar e a temperatura do ar.

No entanto, os dados cedidos para a realização desta pesquisa, com o intuito de calcular o déficit hídrico, não possuem a variável radiação solar, tornando assim, o método de Thornthwaite (1948) mais indicado para este estudo. Apesar do método de Penman-Monteith ser mais utilizado e de haver poucas críticas a esse procedimento, diversos autores empregam

o método do Thornthwaite (1948) para o cálculo da ETo, como Frizzone et al. (2001); Blanco et al. (2004); Santos (2005); Costa (2016) e; ANA (2017a).

Camargo e Camargo (2000) testaram alguns métodos de cálculo da ETo, especialmente para os modelos de Thornthwaite e de Penman-Monteith, e como resultado encontraram que o método de Thornthwaite possui resultados satisfatórios no estado de São Paulo, considerando os fatores climáticos. Segundo os autores, em regiões com clima úmido, as metodologias de Thornthwaite e de Penman-Monteith, na maioria das vezes, apresentam conclusões comparáveis e satisfatórias. Os autores destacam, ainda, que em situações de aridez, o Thornthwaite pode subestimar a ETo, já em condições de super umidade topoclimática, pode haver superestimação da ETo.

A próxima seção investigará questões relacionadas a água, descrevendo sua importância e a necessidade da sua valoração.

2.2.3. Importância da água e a valoração monetária desse recurso

Esta seção traz a discussão sobre a importância da água e a questão da disponibilidade hídrica no Brasil, mesmo sendo um dos principais detentores de reservas de água doce do mundo, essa distribuição não ocorre de maneira homogênea internamente. Nessa seção também será abordado os principais motivos que levam à discussão da valoração da água.

2.2.3.1. Contextualização e disponibilidade hídrica mundial e brasileira

Á água é um recurso natural, esgotável, dotado de valor econômico e necessário para todas as formas de vida. Além disso a água é um recurso limitado, de tal forma que o uso inadequado e a poluição poderão reduzir drasticamente a quantidade de água disponível. De acordo com Machado e Torres (2012) e Johansson (2000), a quantidade de água no planeta é praticamente constante no tempo, apenas modificando seu estado físico, fato que ocorre principalmente pelas variações de temperatura.

O registro da existência da água coincide com os primeiros sinais de vida no mundo, aproximadamente, 3,8 bilhões de anos (MACHADO e TORRES, 2012). O Planeta Terra é constituído por 510 milhões de km², sendo 29% composto por terra e 71% por água. Todavia, apenas 2,53% desse montante de água, está disponível para o consumo direto doméstico, na agricultura e na indústria (SHIKLOMANOV e RODDA, 2003).

De acordo com a ONU (2016), entre 2011 e 2050 é estimado que a população aumente 33%, crescendo de 7 bilhões para 9,3 bilhões de pessoas. Além disso, é estimado que até 2050

aumento em 50% o volume de água capitada mundialmente (CEBDS e GIZ, 2016). Com o aumento da população e consequentemente do consumo, será necessário aumentar a oferta de alimentos e outras matérias-primas, ocasionando uma maior utilização dos recursos hídricos.

Johansson (2000) relata que avanços tecnológicos são práticas que podem aumentar a porcentagem de água economicamente extraível. Como exemplos de tecnologias relacionadas à água têm-se a reciclagem e a reutilização, essas podem aumentar o suprimento total de água no Planeta (JOHANSSON, 2000). O reuso da água para irrigação é a estratégia mais comum para a reciclagem das águas residuais (ONU, 2016).

Atualmente a agricultura, em nível mundial, é responsável por aproximadamente 70% do consumo de água doce, e em países subdesenvolvidos esse número pode chegar a 90% (ONU, 2016). Destaca-se que 38% da água utilizada para irrigação mundial provém de águas subterrâneas, fonte essa, também responsável pelo abastecimento da metade da população do Planeta. Ainda de acordo com Organização, a indústria utiliza 20% da água mundial, enquanto o consumo doméstico é responsável pelos 10% restantes de uso de água doce global (ONU, 2016).

No Brasil, segundo ANA (2018), o consumo total de água do meio ambiente nas principais atividades econômicas foram: agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura os quais foram responsáveis, pelo consumo total de 23,7 milhões de m³ no ano de 2015 (mil hm³/ ano). Já as indústrias de transformação e construção consumiram 3,45 (mil hm³/ ano); o setor da água e do esgoto contribuíram com 2,27 (mil hm³/ ano) de retirada; enquanto a eletricidade e gás captaram um total de 0,1 (mil hm³/ ano) em 2015. O consumo das famílias, considerando os volumes consumidos nas economias residenciais de uso de água tratada, captaram um volume de 0,05 (mil hm³/ ano). A soma total do consumo de água no ano de 2015, considerando todas as atividades econômicas, foi de 30,6 (mil hm³/ ano).

De acordo com Banco Mundial (2016) os cinco maiores detentores dos recursos renováveis de água no mundo, estão classificados da seguinte maneira: Brasil representando 13,22%, Rússia 10,07%, Canadá 6,66%, Estados Unidos 6,58%, China 6,57% e os outros 56,90% estão dispersos pelo restante dos países do mundo. Cabe ressaltar que os dados fornecidos pelo Banco Mundial se referem apenas ao volume de água doce presente em cada país, isto é, não é considerado a qualidade e as condições de extração do recurso.

Apesar do Brasil ser o país com maior disponibilidade hídrica mundial, a distribuição do recurso entre as regiões é desigual. A maior parte do país encontra-se em situação satisfatória em relação a quantidade e disponibilidade, destacando-se as regiões hidrográficas Amazônica,

Tocantins-Araguaia e Paraguai, onde a utilização da água é menor comparado às demais regiões (ANA, 2015).

Ressalta-se que cerca de 80% da disponibilidade superficial está localizada na região Norte do país, onde se concentra o menor número de habitantes, 5% da população brasileira. Já a região que apresenta a menor quantidade de recursos hídricos é a Nordeste, com 30% da população, e apenas 3% dos recursos hídricos. O principal motivo para esse déficit hídrico está ligado ao fato que o Nordeste passa por prolongadas estiagens, tornando a disponibilidade hídrica superficial um problema nessa região (ANA, 2013b).

Além da criticidade causada por baixa oferta de precipitação também há questões qualitativas. É o caso dos rios localizados nas regiões metropolitanas, como por exemplo as bacias Piracicaba-Capivari-Jundiá (PCJ), Paraíba do Sul e Alto Tietê (localizados na região Sudeste do Brasil), que exigem uma grande demanda de água e a ocorrência de grande quantidade de carga orgânica lançada nos corpos d'água, provocando uma condição de criticidade quali-quantitativa na água (ANA, 2015).

Na região Sul do Brasil, também há ocorrência de criticidade quantitativa, devido a elevada necessidade de demanda de água para a irrigação do arroz, que é realizado através da irrigação por inundação. Dos 105 mil km de rios federais no Brasil, 16,4 mil km (16%) são de interesse do Governo, tanto pelo lado qualitativo quanto do quantitativo (ANA, 2015).

Dada a relevância do tema, em 08 de janeiro de 1997 foi decretada no Brasil a Lei 9.433, chamada de Lei das Águas (BRASIL, 1997). Essa Lei institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Em seu Título I, Capítulo I, Artigo 1º, é tratado os fundamentos da água:

- I – a água é um bem de domínio público;
- II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III – em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV – a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Pode-se observar que a água é tratada como um bem de valor econômico, ou seja, depende, como todo bem econômico, da oferta e da demanda. A observação no caso da água é que a oferta nem sempre pode ser controlada pelo homem, uma vez que é determinada por

fatores como: disponibilidade, precipitação, potabilidade, entre outros. A próxima seção tratará da capacidade hídrica das duas regiões de estudo.

2.2.3.2. Capacidade hídrica das regiões de Araçatuba e de Piracicaba

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê (UGRHI 19), é o órgão responsável pelo controle aquífero da região de Araçatuba. Os rios que compõe a bacia são: Tietê, Paraná, Água Fria, das Oficinas, dos Patos. A base da economia dessa região é a agropecuária, Araçatuba já foi conhecida como o principal centro de comercialização de bovinos, embora atualmente, está crescendo na produção de cana-de-açúcar (produção de etanol). Em relação a atividade industrial, a agroindústria tem uma forte representação, principalmente as indústrias sucroalcooleiras, frigoríficas, calçadista, entre outras. (UGRHI 19, 2018).

Segundo os dados do UGRHI 19 (2018) a população que integra essa bacia representa um total de 789.404 habitantes, sendo que 92,6% da população é urbana e 7,4% rural. Ocupando uma área territorial de 18.591,5 km² e área de drenagem de 15.588 km². A vazão mínima¹² (Q_{7,10})¹³ da região é de 27 m³/s, a vazão média (Q_{médio}) 113 m³/s e a vazão (Q₉₅)¹⁴ 36 m³/s.

Já na região de Piracicaba, o órgão responsável pelos recursos hídricos da região é a Agência das Bacias PCJ (UGRHI 05). Os rios e reservatórios que integram a agência são: Atibaia, Atibainha, Cachoeira, Camanducaia, Capivari, Corumbataí, Jaguari, Jundiá e Piracicaba; os reservatórios que compõe: Usina de Barra Bonita, Salto Grande, Jacareí, Jaguari, Atibainha e Cachoeira. Os quatro últimos reservatórios fazem parte do Sistema Produtor Cantareira.

A agropecuária e a produção industrial são as principais atividades econômicas desenvolvidas na região, como o polo petroquímico de Paulínia; Nova Odessa e Santa Bárbara d'Oeste, com o parque têxtil; em Campinas e Hortolândia, o polo de alta tecnologia; em Piracicaba, indústrias sucroalcooleiras e do setor metal-mecânico e; em Rio Claro, indústrias sucroalcooleiras (UGRHI 05, 2018).

A população que compreende o território é de 5.529.450 habitantes, com área urbana de 96,7%, enquanto a área rural possui 3,3% da representatividade, em uma área territorial de 13.918,7 km², e área de drenagem de 14.178 km². A vazão mínima (Q_{7,10}) é de 43 m³/s,

¹² A vazão de referência é o estabelecimento de um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização da água em um curso d'água (SILVA et al., 2006).

¹³ A Q_{7,10} representa a vazão média das mínimas de sete dias consecutivos e período de recorrência de 10 (dez) anos (COMITÊ PCJ, 2007).

¹⁴ A referência para outorga em 95% da vazão regularizada com garantia de 95%, isto é, somente podem ser outorgados 95% da Q₉₅ (SILVA et al., 2006).

enquanto a vazão média ($Q_{\text{médio}}$) é de 172 m³/s, e a vazão (Q_{95}) de 65 m³/s (UGRHI 05, 2018). Destaca-se que em termos de vazões hídricas a região de Piracicaba possui números maiores que Araçatuba, mas pode-se ressaltar que esta diferença não é percebida de acordo com a área territorial, onde Araçatuba possui um espaço territorial maior que Piracicaba. Também se dá ênfase ao número de habitantes, que a região de Piracicaba possui valores acima da região de Araçatuba.

2.2.3.3. Valoração da água

A Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente (International Conference on Water and the Environment – ICWE), que ocorreu em 1992, com o objetivo de reconhecer a água como um bem econômico, foram discutidas as medidas locais, nacionais e internacionais, para o controle do superconsumo e poluição da água, como também amenizar os efeitos das enchentes e secas. Como resultado teve o reconhecimento de que a água possui valor e que através disso, deve ser reconhecida como um bem econômico (ICWE, 1992).

De acordo com ICWE (1992), o desperdício e o uso indiscriminado de água, pode levar à destruição do meio ambiente, devido ao fato do não reconhecimento da água como um bem econômico. O reconhecimento desta, seria importante para o uso eficiente e racional, além de incentivar a conservação e a preservação dos recursos hídricos.

Para a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (Organization for Economic Co-operation and Development – OECD), as receitas geradas a partir da valoração da água, são importantes para a manutenção, renovação e expansão da infraestrutura empregada para o fornecimento e serviços hídricos, objetivando a recuperação dos custos, como também a contribuição para a sustentabilidade financeira do setor (OECD, 2010).

A OECD relata que a água, consumível, é um recurso cada vez mais escasso e deve ser empregue de maneira que gere maior benefício para a população, para isso é importante utilizar de melhores tecnologias para que haja menor consumo de água (OECD, 2010). Segundo a OECD (2010), a valoração da água pode ser considerada como mecanismo de reserva – conduzindo sua utilização para onde é melhor empregada; ferramenta de gerenciamento da demanda – produzir mais com menos água e; geração do aumento na produtividade – produzir mais com a mesma quantidade de água.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituiu a cobrança pelo uso da água no Brasil, afim da obtenção de verbas para a recuperação das bacias hidrográficas, redução da poluição, valoração do preço real da água, além do incentivo a utilização de tecnologias limpas

e renováveis. A cobrança, não é considerada uma tarifa ou imposto, mas sim uma remuneração pelo uso do bem público (ANA, 2018).

A partir da participação dos usuários, da sociedade civil e do poder público, na esfera dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs), é escolhido o valor cobrado pelo uso da água, isto é, quem usa e polui mais os corpos de água, paga mais; quem usa e polui menos, paga menos. Todo usuário que capta, lance efluentes ou realize usos não consuntivos diretamente em corpos de água necessitam cumprir com o valor estabelecido (ANA, 2018).

Através da cobrança do recurso, existem diversas maneiras de recuperação e equilíbrio do balanço hídrico de um determinado local. Richter (2015) descreve seis opções, para o restabelecimento e uso da água, demonstrando suas vantagens e desvantagens.

- Dessalinização: é um processo tecnológico que retira sais e outros minerais da água do mar ou salobra. A vantagem está na proteção dos geradores de água doce (lagos, rios e aquíferos), já a desvantagem consiste no alto custo de energia elétrica – é necessário para a utilização desse método, a implementação de energias renováveis no sistema;
- Reuso da água: também chamado de reciclagem, é o processo que envolve a purificação da água que antes fora utilizada nas residências e indústrias, e torna-la apta para sua reutilização. As vantagens e desvantagens são as mesmas da dessalinização, porém o autor destaca, que os custos altos com energia elétrica podem ser reduzidos, visto que, para muitos casos não é necessário que a água seja potável;
- Importação da água: também conhecida como transferência entre bacias, constitui um grande problema, em consequência de que pode provocar ou acentuar a escassez do recurso em outras bacias hidrográficas ou aquíferos. O autor destaca que existe outra forma de importação de água, através da água virtual, isto é, água utilizada para a fabricação de bens ou serviços;
- Armazenamento de água: consiste em armazenar a água para utilizar em períodos sazonais, e pode ser realizada através de, construção de represas – que possui muitas desvantagens como alto custo de implementação, grande impacto ambiental e social, além da grande evaporação de água que ocorre no local. Também alguns locais do mundo, utilizam-se do método de armazenar água em reservatório de aquíferos;

- Gestão de bacias hidrográficas: o manejo eficiente do solo e da vegetação das bacias hidrográficas, influenciam a maneira como a água será conduzida ou na forma de penetração nos aquíferos;
- Conservação da água: é o processo resultante da redução na utilização da água, usando de forma eficiente e racional. O autor destaca que uma das medidas de conservação da água está na precificação do recurso. E para os irrigantes, trocar o método de irrigação por aspersão, pela irrigação de gotejamento.

Um dos princípios básicos da economia é que qualquer bem que seja escasso e tenha demanda exige um preço, e a valoração da água é uma das questões mais discutidas no âmbito de políticas públicas (JONES, 2003). Diversos autores discorrem sobre a importância da valoração da água, perante o incentivo da conservação e racionalização do uso desse recurso (JOHANSSON, 2000; JONES, 2003; LATINOPOULOS et al., 2004; ESMAEILI e VAZIRZADEH, 2008; BERBEL et al., 2011; SACOLO, 2013; ZIOLKOWSKA, 2015). A seguir, será apresentado a descrição dos métodos mais utilizados para valoração da água, assim como o Método do Valor Residual (MVR), também conhecido como Método Residual, o qual será empregado no estudo.

2.3. Métodos de valoração ambiental dos bens públicos e da água

O valor econômico dos recursos provenientes do meio ambiente normalmente não é visível no mercado através de preços, que representam seu custo de oportunidade. Para identificar esse valor econômico é necessário observar todos os atributos relacionados aos recursos ambientais, em um segundo momento verificar se estes atributos estão ou não relacionados a um uso, isto é, se o consumo de um recurso natural se efetua via uso e não uso (SEROA DA MOTTA, 1997). Maia et al. (2004) desagrega o Valor Econômico do Recurso Ambiental em quatro classificações - Valor de Uso: Valor de Uso Direto; Valor de Uso Indireto; Valor de Opção e Valor de Não Uso: Valor de Existência. A discriminação dessas teorias está descrita na Figura 8.

Seroa da Motta (1997) ressalta que o Valor de Uso se refere ao indivíduo que utiliza um recurso, seja via extração, visitação ou qualquer outra atividade ligada a produção ou consumo direto ou indireto do bem. O Valor de Opção tange ao indivíduo uma atribuição de valor de uso direto e indireto à preservação que poderá ser ameaçada no futuro. O Valor de Não Uso está relacionado ao Valor de Existência, que se refere ao fato do indivíduo obter benefícios por saber da existência de espécies não humanas ou de outras riquezas naturais, mas que não

haja intenção de utilizá-las. O autor ainda destaca que existe uma controvérsia em relação ao Valor de Existência, pois muitos indivíduos optam por conservar a natureza pensando nas gerações futuras, o que poderia ser confundido com o Valor de Opção. Entretanto, o autor argumenta que o importante para a valoração ambiental é que os indivíduos consigam valorar os recursos, independentemente se eles farão uso no presente ou no futuro.

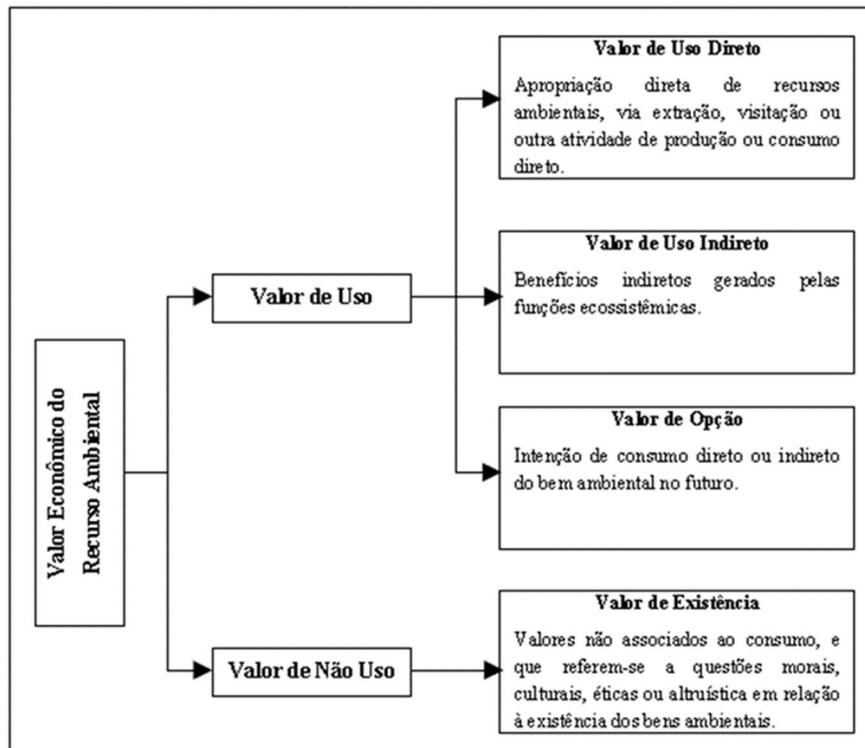


Figura 8. Decomposição do valor econômico de um recurso ambiental
Fonte: Maia et al. (2004)

Maia et al. (2004) classificam os métodos de valoração ambiental em diretos e indiretos:

- Métodos indiretos: buscam alcançar o valor do recurso por meio de uma função de produção, através da relação entre o impacto das mudanças ambientais a produtos cujos preços são de mercado. Esse método é mais simples, pois valoram o impacto de uma modificação ambiental na produção de bens comercializáveis. Este método capta somente os valores de uso dos recursos ambientais e quase sempre são subestimados, mas são capazes de proporcionar, tendo como exemplo, o uso sustentável de um ambiente.
- Métodos diretos: captam as preferências do indivíduo através de mercados hipotéticos ou de mercados de bens complementares para auferir a intenção a pagar dos consumidores pelo produto ou serviço ambiental. Como a maior parte do valor de um recurso ambiental decorre de valores de não uso, como cultura, religião, ética, entre outros. Esse método

é o mais eficaz em estimar os valores através da disposição a pagar direta das pessoas pelos serviços e produtos ambientais. A classificação pode ser melhor observada a partir da Figura 9, onde Maia et al. (2004) apresentam as divisões e subdivisões dos métodos de valoração ambiental.

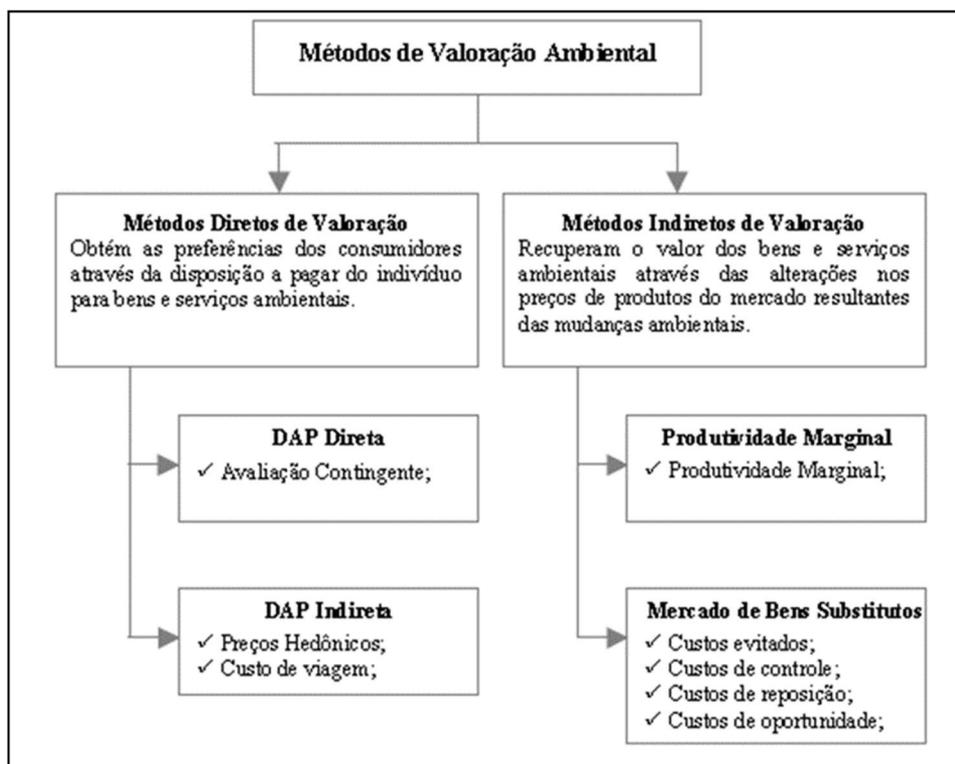


Figura 9. Métodos de valoração ambiental

Fonte: Maia et al. (2004)

Especificamente para a água, Young e Loomis (2014) classificam a avaliação de acordo com as técnicas quantitativas utilizadas. Os autores enfatizam, que a avaliação da água se divide em dois grupos (técnicas indutivas e dedutivas), onde a diferença reside nos procedimentos matemáticos e nos tipos de dados aplicados no processo de avaliação (Quadro 1). As técnicas indutivas compreendem a lógica indutiva, utilizando procedimentos estatísticos ou econométricos para avaliação das observações individuais. Já os métodos dedutivos aplicam modelos construídos que envolvem um conjunto de premissas comportamentais como por exemplo, maximização do lucro ou utilidade, e estimativas empíricas de acordo com o caso estudado.

As técnicas indutivas são as mais comuns na avaliação de bens ambientais públicos. Os dados observados nessa análise são retirados de transações observadas através de aplicação de questionários ou de informações secundárias oriundas de relatórios governamentais. A confiabilidade das técnicas indutivas depende de diversos fatores como a representatividade e

a validade dos dados observados no estudo, o ajustamento da distribuição estatística utilizada e a forma funcional empregada na montagem dos dados (YOUNG e LOOMIS, 2014).

Se o método é baseado em observações apropriadas demonstrando o comportamento atual ou se os resultados das pesquisas refletirem corretamente o comportamento passado, a técnica indutiva possui a vantagem de demonstrar o desempenho econômico real. A maior parte das técnicas indutivas, que são realizadas através da análise estatística, conseguem viabilizar medidas de variação e de ajuste, que propiciam resultados corretos da confiabilidade através das observações. A limitação dessas técnicas é que elas representam um comportamento observado histórico, para analisar os comportamentos futuros serão necessários dados fora da amostra. Young e Loomis (2014) relatam que pode ser complicado compreender as demandas e valores futuros baseado nas condições passadas.

No Quadro 1 é apresentado, resumidamente, os métodos indutivos e dedutivos citados por Young e Loomis (2014).

Métodos Indutivos	Descrição
1. Funções de custo e produção	Análise estatística de insumos e produtos nas atividades agrícolas e industriais.
2. Método do custo de viagem	Estimar a demanda por atributos recreativos através da preferência revelada.
3. Preços hedônicos	Preferência revelada a partir de mudanças na qualidade e quantidade ambiental nos setores da agricultura e residencial.
4. Método do comportamento defensivo	Prevenção ambiental para reduzir externalidades indesejadas.
5. Método de valoração contingente	Pesquisas que visam a avaliação monetária de acordo com a disponibilidade ambiental de um recurso natural.
6. Transferência de benefícios	Avaliação de benefícios tanto de locais quanto de políticas públicas. Serve como avaliação de produtores, consumidores ou bens ambientais.
Métodos Dedutivos	Descrição
7. Método residual básico	Estimativa dos rendimentos líquido atribuíveis à água a partir do orçamento do produtor ou indústria, para o caso de um único produto.
8. Mudança na renda líquida	Estimativa dos rendimentos líquido atribuíveis a um incremento de água a partir do orçamento do produtor ou indústria, para múltiplos produtos ou tecnologias.
9. Programação matemática	Deriva rendas líquidas dos produtores (ou indústrias) ou custos marginais atribuíveis à água através de modelos de otimização de preços, utilizado para para múltiplos produtos ou tecnologias.
10. Valor adicionado	Mede o impacto econômico regional da água e dos insumos na agricultura e na indústria. Superestima os valores da água.
11. Modelos computacionais de equilíbrio geral	Utilizado como valoração da água como bem intermediário na agricultura e na indústria.
12. Custos alternativos	Avaliação dos custos de adoção da segunda melhor alternativa de serviço na agricultura e indústria ou hidrelétrica e transportes.

Quadro 1. Descrição dos métodos Indutivos e Dedutivos

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Young e Loomis (2014)

Por outro lado, o método dedutivo é o mais aplicado para a avaliação da água, utilizando como base modelos empíricos e comportamentais, onde parâmetros particulares ou preços sombras são inferidos. Na técnica é aplicada premissas comportamentais como maximização do lucro ou conceitos sobre utilidade. Para os dados poderem se moldarem a um modelo dedutivo é geralmente utilizado preceitos sobre tecnologia de produção ou consumo e preços. Os dados empregados para estes modelos normalmente são captados através de estudos empíricos, relatórios do governo ou por estudos de especialistas. É necessário destacar que os resultados dependem da validade dos princípios e da especificação do modelo (YOUNG e LOOMIS, 2014).

O cálculo deste método na valoração da água, pode ocorrer através de um simples orçamento dos bens dos produtores como até um cálculo mais sofisticado de modelos dinâmicos de otimização. A grande vantagem da técnica é a flexibilidade, pois ela retrata ao modelo condições econômicas e tecnológicas esperadas no futuro. Outra vantagem é que alguns métodos dedutivos, para valoração da água, principalmente de irrigação, possuem baixa capacidade de dados e de habilidades estatísticas. Para casos mais complexos é necessária uma extensa coleta de dados e uso de modelos estatísticos mais sofisticados. Young e Loomis (2014) destacam que é preciso ter cautela sobre a aplicação destas técnicas, argumentando que é importante ter uma boa base conceitual para o modelo, seguido de uma base de dados adequada e correta, um erro nessas situações pode levar a resultados equivocados.

2.3.1. Métodos de função de produção (métodos indiretos)

Os métodos da função de produção são os mesmos classificados como métodos indiretos, o objetivo da técnica é estimar o impacto de uma alteração marginal do recurso ambiental, empregando como parâmetro os produtos de mercado que sejam impactados pela variação do recurso ambiental. Dentre os métodos de função de produção, destacam-se o de produtividade marginal e o de mercado de bens substitutos, os quais são apresentados nas duas próximas subseções.

2.3.1.1. Método da Produtividade Marginal

Este método expressa o valor de uso de um recurso ambiental através de uma mercadoria produzida com preço estabelecido pelo mercado. No processo produtivo o recurso ambiental é denotado por uma função dose resposta, que compara o nível de fornecimento do recurso ao

nível de produção da mercadoria no mercado. Esta função valora o impacto na atividade econômica através de uma variação marginal do bem ambiental, e dada essa variação, é calculado o valor econômico de uso do atributo ambiental (MAIA et al., 2004).

Coelho de Faria e Nogueira (2004) relatam que a função dose resposta pode ser utilizada para os recursos hídricos, isto é, a produtividade em uma plantação, por exemplo, aumenta quando é empregada água através da irrigação agrícola, onde o diferencial pode ser calculado pelo preço de mercado do bem e serve como um indício do valor da água. O grande problema deste método é a obtenção de dados fundamentais além de uma relação teoricamente exata entre insumos e produto - dose resposta.

Maia et al. (2004) descrevem que o método tende a calcular somente parte dos benefícios ambientais, e que os valores são subestimados, pois esta função observa unicamente os valores de uso direto e indireto do atributo ambiental, desprezando os valores de opção e de existência da estimação.

2.3.1.2. Método do Mercado de bens substitutos

Como geralmente é difícil auferir o preço de um bem de acordo com uma alteração ambiental, normalmente calcula-se através de um substituto existente no mercado. Este método está diretamente relacionado com a escassez ou perda de qualidade de um recurso ambiental, onde com a perda deste atributo os agentes econômicos terão que, para manter o mesmo nível de bem-estar dos consumidores, procurar substitutos perfeitos, ou seja, quando ocorre uma redução de consumo em uma unidade, este pode ser satisfeito através do uso de outro atributo com uma magnitude constante. Para preservar a produção constante é necessário utilizar uma unidade a mais do bem substituto, assim a variação do recurso ambiental será mensurada pelo preço do substituto praticado no mercado (SEROA DA MOTTA, 1997; MAIA et al., 2004).

Seroa da Motta (1997) e Maia et al. (2004), relatam que existem quatro técnicas derivadas do mercado de bens substitutos, sendo elas:

- Custos evitados: mensura os gastos dos consumidores em bens substitutos ou complementares para garantir o nível necessário do produto. Por exemplo, quando um indivíduo opta por consumir água mineral a utilizar-se de água poluída, neste caso a pessoa está indiretamente estimando sua disposição a pagar por uma água limpa.
- Custos de controle: denota os gastos pelos usuários, afim de evitar a variação do recurso ambiental, mantendo as vantagens geradas aos indivíduos. Um exemplo é o pagamento da rede de esgoto para evitar a degradação dos mananciais.

- Custo de reposição: valora as vantagens ambientais a partir dos gastos necessários para restituição ou compensação após o recurso ambiental ser deteriorado. Tendo como exemplos o replantio em áreas desmatadas e a fertilização em solos degradados.

- Custo de oportunidade: este método não mensura diretamente o tributo ambiental, mas mede o custo de oportunidade para preservá-lo. Isto é, toda preservação incorre a um custo de oportunidade das práticas econômicas que poderiam estar sendo implementadas na área protegida, refletindo os prejuízos que os indivíduos "perdem" em preservar o local. Com isso pode ser feita uma análise entre os custos de oportunidade e os benefícios ambientais chamado de custo-benefício. Tem-se como exemplo uma reserva ambiental que poderia ser utilizada para a produção agrícola.

O mercado de bens substitutos na maioria dos casos também é subestimado, pois além de considerar os valores de uso direto e indireto, no caso de perfeita substituição, o método também pondera o valor de opção, mas o valor de existência não é captado quando se assume substituição.

2.3.2. Métodos de função de demanda (métodos diretos)

Os métodos de função de demanda ou métodos diretos têm por finalidade compreender as preferências do indivíduo por bens ou serviços ambientais através de questionários, direto aos consumidores, onde é definida as preferências em relação ao atributo ambiental, indicando a disposição a pagar do favorecido em relação as variações ambientais. Os principais métodos diretos que serão apresentados nas próximas subseções referem-se ao método de mercado de bens complementares (preços hedônicos e custos de viagem) e o método de valoração contingente.

2.3.2.1. Métodos de Mercados de bens complementares

Assim como no mercado de bens substitutos que oferecem a dimensão de valor de uso dos atributos ambientais quando o preço não é observável, o mercado de bens complementares também fornece medidas do valor de uso. Os bens perfeitamente complementares são consumidos em igual proporção entre si, quando se realiza análises destes bens ou serviços privados complementares, são gerados dados relacionados a demanda dos bens ou serviços ambientais associados com os produtos privados. Se a demanda por um determinado bem "A" for zero e um outro produto (bem "B") for complementar perfeito a esse bem "A", então, o valor

desse bem "B" também será zero. O método do custo de viagem e dos preços hedônicos são os que mais caracterizam o mercado de bens complementares.

2.3.2.1.1. Método dos Custos de viagem

É um dos métodos mais antigos relacionados a valoração ambiental, o seu objetivo consiste em estimar o custo de viagem dos indivíduos para áreas naturais destinados a visitação pública. O preço obtido através desta técnica é realizado através dos custos que os visitantes tiveram desde o deslocamento, como passagens, tempo de viagem e alimentação até o ingresso pago para a entrada, ou seja, é uma função que relaciona a taxa de visitação, os gastos incorridos com a viagem e as características socioeconômicas dos indivíduos. São realizados questionários, aplicados aos indivíduos no local da visitação, de acordo com algum tipo de amostra adotada pelo recinto visitado (SEROA DA MOTTA, 1997; MAIA et al., 2004).

De acordo com Seroa da Motta (1997) o custo de viagem para a visitação depende da distância em que o indivíduo reside, quanto mais longe, menor é o número de visitas, pois são altos os gastos. Já ao contrário, quanto mais perto eles residem, menor é o custo de viagem, logo maior o número de visitas de pessoas a um parque natural, por exemplo. Maia et al. (2004) salientam que esta abordagem capta somente os valores de uso direto e indireto dos atributos ambientais, pois apenas os visitantes dos parques fazem parte da amostra. Os autores ainda relatam que a função possui uma complementaridade fraca entre as visitas aos parques e a disposição a pagar pelo recurso, pois se o indivíduo não visitar o local a sua disposição a pagar é nula e a utilidade marginal do atributo ambiental também será nula se não houver visitantes.

2.3.2.1.2. Método de Preços hedônicos

Este método visa identificar as características de um produto privado cujos atributos sejam complementares a bens ou serviços ambientais. Após identificar essa complementaridade pode-se calcular o preço implícito do recurso ambiental através do preço de mercado quando outros atributos são isolados. Normalmente esta técnica é utilizada na avaliação das mudanças do valor de propriedade, através dos diversos níveis de atributos existente entre as diferentes propriedades, ou seja, calcula a qualidade do ar, a proximidade a rios, entre outros. Esses atributos são analisados pelos indivíduos, então a diferença entre os níveis dos recursos ambientais irá refletir a disposição marginal a pagar de acordo com as variações dos atributos (PEARCE, 1993; SEROA DA MOTTA, 1997; COELHO DE FARIA E NOGUEIRA, 2004).

Esta abordagem pode ser utilizada no caso dos recursos hídricos para a valoração da água na agricultura. O objetivo é demonstrar que a quantidade de água disponível em uma área agrícola afeta o fluxo futuro de vantagens, ou seja, no preço da propriedade, ocorrendo uma alteração no seu valor futuro. Estas alterações nos preços podem ser calculadas através de uma regressão utilizando dados cross-section (COELHO DE FARIA e NOGUEIRA, 2004). Maia et al. (2004) apontam algumas críticas quanto à utilização desta técnica, como exemplo, que a análise estatística observará apenas as variáveis significantes, e aquelas que não possuem alta correlação no preço da propriedade serão excluídas do modelo, assim algumas características importantes poderão não ser contabilizadas no estudo.

2.3.2.2. Método da valoração contingente (MVC)

O MVC utiliza consultas a população, através de questionários, para saber os valores individuais de uso e não uso aplicado a um atributo ambiental. Através da simulação de um mercado hipotético os entrevistados respondem sobre sua disposição a pagar (DAP) para evitar ou a receber (DAR) em virtude de futuras variações do recurso natural. Essa disposição a pagar ou a receber é uma forma de medir o grau de preferência dos consumidores, retratados em valores monetários (SEROA DA MOTTA, 1997; MAIA et al., 2004).

Segundo Coelho de Faria e Nogueira (2004, p. 200 e 2001) a DAP dos indivíduos "pode ser interpretada como uma medida de bem-estar social como o excedente do consumidor, excedente equivalente ou excedente compensatório, de acordo com a teoria do bem-estar na microeconomia." Para os autores esses resultados servem como indicadores de estimativa do benefício social e que podem ser utilizadas em análises de custo/benefício em programas sociais.

Seroa da Motta (1997) explica que a grande desvantagem desse método está na limitação de se obter os valores ambientais, pois muitas pessoas podem não entender ou não conhecer a variação ambiental apresentada no estudo. Entretanto, se os indivíduos conseguirem entender corretamente essas variações e demonstrar precisamente suas DAP ou DAR, em tal caso esse método pode ser valioso. Em contrapartida, Coelho de Faria e Nogueira (2004) recomendam alguns cuidados com essa técnica, primeiramente a DAP refere-se a um valor e não a um preço e que, por conseguinte, essa DAP é um valor médio, e sob essas circunstâncias muitas pessoas não estariam propensas a pagar esse valor.

Apresentados alguns dos métodos mais utilizados para valoração de recursos ambientais, a próxima seção destina-se à explanação do Método do Valor Residual (MVR), técnica essa que será empregue para o cálculo da disposição dos produtores de cana, em pagar

pelo uso da água utilizada na irrigação da cana-de-açúcar nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba, ambas do estado de São Paulo.

2.3.3. Método do Valor Residual (MVR)

De acordo com Young e Loomis (2014) o método residual tem sido a abordagem mais utilizada para a avaliação empírica dos bens dos produtores, sendo esta uma importante ferramenta para a avaliação das políticas de irrigação na agricultura. É uma técnica dedutiva, que estima parâmetros que representam a cultura e a localização geográfica da aplicação, afim de calcular o valor da água utilizada no processo após todos os outros custos relevantes da produção serem contabilizados.

A metodologia que será empregada, neste estudo, para a precificação da água é o Método do Valor Residual (MVR, cujo termo em inglês é *residual valuation method*). O MVR baseia-se na função de produção de culturas, representando todos os insumos utilizados no processo produtivo. Isto é, a partir da renda total obtida é deduzido todos os fatores de produção, exceto a água, como resultado tem-se o resíduo, ou seja, o valor máximo que os produtores poderão pagar pelo recurso hídrico.

Para a obtenção da derivação do Método do Valor Residual (MVR) é necessário analisar duas hipóteses para atingir o equilíbrio competitivo. Primeiramente é esperado que os produtores maximizadores de lucros agreguem insumos na produção até que o Valor do Produto Marginal (VPM) seja igual aos custos de oportunidade dos insumos. A segunda hipótese requer que o Valor Total do Produto (VTP) seja dividido de modo que cada insumo seja pago de acordo com sua produtividade marginal e o VTP seja completamente exaurido (YOUNG e LOOMIS, 2014).

A partir desses postulados pode-se inferir que esse método é capaz de auferir a contribuição de cada insumo no processo produtivo de determinada cultura. Através da diferença entre a renda e os custos de produção - exceto a água - é estimado o valor econômico da água. Para o emprego do MVR é necessário levantar grande quantidade de informações sobre os custos nas regiões de estudo (BERBEL et al., 2011).

Autores que utilizam o MVR relatam que a escolha desse, em relação a outros métodos, ocorre pelo fato que essa técnica se destaca pela sua simplicidade e robustez (BERBEL et al., 2011; YOUNG e LOOMIS, 2014; ZIOLKOWSKA, 2015). Apesar da importância de se utilizar o método para a valoração da água, o número de estudos ainda é muito pequeno, visto que, essa técnica possui algumas desvantagens que são muito importantes no momento da escolha do método a ser desenvolvido.

A principal dificuldade observada, na maioria dos trabalhos sobre valoração da água na agricultura que utilizam o MVR, se concentra no fato de os estudos utilizarem fazendas com diversos tipos de culturas, o que exige a desagregação dos custos comuns de produção, tornando-se uma tarefa complexa, que por vezes inviabiliza a estimativa correta do preço da água. Para evitar tal problema a presente pesquisa será realizada em fazendas com apenas uma cultura, a cana-de-açúcar, tendo em vista a facilitação do manuseio dos custos para adoção do método MVR. Outra dificuldade desse método é o acesso aos dados para compor os custos das empresas agrícolas. Contudo, a presente pesquisa se pautará nos custos de produção fornecidos pelo Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (Pecege) a qual todos os anos realiza um levantamento de custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil.

Diante deste contexto, nesse trabalho será adotado o método do MVR, pelo fato de haver dados compatíveis a utilização da técnica. Diversos autores internacionais, já utilizaram este procedimento, porém no Brasil, esse método não é muito empregado, devido as dificuldades de obtenção dos dados. No âmbito internacional, Ziolkowska (2015) analisou o preço sombra da água de irrigação em três estados dos Estados Unidos: Texas, Kansas e Nebraska que fazem parte do Aquífero Ogallalanos. Os anos estudados foram 2010 e 2011 e as culturas foram escolhidas através da sua predominância nessas regiões, que são: milho, algodão, sorgo, soja e trigo; os dados foram retirados do Serviços Nacional de Estatística Agrícola, universidades, entre outros. Os resultados mostraram que o preço sombra de água mais alto foi no norte do Texas, para produção de trigo, US\$ 0,70/m³, enquanto o menor valor foi na produção de milho, US\$ 0,004/m³, na parte sul do Texas. O autor ressalta que os resultados do trabalho são comparáveis a outros estudos semelhantes e informa que as estimativas do preço sombra da água variam e dependem de vários fatores, como, condições climáticas; localização geográfica; sistemas de irrigação, de plantio, entre outros fatores. O que torna limitada a comparação rigorosa entre os valores dos preços sombra estimados.

Berbel et al. (2011) utilizaram o método do valor residual para estimar o valor da água de irrigação na Bacia do Rio Guadalquivir, situada no Sul da Espanha. Os dados baseiam-se em estatísticas oficiais do Ministério da Agricultura para 50 municípios, no ano de 2005. Baseado em 24 culturas, foi calculado o valor médio da água residual para cada tipo de plantação. O cultivo que apresentou maior valor para a água, € 0,548/m³ foi o de oliveiras (azeitonas), enquanto o menor valor, € 0,04/m³, foi o de girassóis. Com isso os autores concluem que o valor médio da água residual para a bacia do Rio Guadalquivir foi de € 0,31/m³ e afirmam que os valores estimados estão em conformidade com outros trabalhos similares.

Outros trabalhos também utilizaram essa técnica como Mesa-Jurado et al. (2008); Esmaeili e Vazirzadeh (2008) e Sacolo (2013), sendo o último autor, o único que empregou o método para a cana-de-açúcar. Sacolo (2013) estimou o valor da água, como insumo na produção de cana-de-açúcar em Lowveld – Swaziland. Para a estimativa foi empregado o método do valor residual e a abordagem de função de produção. Como resultado, foi constatado que os dois métodos ocasionam estimativas estatisticamente semelhantes. Implicando que qualquer um dos dois métodos pode ser usado para estimar o valor implícito da água de irrigação utilizada na produção de cana-de-açúcar na região.

No Brasil, destaca-se Portugal Junior et al. (2017), onde os autores utilizaram o método do valor residual para determinar o valor econômico ambiental da água mineral. Como resultado da pesquisa, verificou-se que a empresa apresenta altas margens de retorno e que, mesmo pagando pelo uso do recurso ambiental, ainda apresentaria altos resultados financeiros. Outros autores também utilizaram a técnica no país, como, Pinheiro e Lima (2001); Campos (2010); Campos, Teles da Roza e Pinheiro (2013); Campos e Campos (2014).

Após a apresentação dos principais métodos de valoração ambiental, a introdução da metodologia de valoração proposta neste trabalho, bem como uma breve revisão sobre os principais e mais recentes estudos realizados nessa temática, a próxima seção é dedicada a demonstrar a viabilidade econômica da implementação do sistema de irrigação nas usinas de cana-de-açúcar, nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba.

2.4. Viabilidade econômica do sistema de irrigação

Para o estudo da viabilidade econômica do sistema de irrigação é necessário a elaboração do Fluxo de caixa. Assaf Neto (2016) destaca que antes de iniciar um projeto, é necessário avaliar economicamente o investimento de qualquer ativo financeiro, para assim determinar a implementação ou não dessa aquisição na empresa. Os investimentos podem ser divididos em dois grupos: os que não consideram o valor do dinheiro no tempo e os que determinam essa variação por meio da técnica do fluxo de caixa descontado.

Como a maior parte das decisões de investimento são de longo prazo, o autor destaca que a técnica do segundo grupo possui maior rigor, visto que, a análise de um ativo é determinada pelos ganhos futuros esperados de caixa, apresentado na forma de valor presente, mediante uma taxa de desconto que retrata o risco do investimento (ASSAF NETO, 2016).

O fluxo de caixa e os indicadores de análise financeira, são instrumentos fundamentais tanto para a apuração de projetos como para a tomada de decisão. O investimento é o primeiro passo para a análise da viabilidade econômica de um projeto, o qual representa toda a aplicação

de recursos para a obtenção de ativos e capitais, como instalações e equipamentos que sejam utilizados na empresa (MEYER et al., 2018).

Diversos autores empregam o uso da avaliação econômica para analisar a viabilidade da irrigação, Frizzone et al. (2001) estimaram a viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar na região norte do estado de São Paulo, como resultado encontraram que a irrigação aumenta os valores esperados por hectare, além da redução com custos de arrendamento, plantio, tratos culturais e transporte de cana. Machado et al. (2002) analisaram a viabilidade econômica da irrigação localizada da cana-de-açúcar em 4 usinas, duas em SP, uma em Alagoas e outra em Minas Gerais, como resposta obtiveram uma Taxa Interna de Retorno para um período de 12 anos de 61,4% para a cana irrigada e de 26,9% para a cana de sequeiro.

Pereira et al. (2015) na análise referente a irrigação da cana no cerrado brasileiro, constataram que a irrigação plena obteve a maior lucratividade, seguida pela irrigação com déficit com lucro 30,06% menor, e de salvamento, com um lucro 50,11% menor que a irrigação plena. Costa (2016) verificou a viabilidade de irrigação por gotejamento em uma usina localizada na região de Araçatuba. Os indicadores apontaram um resultado financeiro na ordem de R\$ 45,65 milhões no quarto ano de projeto, gerando um retorno de 2,8 vezes do capital demandado. Já Campos et al. (2017) aferiram a rentabilidade da irrigação da cana-de-açúcar em uma usina em Goiás, indicando como resultado, que a irrigação é uma boa ferramenta de rentabilidade para o caso estudado.

Dado esses estudos relacionados ao tema, optou-se pela utilização dessa metodologia para averiguar, antes de valorar o uso da água, se é viável ou não a implementação do sistema de irrigação para as usinas de cana-de-açúcar nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba – SP. Para isso, serão necessárias algumas observações relacionadas as etapas sugeridas pelos principais autores que estudam a viabilidade de irrigação. Essas descrições serão realizadas na seção dos materiais e métodos. A seguir serão apresentados os indicadores financeiros utilizados no presente estudo.

2.4.1. Indicadores financeiros

Nessa seção serão abordados os conceitos de Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR), os quais representam os indicadores financeiros utilizados para a análise de viabilidade econômica do referido trabalho.

2.4.1.1. Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL representa a comparação das entradas e saídas, de todo período analisado, trazidos ao valor presente, isto é, a soma dos resultados de cada ano trazido de acordo com o ano zero. Para tornar esse valor presente, é necessário empregar uma taxa que retrate o valor mínimo que se busca alcançar com o investimento. Normalmente, é utilizada a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que representa a taxa de retorno real de um investimento sem risco (MEYER et al., 2018). Para este trabalho foi utilizada a taxa de juros alcançada nos períodos de 16/01/2013 - 06/03/2013¹⁵, a qual foi de 7,12% (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2013).

Conforme Costa (2016) a regra para a tomada de decisão baseada no VPL, é que se o resultado for maior que zero, deve-se aceitar o investimento, caso ocorra o contrário, não é vantajoso implementar o novo ativo. E a forma de classificação do VPL consiste do maior valor para o menor, onde os primeiros resultados são os mais indicados para o investimento.

2.4.1.2. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é a taxa que faria este fluxo de caixa ser zero. Nesse cálculo é incluído os valores do fluxo de caixa de todo o período, levando em consideração o valor do investimento, e também a TMA. A tomada de decisão de investir ou não em um ativo será dada a partir, do resultado da TIR em relação a TMA, se a primeira for maior que a segunda, então o investimento será aceito, caso o contrário é rejeitado (MACHADO, 2002; MEYER et al., 2018). A próxima seção destina-se a apresentação da obtenção dos dados de Custos de Produção utilizados na presente pesquisa.

2.5. Custos de produção: Projeto Campo Futuro - Pecege

Os dados de custos de produção cedidos para o presente trabalho são oriundos do Projeto Campo Futuro - Pecege, que iniciou suas atividades em 2003, através de uma parceria entre a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) e o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP), com o objetivo de mensurar a rentabilidade da pecuária de corte na Amazônia. Contudo, o estudo superou o objetivo inicial e tornou-se um dos maiores bancos de dados de sistema produtivo do mundo (Campo Futuro - Pecege, 2017).

A partir de 2007 foi incluído outros produtos no projeto, tais como: soja, milho, leite, café e cana-de-açúcar, com o intuito de construir o futuro da empresa agropecuária, realizando

¹⁵ Salienta-se que o ano zero, ou seja, o investimento seria realizado na safra 2012/2013, para iniciar a colheita na próxima safra 2013/2014.

a junção entre a academia e os produtores para a construção da base de conhecimento ao setor do agronegócio brasileiro (CAMPO FUTURO - PECEGE, 2017).

A ideia do projeto consiste em que a administração financeira da empresa rural deve receber o mesmo auxílio que as atividades de produção, ou seja, criar capacidade para o produtor saber produzir, comercializar a produção e comprar de uma maneira planejada.

Atualmente, o Projeto Campo Futuro conta com a participação da CNA e do Serviço Nacional de Aprendizado Rural (SENAR), onde o objetivo é criar ferramentas que auxiliem na gestão e tomada de decisão dos produtores, baseadas nas informações técnicas e econômicas desenvolvidas pelo Projeto (CAMPO FUTURO - PECEGE, 2017).

2.5.1. Método de levantamento dos dados – Projeto Campo Futuro - Pecege

O levantamento das informações constantes na base de dados do Projeto Campo Futuro - Pecege ocorre através de painéis nas principais localidades produtoras de cada bem, esses locais são escolhidos onde haja uma significativa participação de cada produto na produção nacional. O painel compõe-se em uma reunião técnica *in loco*, com os principais agentes da cadeia produtiva – produtores, técnicos da agroindústria e representantes de lojas de insumos – para a determinação de uma propriedade modal (CAMPO FUTURO - PECEGE, 2017).

Os dados são estruturados em formato de planilha previamente definida pelas instituições de ensino/pesquisa encarregadas por cada cultura, após o acordado, sobre as respostas, a planilha é preenchida. Em seguida dessas reuniões, as instituições parceiras do Projeto Campo Futuro - Pecege atualizam mensalmente as matrizes de custos e as médias das receitas (CAMPO FUTURO - PECEGE, 2017).

2.5.2. Custos de Produção – Projeto Campo Futuro - Pecege

A pesquisa elaborada pelo Projeto Campo Futuro - Pecege considera no levantamento de custos, o Custo Operacional Efetivo (COE), o Custo Operacional Total (COT) e o Custo Total (CT), elaborado por Matsunaga et al. (1976) (CAMPO FUTURO - PECEGE, 2017).

O COE representa todos os custos efetivamente despendido em um ano agrícola, que corresponde a todos os elementos de custos efetuados pela relação entre os coeficientes técnicos (quantidade empregada na produção) e seus respectivos preços. Também constam nesse cálculo, os gastos administrativos e os custos financeiros de capital de giro.

O COT retrata as depreciações de maquinários, implementos, benfeitorias e lavouras perenes estabelecidas no processo produtivo, incluindo também o pró-labore¹⁶. O COT demonstra a possibilidade de reposição da capacidade produtiva do empreendimento, bem como a remuneração do proprietário ou encarregado pelo gerenciamento da atividade. Nos custos, o COE é somado aos elementos do COT.

O custo de oportunidade da terra e dos bens de capital, somados ao COT, constitui o Custo Total (CT). O CT aponta a situação econômica do estabelecimento, demonstrando o custo de oportunidade de o empreendimento continuar produzindo. É aplicado junto ao custo de oportunidade dos bens de capital, uma taxa de juros de 6% sobre o capital médio investido em máquinas, implementos, benfeitorias e lavouras. Já o custo de oportunidade da terra, equivale ao valor do arrendamento de terras similares que se localizam na mesma região (CAMPO FUTURO - PECEGE, 2017).

Através desse método de calcular os custos de produção, são produzidos indicadores contábeis que apontam se os empreendimentos geram valor (lucro) ou prejuízo, isto é, se os custos de produção são maiores ou menores que o preço de venda do bem. No próximo capítulo será apresentado os materiais e métodos utilizados para a elaboração do estudo.

¹⁶ Remuneração retirada pelo empresário ou pelos sócios de uma empresa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão averiguadas as fontes de obtenção dos dados, assim como os métodos utilizados para o cálculo das simulações da viabilidade de implementação da irrigação nos canaviais, como também da demanda hídrica da cana-de-açúcar e o método para a valoração da água.

3.1. Material

3.1.1. Fonte de dados da demanda hídrica

Os dados meteorológicos necessários para a realização da demanda hídrica (ou déficit hídrico) da cana-de-açúcar, foram retirados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Os parâmetros considerados para esta análise foram: temperatura máxima e mínima e precipitação. Os períodos analisados iniciaram no dia 1º de junho (cana soca 1º corte) até 1º de junho do próximo ano (colheita), totalizando 365 dias - cana de ano - abrangendo as safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 para as regiões de Araçatuba e de Piracicaba. Cabe salientar que os cálculos foram baseados nos dados diários dos respectivos anos.

3.1.2. Fonte de dados dos custos de produção

Os dados sobre os custos de produção agrícola dos produtores de cana-de-açúcar do estado de São Paulo foram obtidos através do Projeto "Levantamento de Custos de Produção de Cana-de-Açúcar, Açúcar, Etanol e Bioeletricidade no Brasil" elaborado pelo Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (Pecege) em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), relativo as safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018, para as regiões de Araçatuba-SP e de Piracicaba-SP.

Foram calculadas médias ponderadas pela produtividade, referente a três usinas de cana-de-açúcar na safra 2013/2014; quatro em 2014/2015 e em 2015/2016; duas em 2016/2017; e, seis usinas na safra 2017/2018 na região de Araçatuba. Já na região de Piracicaba na safra 2013/2014 foram analisadas três usinas; seis em 2014/2015 e em 2015/2016; em 2016/2017 quatro usinas; e, 2017/2018 duas usinas de cana¹⁷. Destaca-se que a Projeto abrange diversas

¹⁷ Utilizou-se as quantidades descritas no texto em virtude da completude dos dados. Dados esses fornecidos pelas próprias usinas, sendo dessa forma restrita sua divulgação por questões de sigilo.

regiões do país e sobretudo 6 regiões - Sertãozinho, Piracicaba, Jaú, Catanduva, Assis e Araçatuba - do estado de São Paulo. A escolha por Araçatuba e Piracicaba, ocorreu pelo fato da quantidade de dados completos e disponíveis para o presente estudo.

3.1.3. Fonte de dados dos custos de irrigação

Os dados relativos aos custos de implantação da irrigação foram fornecidos pela Empresa de Irrigação Netafim¹⁸. Os valores cedidos são referentes ao exercício de 2018.

Tabela 5. Custos de irrigação para a região de Araçatuba

	Custos irrigação	Valores	Unidade
Instalação	Máquinas de irrigação	13.000	R\$/módulo ¹
	Instalação mdo ²	1.600	R\$/módulo
	Vida útil da irrigação	12	anos
Manutenção	Custo energia elétrica	999,52	R\$/ha/ano
	Equipe	175,79	R\$/ha/ano
	Manutenção	138	R\$/ha/ano

Fonte: Netafim

Nota: ¹módulos de 350 hectares; ²Preço da mão-de-obra destinada a instalação do sistema de irrigação

A Tabela 5 apresenta os custos da irrigação localizada¹⁹ para a região de Araçatuba. Importante salientar, que esses valores se referem a uma lâmina 3,8 mm/dia e com espaçamento entre as culturas de 1,5 m. A Tabela 6 apresenta os valores para a região de Piracicaba, os valores são referentes a uma lâmina de 3,0 mm/dia e com espaçamento de 1,5 m.

Tabela 6. Custos de irrigação para a região de Piracicaba

	Custos irrigação	Valores	Unidade
Instalação	Máquinas de irrigação	11.500	R\$/módulo ¹
	Instalação mdo ²	1.600	R\$/módulo
	Vida útil da irrigação	12	anos
Manutenção	Custo energia elétrica	999,52	R\$/ha/ano
	Equipe	175,79	R\$/ha/ano
	Manutenção	138	R\$/ha/ano

Fonte: Netafim

Nota: ¹módulos de 350 hectares; ²Preço da mão-de-obra destinada a instalação do sistema de irrigação

¹⁸ A empresa é referência mundial no mercado de sistemas de irrigação. Já foram produzimos mais de 150 bilhões de gotejadores para mais de dois milhões de agricultores. Para mais informações acessar: <<https://www.netafim.com.br/irrigacao-inteligente/>>.

¹⁹ A escolha pelo método de irrigação localizada, ocorreu por ser a técnica que possui maior eficiência de aplicação no uso da água, como apresentado na Tabela 3.

Cabe destacar que a empresa, fornecedora dos dados de custos de irrigação para ambas regiões, realizam seus projetos com tamanho máximo de “módulos” de 350 hectares. Logo, esses valores serão divididos pela área destinada a irrigação, nas simulações do presente estudo.

3.2. Métodos

3.2.1. Análise financeira dos custos de implantação do sistema de irrigação

Para a elaboração do Fluxo de caixa serão averiguados os conceitos de receita, depreciação e valor residual. As receitas, de acordo com o Meyer et al. (2018), podem ser divididas em receitas operacionais e não-operacionais, onde a primeira se refere as entradas de caixa derivada das vendas dos bens, isto é, as receitas operacionais são geradas, através das quantidades produzidas que foram vendidas a um determinado preço. Já as receitas não operacionais estão associadas a receitas de outras atividades, como por exemplo, o faturamento de aplicações no mercado financeiro. A receita total consiste na soma das receitas operacionais e das receitas não-operacionais.

Os custos de produção utilizados no presente estudo, estão de acordo com o que foi apresentado na seção 4.1. A depreciação, denominada como a desvalorização de um ativo em consequência da sua deterioração ao longo do tempo, será calculada segundo a descrição de Meyer et al. (2018). A eq. (10), demonstra a fórmula utilizada para o cálculo da depreciação,

$$D = \frac{VI-VR}{vu} \quad (10)$$

Em que:

D = depreciação;

VI = valor inicial do equipamento;

VR = valor residual do equipamento; e

vu = vida útil do equipamento.

O valor residual (VR) do equipamento representa o valor de troca após um determinado período, normalmente contado pela vida útil do equipamento, isto é, 20% do valor inicial do investimento, representa o valor residual ao final de sua vida útil (MEYER et al., 2018). O Quadro 2 apresenta a descrição e composição do Fluxo de Caixa de acordo com Meyer et al. (2018).

Investimento	Valor inicial do investimento
Receita operacional	Valor que as usinas receberam pela venda de seu produto em determinado período
Custo manutenção	Valor referente aos custos anuais de manutenção do sistema de irrigação
Custo de Produção	Valor que as usinas desembolsaram para a produção de seus produtos
Custo Total	Soma dos custos de manutenção e de produção
Lucro Operacional Bruto	Receita operacional menos o custo total
Depreciação	Quanto os equipamentos depreciaram em determinado período
Lucro tributável	Soma do lucro operacional bruto e a depreciação
Imposto de Renda	Através do lucro tributável descontar o imposto de renda
Lucro Líquido	Após o desconto do imposto de renda sobra o lucro líquido
Depreciação	A depreciação é retirada da conta pois não representa um gasto efetivamente realizado
Fluxo de caixa	Resultado final do caixa no final do período

Quadro 2. Fluxo de caixa

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Meyer et al. (2018)

Com essas etapas concluídas, pode-se averiguar na próxima seção, os principais indicadores financeiros utilizados para a viabilidade econômica do sistema de irrigação.

3.2.1.1. Indicadores Financeiros

Para a realização dos cálculos do VPL e da TIR, foram utilizadas as seguintes fórmulas, as quais foram extraídas de Urtado et al. (2009).

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (11)$$

$$FC_0^* = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (12)$$

Onde:

FC_j = valor de entrada ou saída do caixa, em um determinado período;

FC_0 = valor do investimento inicial;

FC_0^* = valor do fluxo de caixa no momento zero (investimento);

j = período de tempo;

i = taxa de desconto do projeto.

Destaca-se que a Taxa Interna de Retorno (TIR), por definição, é a taxa que torna o VPL de um fluxo de caixa igual a zero.

3.2.2. Demanda hídrica da cana-de-açúcar

Os cálculos serão realizados de acordo com a descrição detalhada na seção 2.2.2. Para o cálculo do ITN, apresenta-se a seguir os passos que resultaram no mesmo:

- i. Cálculo do ETo pelo método de Thornthwaite;
- ii. Cômputo da capacidade máxima de água disponível no solo das regiões estudadas;
- iii. Estimativa da evapotranspiração:
 - a. (primeiramente) da cultura, ETc; e,
 - b. (posteriormente) real da cultura, ETRc;
- iv. Apuração do ITN para irrigação suplementar. Lembrado que a eficiência de aplicação da irrigação (E_a) será de 95%, utilizando a irrigação localizada.

3.2.3. Método do Valor Residual – (MVR)

O método do valor residual é baseado na teoria neoclássica econômica, onde os produtores maximizam seus lucros e o valor total da produção é atribuído a cada insumo de acordo com sua produtividade marginal (BERBEL et al., 2011). Logo o MVR é definido a partir de quatro fatores de produção: capital (K); trabalho humano (H); terra (L); água (W). A função de produção a ser utilizada é apresentada na eq. (13):

$$Y = f(X_K, X_H, X_L, X_W) \quad (13)$$

Onde:

Y denota a produção agrícola;

X_K capital;

X_H trabalho;

X_L terra;

X_W água (irrigação).

De acordo com a primeira hipótese, se todos os insumos forem pagos de acordo com seu VPM, o valor total da produção estará completamente exausto. Considerando que o nível tecnológico é constante e os outros fatores são variáveis contínuas, tem-se o valor total da produção apresentado na eq. (14).

$$(Y \times P_Y) = (VPM_K \times X_K) + (VPM_H \times X_H) + (VPM_L \times X_L) + (VPM_W \times X_W) \quad (14)$$

Onde:

$(Y \times P_Y)$ é o valor total da produção;

VPM_i é o valor do produto marginal de cada insumo i ; sendo $i = K; H; L; W$.

Dado que os mercados são competitivos para os insumos comprados e perfeito conhecimento e previsão, os preços desses insumos serão tratados como constantes conhecidas. De acordo com a segunda hipótese a teoria irá assumir que o VPM do fator de produção é igual ao seu preço (para cada insumo i , $P_i = VPM_i$) (YOUNG e LOOMIS, 2014). Desse modo, permitindo a substituição do VPM pelo preço (P_i) e rearranjando os termos, como resultado tem-se o valor do produto total (retorno líquido para a água) que pode ser demonstrado subtraindo o valor dos insumos (capital, mão de obra e terra) do valor total da produção após a irrigação (receitas de produção), representando o valor máximo que o produtor deve pagar pela água, conforme eq. (15):

$$R_W(P_{Wi} \times Q_{Wi}) = Y_i \times P_i - (Q_{Ki} \times P_{Ki} + Q_{Hi} \times P_{Hi} + Q_{Li} \times P_{Li}) \quad (15)$$

Em que:

R_W é o retorno líquido para a água;

P_{Wi} é o preço sombra da água (desconhecido e deve ser estimado);

Q_{Wi} é a quantidade de água aplicada para a produção da cultura;

Y_i é a quantidade da produção (t/ha);

P_i é o preço recebido pelo produto;

$Y_i \times P_i$ é a produção total;

Q_{Ki} é a quantidade de capital;

P_{Ki} é o preço do capital;

Q_{Hi} é a quantidade de mão de obra;

P_{Hi} é o valor da mão de obra empregada;

Q_{Li} é a terra utilizada para produzir a cultura;

P_{Li} é o preço da terra.

Considerando que todas as variáveis são conhecidas, exceto o preço da água (P_{Wi}). O preço unitário do recurso (R\$/ha) poderá ser calculado como o quociente do retorno líquido da água, por metro cúbico por hectare (m^3/ha) que é a quantidade utilizada para a irrigação (Q_W), através deste cálculo será possível obter o valor real da água para irrigação, denominado como preço sombra, de acordo com a eq. (16):

$$P_{Wi*} = \frac{Y_i \times P_i - (Q_{Ki} \times P_{Ki} + Q_{Hi} \times P_{Hi} + Q_{Li} \times P_{Li})}{Q_{Wi}} \quad (16)$$

Speelman et al. (2008) relatam que valores médios podem ser usados como estimador dos marginais e que o denominador é de suma importância, pois representa o volume de água consumido na produção, demonstrando a relevância que a água agrega no processo de produção agrícola. O próximo capítulo apresentará os resultados e discussões do estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise dos Custos de Produção

As Tabelas 7 e 8 apresentam as médias ponderadas, pela produtividade, dos custos de produção agrícola das usinas de cana-de-açúcar das regiões de Araçatuba e de Piracicaba - como retratado na seção 3.1.2. - para o período de 2013/2014 a 2017/2018. Destaca-se que todos valores das safras foram deflacionados pelo Índice Geral de Preços IGP-DI – referente a março de 2018²⁰.

A produtividade média representa a média de rendimento da cultura nos canaviais analisados. Os valores utilizados como os preços médios pago pela cana, é relativo ao valor pago aos fornecedores de cana pela terceirização da plantação, visto que, toda cana produzida pelas usinas é utilizada na fabricação dos produtos derivados da cultura. Por fim, a área colhida representa a quantidade de área que passou pelo processo de colheita em um determinado período pelas usinas analisadas.

Salienta-se que o presente estudo investigará somente as usinas, desconsiderando os fornecedores, visto que, seus resultados líquidos são todos negativos durante o período analisado, além de possuírem áreas menores, o que causaria grande desproporção entre as unidades produtoras.

Como se pode perceber, através das Tabelas 7 e 8, os custos totais para quase todos os períodos, são maiores que os preços médios pagos pela cana, havendo como resultado, prejuízo econômico para as usinas – com exceção da safra 2016/2017 na região de Araçatuba, onde o preço foi na ordem de R\$ 90,00/t e o CT foi de R\$ 89,49/t.

Segundo Silva e Marques (2017), a partir da safra 2011/2012 ocorreu uma degradação das margens econômicas do setor, visto que, o crescimento dos custos nominais da produção não foi seguido pelo preço da cana-de-açúcar. Com a redução da quantidade de ATR presente na cana e da produtividade, todos esses fatores foram responsáveis pela diminuição das margens econômicas.

De acordo com os resultados de Campo Futuro - Pecege (2017), quando se analisa os valores referentes aos custos totais das principais regiões produtoras do país, apenas 4 dos 16 painéis que compõe a amostra, resultaram cenários de lucro ao produtor de cana, sendo que, 3 situam-se no Centro-Oeste do país. Os fatores fundamentais para isso, está no fato de que as

²⁰ Para deflacionar a média da safra, o IGP-DI foi calculado a partir dos 12 meses da safra. Esse valor corresponde ao valor acumulado nos meses de abril a março do ano seguinte. Na safra 2016/2017 o valor de referência foi de 1,000371159.

empresas dessa região compartilham entre si, custos de capital, principalmente aqueles ligados a máquinas agrícolas, como também menor concentração de unidades produtoras do setor, resultando em menor competitividade por terras ou produtores.

Tabela 7. Custos de produção das usinas de cana-de-açúcar da região de Araçatuba

Safras	Unidade	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18
Mecanização	R\$/t	46,12	37,87	34,90	34,23	34,76
Mão-de-obra	R\$/t	2,98	2,12	3,34	2,08	2,22
Insumos	R\$/t	8,56	8,00	5,93	6,68	11,57
Arrendamentos	R\$/t	15,25	11,13	17,17	15,62	17,20
Despesas administrativas	R\$/t	4,08	6,47	6,56	4,25	3,87
Custo Operacional Efetivo (COE)	R\$/t	76,99	65,59	67,89	62,85	69,61
Depreciações	R\$/t	24,55	26,82	29,82	18,19	30,53
Formação do Canavial	R\$/t	20,39	24,10	27,68	16,10	27,14
Máquinas	R\$/t	4,05	2,35	2,04	2,06	3,03
Benfeitorias	R\$/t	0,12	0,11	0,04	0,00	0,09
Irrigação	R\$/t	0,00	0,26	0,06	0,03	0,27
Custo Operacional Total (COT)	R\$/t	101,54	92,41	97,72	81,04	102,30
Remuneração do capital e terra	R\$/t	9,38	9,11	6,70	7,45	10,48
Remuneração da Terra	R\$/t	0,26	0,58	0,07	1,06	4,58
Remuneração do Capital	R\$/t	4,68	8,52	6,62	6,38	9,14
Formação do Canavial	R\$/t	6,55	6,82	5,32	5,13	7,04
Máquinas e implementos	R\$/t	2,43	1,41	1,22	1,24	1,82
Benfeitorias	R\$/t	0,14	0,13	0,05	0,00	0,11
Irrigação/Fertirrigação	R\$/t	0,00	0,16	0,04	0,02	0,16
Custo Total (CT)	R\$/t	110,92	101,52	104,41	88,49	116,02
Produtividade média	t/ha	63	64	77	79	70
Preço médio pago pela cana	R\$/t	57,66	60,32	65,11	90,00	81,70
Área Colhida	ha	22.845	31.456	38.713	42.104	20.354

Fonte: Elaboração própria através dos dados Projeto "Levantamento de Custos de Produção de Cana-de-Açúcar, Açúcar, Etanol e Bioeletricidade no Brasil"

Diante do exposto, já que o COT e o CT retratam a viabilidade econômica da atividade de médio e longo prazo, respectivamente, neste estudo optou-se por utilizar, apenas os resultados do Custo Operacional Efetivo (COE), que são os custos que realmente são desembolsados do capital de giro presente, para o pagamento das despesas no dado período de análise. A partir disso, foram construídas novas rendas líquidas das usinas, baseadas nos valores apresentados pelo COE.

Tabela 8. Custos de produção das usinas de cana-de-açúcar da região de Piracicaba

Safras	Unidade	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18
Mecanização	R\$/t	25,25	38,17	39,82	28,35	26,13
Mão-de-obra	R\$/t	7,66	8,48	5,14	3,88	10,96
Insumos	R\$/t	9,59	5,97	5,84	8,53	10,27
Arrendamentos	R\$/t	4,07	21,50	17,69	17,63	18,99
Despesas administrativas	R\$/t	2,52	3,86	3,06	8,38	2,48
Custo Operacional Efetivo (COE)	R\$/t	49,08	77,98	71,55	66,77	68,83
Depreciações	R\$/t	14,60	36,84	20,86	20,33	25,79
Formação do Canavial	R\$/t	12,89	35,10	19,69	18,73	23,45
Máquinas	R\$/t	1,51	1,60	1,11	1,55	2,26
Benfeitorias	R\$/t	0,08	0,04	0,02	0,02	0,02
Irrigação	R\$/t	0,12	0,10	0,04	0,03	0,06
Custo Operacional Total (COT)	R\$/t	63,69	114,81	92,41	87,09	94,62
Remuneração do capital e terra	R\$/t	11,60	15,57	30,08	21,09	8,24
Remuneração da Terra	R\$/t	5,72	7,19	24,35	14,89	0,47
Remuneração do Capital	R\$/t	5,88	8,38	5,72	6,20	7,78
Formação do Canavial	R\$/t	4,80	7,31	5,01	5,23	6,36
Máquinas e implementos	R\$/t	0,91	0,96	0,67	0,93	1,36
Benfeitorias	R\$/t	0,10	0,05	0,02	0,02	0,02
Irrigação/Fertirrigação	R\$/t	0,07	0,06	0,03	0,02	0,04
Custo Total (CT)	R\$/t	75,29	130,38	122,49	108,18	102,86
Produtividade média	t/ha	89	73	82	73	79
Preço médio pago pela cana	R\$/t	61,74	65,98	71,93	91,68	89,75
Área de colheita	ha	30.268	20.661	20.558	24.631	23.415

Fonte: Elaboração própria através dos dados Projeto "Levantamento de Custos de Produção de Cana-de-Açúcar, Açúcar, Etanol e Bioeletricidade no Brasil"

De acordo com a Tabela 9, a região de Araçatuba apresentou rendas líquidas negativas, utilizando os resultados do COE, nas três primeiras safras, R\$ -1.217,70/ha (13/14), R\$ -337,22/ha (14/15) e R\$ -214,61/ha (15/16). A partir da safra 2016/2017 o saldo foi positivo, na ordem de R\$ 2.145/ha e de R\$ 846/ha, na safra de 2017/2018.

Já a Tabela 10 apresenta as rendas líquidas da região de Piracicaba, para as safras 2013/2014 a 2017/2018. Pode-se perceber que diferentemente da região de Araçatuba, a região de Piracicaba apresentou maiores períodos com saldo positivo, a safra 2013/2014 fechou com uma renda líquida de R\$ 1.127/ha, porém, no período de 2015/2016 esse número foi modesto, na ordem de R\$ 31,31/ha – comparando com as últimas safras – R\$ 1.825/ha (16/17) e R\$ 1.653/ha (17/18). Cabe destacar que a safra 2014/2015 o resultado foi negativo R\$ -875,67/ ha.

Tabela 9. Rendas líquidas a partir do COE na região de Araçatuba

Safras	Área	Preço	COE	Prod. Média	Renda bruta	CT de produção	Renda líquida
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = b*d	(f) = c*d	(g) = e-f
13/14	22.845	57,66	76,99	63	3.632,58	4.850,28	-1.217,70
14/15	31.456	60,32	65,59	64	3.860,76	4.197,98	- 337,22
15/16	38.713	65,11	67,89	77	5.013,20	5.227,81	- 214,61
16/17	42.104	90	62,85	79	7.110,00	4.965,23	2.144,77
17/18	20.354	81,70	69,61	70	5.719,00	4.872,74	846,26
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$/ha	R\$/ha	R\$/ha

Fonte: Resultados da pesquisa

Quando calculada as receitas líquidas, a partir do COE (Tabelas 9 e 10), as regiões de Araçatuba e de Piracicaba apresentaram receitas maiores, quando comparada com os resultados dos Custos Totais (Tabelas 7 e 8). Araçatuba configurou-se com duas safras positivas, enquanto Piracicaba passou a obter resultados positivos em quase todas as safras, com exceção apenas na safra 2014/2015, onde o COE resultou em R\$77,98/t e o preço R\$ 65,98/t, tornando negativa a renda líquida dessa safra.

Tabela 10. Rendas líquidas a partir do COE na região de Piracicaba

Safras	Área	Preço	COE	Prod. Média	Renda bruta	CT de produção	Renda líquida
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = b*d	(f) = c*d	(g) = e-f
13/14	30.268	61,74	49,08	89	5.496,55	4.369,86	1.126,70
14/15	20.661	65,98	77,98	73	4.816,97	5.692,64	- 875,67
15/16	20.558	71,93	71,55	82	5.933,60	5.902,29	31,31
16/17	24.631	91,68	66,77	73	6.716,68	4.891,78	1.824,90
17/18	23.415	89,75	68,83	79	7.090,17	5.437,47	1.652,70
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$/ha	R\$/ha	R\$/ha

Fonte: Resultados da pesquisa

O período em que ocorreu o maior incremento da receita líquida, das duas regiões, foi na safra de 2016/2017, visto que, o setor foi favorecido por um bom momento do mercado de açúcar. Neste período, o preço do açúcar cristal no atacado estava seguindo tendência mundial de alta, devido ao elevado preço no mercado internacional (CONAB, 2017a).

Já em 2017/2018 ocorreu redução da receita, sendo que na região de Araçatuba essa perda foi maior. Essa queda ocorreu devido ao fato de que o período foi marcado pela redução dos preços do açúcar, ocasionando mudança do *mix* de produção, impulsionando a ampliação de produção do etanol (CAMPO FUTURO - PECEGE, 2018).

Silva e Marques (2017), através de seu estudo voltado à evolução dos custos de produção no setor canavieiro do país, concluem que para o setor retomar a lucratividade é necessário que haja aumento na produtividade dos canaviais através de novos investimentos aliados a perspectivas macroeconômicas favoráveis.

Após a explanação sobre os custos de produção das usinas de cana-de-açúcar, a seguir será apresentado os resultados da demanda hídrica das duas regiões de estudo.

4.2. Demanda hídrica

Foram calculadas as demandas hídricas da cana-de-açúcar para as regiões de Araçatuba e de Piracicaba. Os dados diários meteorológicos foram coletados através do IAC, de acordo com os anos estudados nas safras do presente do estudo. Lembrando que a safra, neste trabalho, compreende o período de 365 dias. Cabe, ainda, salientar que o conceito abordado é o de cana-soca para quase todas as fases de colheita da cana, com exceção da primeira colheita 2013/2014, onde é o primeiro ano representativo com a implementação do sistema de irrigação.

Os meses de maio não foram contabilizados em nenhuma safra, visto que, é a fase onde ocorre a maturação da cana, então é necessária a redução da quantidade de água, para que ocorra o aumento do acúmulo de Açúcar Total Recuperável (ATR). Concluindo-se que os meses de maio não sofreram irrigação no referente estudo.

As Tabelas 11 e 12 apresentam as médias mensais de precipitação e da deficiência hídrica da cana-de-açúcar para as regiões de Araçatuba e de Piracicaba, respectivamente. Essas médias foram baseadas nas safras 2013/2014 a 2017/2018, para a comparação entre as duas regiões no mesmo período.

Tabela 11. Média da precipitação e deficiência hídrica da cana para a região de Araçatuba - período de 2013 a 2018

Meses	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Total
Méd. Prec.¹	38	26	26	69	85	166	136	287	192	167	84	1276
Méd. D. H.²	65	89	100	81	78	37	41	24	21	35	62	633

Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: Média Precipitação (mm)¹; Média Deficiência Hídrica (mm)²

Mediante a Tabela 11, nota-se que a região de Araçatuba apresenta médias anuais de 1.276 mm de precipitação e deficiência hídrica de 633 mm. Na mesma região, Perin (2016), a partir de 33 anos de série histórica, constatou déficit hídrico de 520 mm.

A Tabela 12 exibe a média mensal da precipitação e da deficiência hídrica da cana-de-açúcar para a região de Piracicaba. Pode-se perceber que a região apresenta precipitação média, anual, de 1.169 mm. Já a média da deficiência hídrica foi de 516 mm para as safras de 2013/2014 a 2017/2018. Salienta-se que, segundo Doorenbos e Kassam (1979), as necessidades hídricas da cana-de-açúcar, dependendo do tipo de clima, variam de 1.500 a 2.500 mm de água, distribuídos uniformemente no período de desenvolvimento da planta.

Tabela 12. Média da precipitação e deficiência hídrica da cana para a região de Piracicaba - período de 2013 a 2018

Meses	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Total
Méd. Prec.¹	63	23	26	63	95	198	152	256	135	111	44	1.169
Méd. D. H.²	58	77	84	72	39	12	22	16	39	18	75	516

Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: Média Precipitação (mm)¹; Média Deficiência Hídrica (mm)²

Monteiro (2012) em seu estudo, encontrou como resultado, a partir de dados históricos de 30 anos, precipitação média anual de 1.201 a 1.300 mm para as regiões de Piracicaba e de Araçatuba. Corroborando com os resultados do presente trabalho, no qual na região de Araçatuba o déficit hídrico foi de 1.276 mm ao ano, enquanto em Piracicaba 1.169 mm, valor esse pouco menor quando comparado com Monteiro (2012). Vale ressaltar que a média da precipitação do presente estudo foi calculado apenas para as safras em questão.

Nas Figuras 10 e 11 é possível analisar graficamente como ocorre as distribuições das precipitações e dos déficits hídricos ao longo do ano nas regiões estudadas.

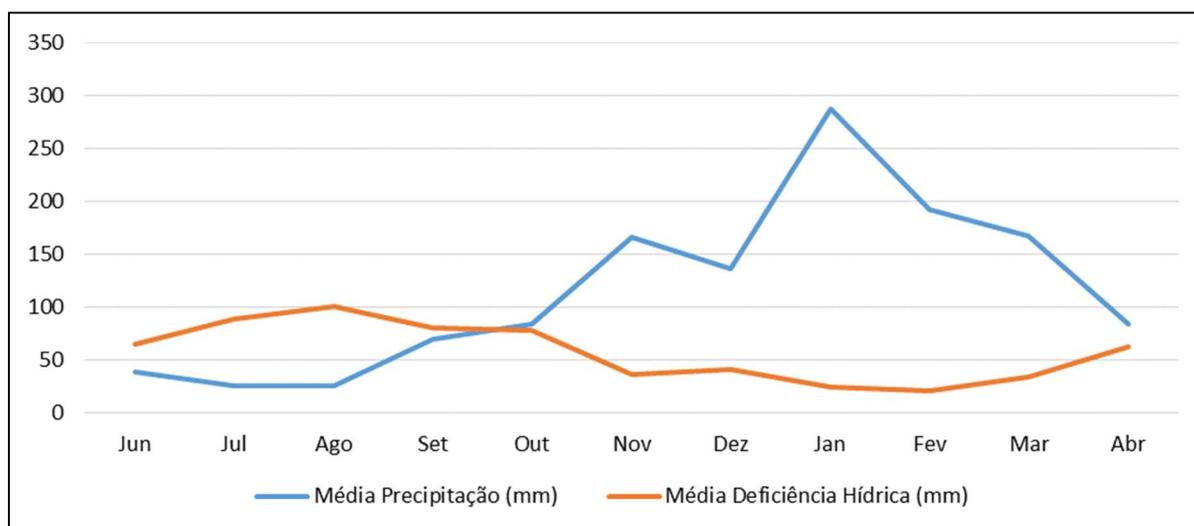


Figura 10. Precipitação e deficiência hídrica da cana-de-açúcar para a região de Araçatuba - período de 2013 a 2018

Fonte: Resultados da pesquisa

A partir das Figuras 10 e 11 também pode-se observar que o período de chuvas é bem definido – setembro a março – e o clima seco nos meses de abril a setembro, caracterizando clima tropical, onde o verão é quente e chuvoso e o inverno é seco.

Destaca-se que os meses de maior e de menor intensidade de chuvas, cujo mês mais chuvoso, na região de Araçatuba, foi janeiro com média de 287 mm, e com deficiência hídrica de 24 mm. Já julho e agosto foram os meses mais secos do ano, totalizando 25 mm de chuvas, com deficiência hídrica de 89 e 100 mm, respectivamente (Figura 10).

Na região de Piracicaba, Figura 11, esses números são um pouco menores. O mês com maior número de chuvas foi janeiro com média de 257 mm, sendo o valor da deficiência hídrica de 16 mm. Já julho foi o mês mais seco do ano, totalizando 23 mm de chuvas, com deficiência hídrica de 77 mm, destaca-se que a maior deficiência hídrica dessa região foi no mês de agosto onde o resultado ficou em torno de 84 mm, porém a média de precipitação foi de 26 mm.

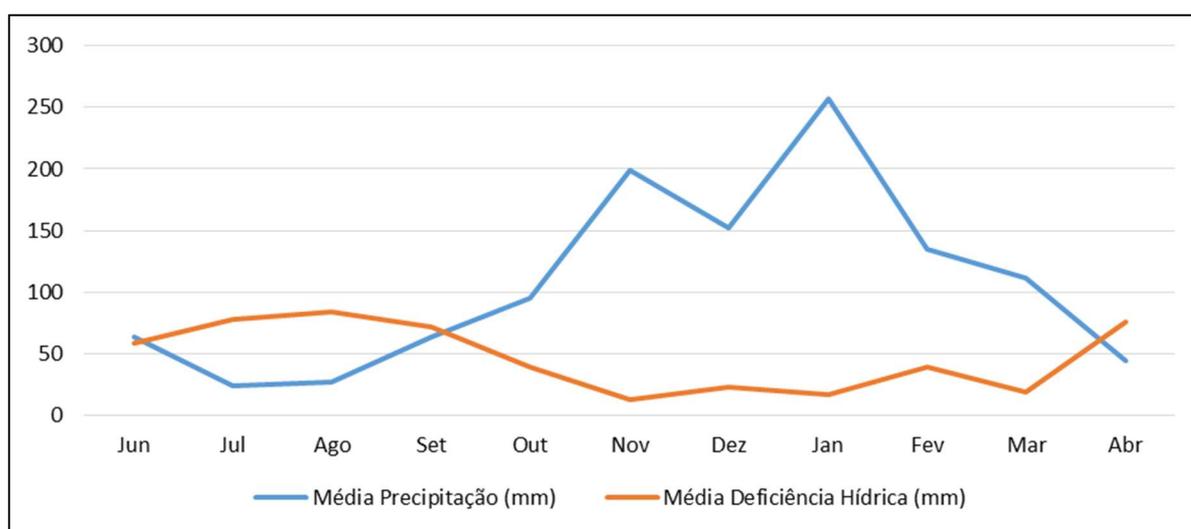


Figura 11. Precipitação e deficiência hídrica da cana-de-açúcar para a região de Piracicaba - período de 2013 a 2018

Fonte: Resultados da pesquisa

Diante desse contexto, cabe salientar que de acordo com os dados encontrados como resultado deste trabalho, a região de Araçatuba apresenta volume de chuvas maior que a região de Piracicaba, porém analisando a produtividade de cada região, pode se perceber que a média da produtividade da região de Piracicaba (média 80 t/ha para as safras 2013/2014 a 2017/2018) é maior que a da região de Araçatuba (média de 71 t/ha).

Através disso, pode-se inferir que, apesar da região de Piracicaba ser menos chuvosa, o solo da região tende a possuir maior capacidade de retenção de água resultando no aumento da produtividade, mesmo não havendo irrigação. Por outro lado, apesar de ser uma região mais

chuvosa, Araçatuba pode ter capacidade de armazenamento de água no solo menor quando comparada à região de Piracicaba, visto a maior quantidade de déficit hídrico apresentado na cana-de-açúcar da região. Os resultados dos déficits hídricos das duas regiões, serão apresentados por safras no desenvolvimento do trabalho.

A seguir serão apresentados os cenários propostos para o cálculo da produtividade da cana-de-açúcar, assim como da viabilidade de se produzir a cana através do sistema de irrigação.

4.3. Cenários propostos

4.3.1. Produtividade

É consenso entre diversos autores que, a irrigação na cana-de-açúcar resulta em benefícios diretos no aumento da produtividade agrícola e longevidade das soqueiras; e benefícios indiretos na redução de custos de transporte e de arrendamento. Além desses, ocorre também maior eficiência dos insumos e da mão de obra, provocando melhorias na qualidade da matéria prima.

Monteiro (2012) encontrou como resultado de seu trabalho, que para cada 100 mm de déficit hídrico, há uma perda de 11,2 t/ha de cana no estado de São Paulo. Neste estudo, será utilizado esse valor de referência para o cálculo da produtividade potencial (Tabelas 13 e 14). Lembrando que a produtividade atingível é a produtividade real, regime de sequeiro, dos canaviais. Já a produtividade potencial está relacionada com a redução do déficit hídrico da planta (sistema de irrigação).

De acordo com Monteiro (2012) os cenários mais utilizados para demonstrar os aumentos de produtividade são: i) irrigação de 100%, ou seja, suprir toda a demanda hídrica da cultura; ii) irrigação de 50% da demanda hídrica; e, iii) irrigação de 20% da demanda hídrica.

A Tabela 13 apresenta as três simulações de irrigação da cana-de-açúcar na região de Araçatuba, como também a produtividade atingível e a potencial diante a implantação da irrigação. Destaca-se que a produtividade potencial, foi calculada a partir do aumento em porcentagem (%) da produtividade, diante a redução do déficit hídrico da cultura para cada safra.

Se houvesse irrigação de 100% da deficiência hídrica da cana, na região de Araçatuba, na safra 2017/2018 a produtividade da cana seria de 116 t/ha. Nesta mesma safra, se ocorresse

irrigação de 50%, a produtividade seria de 93 t/ha, e com irrigação de 20% da demanda hídrica, essa produtividade teria sido de 79 t/ha (Tabela 13).

Tabela 13. Simulação de irrigação e suas respectivas produtividades potencial para a região de Araçatuba

Lâmina de 100%					
Safras	Produtividade Atingível	Produtividade Potencial	Aumento da Produtividade	Aumento (%)	Deficiência Hídrica
13/14	63	114	51	1,811	724
14/15	64	107	43	1,677	604
15/16	77	136	59	1,765	683
16/17	79	129	50	1,638	570
17/18	70	116	46	1,654	584
Unidade	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	mm
Lâmina de 50%					
Safras	Produtividade Atingível	Produtividade Potencial	Aumento da Produtividade	Aumento (%)	Deficiência Hídrica
13/14	63	89	26	1,405	362
14/15	64	86	22	1,338	302
15/16	77	106	29	1,382	342
16/17	79	104	25	1,319	285
17/18	70	93	23	1,331	292
Unidade	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	mm
Lâmina de 20%					
Safras	Produtividade Atingível	Produtividade Potencial	Aumento da Produtividade	Aumento (%)	Deficiência Hídrica
13/14	63	73	10	1,162	145
14/15	64	73	9	1,135	121
15/16	77	89	12	1,153	137
16/17	79	89	10	1,128	114
17/18	70	79	9	1,134	117
Unidade	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	mm

Fonte: Resultados da pesquisa

Similarmente à explanação feita para a região de Araçatuba, na região de Piracicaba (Tabela 14), se houvesse irrigação de 100% da demanda hídrica da planta na safra 2017/2018, a produtividade potencial seria de 127 t/ha, para uma simulação de 50% do déficit, a produtividade potencial seria de 103 t/ha e para irrigação de 20% o valor seria de 89 t/ha.

Tabela 14. Simulação de irrigação e suas respectivas produtividades potencial para a região de Piracicaba

Lâmina de 100%					
Safras	Produtividade Atingível	Produtividade Potencial	Aumento da Produtividade	Aumento (%)	Deficiência Hídrica
13/14	89	140	51	1,578	516
14/15	73	122	49	1,672	600
15/16	82	125	42	1,515	460
16/17	73	112	38	1,523	468
17/18	79	127	48	1,603	538
Unidade	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	mm
Lâmina de 50%					
Safras	Produtividade Atingível	Produtividade Potencial	Aumento da Produtividade	Aumento (%)	Deficiência Hídrica
13/14	89	115	26	1,289	258
14/15	73	98	25	1,336	300
15/16	82	104	21	1,258	230
16/17	73	92	19	1,262	234
17/18	79	103	24	1,301	269
Unidade	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	mm
Lâmina de 20%					
Safras	Produtividade Atingível	Produtividade Potencial	Aumento da Produtividade	Aumento (%)	Deficiência Hídrica
13/14	89	99	10	1,116	103
14/15	73	83	10	1,134	120
15/16	82	91	8	1,103	92
16/17	73	81	8	1,105	93
17/18	79	89	10	1,121	108
Unidade	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	mm

Fonte: Resultados da pesquisa

Pode-se perceber através dos resultados, que a região de Piracicaba apresenta menores valores de déficit hídrico, assim como os maiores valores da produtividade atingível. Com exceção da safra 2016/2017 onde a região de Araçatuba teve a produtividade atingível de 79 t/ha enquanto na região de Piracicaba esse número foi da ordem de 73 t/ha.

Esse resultado pode explicado uma vez que nessa safra, a região de Araçatuba obteve maiores índices de chuvas na época na qual a planta necessita de maior quantidade de água para a rebrota e perfilhamento (meses de julho a outubro). O volume das precipitações foi na ordem de 9 mm (julho); 66 mm (agosto); 42 mm (setembro); e, 111 mm (outubro), na região de Araçatuba. Enquanto na região de Piracicaba, nos mesmos meses, o volume de chuvas foi, respectivamente, de 3 mm; 36 mm; 27 mm; e, 97 mm.

Quando se trata de produtividade potencial, nas safras 2013/2014 e 2014/2015, a região de Piracicaba, apresenta maiores valores que a região de Araçatuba, que reverte esses resultados

nas safras de 2015/2016 e 2016/2017. Entretanto, no último período a região de Piracicaba volta apresentar maiores valores de produtividade potencial. A safra 2015/2016 foi marcada na região de Araçatuba, por um início de ano (2016) mais chuvoso que Piracicaba, abrangendo as fases de crescimento vegetativo e início da maturação da cana.

Diante desse contexto, pode-se concluir, através deste estudo, que a região de Piracicaba possui condições climáticas mais favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar do que a região de Araçatuba. Esse resultado corrobora com o estudo realizado por Monteiro (2012), onde o autor analisa a eficiência climática e a produtividade de diversas regiões do estado de São Paulo. Como resultado, o autor encontrou que o município de Araçatuba é climaticamente mais restritivo ao atingir altas produtividades, em comparação com o município de Piracicaba.

A próxima seção dedica-se a apresentação dos novos cálculos do COE a partir do aumento da produtividade.

4.3.2. Redução do COE de acordo com a produtividade

De acordo com Perin (2016), o volume de disponibilidade hídrica superficial da região de Araçatuba, levando em consideração a porcentagem (%) de Lâmina Requerida Total e a porcentagem (%) de Área Irrigável, não consegue satisfazer todo déficit hídrico da cana-de-açúcar. O valor de máxima cobertura da lâmina requerida total, considerando 100% da área de cana, é de 23,95%, considerando a área de cobertura, apenas 23,95% da área pode ter uma demanda hídrica de 100% da lâmina na região de Araçatuba, ou seja, somente 23,95% da área pode ser irrigada. Por não haver estudos relacionados a disponibilidade hídrica da região da Piracicaba, tomou-se como padrão o estudo realizado para a região de Araçatuba.

Serão analisadas três simulações para a valoração da água utilizada para irrigação da cana nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba. Em um primeiro momento, será considerado 100% da lâmina requerida para irrigação em uma área de 23,95% do total da área colhida. A segunda simulação será com uma lâmina de 50% de irrigação para uma área de 23,95% do total colhido; e, a terceira lâmina representando 20% do déficit hídrico em 23,95% da área total. A partir dessas simulações será possível analisar qual será o desempenho das usinas em cada região se optarem por irrigação total ou parcial do canavial.

A partir disso, foi realizado novo cálculo do Custo Operacional Efetivo (COE) – Tabelas 15 e 16 – para as duas regiões em questão. Todos os custos inseridos no COE foram

reduzidos, baseados no aumento (em porcentagem), da produtividade²¹, como pode ser observado nas Tabelas 13 e 14. Além disso, também é apresentada as novas produtividades e áreas de irrigação – representando apenas 23,95% da área. Somente o preço não foi alterado no trabalho, visto que, necessitaria de mais variáveis para analisar esse efeito.

Tabela 15. COE com irrigação - região de Araçatuba

Custos de Produção	Unidade	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18
Mecanização	R\$/t	25,47	22,59	19,77	20,89	21,02
Mão-de-obra	R\$/t	1,65	1,27	1,89	1,27	1,34
Insumos	R\$/t	4,73	4,77	3,36	4,08	7,00
Arrendamentos	R\$/t	8,42	6,64	9,73	9,53	10,40
Despesas administrativas	R\$/t	2,25	3,86	3,72	2,59	2,34
Custo Operacional Efetivo (COE)	R\$/t	42,51	39,13	38,47	38,36	42,09
Produtividade média	t/ha	114	107	136	129	116
Preço médio pago pela cana	R\$/t	57,66	60,32	65,11	90	81,70
Área de colheita	ha	5.471	7.534	9.272	10.084	4.875

Fonte: Resultados da pesquisa

Tabela 16. COE com irrigação - região de Piracicaba

Custos de Produção	Unidade	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18
Mecanização	R\$/t	16,00	22,83	26,28	18,61	16,30
Mão-de-obra	R\$/t	4,85	5,07	3,39	2,55	6,84
Insumos	R\$/t	6,08	3,57	3,86	5,60	6,41
Arrendamentos	R\$/t	2,58	12,86	11,68	11,58	11,85
Despesas administrativas	R\$/t	1,59	2,31	2,02	5,50	1,55
Custo Operacional Efetivo (COE)	R\$/t	31,11	46,64	47,22	43,84	42,95
Produtividade média	t/ha	140	122	125	112	127
Preço médio pago pela cana	R\$/t	61,74	65,98	71,93	91,68	89,75
Área de colheita	ha	7.249	4.948	4.924	5.899	5.608

Fonte: Resultados da pesquisa

Através das Tabelas 15 e 16, pode-se perceber que ambas as regiões de pesquisa, possuem resultados distintos conforme as diferentes safras. O COE da região de Araçatuba, somente na safra 2013/2014 teve valor mais alto que a região de Piracicaba (R\$ 42,51/t e R\$ 31,11/t, respectivamente). Em relação a produtividade potencial, a região de Araçatuba

²¹ A irrigação resulta, além do aumento na produtividade, maior longevidade das soqueiras e aumento no número de colheitas (MATIOLI, et al., 1998; FRIZZONE et al., 2001; MACHADO et al., 2002; BLANCO et al., 2004; INMAN-BAMBER e SMITH, 2005; DANTAS NETO et al., 2006; SANTOS e FRIZZONI, 2006; FREITAS et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011; SILVA et al., 2014; PERIN, 2016; COSTA, 2016; SANTOS, 2016). Além da redução dos arrendamentos, transporte, tratos culturais e renovação do canavial (MATIOLI et al., 1998; FRIZZONE et al., 2001; INMAN-BAMBER e SMITH, 2005; FREITAS et al., 2009; COSTA, 2016).

apresentou apenas duas safras com valores de produtividade superior à região de Piracicaba – safra 2015/2016 (136 ha e 125 ha, respectivamente) e 2016/2017 (129 ha e 122 ha, respectivamente).

Nas safras analisadas, exceto 2013/2014 e 2017/2018, a região de Araçatuba apresentou maior área colhida quando comparada à região de Piracicaba (Tabelas 7 e 8). Uma vez que está sendo admitido o estudo dos cenários referente a 23,95% da área total, implica que também nessa situação, com exceção das safras de 2013/2014 e 2017/2018, a região de Araçatuba apresentou maior área de estudo.

A próxima seção se dedicará às simulações de irrigação de acordo com sua respectiva deficiência hídrica, em uma dimensão de 23,95% da área total, para os determinados locais de estudo.

4.4. Simulação dos cenários propostos

4.4.1. Simulação 100% de irrigação da deficiência hídrica ocupando 23,95% da área

As Tabelas 17 e 18 apresentam as rendas líquidas, para as safras de 2013/2014 a 2017/2018, utilizando 100% de irrigação em 23,95% da área total colhida de cana nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba. Diante dessas simulações, percebe-se que, com a redução do COE, de acordo com o aumento da produtividade, todas as rendas líquidas, das safras de referência, ficaram positivas (Tabelas 17 e 18). Destaca-se também, que nessa simulação foram utilizados os dados produzidos sobre a produtividade potencial (Tabelas 13 e 14), baseado em uma produção que utiliza 100% da lâmina requerida, ou seja, 100% do déficit hídrico da planta.

Tabela 17. Custo de Produção da região de Araçatuba – Simulação 100% lâmina e 23,95% de área

Safras	Área	Preço	COE	Prod. Média	Renda bruta	CT de produção	Renda líquida
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = b*d	(f) = c*d	(g) = e-f
13/14	5.471	57,66	42,51	114	6.578,24	4.850,28	1.727,96
14/15	7.534	60,32	39,13	107	6.472,56	4.197,98	2.274,58
15/16	9.272	65,11	38,47	136	8.848,30	5.227,81	3.620,48
16/17	10.084	90,00	38,36	129	11.649,02	4.965,23	6.683,79
17/18	4.875	81,70	42,09	116	9.458,08	4.872,74	4.585,34
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$	R\$	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

Tabela 18. Custo de Produção da região de Piracicaba – Simulação 100% lâmina e 23,95% de área

Safras	Área	Preço	COE	Prod. Média	Renda bruta	CT de produção	Renda líquida
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = b*d	(f) = c*d	(g) = e-f
13/14	7.249	61,74	31,11	140	8.673,12	4.369,86	4.303,26
14/15	4.948	65,98	46,64	122	8.053,97	5.692,64	2.361,33
15/16	4.924	71,93	47,22	125	8.990,58	5.902,29	3.088,29
16/17	5.899	91,68	43,84	112	10.229,78	4.891,78	5.338,00
17/18	5.608	89,75	42,95	127	11.362,42	5.437,47	5.924,95
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$	R\$	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

4.4.2. Simulação 50% de irrigação da deficiência hídrica ocupando 23,95% da área

Através da simulação de irrigação, com um déficit hídrico de 50% do total da demanda, a produtividade diminuiu, quando comparado com a simulação de cobertura de 100% do déficit hídrico da cultura, de acordo com a redução da quantidade de água destinada à produção da cana. Como pode-se notar, nas Tabelas 19 e 20, quando comparadas com as Tabelas 17 e 18, revelam que quanto maior o déficit hídrico da cana-de açúcar, menor é sua produtividade, ou seja, quanto menor for a quantidade de água disponibilizada para a planta, menor será sua produtividade. Logo, quanto maior a lâmina de aplicação de água na planta, maior o impacto sobre a produtividade.

Tabela 19. Custo de Produção da região de Araçatuba – Simulação 50% lâmina e 23,95% de área

Safras	Área	Preço	COE	Prod. Média	Renda bruta	CT de produção	Renda líquida
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = b*d	(f) = c*d	(g) = e-f
13/14	5.471	57,66	54,78	89	5.105,37	4.850,28	255,10
14/15	7.534	60,32	49,01	86	5.166,62	4.197,98	968,64
15/16	9.272	65,11	49,11	106	6.930,65	5.227,81	1.702,83
16/17	10.084	90,00	47,64	104	9.379,51	4.965,23	4.414,28
17/18	4.875	81,70	54,15	93	7.598,10	5.035,62	2.562,48
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$	R\$	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

No caso dessa simulação, com uma demanda hídrica da cana de 50% da sua necessidade total, as receitas líquidas, na região de Araçatuba, permanecem positivas (Tabela 19), porém com resultados menores, quando comparado com a irrigação de 100% do déficit hídrico (Tabela 17). Na região de Piracicaba, ocorre a mesma redução nas rendas líquidas, no entanto, esses números também permanecem positivos (Tabela 20).

Tabela 20. Custo de Produção da região de Piracicaba – Simulação 50% lâmina e 23,95% de área

Safras	Área (a)	Preço (b)	COE (c)	Prod. Média (d)	Renda bruta (e) = b*d	CT de produção (f) = c*d	Renda líquida (g) = e-f
13/14	7.249	61,74	59,73	115	7.084,84	6.854,14	230,70
14/15	4.948	65,98	49,10	98	6.435,47	4.788,68	1.646,80
15/16	4.924	71,93	53,99	104	7.462,09	5.600,64	1.861,45
16/17	5.899	91,68	49,82	92	8.473,23	4.604,78	3.868,45
17/18	5.608	89,75	53,49	103	9.226,29	5.499,24	3.727,05
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$	R\$	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

4.4.3. Simulação 20% de irrigação da deficiência hídrica ocupando 23,95% da área

No terceiro caso, foi simulado um sistema de irrigação que represente apenas 20% da demanda hídrica total da cana-de-açúcar nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba. Através da Tabela 21, tem-se a representação das rendas líquidas por safra, e como resultado encontrou-se que estas variáveis diminuem, assim que a quantidade de água é reduzida.

Só que ao contrário das outras duas simulações – de 100% e 50% - a safra de 2013/2014, na região de Araçatuba, obteve resultado negativo (R\$ - 628,58/t).

Tabela 21. Custo de Produção da região de Araçatuba – Simulação 20% lâmina e 23,95% de área

Safras	Área (a)	Preço (b)	COE (c)	Prod. Média (d)	Renda bruta (e) = b*d	CT de produção (f) = c*d	Renda líquida (g) = e-f
13/14	5.471	57,66	66,25	73	4.221,70	4.850,28	- 628,58
14/15	7.534	60,32	57,78	73	4.383,10	4.197,98	185,12
15/16	9.272	65,11	58,88	89	5.780,18	5.227,81	552,37
16/17	10.084	90,00	55,73	89	8.017,80	4.965,23	3.052,57
17/18	4.875	81,70	62,47	79	6.454,30	4.935,42	1.518,88
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$	R\$	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

Já na região de Piracicaba, quando utilizado 20% do total da deficiência hídrica, as rendas líquidas também são reduzidas, e na safra de 2013/2014 o resultado foi negativo – R\$ - 722,27/t (Tabela 22).

Tabela 22. Custo de Produção da região de Piracicaba – Simulação 20% lâmina e 23,95% de área

Safra	Área	Preço	COE	Prod. Média	Renda bruta	CT de produção	Renda líquida
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = b*d	(f) = c*d	(g) = e-f
13/14	7.249	61,74	69,01	99	6.131,87	6.854,14	-722,27
14/15	4.948	65,98	57,82	83	5.464,37	4.788,68	675,70
15/16	4.924	71,93	61,55	91	6.544,99	5.600,64	944,35
16/17	5.899	91,68	56,90	81	7.419,30	4.604,78	2.814,52
17/18	5.608	89,75	62,12	89	7.944,62	5.499,24	2.445,38
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$	R\$	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

Ressalta-se que a esses cálculos ainda não foram acrescentados os custos de implantação e manutenção do sistema de irrigação. A próxima seção se dedicará a essa análise.

4.5. Fluxo de caixa das usinas de cana-de-açúcar, considerando a implementação da irrigação

Foram elaborados os Fluxos de Caixa das usinas de cana-de-açúcar para as regiões de Araçatuba e de Piracicaba, conforme as três simulações de suprimento hídrico. Como hipótese para a produção desse fluxo de caixa, foi considerado a implantação do sistema de irrigação na safra 2012/2013, e os resultados obtidos a partir da irrigação, são apresentados da safra 2013/2014 a 2017/2018, totalizando 5 anos desde a simulação de implementação do sistema de irrigação nas usinas.

Para a elaboração do Fluxo de Caixa e da Depreciação, foi seguida as instruções apresentadas na seção 3.2.1. As Receitas Operacionais são as rendas líquidas totais por hectare (ha), de acordo com cada safra. Os Custos de Manutenção se referem aos custos anuais para a manutenção do sistema de irrigação, que foram apresentadas na seção 3.1.3., esses custos também foram deflacionados de acordo com o IGP-DI com base no Índice Geral de Preços – março de 2018.

O Lucro Operacional Bruto é a Receita Líquida, descontando os Custos Totais (Custo de Produção somado aos Custos de Manutenção). Já o Lucro Tributável é o resultado do Lucro Operacional Bruto menos a Depreciação. Para o Imposto de Renda foi utilizado a base de cálculo apresentada pela Secretaria da Fazenda do Estado de São Paulo (2015), com uma alíquota de 27,5% sobre o Lucro Tributável, após esse desconto resulta-se no Lucro Líquido da empresa.

Para o cálculo do lucro tributável é necessário adicionar a depreciação. Mas para o resultado final do Fluxo de Caixa a depreciação é retirada, visto que esta variável não representa um gasto (desembolso) efetivamente realizado pela empresa (MEYER et al. 2018).

4.5.1. Fluxo de caixa: simulação de irrigação de 100% do déficit hídrico

Para a comparação entre os resultados das receitas líquidas sob regime de sequeiro e o fluxo de caixa após a instalação do sistema de irrigação, é necessário a redução das áreas destinadas à produção sem irrigação (sequeiro). Além do desconto de 23,95% de área, destinada à irrigação, também houve uma redução da área atribuída a não irrigação. Baseada na porcentagem do aumento da produtividade, conforme as Tabelas 13 e 14, foram realizados novos cálculos das áreas não irrigadas para as duas regiões (Tabelas 23 e 24).

Tabela 23. Área destinada à plantação em regime de sequeiro na região de Araçatuba, descontada pelo aumento da produtividade

Safras	Área	Aumento (%)	Área Reduzida
13/14	17.373	1,81	9.594
14/15	23.922	1,68	14.269
15/16	29.442	1,77	16.681
16/17	32.020	1,64	19.544
17/18	15.479	1,65	9.360
Unidade	ha	t/ha	ha

Fonte: Resultado da pesquisa

Tabela 24. Área destinada à plantação em regime de sequeiro na região de Piracicaba, descontada pelo aumento da produtividade

Safras	Área	Aumento (%)	Área Reduzida
13/14	23.018	1,58	14.588
14/15	15.713	1,67	9.397
15/16	15.635	1,52	10.318
16/17	18.732	1,52	12.299
17/18	17.807	1,60	11.112
Unidade	ha	t/ha	ha

Fonte: Resultado da pesquisa

De acordo com as novas áreas, as rendas líquidas, sob regime de sequeiro (sem irrigação) serão apresentadas nas Tabelas 25 e 26. Destaca-se, que essa simulação foi realizada para fins de comparação entre os resultados.

Considerando as rendas líquidas totais (R\$) da região de Araçatuba, em regime de sequeiro (sem irrigação) e utilizando novos valores de áreas para o cultivo da cana, Tabela 25,

chega-se a um resultado menor, em todas as safras, quando comparado com o Fluxo de Caixa, onde é aplicado o sistema de irrigação e utiliza-se somente 23,95% da área destinada à plantação da cultura – Tabela 27.

Tabela 25. Rendas líquidas em regime de sequeiro na região de Araçatuba

Safras	Área	Preço	COE	Prod. Média	Renda bruta	CT de produção	Renda líquida
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = b*d	(f) = c*d	(g) = e-f
13/14	9.594	57,66	76,99	63	34.850.225,01	46.532.570,61	- 11.682.345,60
14/15	14.269	60,32	65,59	64	55.089.224,54	59.901.081,41	- 4.811.856,87
15/16	16.681	65,11	67,89	77	83.624.096,08	87.204.031,43	- 3.579.935,34
16/17	19.544	90,00	62,85	79	138.954.312,73	97.038.028,53	41.916.284,20
17/18	9.360	81,70	69,61	70	53.527.537,44	45.606.924,75	7.920.612,68
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$	R\$	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

Deve-se destacar que as rendas líquidas totais, derivadas da Tabela 7, utilizando 100% da área em regime de sequeiro totalizou em: R\$ -27.817.961,39 na safra 2013/2014; R\$ - 10.607.597,68 em 2014/2015; R\$ -8.308.462,69 em 2015/2016; R\$ 90.303.274,21 em 2016/2017; e, R\$ 17.224.338,28 em 2017/2018.

Comparando os resultados da Tabela 27, com as rendas líquidas empregando 100% da área e sem irrigação, quase todos os resultados foram maiores, com exceção da safra 2016/2017, na qual em regime de sequeiro a receita líquida total foi de R\$ 90.303.274,21, enquanto com o sistema de irrigação e ocupando apenas 10.000 hectares, o valor do Fluxo de Caixa foi de R\$ 69.209.442,95 (Tabela 27). Se adicionar o valor do restante da área em regime de sequeiro - 19.544 ha – com uma receita de R\$ 41.916.284,20 (Tabela 25), o total que as usinas receberiam seria de R\$ 111.125.727,16. Indicando melhor rentabilidade para o regime de irrigação, quando comparado com 100% da área em regime de sequeiro.

Já na região de Piracicaba, os resultados são um pouco diferentes, no regime de sequeiro, as receitas líquidas utilizando 100% das áreas (dados obtidos através dos resultados da Tabela 8) foi de: R\$ 34.102.315,03 na safra 2013/2014; R\$ -18.092.154,62 em 2014/2015; R\$ 643.586,83 em 2015/2016; R\$ 44.949.309,89 em 2016/2017; e, R\$ 38.697.484,97 em 2017/2018. Comparando com o Fluxo de Caixa da mesma região, com a implementação da irrigação (Tabela 28), esses valores foram maiores (regime de sequeiro), em todas as safras. Mas quando são somados os resultados das Tabelas 26 e 28, receitas líquidas totais dos canaviais, esses valores passam a ser maiores do que quando não é utilizado o sistema de irrigação nos canaviais.

Tabela 26. Rendas líquidas em regime de sequeiro na região de Piracicaba

Safras	Área	Preço	COE	Prod. Média	Renda bruta	CT de produção	Renda líquida
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = b*d	(f) = c*d	(g) = e-f
13/14	14.588	61,74	49,08	89	80.182.910,37	63.746.835,93	16.436.074,44
14/15	9.397	65,98	77,98	73	45.267.435,62	53.496.552,60	- 8.229.116,98
15/16	10.318	71,93	71,55	82	61.225.519,75	60.902.494,56	323.025,20
16/17	12.299	91,68	66,77	73	82.608.814,08	60.164.262,28	22.444.551,80
17/18	11.112	89,75	68,83	79	78.782.725,41	60.418.709,51	18.364.015,90
Unidade	ha	R\$/t	R\$/t	t/ha	R\$	R\$	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

Destaca-se que na safra 2014/2015 o resultado da soma das rendas líquidas, Tabelas 26 e 28, foi negativo, devido ao fato de que o primeiro sistema fechou as contas com o valor de R\$ -8.229.116,98 (Tabela 26) e o segundo R\$ 6.706.097,18 (Tabela 28). Totalizando um prejuízo neste período de R\$ -1.523.019,80, resultado mais favorável quando comparado com 100% de área em regime de sequeiro R\$ -18.092.154,62 na safra 2014/2015.

Porém essa soma não é relevante na análise desse trabalho, mas é importante observar todos os cenários diante de uma avaliação. Nesse contexto, pode-se verificar que a região de Piracicaba, também é mais rentável utilizar o sistema de irrigação ao invés da empregabilidade apenas do sistema de sequeiro.

Tabela 27. Fluxo de caixa das Usinas de Aracatuba – Simulação 100% lamina e 23,95% de área

	Ano 0 - 12/13	Ano 1 - 13/14	Ano 2 - 14/15	Ano 3 - 15/16	Ano 4 - 16/17	Ano 5 - 17/18	Unidade
Investimento	- 225.421,14						R\$
Receita operacional	35.991.572,63	48.761.838,76	82.040.284,02	117.467.630,51	46.105.160,52		R\$
Custo manutenção	7.097.037,06	9.777.665,17	12.045.280,53	13.110.808,86	6.401.971,04		R\$
Custo de Produção	26.537.365,93	31.626.018,45	48.471.624,13	50.068.917,65	23.753.087,90		R\$
Custo Total	33.634.402,99	41.403.683,62	60.516.904,67	63.179.726,51	30.155.058,95		R\$
Lucro O. Bruto	2.357.169,64	7.358.155,13	21.523.379,35	54.287.903,99	15.950.101,58		R\$
Depreciação	15.028,08	20.704,34	25.506,05	27.762,32	13.556,26		R\$
Lucro tributável	2.342.141,56	7.337.450,79	21.497.873,30	54.260.141,67	15.936.545,31		R\$
Imposto de Renda	644.088,93	2.017.798,97	5.911.915,16	14.921.538,96	4.382.549,96		R\$
Lucro Líquido	2.986.230,49	9.355.249,76	27.409.788,46	69.181.680,63	20.319.095,27		R\$
Depreciação	15.028,08	20.704,34	25.506,05	27.762,32	13.556,26		R\$
Fluxo de caixa	- 225.421,14	3.001.258,56	9.375.954,10	27.435.294,51	69.209.442,95	20.332.651,54	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

Tabela 28. Fluxo de caixa das Usinas de Piracicaba – Simulação 100% lâmina e 23,95% de área

	Ano 0 - 12/13	Ano 1 - 13/14	Ano 2 - 14/15	Ano 3 - 15/16	Ano 4 - 16/17	Ano 5 - 17/18	Unidade
Investimento	-267.981,31						R\$
Receita operacional	62.872.115,95	39.853.341,28	44.266.858,60	60.346.947,30	63.718.551,88		R\$
Custo manutenção	9.403.044,71	6.422.223,95	6.396.468,22	7.669.904,43	7.364.824,24		R\$
Custo de Produção	31.677.428,09	28.168.801,46	29.061.052,74	28.857.333,91	30.492.430,51		R\$
Custo Total	41.080.472,80	34.591.025,41	35.457.520,96	36.527.238,33	37.857.254,75		R\$
Lucro O. Bruto	21.791.643,15	5.262.315,87	8.809.337,63	23.819.708,97	25.861.297,13		R\$
Depreciação	17.865,42	12.201,98	12.153,04	14.572,52	13.992,88		R\$
Lucro tributável	21.773.777,73	5.250.113,89	8.797.184,59	23.805.136,44	25.847.304,25		R\$
Imposto de Renda	5.987.788,88	1.443.781,32	2.419.225,76	6.546.412,52	7.108.008,67		R\$
Lucro Líquido	27.761.566,61	6.693.895,21	11.216.410,36	30.351.548,97	32.955.312,92		R\$
Depreciação	17.865,42	12.201,98	12.153,04	14.572,52	13.992,88		R\$
Fluxo de caixa	-267.981,31	27.779.432,03	6.706.097,18	11.228.563,40	30.366.121,49	32.969.305,80	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

4.5.2. Fluxo de caixa: simulação de irrigação de 50% do déficit hídrico

Com a simulação de 50% do déficit hídrico, o fluxo de caixa, na região de Araçatuba, fechou nas duas primeiras safras com o resultado negativo, após esse período, as empresas voltam a tornar-se positivas até o fim da simulação (Tabela 29). Na região de Piracicaba, quando se analisa a irrigação de 50% do suprimento da deficiência hídrica, somente na primeira safra o fluxo é negativo, tornando-se positivo até o final do período (Tabela 30).

Na região de Araçatuba (Tabela 29), mesmo utilizando apenas 50% da demanda hídrica da cultura, os valores do fluxo de caixa nas três primeiras safras, são maiores (embora apresente números negativos) quando comparado com as receitas líquidas do regime de sequeiro. Porém, nas safras 2016/2017 e 2017/2018 esses números são menores, mas quando somados ao restante da área de regime de sequeiro, os valores são de: R\$ 92.088.930,96 e R\$ 17.601.715,86, respectivamente.

Perante essa mesma ótica, quando somado os valores do Fluxo de Caixa com as receitas líquidas, sob regime de sequeiro (considerando a área pela produtividade), as duas primeiras safras fecham com resultados negativos, porém menores, R\$ -22.325.956,56 para a safra 2013/2014 e R\$ - 9.196.208,48 na safra 2014/2015. Ressalta-se que na safra 2015/2016 o valor fecha em R\$ 195.070,26, apresentando resultado maior e positivo, comparando com o regime de sequeiro R\$ -8.308.462,69.

Em Piracicaba (Tabela 30), na safra 2013/2014 o Fluxo de Caixa foi na ordem de R\$ - 9.861.560,62, e em regime de sequeiro, 100% da área total, a receita líquida foi de R\$ 34.102.315,03. Mesmo somando o fluxo de caixa com o restante da área sem irrigação (de acordo com a produtividade) esse valor seria de R\$ 10.259.165,07, indicando menor rentabilidade quando adicionada a irrigação. Na safra 2014/2015 o fluxo de caixa fechou em R\$ 2.198.049,19, se somado com o restante da área em regime de déficit o valor seria de R\$ - 8.100.666,07, demonstrando redução no prejuízo nesse dado período.

Na safra 2015/2016 o valor do Fluxo de Caixa torna-se maior que no regime de sequeiro, seja com área total ou reduzida. Já nas safras 2016/2017 e 2017/2018 os resultados do Fluxo de Caixa apresentam valores inferiores quando comparados com o regime de déficit total da cana, porém quando somados os resultados com o restante da área de sequeiro (conforme a produtividade), os totais seriam de R\$ 46.410.489,00 e R\$ 39.870.142,97, respectivamente.

Tabela 29. Fluxo de caixa das Usinas de Aracatuba – Simulação 50% lâmina e 23,95% de área

	Ano 0 - 12/13	Ano 1 - 13/14	Ano 2 - 14/15	Ano 3 - 15/16	Ano 4 - 16/17	Ano 5 - 17/18	Unidade
Investimento	-225.421,14						R\$
Receita operacional	27.933.069,65	38.923.377,93	64.260.086,03	94.582.091,17	37.038.335,34		R\$
Custo manutenção	7.097.037,06	9.777.665,17	12.045.280,53	13.110.808,86	6.401.971,04		R\$
Custo de Produção	26.537.365,93	31.626.018,45	48.471.624,13	50.068.917,65	24.547.039,46		R\$
Custo Total	33.634.402,99	41.403.683,62	60.516.904,67	63.179.726,51	30.949.010,50		R\$
Lucro O. Bruto	-5.701.333,34	-2.480.305,69	3.743.181,36	31.402.364,65	6.089.324,83		R\$
Depreciação	15.028,08	20.704,34	25.506,05	27.762,32	13.556,26		R\$
Lucro tributável	-5.716.361,42	-2.501.010,04	3.717.675,31	31.374.602,33	6.075.768,57		R\$
Imposto de Renda	-1.571.999,39	-687.777,76	1.022.360,71	8.628.015,64	1.670.836,36		R\$
Lucro Líquido	-7.288.360,80	-3.188.787,80	4.740.036,03	40.002.617,97	7.746.604,93		R\$
Depreciação	15.028,08	20.704,34	25.506,05	27.762,32	13.556,26		R\$
Fluxo de caixa	-225.421,14	-7.273.332,73	-3.168.083,45	4.765.542,08	40.030.380,29	7.760.161,19	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

Tabela 30. Fluxo de caixa das Usinas de Piracicaba – Simulação 50% lâmina e 23,95% de área

	Ano 0 - 12/13	Ano 1 - 13/14	Ano 2 - 14/15	Ano 3 - 15/16	Ano 4 - 16/17	Ano 5 - 17/18	Unidade
Investimento	-267.981,31						R\$
Receita operacional	51.358.524,24	31.844.535,85	36.741.025,19	49.984.820,46	51.739.515,02		R\$
Custo manutenção	9.403.044,71	6.422.223,95	6.396.468,22	7.669.904,43	7.364.824,24		R\$
Custo de Produção	49686183,55	23.695.719,95	27575844,41	27.164.275,86	30838824,01		R\$
Custo Total	59.089.228,26	30.117.943,91	33.972.312,63	34.834.180,29	38.203.648,25		R\$
Lucro O. Bruto	-7.730.704,02	1.726.591,95	2.768.712,56	15.150.640,18	13.535.866,77		R\$
Depreciação	17.865,42	12.201,98	12.153,04	14.572,52	13.992,88		R\$
Lucro tributável	-7.748.569,44	1.714.389,97	2.756.559,52	15.136.067,65	13.521.873,89		R\$
Imposto de Renda	-2.130.856,60	471.457,24	758.053,87	4.162.418,61	3.718.515,32		R\$
Lucro Líquido	-9.879.426,04	2.185.847,21	3.514.613,39	19.298.486,26	17.240.389,21		R\$
Depreciação	17.865,42	12.201,98	12.153,04	14.572,52	13.992,88		R\$
Fluxo de caixa	-267.981,31	-9.861.560,62	2.198.049,19	3.526.766,43	19.313.058,78	17.254.382,09	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

4.5.3. Fluxo de caixa: simulação de irrigação de 20% do déficit hídrico

Analisando o fluxo de caixa com simulação de irrigação de 20% da demanda hídrica, a região de Araçatuba apresenta nas três primeiras safras, saldo negativos (Tabela 31). Os resultados das usinas de Piracicaba apontam para resultado negativo na safra 2014/2015, para o regime de irrigação com 20% da demanda - Tabela 32.

No que se refere aos saldos dos fluxos de caixa, comparando com o regime de sequeiro (100% da área), na região de Araçatuba, para uma demanda hídrica de 20% do total da cultura, a safra 2013/2014 foi a única que apresentou prejuízo menor quando comparado com o regime de sequeiro, sendo R\$ -13.437.783,42, contra R\$ -27.817.961,39, respectivamente. Mesmo somando os fluxos de caixa com restante das receitas líquidas da área de sequeiro (área reduzida), nenhuma das safras obtém com esse regime hídrico resultados maiores que na produção de 100% da área sem irrigação.

Já na região de Piracicaba, somente a safra 2015/2016 possui resultado maior no Fluxo de Caixa, do que na receita líquida no regime de sequeiro (considerando 100% da área). Porém quando for somado o restante da área sob regime de sequeiro (área reduzida) junto ao Fluxo de Caixa, as safras 2015/2016 e 2017/2018 são as únicas que apresentaram números maiores em relação ao sequeiro com 100% da área, R\$ 3.160.388,79 e 39.039.744,58, respectivamente.

Tabela 31. Fluxo de caixa das Usinas de Aracatuba – Simulação 20% lâmina e 23,95% de área

	Ano 0 - 12/13	Ano 1 - 13/14	Ano 2 - 14/15	Ano 3 - 15/16	Ano 4 - 16/17	Ano 5 - 17/18	Unidade
Investimento	-225.421,14						R\$
Receita operacional	23.098.206,37	33.020.650,46	53.593.082,80	80.850.767,56	31.462.671,95		R\$
Custo manutenção	7.097.037,06	9.777.665,17	12.045.280,53	13.110.808,86	6.401.971,04		R\$
Custo de Produção	26.537.365,93	31.626.018,45	48.471.624,13	50.068.917,65	24.058.601,69		R\$
Custo Total	33.634.402,99	41.403.683,62	60.516.904,67	63.179.726,51	30.460.572,73		R\$
Lucro O. Bruto	-10.536.196,63	-8.383.033,16	-6.923.821,86	17.671.041,05	1.002.099,22		R\$
Depreciação	15.028,08	20.704,34	25.506,05	27.762,32	13.556,26		R\$
Lucro tributável	-10.551.224,70	-8.403.737,51	-6.949.327,91	17.643.278,73	988.542,96		R\$
Imposto de Renda	-2.901.586,79	-2.311.027,81	-1.911.065,18	4.851.901,65	271.849,31		R\$
Lucro Líquido	-13.452.811,49	-10.714.765,32	-8.860.393,09	22.495.180,37	1.260.392,27		R\$
Depreciação	15.028,08	20.704,34	25.506,05	27.762,32	13.556,26		R\$
Fluxo de caixa	-225.421,14	-13.437.783,42	-10.694.060,98	-8.834.887,04	22.522.942,70	1.273.948,53	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

Tabela 32. Fluxo de caixa das Usinas de Piracicaba – Simulação 20% lâmina e 23,95% de área

	Ano 0 - 12/13	Ano 1 - 13/14	Ano 2 - 14/15	Ano 3 - 15/16	Ano 4 - 16/17	Ano 5 - 17/18	Unidade
Investimento	-267.981,31						R\$
Receita operacional	44.450.369,22	44.450.369,22	27.039.252,60	32.225.525,15	43.767.544,36	44.552.092,91	R\$
Custo manutenção	9.403.044,71	9.403.044,71	6.422.223,95	6.396.468,22	7.669.904,43	7.364.824,24	R\$
Custo de Produção	26.537.365,93	26.537.365,93	49.686.183,55	23.695.719,95	27.575.844,41	27.164.275,86	R\$
Custo Total	35.940.410,64	35.940.410,64	56.108.407,50	30.092.188,17	35.245.748,84	34.529.100,10	R\$
Lucro O. Bruto	8.509.958,58	8.509.958,58	-29.069.154,91	2.133.336,98	8.521.795,52	10.022.992,81	R\$
Depreciação	17.865,42	17.865,42	12.201,98	12.153,04	14.572,52	13.992,88	R\$
Lucro tributável	8.492.093,16	8.492.093,16	-29.081.356,88	2.121.183,93	8.507.223,00	10.008.999,93	R\$
Imposto de Renda	2.335.325,62	2.335.325,62	-7.997.373,14	583.325,58	2.339.486,33	2.752.474,98	R\$
Lucro Líquido	10.827.418,77	10.827.418,77	-37.078.730,02	2.704.509,52	10.846.709,33	12.761.474,91	R\$
Depreciação	17.865,42	17.865,42	12.201,98	12.153,04	14.572,52	13.992,88	R\$
Fluxo de caixa	-267.981,31	10.845.284,19	-37.066.528,05	2.716.662,56	10.861.281,85	12.775.467,79	R\$

Fonte: Resultados da pesquisa

4.6. Análise dos indicadores financeiros

4.6.1. Análise do VPL e TIR

Ao analisar os indicadores financeiros, sobre a decisão de irrigar ou não irrigar, através dos resultados presentes na Tabela 33, é possível perceber que de acordo com o Valor Presente Líquido (VPL) e com a Taxa Interna de Retorno (TIR), que a irrigação que abrange 100% da lâmina – em 23,95% da área - requerida pela cultura, pode ser viável a irrigação, visto que, tanto na região de Araçatuba como em Piracicaba, os VPL's apresentam valores maiores que zero, indicando viabilidade na implementação do ativo. Costa (2016) relatou que quanto maior o valor do VPL mais indicado é o investimento, neste caso o mais apropriado é a lâmina de 100% de irrigação.

Tabela 33. VPL e TIR das regiões de Araçatuba e de Piracicaba

	100% lâmina		50% lâmina		20% lâmina
	Araçatuba		Araçatuba		Araçatuba
VPL	100.046.766,13	VPL	30.005.136,54	VPL	- 11.268.398,13
TIR	1538%	TIR	77%	TIR	-14%
	Piracicaba		Piracicaba		Piracicaba
VPL	87.082.178,21	VPL	22.254.594,35	VPL	- 2.886.900,70
TIR	10291%	TIR	59%	TIR	0%

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em relação a TIR, Machado (2002) e Meyer et al. (2018), relatam que se o resultado da TIR for maior do que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) o investimento será aceito. Nesse caso, a TMA foi estimada em 7,12%²², pode-se notar através da Tabela 33, que a lâmina de 100% do déficit hídrico da planta apresenta valores da TIR maiores que a TMA nas duas regiões em questão.

Destaca-se que os valores do VPL e da TIR podem estar subestimados pelo fato de se ter utilizado para o cálculo do fluxo de caixa somente o COE, desprezando o COT e o Custo Total da produção. Ao passo que, quando simulado os cenários incluindo o COT os resultados foram negativos para quase toda a análise.

Quando analisado a lâmina de 50% da demanda hídrica da cana, esses valores, VPL e TIR, são menores quando comparado à lâmina de 100%, mas de acordo com Machado (2002) e Meyer et al. (2018), esses valores estão dentro dos padrões de aceitabilidade para as duas

²² Ver seção 2.4.1.

regiões. Já em relação a lâmina de 20% de irrigação, tanto o VPL quanto a TIR, não possuem valores aceitáveis para a implantação do sistema de irrigação nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba, pois além de apresentarem valores negativos para o VPL, os valores da TIR são menores que a TMA.

Diante do exposto, o cálculo relativo ao preço sombra da água utilizada para a irrigação da cana-de-açúcar, será baseado apenas nas simulações de lâminas de 100% e 50% do déficit hídrico.

4.7. Cálculo do preço sombra da água para as usinas de cana-de-açúcar

Nessa seção será discutido a valoração da água para ambas regiões de estudo. É necessário mencionar, que esses valores são referentes ao preço sombra da água, ou seja, a capacidade máxima que o produtor está disposto a pagar pela água utilizada para irrigação da cana-de-açúcar. Os resultados do preço sombra da água para a região de Araçatuba estão apresentados na Tabela 34, e para a região de Piracicaba na Tabela 35.

Destaca-se que essas regiões não possuem cobrança pelo uso de irrigação, visto que, a maioria das usinas não utilizam esse sistema. E as poucas empresas que estão começando a empregar esse método utilizam a mesma água destinada para o uso industrial, o que muitas vezes pode causar distorções na alocação eficiente da água, como também na cobrança pelo seu uso. Os parâmetros utilizados para esses cálculos foram os preços, os rendimentos, os custos de produção, a produtividade e a área colhida das determinadas regiões para as referentes safras do estudo.

Pode-se perceber através das Tabelas 34 e 35, que existe grande variabilidade de valores referentes aos preços sombra calculados por safra. Ziolkowska (2015) relata que esses desequilíbrios resultam a partir das diferenças climáticas de cada região, além de serem determinadas pelos retornos líquidos e pela quantidade de água aplicada para a irrigação.

Baseado nos resultados (Tabela 34) para uma demanda de 100% de irrigação, pode-se perceber a afirmação de Ziolkowska (2015), dado que a safra de 2016/2017 na região de Araçatuba, foi o período que obteve maior retorno financeiro do setor. Utilizando uma lâmina de irrigação de 100%, o preço sombra foi de R\$ 1,20 por metro cúbico (m^3) de água. Em contraste, destaca-se a safra 2013/2014 que obteve o menor resultado do fluxo de caixa, e o preço sombra desse período foi de R\$ 0,08/ m^3 .

A safra 2017/2018 foi a exceção dessa região, onde não seguiu a tendência dos outros períodos, pois apesar de possuir o terceiro maior retorno financeiro da região, a quantidade de

água utilizada para a irrigação foi a menor, e o preço sombra foi de R\$ 0,82/m³, caracterizando-se como o segundo maior valor entre os períodos analisados. Esse fato pode ter ocorrido devido a menor área disponibilizada para o cultivo da cana, que nessa safra foi de 4.875 ha.

Em Piracicaba (Tabela 35) para uma deficiência hídrica de 100%, a safra que houve maior retorno financeiro, a partir do uso da irrigação, foi 2017/2018, com preço sombra de R\$ 1,09/m³, e com a maior quantidade de água demandada entre os períodos. Contudo, a safra 2016/2017 obteve o segundo maior retorno, entre as safras analisadas, mas o preço sombra fechou em R\$ 1,10/m³. No restante das safras, os resultados financeiros acompanharam os preços sombra da água. O maior valor residual encontrado na região foi de R\$ 1,10/m³ na safra 2016/2017, enquanto o menor valor foi de R\$ 0,23/m³ em 2014/2015.

Com relação à demanda hídrica de 50%, a região de Araçatuba – Tabela 34 - apresentou dois fluxos de caixa negativos – safras 2013/2014 e 2014/2015 – e conseqüentemente dois preços sombra negativos R\$ - 0,37/m³ e R\$ - 0,14/m³, respectivamente. As outras safras, apresentaram preços sombra que correspondem aos seus respectivos retornos financeiros, quanto maior o resultado monetário, maior é o valor residual da água.

Na região de Piracicaba, quando analisado o déficit hídrico da cultura de 50% - Tabela 35, a safra 2013/2014 foi a única que apresentou retornos negativos, portanto o preço sombra desse período também foi negativo. Piracicaba, da mesma forma que Araçatuba, apresentou no restante dos períodos, preços sombra condizentes com seus referentes retornos líquidos.

Assim, pode-se dizer que quando os resultados financeiros possuem valores negativos, automaticamente pode-se estabelecer que os preços sombra também serão negativos, ou seja, a disposição do produtor a pagar pelo uso da água é zero. Concluindo que a disposição a pagar é diretamente proporcional a renda marginal.

Destaca-se que as variações nos preços sombra ocorrem principalmente pelas mudanças anuais de tamanho da área colhida, pelo aumento ou baixa dos preços dos produtos derivados da cana-de-açúcar e pela quantidade de precipitações que ocorreram durante o período. Todos esses fatores aliados, fazem com que haja alteração na disposição a pagar pelo uso da água na irrigação da cana em ambas regiões.

Diante desses cenários apresentados, a irrigação de 100% da demanda hídrica da cana-de-açúcar é passível de obtenção de irrigação para ambas as regiões, corroborando com os estudos aplicados no estado de São Paulo como apontaram Frizzone et al. (2001), Machado et al. (2002) e Costa (2016).

De acordo com Agência das Bacias PCJ (2016) o valor de captação, extração e derivação da água no estado de São Paulo é de R\$ 0,0127/m³. Baseado nesses dados e nos

resultados da pesquisa, o valor cobrado pelo uso da água está abaixo do encontrado no presente estudo. Onde o menor preço encontrado na região de Araçatuba foi de R\$ 0,08/m³ e em Piracicaba R\$ 0,23/m³.

Diversos autores concluem que quanto menor o valor cobrado pelo uso da água, maior é o desperdício deste recurso, pois não há incentivos para a alocação eficiente do mesmo (MESA-JURADO et al., 2008; ESMAEILI e VAZIRZADEH, 2008; BERBEL et al., 2011; SACOLO, 2013; YOUNG e LOOMIS, 2014 e; ZIOLKOWSKA, 2015). Isto é, se o preço da água for muito baixo ou até mesmo não existir, os agricultores assumem que a água é barata e abundante, e diante desse contexto os produtores consomem a água sem se preocupar com sua limitação (ESMAEILI e VAZIRZADEH, 2008).

Portanto, a análise econômica e a valoração correta dos recursos hídricos são importantes para a identificação de oportunidades, a fim de aumentar o valor líquido da água utilizada para irrigação, como também para a definição de políticas que incentivem os produtores e agências de água a melhorar os benefícios sociais.

Cabe salientar que o Método do Valor Residual (MVR) é um instrumento utilizado para uma atribuição racional e eficiente dos recursos hídricos (BERBEL et al., 2011; YOUNG e LOOMIS, 2014; ZIOLKOWSKA, 2015). Portanto as estimativas realizadas para o cálculo do preço sombra, podem ser modificadas sempre que houver alguma mudança nas tecnologias que tornarem a produção mais eficiente. Resultando em alterações dos retornos líquido totais, assim como do preço sombra da água. Além das tecnologias também deve-se ressaltar que tais mudanças podem ocorrer também através de outros fatores como condições climáticas, localização geográfica, sistema de irrigação, sistemas de plantio, crescimento e colheita, aplicação de máquinas, entre outros fatores.

Tabela 34. Preço sombra das usinas de Aracatuba – Simulação 100% e 50% de lâmina em 23,95% da área

Safras	100% déficit							Unidade
	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18			
Fluxo de caixa	3.001.258,56	9.375.954,10	27.435.294,51	69.209.442,95	20.332.651,54			R\$
Quantidade de água	7.240	6.040	6.830	5.700	5.100			m ³ /ha
Quantidade de água	39.612.270	45.503.118	63.326.893	57.478.248	24.860.888			m ³
Valor máximo água	0,08	0,21	0,43	1,20	0,82			m ³
	50% déficit							
Safras	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18			Unidade
Fluxo de caixa	-7.273.332,73	-3.168.083,45	4.765.542,08	40.030.380,29	7.760.161,19			R\$
Quantidade de água	3.620	3.020	3.415	2.850	2.550			m ³ /ha
Quantidade de água	19.806.135	22.751.559	31.663.446	28.739.124	12.430.444			m ³
Valor máximo água	-0,37	-0,14	0,15	1,39	0,62			m ³

Fonte: Resultados da pesquisa

Tabela 35. Preço sombra das usinas de Piracicaba – Simulação 100% e 50% de lâmina em 23,95% da área

	100% déficit								Unidade
	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21	
Safras									
Fluxo de caixa	27.779.432,03	6.706.097,18	11.228.563,40	30.366.121,49	32.969.305,80				R\$
Quantidade de água	5.160	6.000	4.600	4.670	5.380				m ³ /ha
Quantidade de água	37.405.227	29.689.696	22.648.979	27.549.011	30.170.146				m ³
Valor máximo água	0,74	0,23	0,50	1,10	1,09				m ³
	50% déficit								
Safras									
Fluxo de caixa	- 9.861.560,62	2.198.049,19	3.526.766,43	19.313.058,78	17.254.382,09				R\$
Quantidade de água	2.580	3.000	2.300	2.335	2.690				m ³ /ha
Quantidade de água	18.702.614	14.844.848	11.324.490	13.774.506	15.085.073				m ³
Valor máximo água	- 0,53	0,15	0,31	1,40	1,14				m ³

Fonte: Resultados da pesquisa

5. CONCLUSÕES

Valorar a água utilizada na produção agrícola, está cada vez mais vista como um instrumento de políticas públicas, visto que, além de incentivar a um uso mais eficiente, também serve como ferramenta de proteção tanto para a quantidade como para a qualidade da água. Apesar de muitos autores concordarem, que a quantidade de água na terra é a mesma, mudando apenas seu estado físico, a qualidade da água é uma grande preocupação.

Partindo do princípio que a água é um recurso finito e limitado na natureza, se for utilizada de uma maneira eficiente, racional e sustentável, todos os setores da economia poderão ter acesso a esse recurso. Diante das crises hídricas que ocorrem constantemente no Brasil, o tema está cada vez mais presente nas discussões de políticas públicas, e não somente na cultura da cana-de-açúcar, como também para outros setores da economia e produtos agrícolas que utilizam grandes quantidades de água.

O objetivo desse estudo foi apresentar uma análise econômica para a implantação do sistema de irrigação nos canaviais de cana-de-açúcar nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba, localizadas no estado de São Paulo, para o período que compreende as safras de 2013/2014 a 2017/2018. Como também exibir a disposição dos produtores de cana em pagar pelo uso da água, ou seja, o preço sombra da água.

Através da análise dos custos de produção agrícola, observou-se que os Custos Totais Agrícolas das usinas são maiores que os preços praticados no mercado. Portanto a presente análise, utilizou os resultados do COE para as diferentes simulações de irrigação nas regiões estudadas. Dado que o COE representa todos os custos que são desembolsados do capital de giro presente. Destaca-se que não foi possível realizar os cálculos a partir do COT, visto que, a maior parte da análise ficaria negativa utilizando 100% da demanda hídrica da planta.

Ressalta-se que foram utilizados nesse trabalho, somente os custos de produção agrícola das usinas, descartando da análise os fornecedores, os quais sobrevivem no mercado, praticamente, por produzirem outras culturas concomitantemente, o que dilui os prejuízos causados pela produção desta matéria-prima. Também foram excluídos da análise, os custos industriais e o preço final dos produtos derivados da cana no varejo, o que resultaria em uma conclusão diferente.

Como resultado, encontrou-se, através da análise econômica das usinas de cana-de-açúcar, que é possível a implantação do sistema de irrigação nas regiões de Araçatuba e de Piracicaba, o que confirma a hipótese inicial do estudo de que a irrigação é sim favorável nas regiões estudadas.

Contudo, devido a limitação da disponibilidade hídrica das regiões, irrigação de apenas 23,95% da área total, só é vantajoso irrigar se for empregada a lâmina de 100% do déficit hídrico da cultura. Dado que, desta maneira é maior a disposição a pagar do produtor pelo uso da água. Diante do exposto, a hipótese sobre a capacidade de pagamento dos produtores rurais pelo uso da água, é parcialmente confirmada, visto que, eles só teriam condições de realizar o pagamento através da irrigação de 100% da demanda hídrica da cana.

Aplicando uma lâmina de 50% do déficit hídrico da cana, duas safras na região de Araçatuba, os preços sombra foram negativos e na região de Piracicaba apenas uma safra obteve o mesmo saldo. Indicando que durante esses períodos, a disposição do produtor a pagar pelo uso da água seria zero. Concluindo que a disposição a pagar é diretamente proporcional a renda marginal.

Em relação a análise da demanda hídrica da cana-de-açúcar em ambas regiões, encontrou-se que em Araçatuba o déficit hídrico foi de 1.276 mm ao ano, enquanto em Piracicaba 1.169 mm ao ano. Também pode-se observar que o período de chuvas é bem definido nas duas regiões – setembro a março – e clima seco nos meses de abril a setembro, caracterizando clima tropical, onde o verão é quente e chuvoso e o inverno é seco.

Como resultado da demanda hídrica da cana, pode-se concluir que apesar da região de Piracicaba ser menos chuvosa, o solo da região tende a possuir maior capacidade de retenção de água resultando no aumento da produtividade, mesmo não havendo irrigação. Por outro lado, apesar de ser uma região mais chuvosa, Araçatuba pode ter capacidade de armazenamento de água no solo menor quando comparada à região de Piracicaba, visto a maior quantidade de déficit hídrico apresentado na cana-de-açúcar da região.

A importância da abordagem desse tema, é que a agricultura pode fornecer grande impacto no meio ambiente, visto que, a utilização da água está fortemente ligada a intensificação da atividade agrícola. Marin (2018) relata que, até 2050 é estimado que haja um aumento populacional de 2 bilhões de pessoas, e o número de terras destinadas a produção está findando, em torno de 5% em todo o planeta. O autor sugere que a saída para este impasse, é o aumento da produtividade utilizando as terras que já são destinadas para esse fim.

Uma das formas de tentar minimizar esses impactos futuros, é a aplicação de irrigação nos canaviais, dado que através desse recurso ocorre aumento da produtividade, redução de terras e de transportes (principalmente porque essa cultura possui grandes extensões de terras), e longevidade das soqueiras (reduzindo o número de renovação dos canaviais).

No presente estudo, o preço sombra encontrado para a água utilizada na produção da cana-de-açúcar, na região de Araçatuba com uma simulação de 100% do déficit hídrico da

cultura, foram valores de no máximo R\$ 1,20/m³ a R\$ 0,08/m³, valor mínimo. Para a região de Piracicaba, os valores foram de no máximo R\$ 1,10/m³ a R\$ 0,23/m³. Diante desses cenários pode-se concluir que esses valores representam os valores máximos e os mínimos que os produtores de cana estão dispostos a pagar pelo uso da água.

No estado de São Paulo, o valor de captação, extração e derivação da água é de R\$ 0,0127/m³ (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2016). Indicando que o preço cobrado está muito aquém dos valores encontrados nesse presente estudo. O que resulta em uma desconformidade, visto que, se o preço da água for muito baixo ou até mesmo não existir, os agricultores assumem que a água é barata e abundante, e diante de tais circunstâncias os produtores consomem a água sem se preocupar com sua limitação.

Diante do exposto, o valor cobrado pela água utilizada na irrigação não reflete o valor atual do recurso (preço sombra). E recordando que a água é o mais importante dos recursos naturais, uma vez que, essa é essencial para a sobrevivência humana e para as atividades produtivas. Conclui-se que é necessário a cobrança da água utilizada para irrigação, mas que cujo valor seja compatível com a realidade das unidades produtoras.

Políticas públicas voltadas a esse tema serão importantes para a demanda das futuras gerações, e não somente para a irrigação da cana-de-açúcar, como também para outras culturas que utilizam grandes quantidades de água, como a soja, café, arroz etc. Ações sociais que incentivem a preservação e renovação dos recursos hídricos, com subsídios para pequenos produtores e para aqueles que que trabalhem em conjunto com os governos para a conservação das águas do país.

Relacionando a água com as demandas futuras, a cana-de-açúcar, a base para a produção do etanol, terá uma participação maior na matriz energética brasileira. De modo que a ocorrência do desenvolvimento sustentável no mundo, se tornou um dos principais objetivos da grande parte dos países. O uso de energias renováveis, principalmente relacionado a redução de CO₂, tem tomado grande destaque nas discussões atuais e futuras sobre o meio ambiente.

Chama-se atenção à utilização do etanol, que segundo OCDE (2008), há uma redução de 70% a 90% de gases de efeito estufa, quando comparado com o uso da gasolina. Existe um consenso científico sobre as causas do aquecimento global, que ocorrem através da queima de fósseis, desmatamento, práticas agrícolas errôneas, entre outros. A mudanças climáticas afetarão sobretudo a agricultura e os recursos naturais – solo, água e biodiversidade.

Destaca-se que apesar de todas limitações sociais e ambientais que existe para o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, é inegável sua importância no país. Avanços em pesquisas e políticas públicas relacionados a esse tema, são de extrema relevância para o futuro das

próximas gerações. É importante que haja engajamento entre o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e os Comitês de Bacia Hidrográfica, a fim de averiguar e fiscalizar as outorgas de uso da água.

A valoração correta dos recursos hídricos, poderá resultar em benefícios a longo prazo das reversas naturais, haja visto que, com a arrecadação, os órgãos competentes poderão atuar de diversas maneiras para manter a qualidade e quantidade de água potável disponível no país, tais como:

- ✓ a reciclagem da água – reutilização da água residual tratada;
- ✓ através de programas como “Produtor de Água” da ANA – no qual consiste em incentivar o produtor rural a investir em ações que ajudem a preservar a água;
- ✓ o Projeto Conservador das Águas - onde um dos objetivos é aumentar a cobertura florestal nas sub-bacias hidrográficas e implantar microcorredores ecológicos;
- ✓ o Projeto Conservador da Mantiqueira – que abriga as nascentes de importantes rios que alimentam os reservatórios de Furnas-MG. É onde a energia elétrica que abastece as maiores regiões metropolitanas do Brasil (São Paulo, Campinas e Rio de Janeiro) é produzida.

Através dos incentivos governamentais e parcerias público/privado poderá haver a recuperação de diversos rios e nascentes que estão poluídos, como também a realização de ações preventivas, onde os produtores serão respaldados em maior cuidado do trato com as águas, recebendo apoio técnico e financeiro para implementação de práticas conservacionistas.

Por fim, trabalhos voltados ao estudo da água e sobretudo a questões da matriz energética brasileira e mundial (a qual demanda uma grande quantidade de água) é a grande chave para um futuro próximo, que será cheio de desafios e limitações. Portanto, os recursos naturais precisam ser utilizados de forma sustentável, racional e equilibrado, visto que, somente dessa maneira poderá haver desenvolvimento aliado com o meio ambiente, ou seja, desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. Cobrança pelo uso da água. 2016. Disponível em: <<http://www.agenciapcj.org.br/novo/instrumentos-de-gestao/cobranca-pelo-uso-da-agua#>>.

Acesso dia: 03 set. 2019.

_____. UGRHI 05. Relatório de situação das bacias PCJ 2018. Piracicaba, 2018.

_____. Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020. Relatório final, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018.

_____. Levantamento da cana-de-açúcar irrigada na região Centro-Sul do Brasil: 2017. Brasília, 2017a.

_____. Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada: 2017. Brasília, 2017b. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>> Acesso em: 17 out. 2017.

_____. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2014. Encarte especial sobre a crise hídrica. Brasília: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR, 2015.

_____. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013. Brasília, 2013a. Disponível em: <<http://www.arquivos.ana.gov.br/>>. Acesso em 29 abr. 2017.

_____. Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos 2013. Brasília: 2013b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA; CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CEBDS. Fatos e tendências: Água. Brasília, set. 2009.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, 1998.

AMORIN NETO, M. da S. Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955). Embrapa: Comunicado técnico, n° 34, jun. 1989.

ANDRADE, M. C. Inovações tecnológicas no setor sucroalcooleiro: determinantes, estágio vigente e perspectivas no contexto brasileiro (2005 - 2014). Revista Brasileira de Gestão e Inovação – Brazilian Journal of Management & Innovation. v.4, n.3, Maio/Agosto – 2017.

ARAÚJO, E. da S.; SANTOS, J. A. P. O desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no Brasil e sua relevância na economia nacional. *Revista Científica Facider*, n.4, set. 2013.

ASSAF NETO, A. *Finanças corporativas e valor*. 7. Ed. – [4. Reimpr.] – São Paulo: Atlas, 2016.

BANCO CENTRAL DO BRASIL – BACEN. Taxas de juros básicas – históricos. 2013. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>. Acesso em 02 set. 2019.

BANCO MUNDIAL – Renewable internal freshwater resources, total (billion cubic meters). 2016. Disponível em: <<http://www.worldbank.org>>. Acesso em: 05 dez. 2017.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO e CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – BNDES e CGEE. *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. 1 ed. Rio de Janeiro, 2008.

BERBEL, J.; MESA-JURADO, M. A.; PISTÓN, J. M. Value of Irrigation Water in Guadalquivir Basin (Spain) by Residual Value Method. *Water Resour Manage* (2011) 25:1565–1579 - DOI 10.1007/s11269-010-9761-2.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 8. ed. 5. Reimpr. – Viçosa: Ed. UFV, 2013.

_____. *Manual de irrigação*. 8. ed. – Viçosa: Ed. UFV, 2006.

BLANCO, F. F.; MACHADO, C. C.; COELHO, R. D.; FOLEGATTI, M. V. Viabilidade econômica da irrigação da manga para o Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.1, p.153-159, 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. *A irrigação no Brasil: situação e diretrizes*. Brasília: IICA, 132 p., maio de 2008.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília. 1997. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em 20 mar. 2018.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Código de águas. Rio de Janeiro. 1934. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em 18 abr. 2017.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, Campinas, 59(2), 125-137, 2000.

CAMPO FUTURO - PECEGE. Resultados 2018. Brasília: CNA; SENAR, 2018.

_____. Resultados 2017. Brasília: CNA, 2017.

CAMPOS, F. H. et al. Análise de rentabilidade de irrigação na cana-de-açúcar: estudo de caso de uma usina de Goiás. Revista iPecege 3(2):124-133, 2017. DOI: 10.22167/r.ipecege.2017.2.124.

CAMPOS, R. T.; CAMPOS, K. C. Capacidade de pagamento pela água bruta utilizada na irrigação pública na bacia do Jaguaribe - Ceará. Revista de economia e agronegócio, vol.11, nº 3, 2014.

CAMPOS, R. T.; TELES DA ROZA, M. X.; PINHEIRO, J. C. V. Revista de Política Agrícola, Ano XXII – No 3 – 2013.

CAMPOS, R. T. Avaliação sob risco da capacidade de pagamento por água bruta de produtores da Bacia do Jaguaribe (CE). RESR, Piracicaba, SP, vol. 48, nº 02, p. 357-380, 2010.

CANABRAVA, A. P. História Econômica: estudos e pesquisas. Unesp, 2005. 315 p.

COELHO DE FARIA, R.; NOGUEIRA, J. M. Métodos de precificação da água e uma análise dos mananciais hídricos do parque nacional de Brasília. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 35, nº 2, abr-jun. 2004.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ - UGRHI 19. Relatório de situação 2018 - ano base 2017. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. Acomp. safra bras. cana, v. 4 - Safra 2017/18, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-73, abril 2018.

_____. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. 2017a. v. 3 - Safra 2016/17, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-77, abr. 2017a. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos> Acesso em: fev. 2018.

_____. Perfil do setor do açúcar e do etanol no Brasil - Safra 2014/2015. 2017b. Brasília, p. 1-64, 2017b.

_____. Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil - Safra 2011/2012. 2013. Brasília, v.5, p. 1-88, 2013.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CONSECANA. Regulamento do CONSECANA. Disponível em: <<http://www.consecana.com.br/regulamento.asp>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CEBDS; DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT - GIZ. Eficiência no uso da água: oportunidades para empresas e instituições financeiras. Jun. 2016.

COSTA, R. I. Irrigação por gotejamento em uma usina de cana-de-açúcar: um estudo de viabilidade econômica. 2016. Especialização (Especialização em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo – Escola de Engenharias de São Carlos – São Carlos, 2016.

COSTA, V. M. Irrigação em cana-de-açúcar: uma realidade ainda oculta no Brasil. STAB, vol. 30, n. 2., 2011.

DANTAS NETO, J. et al. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.283–288, 2006.

DIAS, H. B. Intercomparação de modelos de simulação da cana-de-açúcar e seu uso na avaliação da quebra de produtividade e dos impactos da irrigação em diferentes regiões do país. 2016. Dissertação (Dissertação de mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016.

DOORENBOS, J; KASSAN, A. H. Yield response to water. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1979.

ESMAEILI, A.; VAZIRZADEH, S. Water Pricing for Agricultural Production in the South of Iran. *Water Resour Manage* (2008) 23:957–964 - DOI 10.1007/s11269-008-9308-y.

FIGUEIREDO, P. et al. O Instituto Agrônomo (IAC) e fatos históricos relacionados ao desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar até o fim do século XX. Campinas: Instituto Agrônomo, 2011. 47p. (Documentos IAC, 103). ISSN 1809-7693.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56. Roma. 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

_____. FAOSTAT: Crops. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

_____. Information System on Water and Agriculture – AQUASTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

FREITAS, R. G. de; BAFFA, D. C. F.; BRASIL, R. P. C. do. Aumento na produtividade da cana-de-açúcar através da irrigação. Nucleus, Edição Especial, 2009.

FRIZZONE, J. A.; MATIOLI, C. S.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para a região Norte do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum: Maringá*, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.

GOMES, B. V. Conjuntura e análise de mercado - cana-de-açúcar em Pernambuco. CONAB - SUREG-PE, 2017.

GOUVÊA, J. R. F. Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP. 2008. Dissertação (Dissertação de mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research* 92 (2005) 185–202.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Agro 2017: resultados preliminares mostram queda de 2,0% no número de estabelecimentos e alta de 5% na área total. 2018a. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/21905-censo-agro-2017-resultados-preliminares-mostram-queda-de-2-0-no-numero-de-estabelecimentos-e-alta-de-5-na-area-total>>. Acesso em 19 ago. 2019.

_____. Tabela 6764 - Número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação e Área irrigada, por método utilizado para irrigação, direção dos trabalhos do estabelecimento agropecuário e origem da orientação técnica recebida - resultados preliminares 2017. 2018b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6764> Acesso em: 20 ago. 2019.

_____. Censo agropecuário 2006. Rio de Janeiro, p.1-777, 2006. ISSN 0103-6157.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER AND THE ENVIRONMENT - ICWE: Development issues for the 21st century. The Dublin statement and report. World Meteorological Organization (WMO). Genève, Switzerland. 1992. Disponível em: <<https://www.ircwash.org>>. Acesso em 23 mar. 2018.

JOHANSSON, R. C. Pricing Irrigation Water. The World Bank. Policy Research Working Paper 2449, set. 2000.

JONES, T. Pricing water. *OECD Observer*, Nº 236. OECD. Paris. 2003. Disponível em: <<http://oecdobserver.org>>. Acesso em 27 mar. 2018.

LATINOPOULOS, P.; TZIAKAS, V.; MALLIOS Z. Valuation of irrigation water by the hedonic price method: a case study in Chalkidiki, Greece. *Water, Air, and Soil Pollution*. Kluwer Academic Publishers. 2004, Focus, 4, pp. 253-262. Disponível em: <<https://link-springer-com>>. Acesso em 14 abr. 2017.

MACHADO, F. de B. P. Brasil, a doce terra - História do Setor. 2003. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/Conteudo/HistoriadoSetor.asp>>. Acesso em 28 ago. 2019.

MACHADO, P. J. de O.; TORRES, F. T. P. Introdução à Hidrogeografia. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MACHADO, T.; NEVES, M. F.; NETO, S. B. Viabilidade econômica da irrigação localizada na cultura da cana-de-açúcar. Anais do XL Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural - SOBER, “Equidade e Eficiência na Agricultura Brasileira”, Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo – Rio Grande do Sul, 28 a 31 de julho de 2002, p. 48. Versão integral disponível no CD-ROM do evento.

MAIA, A. G.; ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P. Valoração de recursos ambientais: metodologias e recomendações. Texto para Discussão. IE/UNICAMP n. 116, mar. 2004.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação princípios e métodos. 2. Ed., atual. e ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2007.

MARIN, F. O planeta em 2050 e a eficiência da agropecuária brasileira. A Granja, 2018. Disponível em: <https://edcentaurus.com.br/agranja/edicao/840/materia/9654> Acesso em 02 de jan. 2019.

_____. Eficiência de produção da cana-de-açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos. 2014. Tese (Tese de Livre-Docência em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014.

MATIOLI, C. S. et al. Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para a região norte do Estado de São Paulo. Stab: Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 17, n. 2, p. 42-45, 1998.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. [Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira]. – São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010. 568p.

MELLO, J. L. P.; BATISTA DA SILVA, L. D. Irrigação. Rio de Janeiro: Universidade Rural do Rio de Janeiro - Instituto de tecnologia - Departamento de Engenharia, 2009.

MESA-JURADO, A.; PISTÓN, J. M.; BERBEL, J.; GIANNOCARO, G. Valoración del agua de riego en la cuenca del Guadalquivir. Aplicación para el escenario 2015. III Congreso de la Asociación Hispano-Portuguesa de Economía de los Recursos Naturales y Ambientales Palma de Mallorca, 4-6 de junio de 2008.

MEYER, L. G., PAIXÃO, M. A. S. da. Instruções Gerais para Elaboração de um Fluxo de Caixa. 2. Ed. Piracicaba: I-PECEGE, 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Balança comercial do agronegócio. Dezembro/2016. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

_____. Anuário Estatístico da Agroenergia 2014. Brasília, 5ed, 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/pasta-anuario-estatistico-da-agroenergia/anuario-estatistico-da-agroenergia>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Resolução n° 48, de 21 de março de 2005. Critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Brasília. 2005. Disponível em: <<http://www.arquivos.ana.gov.br>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

MONTEIRO, L. A. Modelagem agrometeorológica como base para a definição de ambientes de produção para a cultura de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. 2012. Dissertação (Dissertação de mestrado em física do ambiente agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2012.

MOZANBANI, A. E. et al. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et al. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, 2006.

NETAFIM. Variedades aperfeiçoadas. Sugarcane crops, 2018. Disponível em: <http://www.sugarcanecrops.com/p/agronomic_practices/improved_varieties/> Acesso em: 16 fev. 2018.

NOVACANA. Cana-de-açúcar - Tudo sobre essa versátil planta. Novacana.com, Curitiba, 13 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.novacana.com/cana-de-acucar/>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

OLIVEIRA, E. C. A. de et al. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.46, n.6, p.617-625, jun. 2011.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. Why water pricing is an issue. In: Pricing water resources and water and sanitation services. OECD Publishing. Paris. 2010. Acesso em: <<http://oecd-ilibrary-org>>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264083608-4-en>. Acesso em 25 mar. 2018.

_____. Economic assessment of biofuel support policies. Paris, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. Relatórios mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2016: Água e Emprego fatos e números. 2016.

PEARCE, D. Economic values and the natural world. London: Earthscan Publications, 1993.

PEREIRA, R. M. et al. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. Irriga, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 149-157, 2015.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Disciplina de Meteorologia Agrícola. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997.

PERIN, V. Potencial de irrigação da cultura de cana-de-açúcar na microrregião de Araçatuba, SP, em função da disponibilidade hídrica regional. 2016. Monografia (Conclusão do curso de Engenharia Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016.

PINHEIRO, J. C. V.; LIMA, A. T. M. Valor econômico da água para irrigação: uma aplicação do método residual. DEA - Trabalhos apresentados em eventos: Universidade Federal do Ceará, 2001. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/5331>> Acesso em: 20 dez. 2017.

PIRES, R. C. de M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; CALHEIROS, R. de O. Métodos e manejo da irrigação. Contrato FUNDAG – FEHIDRO, nov. 1999.

PORTUGAL JUNIOR, P. dos S. et al. Valoração econômica ambiental da água mineral: uma aplicação do método de imputação residual. Revista de Economia Mackenzie, v. 14, n. 2, São Paulo, SP, 2017, p. 55-78. ISSN 1808-2785 (on-line).

RAMOS, P. Agroindústria canavieira e propriedade fundiária no Brasil. 1991. Tese (Doutorado em Administração). São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, 1991.

RICHTER, B. Em busca da água: um guia para passar da escassez à sustentabilidade. Tradução de Maria Beatriz de Medina. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

ROSSETO, R. SANTIAGO, A. D. Plantio da cana-de-açúcar. Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar. Brasília: AGEITEC, 2018.

SACOLO, T. T. Residual value and production function approaches to valuation of irrigation water in sugar cane production: application to the Lowveld in Swaziland. 2013. Dissertation (Master's dissertation in Agricultural Economics) – University of Pretoria, South Africa, 2013.

SANTOS, L. da C. Produção de biomassa e eficiência no uso da água para oito variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento em dois ciclos de cultivo. 2016. Tese (Tese de doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016.

SANTOS, M. A. L. dos; FRIZZONE, J. A. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) colhida no mês de janeiro: um modelo de análise de decisão para o litoral sul do estado de Alagoas. *Irriga, Botucatu*, v. 11, n. 3, p. 339-355, julho-setembro, 2006.

SANTOS, M. A. L. dos. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Um modelo de análise de decisão para o estado de Alagoas. 2005. Tese (Tese de Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

SECRETARIA DA FAZENDA DO ESTADO DE SÃO PAULO – Imposto de Renda. 2015. Disponível em: < https://www.fazenda.sp.gov.br/folha/nova_folha/ir.asp#p7>. Acesso em: 10 set. 2019.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. Balanço Hídrico climatológico normal e sequencial, de cultura e para manejo da irrigação. *Disciplina de Meteorologia Agrícola. Esalq – USP*, 2012.

SEROA DA MOTTA, R. Manual para valoração econômica de recursos ambientais. IPEA/MMA/PNUD/CNPq, Rio de Janeiro, setembro de 1997.

SHIKIDA, P. F. A.; BACHA, C. J. C. Evolução da agroindústria canavieira brasileira de 1975 a 1995. *RBE, Rio de Janeiro*, 53(1): 69-89 jan/mar de 1999.

SHIKLOMANOV, I. A.; RODDA, J. C. World water resources at the beginning of the twenty-first century. *Internacional Hydrology Series*. Cambridge University Press. 2003.

SHIMADA, S. O. A produção do açúcar e a exploração do trabalho no campo brasileiro. *Scientia Plena* vol. 9, n. 5, 2013.

SILVA, H. J. T. da; MARQUES, P. V. Evolution of Production Costs in Brazilian Sugar-Energy Sector. *China-USA Business Review*, Mar. 2017, Vol. 16, No. 3, 93-107.

SILVA, M. de A. et al. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. *Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.3, p.241–249, 2014.

SILVA, A. M. da; OLIVEIRA, P. M. de; MELLO, C. R. de; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.10, n.2, p.374–380, 2006.

SPEELMAN, S.; FAROLFI, S.; PERRET, S.; D'HAESE, L.; D'HAESE, M. Irrigation water value at small-scales schemes: evidence from the North West Province, South Africa. 2008. *Intern J. Water Resour Development* 24(4):621–633. doi:10.1080/07900620802224536.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical. Review*, Vol. 38, No. 1, pp. 55-94, jan 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. *The water balance*. Centerton: New Jersey, 1955.

URTADO, E. S. et al. Aplicação do método do valor presente líquido (VPL) na análise da viabilidade econômica de projetos na indústria metal mecânica: um estudo de caso. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2009.

VIAN, C. E. de F. *Árvore do conhecimento: Cana-de-açúcar*. Agência Embrapa de Inovação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_11_711200516716.html>. Acesso em: 10/09/2018.

_____. *Agroindústria canavieira: estratégias competitivas e modernização*. 2.ed. Campinas: Editora Átomo (coleção agronegócios), 216 p., 2015.

YOUNG, R. A.; LOOMIS, J. B. *Determining the economic value of water. Concepts and methods*. Washington - DC: Resources for the Future, 2 Ed., 2014.

ZIOLKOWSKA, J. R. Shadow price of water for irrigation - A case of the High Plains. *Agricultural Water Management* 153 (2015) 20–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.0240378-3774/>© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.