



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



DONIZETI APARECIDO MELLO

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE INVESTIMENTO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
POR ASPERSÃO PARA PRODUÇÃO DE SOJA E MILHO SOB CONDIÇÕES DE
RISCO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE OURINHOS/SP**

Botucatu

2021

DONIZETI APARECIDO MELLO

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE INVESTIMENTO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
POR ASPERSÃO PARA PRODUÇÃO DE SOJA E MILHO SOB CONDIÇÕES DE
RISCO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE OURINHOS/SP**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura.

Orientadora: Professora Dra. Maura Seiko
Tsutsui Esperancini

Botucatu

2021

M527a	<p>Mello, Donizeti Aparecido</p> <p>Avaliação econômica de investimento em sistema de irrigação por aspersão para produção de soja e milho sob condições de risco: estudo de caso no município de Ourinhos/SP / Donizeti Aparecido Mello. -- Botucatu, 2021 78 p.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu Orientadora: Maura Seiko Tsutsui Esperancini</p> <p>1. Irrigação. 2. Viabilidade econômica. 3. Diferencial de produtividade. 4. Análise de risco. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE INVESTIMENTO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO PARA PRODUÇÃO DE SOJA E MILHO SOB CONDIÇÕES DE RISCO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE OURINHOS/SP

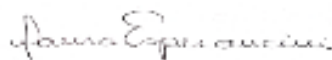
AUTOR: DONIZETI APARECIDO MELLO

ORIENTADORA: MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof.^a Dr.^a MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP



p/Prof.^a Dr.^a SILVIA ANGÉLICA DOMINGUES DE CARVALHO (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



p/ Prof. Dr. LUIZ CESAR RIBAS (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP



p/Profa. Dra. EDINEIA APARECIDA DOS SANTOS GALVANIN (Participação Virtual)
Departamento de Geografia / UNESP - Ourinhos



p/Prof. Dr. MAURI DA SILVA (Participação Virtual)
Agronegócios / Faculdade de Tecnologia de Ourinhos

Botucatu, 14 de dezembro de 2021

A minha família,
minha esposa Márcia e aos meus filhos Daniele e Gabriel,
aos meus pais, Benedito (*in memoriam*) e Maria Lúcia (*in
memoriam*),
a minhas irmãs Fátima e Maria Aparecida,
dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar sempre presente na minha vida dando força para seguir em frente superando as dificuldades, mesmo quando parecia tudo tão difícil.

Agradeço a professora Doutora Maura Seiko Tsutsui Esperancini, pela oportunidade que me concedeu dentro da Faculdade de Ciências Agrônômicas desde o início do mestrado e principalmente no doutorado quando precisei, me deu todo o auxílio e suporte necessário, muito obrigado Professora por tudo e por um dia ter me aceitado como seu orientando.

Agradeço aos professores que compuseram a banca, de qualificação e defesa pelo caminho que foi me mostrado para uma melhor definição do trabalho, serei eternamente grato, muito obrigado.

Agradeço a todos os professores e funcionários da UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, pela oportunidade oferecida para o aprimoramento profissional.

Aos meus amigos, que sempre me ajudaram e incentivaram, mesmo nas horas difíceis.

A todos verdadeiros amigos, que de maneira sincera torceram pelo bom êxito deste trabalho.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”

BEAUVOIR. S. **Memórias de uma moça bem-comportada**. 5. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2017.

RESUMO

No Brasil o crescimento das áreas irrigadas foi recorde nos últimos anos e possui um grande potencial para expansão. No entanto, fatores como a economia ou a falta de planejamento para a aquisição de um sistema de irrigação trazem incertezas para os produtores em relação ao retorno do investimento. No estado de São Paulo, mais especificamente na região da Ourinhos/SP, onde a economia do município tem a agricultura como uma de suas bases, a técnica da irrigação é pouco utilizada. Partindo do princípio no qual o uso da irrigação pode ser economicamente viável, o objetivo geral desta pesquisa foi analisar a viabilidade econômica do investimento em um sistema de irrigação por pivô central, em uma propriedade agrícola do município de Ourinhos/SP, para a produção de soja verão e milho safrinha em sucessão, sob condições de risco de mercado. Foi analisado a Relação Benefício Custo (RBC) de acordo como a Receita Adicional da Irrigação, em razão do aumento da produtividade da soja e milho safrinha referentes as safras 2014/15 a 2019/20 em relação ao investimento realizado. Utilizou-se o método de simulação estocástica ou de Monte Carlo. As variáveis de risco analisadas foram: preço de venda da soja e do milho; a produtividade das duas culturas nos dois sistemas (irrigada e sequeiro); quantidade de água e preço da água utilizada no processo; quantidade de energia e tarifa de energia elétrica consumida na irrigação das culturas. Os resultados mostram que o investimento tem probabilidade de 65,9% de ser economicamente viável e ao considerar os riscos da Relação Benefício Custo, o investimento mostra que a partir de 40% de nível de risco, a Receita Adicional Líquida será 21,6% maior que o investimento inicial, e se o produtor tiver perfil aceitável a maiores riscos, poderá obter uma receita líquida de até 3 vezes o investimento inicial.

Palavras-chave: irrigação; viabilidade econômica; diferencial de produtividade; análise de risco.

ABSTRACT

In Brazil, the growth of irrigated areas was record in recent years and has great potential for expansion. However, factors such as the economy or the lack of planning for the acquisition of an irrigation system bring uncertainties to producers in relation to the return on investment. In the state of São Paulo, specifically in the region of Ourinhos/SP, where the municipality's economy has agriculture as one of its bases, the irrigation technique is little used. Assuming that the use of irrigation can be economically viable, the general objective of this research was to analyze the economic viability of investing in a center pivot irrigation system, in an agricultural property in the municipality of Ourinhos/SP, for the production of soybean summer and off-season corn in succession, under conditions of market risk. The Benefit Cost Ratio (RBC) was analyzed according to the Additional Irrigation Revenue, due to the increased productivity of soybean and off-season corn for the 2014/15 to 2019/20 harvests in relation to the investment made. The stochastic or Monte Carlo simulation method was used. The risk variables analyzed were: soybean and corn sales price; the productivity of the two crops in the two systems (irrigated and dryland); the amount of water and price of water used in the process; the amount of energy and electricity tariff consumed in crop irrigation. The results show that the investment has a probability of 65,9% be economically viable and considering the risks of the Benefit Cost Ratio, the investment shows that from a 40% risk level, the Net Additional Revenue will be 21,6% higher than the initial investment, and if the producer has an acceptable profile at higher risks, can obtain a net income of up to 3 times the initial investment.

Keywords: irrigation; economic viability; productivity differential; risk analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da área Irrigada no Brasil	28
Figura 2 – Área irrigada no Brasil por métodos e sistemas de irrigação.....	29
Figura 3 – Área irrigada por pivôs centrais no Brasil de 1985 a 2017.....	31
Figura 4 – Localização geográfica do município de Ourinhos/SP.....	39
Figura 5 – Simulação de dados para ajuste nos modelos pelo teste chi-quadrado...61	
Figura 6 – Probabilidade de ocorrências de RBC.....	64
Figura 7 – Distribuição de probabilidade acumulada dos índices de eficiência econômica.....	65
Figura 8 – Coeficientes de Regressão do RBC da Irrigação.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção agrícola do município de Ourinhos/SP no ano de 2020.....	40
Tabela 2 – Produtividade utilizadas para o desenho 3 cenários de RBC.....	44
Tabela 3 – Custo operacional efetivo (COE) da soja verão (2018/19) por ha em julho de 2021.....	50
Tabela 4 – Custo operacional efetivo (COE) do milho safrinha (2019) por ha em julho de 2021.....	51
Tabela 5 – Precipitação e irrigação em cada cultura na região.....	52
Tabela 6 – Tarifa cobrada pelo uso da água 2014/15 a 2019/20 (em julho de 2021).....	53
Tabela 7 – Consumo de energia elétrica em kwh em cada cultura.....	54
Tabela 8 – Tarifas de energia elétrica em julho de 2021.....	54
Tabela 9 – Preço de venda da soja e milho safras 2014/15 a 2019 em julho de 2021.....	55
Tabela 10 – Produtividade de Soja e Milho Irrigado e Sequeiro por ha.....	56
Tabela 11 – Receita Bruta Adicional da Irrigação aos preços médios.....	57
Tabela 12 – Produtividade (em sacas/ha) utilizadas para o desenho de 3 cenários de RBC.....	58
Tabela 13 – Receita Bruta Adicional em 3 cenários de produtividade (área total)....	59
Tabela 14 – Relação Benefício Custo do investimento em sistema de irrigação por aspersão nas culturas de soja e milho em área de 86,24 ha trazidos para o valor presente a uma taxa de 5,8% e 10 anos de vida útil.....	59
Tabela 15 – Resultados estatísticos do RBC para viabilidade do investimento.....	62
Tabela 16 – Mapa de Risco da viabilidade econômica do investimento.....	63
Tabela 17 – Coeficientes de sensibilidade das variáveis de risco do RBC.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGEITEC	Agência Embrapa de Informação Tecnológica
ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
COE	Custo Operacional Efetivo
EEA-IRGA	Estação Experimental do Arroz, Instituto Rio Grandense do Arroz
EEA-UFRGS	Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Instituto de Economia Agrícola
IGP-M	Índices Gerais de Preços Médios
I ₀	Investimento Inicial
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RBA	Receita Bruta Adicional
RBC	Relação Benefício Custos
RLA	Receita Líquida Adicional
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UFLA	Universidade Federal de Lavras

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	27
2.1	Irrigação.....	27
2.2	Aspectos econômicos da irrigação.....	33
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1	Área de estudo.....	38
3.2	Fonte de dados.....	40
3.3	Metodologia.....	41
3.4	Indicadores de risco.....	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1	Custo operacional efetivo da soja e milho e custos da irrigação...	50
4.2	Resultados das variáveis críticas.....	51
4.3	Receita adicional da irrigação.....	55
4.4	Análise de cenários.....	57
4.5	Análise de risco do investimento em irrigação.....	60
5	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS.....	71
	ANEXO A – Orçamento do Sistema de Irrigação	77

1 INTRODUÇÃO

No Brasil o uso da irrigação agrícola teve seu início no final do século XIX e, nos últimos anos houve um grande crescimento do uso desta tecnologia. De acordo com os dados da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021) o crescimento médio na área irrigada na última década foi recorde, passando de 130 mil hectares (2000-2011) para 216 mil hectares (2012-2019), representando um aumento de 66%.

Entre os sistemas de irrigação mecanizados mais utilizados está o sistema de aspersão por pivô central, que juntamente com o sistema por gotejamento e inundação representam 70% de todo incremento da área irrigada no país.

Ainda de acordo com os dados da ANA (2021), o Brasil apresenta um potencial efetivo para expansão de 11,2 milhões de hectares, um crescimento de 45% até o ano de 2030.

Segundo Mantovani; Bernardo e Palaretti (2009), a agricultura irrigada é uma importante tecnologia para a produção de alimentos, visto que mais da metade da população mundial depende dos alimentos produzidos em áreas irrigadas.

A técnica da irrigação tem como principal objetivo o aumento da produtividade, e quando utilizada de forma correta e racional, pode contribuir para a melhoria de desempenho da produção agrícola e conservação do solo. Também Cunha *et al.* (2013) destacam que as técnicas de manejo do uso da água na agricultura são indispensáveis para o aumento da produção.

Oliveira *et al.* (2021) realizaram um estudo sobre a soja irrigada na região central do Rio Grande do Sul. Os resultados mostram que a produção irrigada foi superior à não irrigada, apresentando um total de 4.475,5 kg/ha⁻¹ quando irrigada e 3.690 kg/ha⁻¹ quando não irrigada. Richetti; Flumignan e Almeida (2015) em um estudo sobre a viabilidade econômica da soja irrigada na região sul de Mato Grosso do Sul na safra 2015/16, estimaram a produtividade de 4.200 kg ha⁻¹ e verificaram que a produtividade mínima necessária para cobrir os custos com a irrigação era de 3.390 kg ha⁻¹. Em relação a produção do milho (*Zea mays*) no estado de São Paulo, dados da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (2021) mostram que a produtividade do milho irrigado na safra 2017/18 foi superior em 53,6 sc ha⁻¹ produzindo 104,3 sc ha⁻¹ em sequeiro e 157,9 sc ha⁻¹ no sistema irrigado. Barcellos (2017) mostrou em estudo realizado em Cruz Alta/RS, um incremento de 24% de

produtividade na segunda safra irrigada quando comparado a primeira safra, passando de 169 sc/ha⁻¹ para 209 sc/ha⁻¹. Alves Junior (2018) em estudo da irrigação por pivô central na região de Cristalina/GO, mostrou a viabilidade da utilização da irrigação nas culturas da soja, milho e tomate consorciados, com uma relação custo/benefício de 2,1 e a possibilidade de retorno do investimento em dois anos.

Souza *et al.* (2011) em estudo no semiárido brasileiro sobre a eficiência do uso da água na cultura do milho, apontam que quando empregada de maneira correta, o uso da irrigação pode aumentar a produtividade que passou de 64,3 sc ha⁻¹ quando 499,1 mm e para 57,9 sc ha⁻¹ quando utilizados 558,3 mm nas lâminas de irrigação.

Segundo Bernardo; Soares e Mantovani (2019), a irrigação pode ser considerada como fator estratégico para o produtor rural, devido a rentabilidade que pode ser alcançada pelo aumento da produtividade.

Quando utilizada de forma correta e racional, outro benefício que pode ser gerado com a irrigação é a redução do risco de quebra da safra em situações de escassez hídrica facilitando a previsibilidade dos resultados da produção. Conforme Cordeiro da Silva *et al.* (2011), a incerteza ou o desconhecimento das condições meteorológicas e da probabilidade de ocorrência de adversidades climáticas tem sido preocupação no setor agrícola tendo inferência direta nas decisões técnicas e econômicas a serem tomadas.

A despeito das evidentes vantagens do ponto de vista produtivo, no Estado de São Paulo, as áreas irrigadas são reduzidas em relação à área produtiva total. Segundo dados da safra de 2019 a área de soja irrigada foi de 83.836,7 ha e a área do milho irrigado foi de 48.285,1 ha, o que corresponde a 8,5% da área total de soja e 10,2% da área de milho do estado, respectivamente, conforme os dados do Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (2021).

A reduzida área irrigada particularmente nestas culturas pode ser explicada pelo elevado investimento necessário em equipamentos para irrigação que, no caso de grãos é feita por aspersão, via pivô central, além da necessidade de aquisição de licenças de captação de água. Além disso, a adoção desta tecnologia implica em custos operacionais adicionais de energia elétrica e de pagamento pelo uso de água.

De outro lado, os benefícios econômicos da irrigação podem ser mensurados pela receita adicional decorrente do aumento de produtividade e quanto maiores os efeitos da escassez hídrica em uma região ou ano-safra, maiores serão os benefícios da irrigação. Os preços da produção agrícola também podem afetar os benefícios da

irrigação na medida em que preços mais elevados têm maiores probabilidades de cobrirem os custos de implantação e operação dos sistemas de irrigação.

Para que a tecnologia de irrigação seja economicamente viável é necessário que os benefícios econômicos adicionais superem os custos de implantação e operacionais adicionais dos sistemas de irrigação.

No caso do sistema de irrigação por aspersão via pivô central, os custos de implantação referem-se às três etapas da irrigação: a captação de água, transporte para a torre central e distribuição por aspersão na lavoura.

O custo de captação da água decorre do custo de bombeamento de água de uma fonte hídrica, seja ela superficial (rios, lagos, represas) ou subterrânea (poços, lençol freático). Essa etapa é importante para a definição do potencial de área a ser irrigada, uma vez que o custo do pedido de outorga de água depende da vazão e volume disponíveis para a irrigação.

O processo de transporte da água do ponto de captação até a torre central implica em custos de implantação de uma adutora equipada com uma motobomba e estes custos dependem do comprimento da adutora e da potência da motobomba, que são definidos de acordo com a distância e o desnível do terreno entre o ponto de captação e a torre do pivô.

O custo de distribuição de água pelos aspersores refere-se à aquisição de uma tubulação aérea, das torres centrais e móveis e do motor propulsor para movimentar as torres móveis que giram ao redor da torre central, formando a clássica área circular de irrigação.

Os custos operacionais dos sistemas irrigados são os custos de água e de energia, mensurados pelos volumes consumidos destes insumos e seus respectivos preços (preço da água e tarifas de energia elétrica).

A viabilidade econômica de um sistema de irrigação pode ser mensurada pela relação entre os benefícios adicionais do sistema irrigado, medido pela receita líquida adicional decorrente da maior produtividade descontados os custos da água e da energia elétrica, e o investimento inicial no sistema. Muitos fatores podem afetar a viabilidade econômica da irrigação dependendo da região, da cultura, do mercado de produtos e de insumos, mas acredita-se que, em regiões de déficit hídrico em determinados períodos do ano, a irrigação é, em geral economicamente viável.

Assim, a hipótese que norteia esta pesquisa é que o uso da irrigação será economicamente viável mesmo em cenários de variação de condições climáticas e de mercado.

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar a viabilidade econômica do investimento em um sistema de irrigação por pivô central, em uma empresa agrícola do município de Ourinhos/SP, para a produção de soja verão e milho safrinha em sucessão, sob condições de risco climático e de mercado.

Relacionou-se os benefícios da irrigação (via aumento da receita) com os custos de implantação (custos de aquisição de equipamentos de captação, transporte e distribuição de água) e operação do sistema (custos de água e energia), em uma abordagem de estudo de caso de uma propriedade rural no município de Ourinhos/SP, para a implantação de um sistema de irrigação de aspersão por pivô central em área produtiva de 86,24 ha.

Para caracterizar o risco de variação das condições climáticas e de mercado foram consideradas as seguintes variáveis críticas: o diferencial de produtividade das culturas de soja e milho no sistema irrigado em relação ao sistema de sequeiro, os preços de mercado das culturas de soja e milho; o consumo de água e energia elétrica pelo sistema de irrigação, o custo da água, e a tarifa de energia elétrica.

A pesquisa justificou-se pelo crescimento das áreas irrigadas no Brasil, podendo contribuir para a tomada de decisão quanto aos benefícios econômicos da adoção da tecnologia irrigada em sistemas de produção de grãos, visto que poucas propriedades na região em estudo utilizam esta tecnologia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Irrigação

A técnica da irrigação é uma prática agrícola onde são utilizados vários equipamentos e um conjunto de técnicas para corrigir a falta de água para as plantações. Esta técnica está presente em várias situações, como nos campos de campos de futebol ou residências. Esta técnica também está presente na produção de culturas tais como feijão, frutas, além de uma ampla variedade de legumes e verduras – alimentos que são produzidos em grande medida sob irrigação, conforme a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017).

Gibson *et al.* (2018) descrevem que o sistema de irrigação aumenta e estabiliza o rendimento das culturas em áreas onde a precipitação não é suficiente para satisfazer a necessidade das culturas. O autor destaca ainda que a produção irrigada de alimentos corresponde a 40% da produção mundial.

Bernardo; Soares e Mantovani (2009) citam que a prática da irrigação é realizada desde as antigas civilizações e que sempre foi considerada como fator de riqueza, prosperidade e segurança, sendo fundamental para o desenvolvimento da economia dos povos.

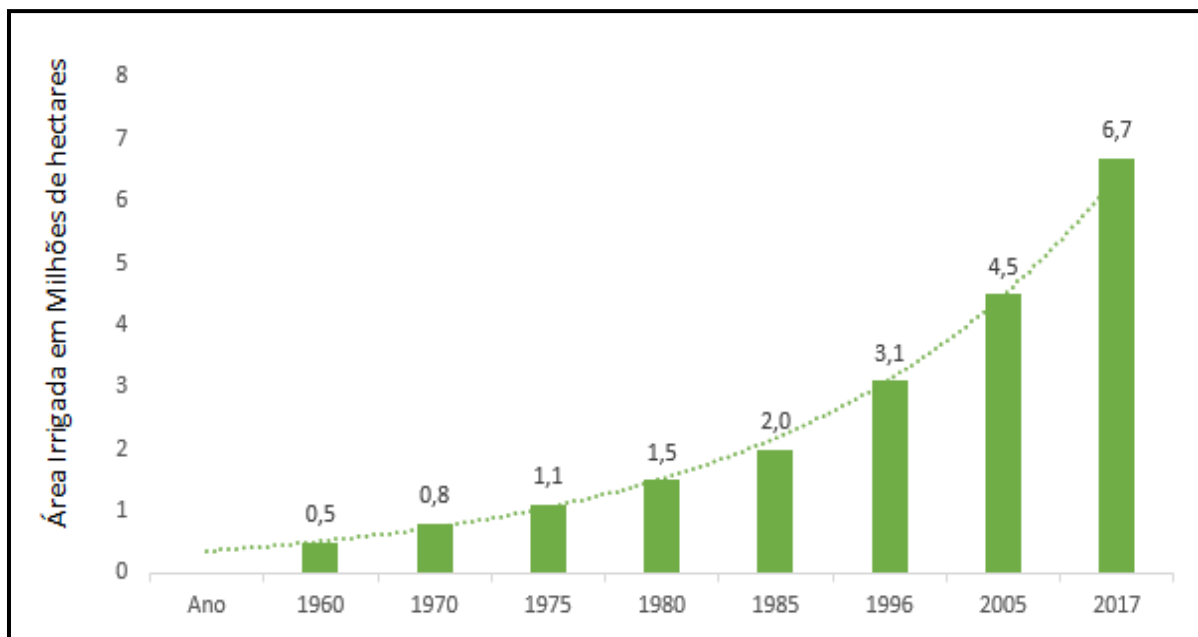
Ainda segundo os autores, a irrigação no mundo teve início há mais de 4.000 anos, com os povos que habitavam as margens dos rios Huang Ho e Lang-tse-Kiang na China, rio Nilo no Egito, rios Tigres e Eufrates na Mesopotâmia e rio Ganges na Índia e no Brasil primeiro registro foi no ano de 1589, no Estado do Rio de Janeiro.

Segundo dados da ANA (2021), o processo do desenvolvimento da irrigação no Brasil iniciou-se no final do século XIX, sendo inicialmente utilizada nas lavouras de arroz, no Estado do Rio Grande do Sul, que é considerado um importante polo de irrigação. Esta técnica se intensificou no país nas décadas de 70 e 80, ocasionando uma expansão da agricultura em regiões que apresentavam déficit hídrico.

No estado de São Paulo, a técnica da irrigação para a produção agrícola, segundo Saad (1998) desenvolveu-se com os grandes planos de fomento à venda de equipamentos de irrigação, decorrentes de políticas públicas dos governos federal e estadual, no final da década de 1970 e início dos anos 80.

A Figura 1 mostra a evolução da área irrigada no Brasil de 1960 a 2017.

Figura 1 – Evolução da Área Irrigada no Brasil



Fonte: Adaptado de ANA (2021).

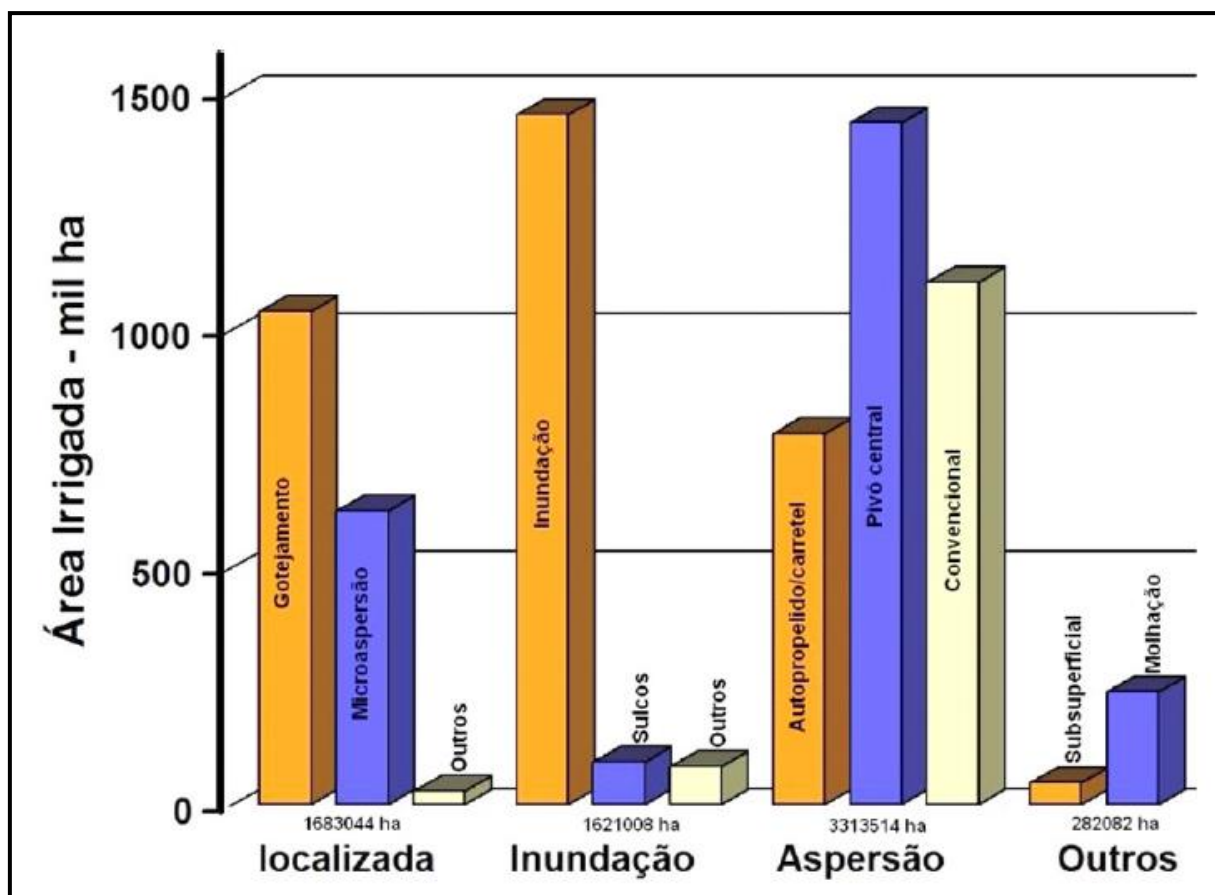
Vários métodos e sistemas de irrigação são utilizados e, segundo Testezlaf (2017), os métodos são agrupados em categorias: **aspersão**, onde a água é aplicada sob pressão acima do solo, por meio de aspersores ou orifícios, na forma de uma chuva artificial; **por superfície**, onde a água é distribuída na superfície do solo e seu nível é controlado para o melhor aproveitamento das plantas; **localizada** (microirrigação), que consiste na aplicação em uma área bastante limitada, utilizando pequenos volumes de água, sob pressão, com alta frequência; e **subsuperficial** (ou subterrânea), onde a água é aplicada abaixo da superfície do solo, formando ou controlando o nível freático, na região em que pode ser aproveitada pelas raízes das plantas.

Ainda segundo o autor, os sistemas de irrigação podem ser classificados em: 1) inundação por sulco ou superfície; 2) aspersão 3) gotejamento ou microaspersão e 4) gotejamento subterrâneo; elevação do nível freático; e mesas de subirrigação.

Conforme dados da ANA (2021), o crescimento médio anual da área irrigada no Brasil foi recorde na última década, passando de 130 mil hectares ao ano (média 2000-2011) para 216 mil hectares ao ano (média 2012-2019).

A Figura 2 apresenta a área irrigada no Brasil com a utilização de métodos e sistemas de irrigação.

Figura 2 –Área irrigada no Brasil por métodos e sistemas de irrigação



Fonte: Guimarães e Landau (2020).

A ANA (2021) destaca a existência de maior concentração de sistemas de irrigação nas seguintes situações: i) cultura do arroz na região Sul e no estado de Tocantins; ii) cana-de-açúcar irrigada no litoral nordestino, e cana-de-açúcar fertirrigada na região Centro-Sul (São Paulo, Sul-Sudoeste de Goiás, Triângulo Mineiro); iii) café nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Rondônia e, por fim; iv) em outras culturas na região central brasileira, destacando os estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia, além de culturas nas regiões Norte e Semiárido.

Segundo Guimarães e Landau (2020), os métodos de irrigação por inundação e aspersão correspondem à metade das áreas irrigadas no Brasil, destacando-se o sistema de irrigação por aspersão com pivô central como o mais utilizado.

Mantovani; Bernardo e Palaretti (2009) descrevem que a irrigação por pivô central é uma das técnicas mais utilizadas, sendo adequada para áreas de tamanhos médio e grande, com aplicação de água através de aspersores, difusores ou emissores localizados em bengalas.

Matilla *et al.* (2021) citam que as soluções tecnológicas como a irrigação têm aumentado as áreas de cultivos em países como a Espanha e a Itália e o método de aspersão por pivô central tem facilitado o trabalho dos agricultores. Os autores também descrevem o método como uma maneira de pulverizar a água através de bicos, criando uma precipitação artificial.

A técnica da irrigação por pivô central é descrita por Gomes (1994) como um sistema onde a água é aplicada sob pressão do dispositivo central acima do solo, através de aspersores ou orifícios que se apoiam em torres metálicas, como se fosse uma chuva artificial.

Conforme Bernardo; Soares e Mantovani (2019), o método da irrigação por pivô central consiste em um sistema de movimentação em círculos, geralmente compostos por tubos para a condução da água sob pressão com vários aspersores que tem comprimento variável. Tem como base torres dotadas de rodas que trabalham os dispositivos de propulsão do sistema, imprimindo à linha um movimento rotativo em torno de um pivô, que tem o papel de fazer a ancoragem e tomada de água.

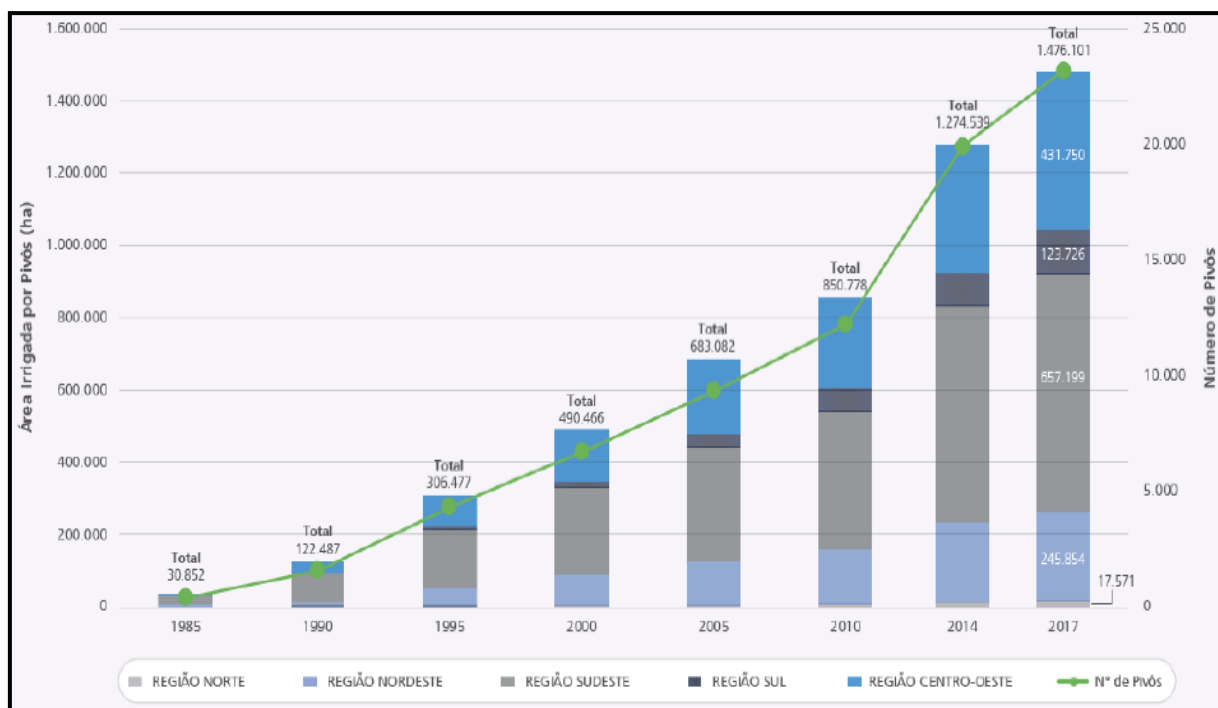
Maroueli; Carvalho e Silva e Ribeiro da Silva (2008) descrevem que a eficiência do sistema de pivô central varia entre 80% e 90% e está dentro dos limites de valores aceitáveis de eficiência de um sistema de irrigação.

Guimarães e Landau (2020) citam que os Estados Unidos foi o país que desenvolveu o primeiro sistema de irrigação por pivô central e fez seu registro de patente no ano de 1952 e contribuiu para a transformação das regiões semiáridas das Planícies da América do Norte. Este sistema de irrigação ainda é o mais utilizado no país.

Os autores descrevem que no Brasil o primeiro pivô central foi instalado em 1979 na bacia do rio Tietê no município de Brotas, em São Paulo. Desde então, a área irrigada por pivôs centrais apresentou crescimento que se acelerou a partir de 2010, chegando a uma área de 1.612.617,3 hectares em 2020, com o registro de 25.292 equipamentos instalados e utilizados em áreas que variam em 0,5 e 532,9 ha.

A Figura 3 mostra o crescimento da área irrigada por pivô central no Brasil entre os anos de 1985 e 2017.

Figura 3: Área irrigada por pivôs centrais no Brasil de 1985 a 2017



Fonte: Guimarães e Landau (2020).

De acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC, 2020) a irrigação por aspersão apresenta vantagens e desvantagens conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens da irrigação por aspersão

Irrigação por Aspersão	
Vantagens	Desvantagens
Adapta-se a terrenos com declividades mais acentuadas e superfícies menos uniformes.	Não é recomendada para locais de ventos fortes e constantes, pois o vento afeta a uniformidade de distribuição de água pelos aspersores. Em regiões de baixa umidade relativa do ar e de temperaturas elevadas, a perda de água por evaporação pode atingir valores altos.
Pode ser utilizado em solos com alta capacidade de infiltração e baixa capacidade de retenção de água, como os arenosos, por permitir irrigações frequentes e com menor quantidade de água.	Pode favorecer a incidência de doenças nas plantas, por molhar as folhas e aumentar a umidade relativa do ar. Quando o macroclima é favorável a doenças, o microclima resultante da irrigação tem menor importância.
Propicia, em geral, distribuição de água mais uniforme.	Pode interferir com alguns tratamentos culturais por lavar a parte aérea das plantas.
Interfere pouco com as práticas agrícolas. Em alguns sistemas, os acessórios facilitam a rápida desmontagem do equipamento.	Pode causar prejuízos à fixação de botões florais ou mesmo de frutos novos devido ao impacto mecânico das gotas, quando os sistemas estão trabalhando abaixo da pressão de serviço recomendada.
A eficiência de condução é alta, pois os condutos fechados evitam perdas de água por infiltração, escorrimento e evaporação.	Não permite o uso da água salina para irrigação, por reduzir a vida útil do equipamento, ainda que seja um bom método no controle da salinidade.
Deixa maior área disponível para a cultura devido à ausência de canais e sulcos.	Envolve alto investimento inicial.
Permite maior economia de mão de obra, quando os sistemas são permanentes ou mecanizados.	Pode provocar compactação e erosão do solo quando altas taxas de aplicação de água.
Permite a aplicação de produtos químicos, via água de irrigação.	
Permite o uso de certas águas residuais por proporcionar grande oxigenação na água.	
Pode ser aplicado para reduzir a temperatura do ar e na proteção contra geadas. A proteção se consegue com o calor liberado pelo congelamento da água.	

Fonte: Adaptado de AGEITEC (2020).

Mantovani; Bernardo e Palaretti (2009) descrevem que o sistema de pivô central também oferece a vantagem de apresentar o mesmo alinhamento e velocidade em todas as irrigações; além disso, após completar um ciclo de irrigação, o sistema está

pronto para iniciar outro ciclo de irrigação; e o sistema também apresenta uniformidade de aplicação.

Segundo ANA (2021), a irrigação apresenta uma série de vantagens em relação ao cultivo em sequeiro: aumento da produtividade da ordem de duas a três vezes em relação ao cultivo em sequeiro; elevação da renda do produtor rural e redução dos riscos de produção; utilização do solo durante todo o ano; aumento e regularidade da oferta de alimentos como arroz feijão, trigo, batata, frutas e verduras; maior viabilidade para culturas de maior valor agregado, criação de polos agroindustriais; e abertura de novos mercados.

Segundo Mantovani; Bernardo e Palaretti (2009), a irrigação não pode ser considerada de forma isolada na produção agrícola, mas como parte de um conjunto de técnicas que garante a produção de uma determinada cultura, como sistemas de plantio, possibilidades de rotação de culturas, proteção dos solos, fertilidade, manejo integrado de pragas e mecanização.

Para Andrade Junior *et al.* (2017), ao realizar o planejamento e manejo das áreas irrigadas é necessário o conhecimento da evapotranspiração da cultura, para evitar o desperdício de água e garantir a sustentabilidade do sistema de produção.

2.2 Aspectos econômicos da irrigação

De acordo com Bernardo; Soares e Mantovani (2009), a irrigação precisa ser entendida dentro do foco empresarial do agronegócio como uma estratégia para elevar a rentabilidade da propriedade por meio do aumento da produtividade, de maneira sustentável. Os autores citam que nos locais onde os sistemas de irrigação foram implantados, ocorreram mudanças socioeconômicas tais como: i) criação de empregos diretos; ii) aumento da renda *per capita*; crescimento da demanda de bens e serviços; iii) diminuição do êxodo rural; e iv) melhoria nas condições de saúde, educação, habitação e lazer.

Gomes (1994) cita que a irrigação é uma técnica imprescindível para que uma agricultura possa ser mais rentável em quase todas as regiões e climas do planeta.

Folegatti; Pessoa e Paz (1998) descrevem que no Brasil os grandes projetos de sistemas de irrigação, como o de aspersão por pivô central, demandam um alto investimento, impedindo que pequenos produtores os utilizem, mas para Dillon (2011)

projetos de irrigação, mesmo para a produção em pequena escala, geram diversos benefícios em termos de eficiência produtiva, baixos custos e maior influência sobre a gestão dos recursos hídricos.

Oliveira, Knies e Gomes (2020) em um estudo realizado na região de Cachoeira do Sul/RS, descreveram o aumento da produtividade da soja com o uso da tecnologia da irrigação. Foi constatado um aumento da produtividade com a irrigação em média de 22,6% para as diversas cultivares de soja analisadas. Os autores descreveram que a produtividade média das culturas irrigadas passou de 3.516,2 kg ha⁻¹ para 4.309,3 kg ha⁻¹.

Conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2020) a produção do arroz no estado do Tocantins aumentou graças à implantação de novas tecnologias como a irrigação.

O resultado positivo no balanço agrícola nacional teve como origem a área cultivada de arroz irrigado no Estado, que passou de 65 mil toneladas por ha.ano para 108 mil toneladas por ha.ano nos últimos anos, totalizando uma produção de 750 mil toneladas por ano. (n.p).

Darré *et al.* (2019) realizaram pesquisa em seis fazendas no Uruguai sobre a produtividade da soja e milho irrigados. Os autores constataram que a produtividade com a tecnologia da irrigação foi 37,9% superior à cultura de sequeiro da soja, e 32,2% superior para o milho. A produtividade da soja irrigada foi de 3.423 kg ha⁻¹ e a do milho foi de 7.862 kg ha⁻¹. Em sistema de sequeiro a soja apresentou uma produção de 2.482 kg ha⁻¹ e o milho de 5.948 kg ha⁻¹.

Em estudo de Gava *et al.* (2018) no município de Chapadão do Sul/MS sobre a tecnologia da irrigação, foi constatado um aumento na produtividade da soja irrigada em relação à de sequeiro de 62,6%. As quantidades colhidas foram 6.174 kg ha⁻¹ para o cultivo irrigado e 3.798 kg ha⁻¹ para o cultivo em sequeiro.

Castillo; Louzada e Castro (2018) citam que a soja cultivada em sequeiro é a principal cultura do estado do Rio Grande do Sul, e ao realizarem um estudo para estimar os benefícios gerados pela irrigação, constataram que a produtividade teve um aumento em 1.670 kg ha⁻¹, um incremento de 27,8 sc ha⁻¹ em relação ao sequeiro.

Barcellos (2017), ao realizar um estudo sobre o milho irrigado utilizando um sistema por pivô central no município de Tupanciretã/RS, constatou que o resultado foi o aumento da produtividade na ordem de 24% da primeira para a segunda safra.

Um estudo realizado por Faraco *et al.* (2018) na Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA-IRGA), ao introduzir o milho como alternativa para a rotação de culturas, apresentou uma produtividade acima de 10 t ha⁻¹. Os autores descrevem que o uso da irrigação com uma drenagem eficiente é tecnicamente viável.

As pesquisas em irrigação da cana-de-açúcar, com experimentos na Embrapa Cerrados (2016) e usinas parceiras, mostram o grande potencial da prática para aumentar a produtividade da cultura no Cerrado. Com a irrigação, a cana-planta atinge produtividade de colmos de até 255 t/ha e a primeira soca até 220 t/ha para as melhores variedades – índices muito superiores à média da região Centro-Sul do País, normalmente inferior a 80 t/ha.

Um estudo sobre a irrigação da soja e sua produtividade, foi realizado por Irmak *et al.* (2014) no Centro Sul de Nebraska. No estudo foi constatado que a produtividade teve um incremento de 22,3% quando utilizada a irrigação. Os autores descreveram que a área irrigada teve uma produtividade de 4.940 kg ha⁻¹ e 4.040 kg ha⁻¹ em sequeiro.

Gomes *et al.* (2013), em estudo realizado sobre a produção do feijão irrigado no norte do estado do Paraná, constataram que a cultura foi inviável economicamente sem a utilização da irrigação e quando utilizada, a produtividade atingiu 1.800 a 2.500 kg/ha⁻¹. Os autores afirmam que a irrigação promove a viabilidade econômica, tanto no curto quanto no longo prazo.

Um estudo da EMBRAPA (2012) com foco não apenas na produtividade, mas também no consumo de água. No ano de 2005, pelo Projeto Raioba (desenvolvimento e adaptação de técnicas de manejo de água na cafeicultura irrigada em solos arenosos do oeste baiano), apresentou como resultado uma redução no consumo da água em 23% para o café irrigado no ano.

A produtividade da soja irrigada também foi estudada por Ruviaro *et al.* (2011) na região do Vale do Jaguarí/RS. No experimento constatou-se o aumento da produtividade da soja irrigada quando comparada com a de sequeiro de 12,3%. O uso da técnica da irrigação proporcionou uma produtividade de 4.045 kg ha⁻¹ na área irrigada e 3.602 kg ha⁻¹ na área em sequeiro.

De acordo com o Anuário da Agricultura Brasileira (2009), o incremento da irrigação na cultura do maracujá resultou em aumento de produtividade de 8 t ha⁻¹ na

região da Alta Paulista, passando de 30 t ha⁻¹ em sequeiro para 38 t ha⁻¹ quando irrigado.

Na produção do girassol irrigado na região de Lavras/MG, realizado por Oliveira e Silva *et al.* (2007) utilizando dados experimentais coletados na Universidade Federal de Lavras (UFLA), foi constatado o aumento da produção de girassol quando irrigado. O girassol submetido a lâmina de água de 522,14 mm, teve uma produtividade de 2.863 kg ha⁻¹. Na produção em sequeiro, com a precipitação de 117,2 mm, a produtividade foi de 1.924,7 kg ha⁻¹.

Herzog; Levien e Trein (2004), realizaram um estudo na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS) envolvendo os sistemas de plantio irrigado e não irrigado constataram o aumento de 11% na produção de grãos quando irrigado. Maehler *et al.* (2003) ao realizar um estudo sobre a produtividade da soja irrigada, na mesma unidade experimental (EEA-UFRGS), constatou um aumento de 50,8%, obtendo-se 5.189 kg ha⁻¹ no sistema irrigado e 3.440 kg ha⁻¹ em sistema de sequeiro.

Ao estimar os gastos envolvidos nas culturas irrigadas, Matoso e Silva (1989) descreveram que além dos insumos agrícolas e operações e serviços, é preciso adicionar os gastos com o sistema de irrigação como consumo de energia elétrica, depreciação, parcela anual do investimento, manutenção, reparos e o custo da água.

Lúcia da Silva; Faria e Reis (2003) descrevem que os custos, assim como o retorno esperado na implantação de um sistema de irrigação, devem ser verificados por meio de avaliação econômica, para indicar se o projeto será viável ou não.

Para Vilas Boas *et al.* (2011), o uso da irrigação traz vários benefícios, porém, os riscos de sua adoção devem ser analisados criteriosamente, devendo os incrementos nos rendimentos produtivos serem maiores do que os custos de produção.

Barcellos (2017) ao analisar o custo médio total do milho irrigado em duas safras, 2015/16 e 2016/17, no Rio Grande do Sul, constatou rentabilidade econômica de 24,6% e um índice de relação benefício custo de 1,246 indicando a viabilidade para a produção irrigada na região.

Richetti; Flumignan e Almeida (2015) em estudo sobre a viabilidade econômica da soja irrigada no Mato Grosso do Sul, referente à safra 2015/16, foi descrito que o percentual referente aos gastos com a irrigação foi de 10,9% e a relação. Ainda de acordo com os autores, o índice benefício custo correspondeu a 1,2 e indicou a eficiência da produção.

Ruviaro *et al.* (2011) ao analisar a viabilidade da irrigação complementar para a soja na região do Vale do Jaguari/RS na safra 2010/11, constatou um aumento da produtividade de 13,3%, gerando uma receita líquida maior em relação a região.

Em um estudo foi realizado na China durante 2 anos, GAO *et al.* (2021) e relacionaram o manejo da irrigação à produtividade do milho e constataram que o uso da tecnologia, associado a quantidade correta da água, geraram benefícios econômicos. Foi descrito que o aumento da produtividade, combinado com o preço de venda do produto, elevou o ganho econômico entre 34,2% e 35,6%.

Oliveira *et al.* (2020) em estudo sobre a viabilidade econômica da produção do feijão, soja e milho irrigados por pivô central na região de Coimbra/MG, constataram que os índices de benefício custo foram: 1,67 para o milho; 1,23 para o feijão; e 1,17 para a soja. O prazo médio para o retorno do investimento foi de 4,7 anos.

De acordo com um estudo realizado por Arêdes *et al.* (2009) na região de Paulínia/SP sobre a produção do maracujá irrigado, verificou-se que a relação benefício custo foi de 1,29, indicando a viabilidade econômica da irrigação na cultura.

Em estudo sobre a viabilidade econômica com o feijão irrigado, realizado no estado de Minas Gerais por Gomes *et al.* (2013) constatou-se a viabilidade econômica de curto e longo prazo com indicadores de benefício custo de 1,88 e 1,54 respectivamente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A empresa rural em que o estudo foi realizado localiza-se no município de Ourinhos, no interior do estado de São Paulo, à Oeste da capital paulista, a uma distância de 370 km. O município pertence à Região Administrativa de Marília e, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), apresenta uma população estimada de 114.352 habitantes, sendo o 73º município mais populoso entre os 645 municípios paulistas.

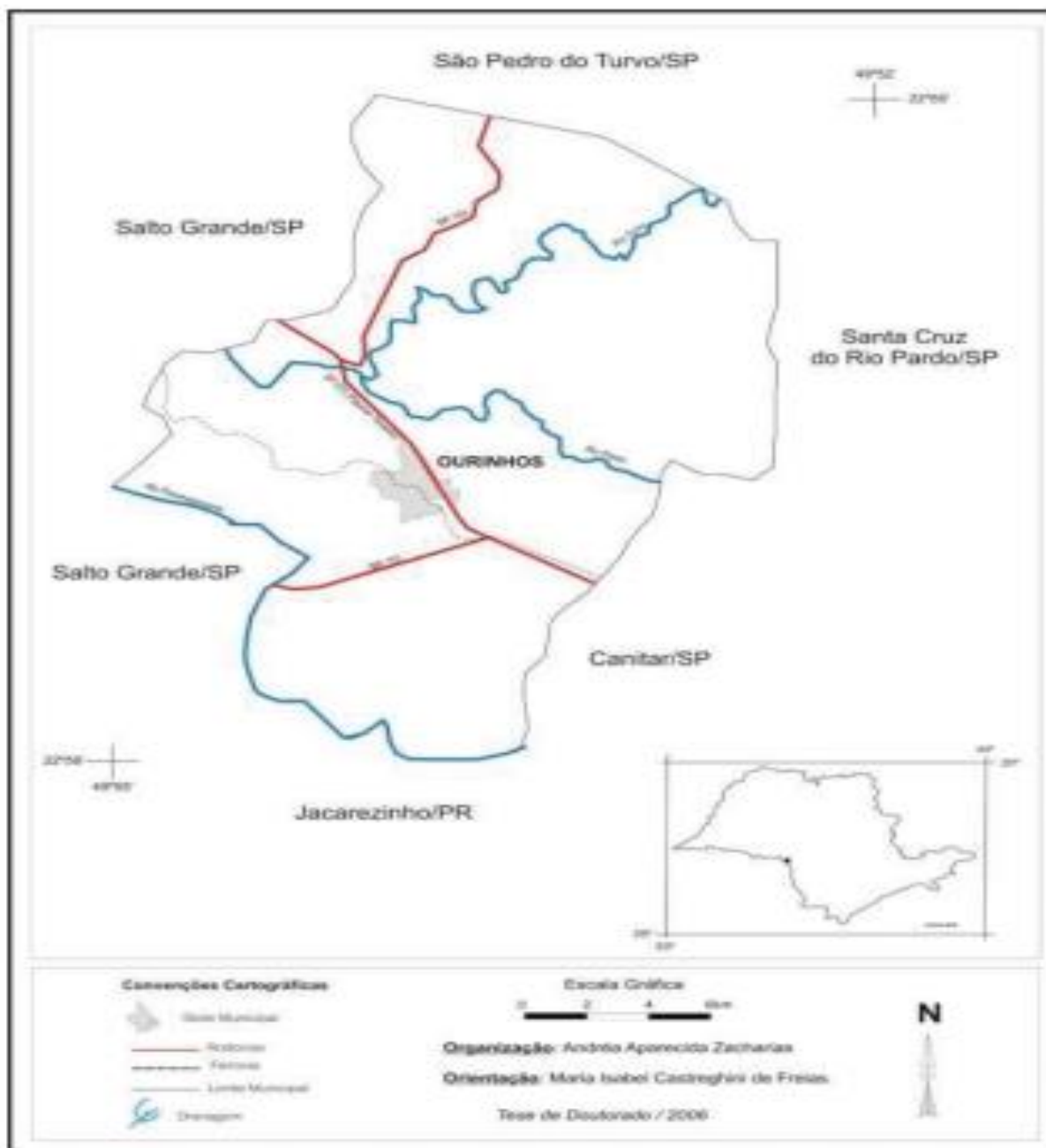
Apresenta uma temperatura média anual de 22,1°C, vegetação nativa com características predominantes do bioma Mata Atlântica com topografia levemente acidentada. O município está localizado na Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema e é atravessado pelos rios Paranapanema, Pardo e Turvo que fazem parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI 17).

Ainda sobre o município de Ourinhos, conforme Zacharias (2006, p. 21) “Sua posição geográfica situa-se entre as coordenadas 22°55’ a 22°58’S e 49°52 a 49°55’W, a 483 m de altitude [...]”.

Sobre o clima, o município “[...] apresenta um clima tropical úmido [...] caracterizado por inverno seco, aonde o mês mais frio tem temperatura média maior que 18,0°C” (BENTO; BASSO; NERY, 2017, p. 2.634).

A Figura 4 apresenta a localização geográfica do município.

Figura 4 - Localização geográfica do município de Ourinhos/SP



Fonte: Zacharias (2006).

A economia do município é baseada no comércio, na pecuária e na agricultura. Na agricultura, destacam-se as culturas da cana-de-açúcar, da soja e do milho, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Produção agrícola do município de Ourinhos/SP no ano de 2020

	Produto	Área em ha	Quantidade produzida em toneladas
1	Cana para indústria	98.010	7.721.050
2	Soja	116.450	385.539
3	Milho Safrinha	85.000	261.528
4	Mandioca para indústria	4.676	120.465
5	Milho	8.530	51.351
6	Tomate envarado	114	13.450
7	Batata	200	8.000
8	Sorgo granífero da seca	1.969	6.801
9	Feijão (águas, seca, inverno)	2.229	6.233
10	Amendoim	272	836

Fonte: Adaptado de Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (2021).

A propriedade em estudo tem sua localização próxima a mancha urbana do município de Ourinhos a uma distância de 15 km. A propriedade tem uma área aproximada de 124 ha, sendo utilizado para a produção 86,24 ha.

O solo da propriedade é composto por 41% de argila; 36% de silte e 23% de areia e o relevo apresenta declividade que varia entre 5% e 15%. Os proprietários administram a propriedade e contam com o trabalho de mais dois colaboradores, registrados como tratoristas que auxiliam no processo produtivo das culturas da soja e do milho, que são cultivadas no sistema de sucessão de culturas, com a soja sendo cultivada no verão e o milho no inverno. Também tem o suporte de um agrônomo para as informações técnicas.

A comercialização dos grãos é realizada junto às cooperativas regionais e os proprietários também têm uma carteira de clientes, que foi formada ao longo dos anos, para o oferecimento dos seus produtos.

3.2 Fonte de dados

A pesquisa foi desenvolvida a partir de dados obtidos de fontes primárias e secundárias. Os dados primários foram coletados junto ao produtor rural e produtores da região, e os dados secundários foram obtidos por meio de pesquisas documentais

em publicações disponíveis. A Tabela 2 sintetiza os dados coletados e utilizados no trabalho, indicando sua denominação e fonte:

Quadro 2 - Síntese dos dados coletados por fonte

Custos Operacionais Efetivos (mão-de-obra, insumos, maquinário)	Propriedade
Produtividade das culturas Irrigadas	Propriedades da região
Produtividade das culturas de sequeiro	Propriedade
Preço de venda das culturas de milho e soja	Propriedade
Valor de aquisição do sistema de irrigação	Empresa especializada
Consumo de água pelo sistema de irrigação	Propriedades da região
Consumo de energia elétrica pelo sistema de irrigação	Empresa especializada
Tarifa de cobrança de água	Agência das Bacias PCJ -Decreto n. 61430/2015 – São Paulo
Tarifa de energia elétrica	Empresa Pesquisa Energética – Anuário Estatístico de Energia
Taxa de SELIC	Banco Central

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

3.3 Metodologia

Para analisar a viabilidade econômica da irrigação das culturas de soja verão e milho safrinha utilizou-se um indicador bastante comum em análise de viabilidade econômica de projetos que é a Relação Benefício Custo (RBC). Este indicador se mostra adequado para o presente estudo, por comparar os benefícios dos sistemas irrigados com os custos de sua implantação e operação.

É importante destacar que os custos de produção são os mesmos para as culturas de sequeiro e irrigadas, com exceção dos custos de irrigação. Assim, o RBC será estimado de forma marginal ou adicional, ou seja, o benefício será dado pela receita líquida adicional (RLA) proporcionada pelo aumento da produtividade com a irrigação, descontados os custos da água e da energia conforme equação a seguir:

$$RLA = RBAs + RBAm - (CA + CE)$$

Onde:

- RLA = Receita Líquida Adicional
 RBAs = Receita Bruta Adicional da soja (R\$)
 RBAm = Receita Bruta Adicional do milho (R\$)
 CA = custo da água de irrigação
 CE = custo de energia elétrica para irrigação

Desagregando as Receitas Brutas Adicionais da soja e do milho (RBAs e RBAm), tem-se:

$$RLA = (QSirr - QSseq).PS + (QMirr - QMseq).PM - (CA + CE)$$

Onde:

- QSirr = quantidade produzida na soja irrigada (sacas)
 QSseq = quantidade produzida na soja de sequeiro (sacas)
 PS = preço da soja (R\$/saca)
 QMirr = quantidade produzida de milho irrigado (sacas)
 QMseq = quantidade produzida de milho de sequeiro (sacas)
 PM = preço do milho (R\$/saca)

Desagregando os custos de água e energia utilizadas na irrigação tem-se:

$$CA + CE = (QAs.Pa) + (QAm.Pa) + (QEs.Te) + (QEm.Te)$$

- CA = custo da água de irrigação (R\$)
 CE = custo de energia elétrica para irrigação (R\$)
 QAs = Quantidade de água para irrigação da cultura da soja (m³)
 Pa = preço da água (R\$/ m³)
 QAm = Quantidade de água para irrigação da cultura do milho (m³)
 QEs = Quantidade de energia elétrica para irrigação da cultura da soja (Kwh)
 Te = Tarifa de energia elétrica (R\$/Kwh)

QEm = Quantidade de energia elétrica para irrigação da cultura do milho
(Kwh)

As quantidades produzidas de soja e milho, bem como o consumo de água e energia elétrica referem-se à área total de produção de 86,24 ha.

As RLAs são obtidas ao longo do tempo de vida útil do equipamento de irrigação e para que possam ser comparadas ao Investimento Inicial (I_0), para determinação da relação Benefício Custo (RBC), devem ser descontadas a uma taxa r , dada pela SELIC, e somadas, conforme mostra a equação a seguir.

$$RBC = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{RLA_t}{(1+r)^t}}{I_0}$$

onde:

- RBC = Relação Benefício Custo (adimensional)
- RLA = Receita Líquida Adicional com a irrigação com a soja e milho (R\$)
- I_0 = Investimento em sistema de irrigação (em R\$)
- r = taxa de desconto (SELIC) (% ao ano)
- t = contador de tempo em anos
- n = vida útil do sistema de irrigação (10 anos)

Para que o investimento em irrigação por aspersão do milho e da soja seja economicamente viável, o RBC deve ser maior que 1, ou seja, a somatória das receitas líquidas adicionais (RLA) descontadas para o valor presente devem ser maiores que o investimento inicial. O RBC é um número adimensional, pois compara duas variáveis de mesma unidade; e valores maiores que 1 mostram em quanto as receitas líquidas adicionais são maiores que o custo do investimento inicial.

A determinação do RBC foi realizada inicialmente para três cenários baseados nos níveis de produtividade de soja e milho de sequeiro e na produtividade da soja e milho irrigados aos níveis médios dos preços, relativos aos últimos dados disponíveis. Estes resultados podem dar indicações iniciais da variação do RBC no período analisado. A Tabela 2 mostra as produtividades utilizadas para calcular os diferenciais de produtividade em três cenários no período de 2014/15 a 2019/20

Tabela 2 – Produtividades utilizadas para o desenho de 3 cenários de RBC

Cenários	Produtividade	Produtividade	Produtividade	Produtividade
	Milho Sequeiro	Milho Irrigado	Soja Sequeiro	Soja Irrigado
Cenário 1	Média	Média	Média	Média
Cenário 2	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Cenário 3	Mínimo	Máxima	Mínimo	Máxima

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O cenário 1 mostra a RBC dadas as produtividades médias tanto no sistema em sequeiro quanto irrigado. O cenário 2 pode ser considerado o cenário mais pessimista, pois minimiza o diferencial de produtividade entre os sistemas. O cenário 3 é um cenário considerado otimista, pois apresenta o maior diferencial de produtividade, utilizando a máxima produtividade do sistema irrigado e a menor produtividade do sistema em sequeiro, gerando, portanto, a maior receita bruta adicional.

A análise de risco, complementarmente, mede o valor do indicador de resultado (no caso o RBC), não apenas no aspecto de sua amplitude, mas também associando o indicador a uma probabilidade de ocorrência. Para a análise de risco do investimento em sistema de irrigação das duas culturas na propriedade foi utilizada a técnica de simulação de Monte Carlo.

Segundo Lustosa; Ponte e Dominas (2004), a simulação de Monte Carlos corresponde a um método que utiliza a geração de número aleatórios como resultado das variáveis que se pretende simular. Este método é aplicado em projetos que envolvam riscos e incertezas.

Ao contrário da análise determinística, que utiliza valores únicos para a obtenção de um indicador do sistema (geralmente a média das variáveis críticas), a técnica de simulação de Monte Carlo permite incorporar as possibilidades de alterações destas variáveis, segundo as probabilidades de sua ocorrência, permitindo assim, captar a variabilidade de variáveis que influenciam o indicador, como preços, produtividade e custo. O método de simulação de Monte Carlo é uma técnica de amostragem artificial inteiramente aleatória, ou seja, qualquer amostra dada pode ocorrer em qualquer lugar dentro do intervalo da distribuição dada (HENRIQUE DA SILVA, 2008, p. 46).

Conforme Aven (2003 *apud* ESPERANCINI, 2006, p. 26-27), o método de Monte Carlo apresenta as seguintes etapas:

1) Seleção e identificação das distribuições de probabilidades das variáveis em estudo, 2) Seleção aleatória de um valor de cada variável em estudo, associada à probabilidade de sua ocorrência, 3) Determinação do valor do indicador de desempenho do sistema utilizando o valor da variável associada à probabilidade de ocorrência, 4) Repetição das etapas 2 e 3 até que a distribuição de probabilidade do indicador de rentabilidade satisfaça as exigências dos tomadores de decisão [...].

Para a realização da primeira etapa, foram coletados dados referentes as variáveis preditivas ou de risco, ou seja, aquelas que influenciam na variabilidade dos resultados.

Considerou-se como variáveis de risco o preço de venda da soja e do milho; a produtividade das duas culturas nos dois sistemas (irrigada e sequeiro); a quantidade de água e preço da água utilizada no processo; quantidade de energia e tarifa de energia elétrica consumida na irrigação da soja e do milho.

Os valores monetários foram deflacionados pelo IGP-M com base em julho de 2021. As variáveis de risco físicas (produtividades e consumo de água e energia) foram coletados no período das safras de 2014/2015 a 2019/20. Os dados de produtividade das culturas em sequeiro foram coletados no mesmo período na propriedade estudada e os dados de produtividade das culturas irrigadas foram coletados junto a produtores rurais da região que utilizam a técnica da irrigação nestas culturas.

As tarifas de água e energia foram coletadas respectivamente, junto à Agência das Bacias PCJ (2021), conforme Decreto n. 61430-2015, e pela Empresa de Pesquisa Energética, no Anuário Estatístico de Energia Elétrica (BRASIL 2021).

A partir dos dados coletados, foram determinadas as melhores distribuições de probabilidade de ocorrência das variáveis de risco ou críticas pelo teste de Chi-quadrado.

Assim, o indicador RBC determinado sob a ótica da análise de risco será dado por:

$$RBC = \frac{\sum \left(\frac{\left((f(QSirr) - f(QSseq)) \cdot f(PS) \right) + \left((f(QMirr) - f(QMseq)) \cdot f(PM) \right) - \left((f(CA) + f(CE)) \right)}{(1+r)^n} \right)}{I_0}$$

onde:

RBC = Relação Benefício Custo

$f(QS_{irr})$ = Função de distribuição de probabilidade da produtividade da soja irrigada

$f(QS_{seq})$ = Função de distribuição de probabilidade da produtividade da soja sequeiro

$f(PS)$ = Função de distribuição de probabilidade de preços de venda da soja

$f(QM_{irr})$ = Função de distribuição de probabilidade da produtividade do milho irrigado

$f(QM_{seq})$ = Função de distribuição de probabilidade da produtividade do milho sequeiro

$f(PM)$ = Função de distribuição de probabilidade de preços de venda do milho

As funções de distribuição do custo da água ($f(CA)$) e do custo de energia ($f(CE)$) são estimadas a partir do consumo e das tarifas praticadas, conforme mostrado a seguir:

$$f(CA) = (f(T_{\text{água}}).f(QA_{\text{milho}})) + (f(T_{\text{água}}).f(QA_{\text{soja}}))$$

onde:

$f(CA)$ = Função de distribuição de probabilidade do custo da água

$f(T_{\text{água}})$ = Função de distribuição de probabilidade da tarifa de uso da água

$f(QA_{\text{milho}})$ = Função de distribuição de probabilidade da quantidade de água usada na cultura de milho irrigado

$f(QA_{\text{soja}})$ = Função de distribuição de probabilidade da quantidade de água usada na cultura da soja irrigada

e;

$$f(CE) = (f(T_{\text{energia elétrica}}).f(QE_{\text{milho}})) + (f(T_{\text{energia elétrica}}).f(QE_{\text{soja}}))$$

onde:

$f(CE)$ = Função de distribuição de probabilidade do custo de energia para irrigação

$f(T_{\text{energia elétrica}})$ = Função de distribuição de probabilidade da tarifa de energia elétrica

$f(QE_{\text{milho}})$ = Função de distribuição de probabilidade da quantidade de energia usada na cultura de milho irrigado

$f(QE_{\text{soja}})$ = Função de distribuição de probabilidade da quantidade de energia usada na cultura da soja irrigada

As unidades das variáveis de risco são as mesmas utilizadas na análise determinísticas.

Na análise de risco, ao invés de se utilizar um valor determinístico para as variáveis foram utilizadas as funções de distribuições de probabilidade de sua ocorrência.

3.4 Indicadores de risco

Para avaliar o retorno e os riscos do investimento na implantação de um sistema de irrigação, foi utilizado um conjunto de resultados compostos por: 1) medidas estatísticas da Relação Benefício Custo; 2) percentis de riscos; 3) distribuições de probabilidade do resultado do indicador; e 4) análise de sensibilidade a partir dos coeficientes de regressão e determinação (R^2).

As medidas estatísticas utilizadas foram os valores mínimo, máximo, média, mediana, moda, variância, desvio padrão, distorção (ou assimetria) e curtose do indicador RBC.

Foi determinado o RBC médio a partir da média dos indicadores de RBC nas simulações realizadas. Da mesma forma foram estimadas a Mediana e a Moda. Também foi realizado o teste de normalidade da distribuição das variáveis.

Para as medidas de dispersão uma das medidas estatísticas foi a variância que é o desvio de cada valor em relação à média. Quanto mais próximos os valores da média, menor tende a ser variância. Esta medida é apresentada por:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Também foi estimado o desvio padrão, que é a raiz quadrada da variância da distribuição. É uma avaliação da dispersão em relação a média, sendo útil para a descrição do desvio médio.

A assimetria indica o grau de desvio ou afastamento da simetria de uma distribuição. Conforme Esperancini (2006, p. 49),

[...] um valor de assimetria maior que 1 ou menor que 1, indica uma distribuição altamente assimétrica. Um valor entre 0,5 e 1 e 0,5 e 1, indica uma curva moderadamente assimétrica, e um valor entre 0,5 e 0,5 indica que a curva é próxima da simetria. Este indicador é dado por:

$$A = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3}$$

A curtose indica o grau de achatamento de uma distribuição em relação a distribuição normal e refere-se ao pico da distribuição. Uma distribuição pode ser perfeitamente simétrica, mas pode apresentar achatamento ou curtose. Uma distribuição normal é usada como referência de curtose e tem valor igual a 3. Distribuições com valor de curtose menores que 3 são platicúrticas ou achatadas, e maior que 3 são leptocúrticas, não apresentando achatamento.

Os percentis de risco representam um mapa decisório para a adoção da irrigação pelo critério da RBC. Tomadores de decisão com diferentes níveis de risco podem verificar se a RBC em cada nível de risco adequa-se às metas estabelecidas para o ganho líquido com a tecnologia.

A distribuição de probabilidade do resultado do indicador mostra dois resultados importantes para o tomador de decisão, sendo um deles referente os resultados com maiores chances de ocorrer e a chance de o resultado ser negativo para o investidor.

Por fim, a análise de sensibilidade mostra a resposta do indicador RBC a mudanças nas variáveis de risco, sendo utilizados os coeficientes de regressão e determinação (R^2). Os coeficientes de regressão representam a mudança média na variável resposta para uma unidade de mudança na variável preditora ou de risco, mantendo as demais constantes no modelo. Esse controle estatístico que a regressão proporciona é importante porque isola o papel de uma variável de todas as outras no modelo. Os resultados são apresentados na forma de um gráfico tornado e mostram as variáveis que mais influenciam o indicador de RBC.

A associação entre as variáveis aleatórias usadas nas simulações e os resultados foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2) e mediu a proporção total da variação dos resultados que podem ser atribuídas às relações lineares entre as variáveis utilizadas nos modelos, atribuindo-se o restante a outros fatores que não participaram das simulações (LARSEN; MARX, 2006; GREENE, 2006; JOHNSON; WICHERN, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Custo operacional efetivo da soja e milho e custos da irrigação

Os custos da produção da soja verão e milho safrinha referem-se a safra 2018/19, últimos dados disponíveis da propriedade e tiveram os valores deflacionados para o mês de julho de 2021. Utilizou-se a metodologia de Matsunaga *et al.* (1976), descrita por Martin *et al.* (1998). Os resultados mostram a participação da irrigação no Custo Operacional Efetivo (COE) em cada cultura, conforme Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Custo Operacional Efetivo (COE) da soja verão (2018/19) por ha – julho de 2021

Item	Valores	%
Adubo	R\$ 794,08	21,8
Operações com máquinas	R\$ 633,58	17,4
Sementes	R\$ 629,93	17,3
Irrigação	R\$ 498,89	13,7
Colheita (terceiros)	R\$ 319,65	8,8
Mão de obra	R\$ 246,90	6,8
Fungicida	R\$ 222,10	6,1
Inseticida	R\$ 168,93	4,6
Herbicida	R\$ 129,09	3,5
Custo Operacional Efetivo	R\$ 3.643,15	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O gasto com irrigação é composto pelos custos com aquisição da água e energia elétrica e representou 13,7% do COE. Esse resultado é semelhante ao levantado por Richetti; Flumignan e Almeida (2015) no Mato Grosso do Sul e Alves Junior *et al.* (2018) em Goiás, que encontraram participação relativa do custo com irrigação da soja de 10,9% e 10,7%, respectivamente.

Tabela 4 – Custo Operacional Efetivo (COE) do milho safrinha (2019) por ha – julho de 2021

Item	Valores	%
Irrigação	R\$ 974,54	20,3
Adubo	R\$ 773,05	16,1
Operações com máquinas	R\$ 660,68	13,8
Colheita (terceiros)	R\$ 570,00	11,9
Fungicida	R\$ 540,03	11,3
Sementes	R\$ 502,68	10,5
Herbicida	R\$ 340,40	7,1
Inseticida	R\$ 262,90	5,4
Mão de obra	R\$ 172,30	3,6
Custo Operacional Efetivo	R\$ 4.796,58	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Os gastos com a irrigação do milho safrinha representaram 20,3% do COE, o maior item de custo. Richetti; Flumignan e Almeida (2015) no Mato Grosso do Sul, encontraram participação relativa do custo com irrigação no COE de 22,55%.

4.2 Resultados das variáveis críticas

Tendo em vista a possibilidade de aumentar a produtividade e possivelmente a rentabilidade das culturas, foi realizada a orçamentação para implantação de um sistema de irrigação por aspersão, via pivô central, para todas as etapas (captação, transporte e distribuição da água) para a área produtiva dos grãos que totaliza 86,24 ha. O orçamento de um conjunto completo com capacidade para a irrigação total da área de produção foi de R\$ 984.000,00.

A capacidade de irrigação do equipamento é de até 8,72 mm/dia e com tempo máximo de operação diária de 21 horas. Também foi adicionado ao investimento inicial o valor de R\$ 5.000,00 que corresponde ao processo de outorga para captação de água, totalizando R\$ 989.000,00 de investimento inicial (Anexo A).

Tanto o consumo de água quanto de energia utilizados para a irrigação na região variam de acordo com as condições climáticas de cada safra. Também as tarifas de pagamento da água e da energia elétrica variam de acordo com as políticas ambientais e energéticas.

Carvalho *et al.* (2013) descrevem a demanda hídrica das principais culturas de interesse agrônomo no Brasil e evidenciam a importância da água para cada uma. A soja apresenta uma demanda hídrica que varia de 450 a 850 mm de água durante todo o seu ciclo, sendo que a demanda hídrica para a produção do milho é de 500 a 800 mm, durante o seu ciclo.

A Tabela 5 apresenta a quantidade de água mínima e máxima estimada para ser utilizada na produção da soja e do milho, de acordo com a precipitação de chuvas em cada período de produção.

Tabela 5 – Precipitação e irrigação em cada cultura na região

Safras	Precipitação Média (m ³ ha ⁻¹)		Irrigação (m ³ ha ⁻¹)	
	Soja	Milho	Soja	Milho
2014/15	3.916	5.606	7.183	6.633
2015/16	4.081	5.269	7.018	6.970
2016/17	3.885	4.464	7.214	7.775
2017/18	5.302	5.319	5.797	6.920
2018/19	4.810	5.341	6.289	6.898
2019/20	4.445	6.094	6.654	6.145

Fonte: Dados fornecidos pelo agrônomo da propriedade (2021).

As quantidades de água para o crescimento ideal das culturas dependem da precipitação e da quantidade de água para irrigação. Para a soja a quantidade ideal de água ou demanda hídrica é de 11.099 m³ ha⁻¹ e para o milho safrinha é de 12.239 m³ por ha. A quantidade de água necessária para a irrigação deve levar em conta a precipitação natural e complementá-la de acordo com a demanda hídrica de cada cultura.

Em 08 de janeiro de 1997 foi criada a Lei 9.433 a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), que ficou conhecida como Lei das Águas, onde foram estabelecidos instrumentos necessários para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal, sendo também criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH).

Conforme legislação, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, iniciou em 2000, e é estipulada pelo Art. 14 da Lei 9.433: “cobrança pelo uso ou derivação” e “cobrança

pela poluição, transporte e assimilação de efluentes de sistemas de esgotos e de outros líquidos, de qualquer natureza”. Esta cobrança é um dos instrumentos de gestão de PNGRH, sendo que não se caracteriza como um imposto, mas sim uma remuneração sobre o bem público.

Conforme São Paulo (2015), a Lei 12.183 criada em 29 de dezembro de 2005, e o Decreto 61.430 de 17 de agosto de 2015, fixou os valores para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. O Estado de São Paulo foi o primeiro a conceder outorga de água.

A Tabela 6 apresenta a cobrança de tarifa pelo uso da água mensurados em m³, referente ao período de 2014/15 a 2019/20, deflacionados com base em julho de 2021.

Tabela 6 – Tarifa cobrada pelo uso da água 2014/15 a 2019/20 - em julho de 2021

Safras	Tarifa Água (m ³)	
	Mínima	Máxima
2014/15	R\$ 0,0222	R\$ 0,0441
2015/16	R\$ 0,0221	R\$ 0,0443
2016/17	R\$ 0,0220	R\$ 0,0440
2017/18	R\$ 0,0227	R\$ 0,0453
2018/19	R\$ 0,0219	R\$ 0,0438
2019/20	R\$ 0,0212	R\$ 0,0424

Fonte: Agência das Bacias PCJ – atualizados pelo autor (2021).

Os valores apresentados referem-se as tarifas mínima e máxima que são cobradas pela captação da água e estão em conformidade com o que é determinado para a cobrança do uso dos recursos hídricos de domínio do estado de São Paulo. Os dados utilizados para a simulação referem-se à média das tarifas mínimas e máximas.

O consumo da energia elétrica pelo sistema de irrigação foi obtido com base nos dados técnicos do fornecedor do equipamento de acordo com potência do motor em kwh, rendimento, tempo de utilização, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo de energia elétrica em kwh em cada cultura

Safras	Consumo de Energia Elétrica	
	Soja	Milho
2014/15	429,3	1.327,5
2015/16	483,1	1.382,2
2016/17	408,2	942,5
2017/18	846,0	1.680,9
2018/19	687,6	1.692,0
2019/20	655,8	2.407,2

Fonte: Empresa especializada em equipamento de irrigação (2021).

O consumo da energia elétrica utilizado pelo sistema de irrigação em cada cultura, foi calculado com base nas informações das precipitações médias nos períodos de produção na região, sendo que a quantidade de água para irrigação foi fornecida pelo agrônomo responsável pela propriedade. A quantidade de água para irrigação foi o que determinou o número de dias e a quantidade de horas que o sistema de irrigação funciona, determinando o consumo da energia utilizada.

Os valores apresentados na Tabela 8 correspondem as tarifas de energia elétrica coletados junto a Empresa de Pesquisa Energética, Anuário Estatístico de Energia Elétrica (BRASIL 2021). Conforme orientação da empresa fornecedora de energia elétrica na região, os valores foram acrescidos de impostos e deflacionados com base em julho de 2021.

Tabela 8 – Tarifas de energia elétrica em julho de 2021

Safras	Tarifa Energia Elétrica em kwh
2014/15	R\$ 0,56321
2015/16	R\$ 0,05501
2016/17	R\$ 0,54648
2017/18	R\$ 0,58381
2018/19	R\$ 0,60299
2019/20	R\$ 0,50018

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – Brasil (Ministério de Minas e Energia, 2021) atualizados pelo autor (2021).

4.3 Receita adicional da irrigação

Para a análise da Receita Bruta Adicional da Irrigação, levantou-se o preço de venda de cada cultura (Tabela 9) nas safras de 2014/15 a 2019/20, deflacionados para julho de 2021.

Tabela 9 – Preço de venda da soja e milho safras 2104/15 a 2019/20 em julho de 2021

Safras	Preço de Venda	
	Soja	Milho
2014/15	R\$ 146,94	R\$ 58,84
2015/16	R\$ 126,38	R\$ 69,40
2016/17	R\$ 119,44	R\$ 52,24
2017/18	R\$ 136,56	R\$ 54,95
2018/19	R\$ 124,42	R\$ 60,70
2019/20	R\$ 193,04	R\$ 87,92

Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

Em geral culturas irrigadas apresentam maiores produtividades por unidade de área e culturas de sequeiro tem sua produtividade diminuída em razão de déficits hídricos e podem, em tese, serem beneficiadas com a tecnologia de irrigação. Assim para efeito de mensuração dos benefícios econômicos da irrigação quanto maior o diferencial entre as produtividades das culturas de sequeiro e irrigadas maior o benefício da irrigação.

A Tabela 10 apresenta a produtividade das culturas da soja e milho referentes as safras de 2014/15 a 2109/20 e, de fato, observa-se que a produtividade no sistema irrigado das duas culturas foi superior em todos as safras.

Tabela 10 – Produtividade de Soja e Milho Irrigado e Sequeiro, sacas por ha

Safr	Produtividade Sequeiro		Produtividade irrigada		Diferencial de produtividade em sacas por ha	
	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho
2014/15	46	119	55	144	9	25
2015/16	55	92	72	116	17	24
2016/17	62	84	76	149	14	65
2017/18	61	109	72	153	11	44
2018/19	51	112	76	148	25	36
2019/20	58	114	75	151	17	37

Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

Os dados apresentados referem-se à produtividade das culturas de sequeiro fornecidas pela propriedade. As produtividades das culturas irrigadas foram coletadas em propriedades da região que utilizam a irrigação e representam o ganho potencial de produtividade para a propriedade analisada.

De acordo com dados do Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (2021), a produtividade média da soja por ha no estado de São Paulo nos períodos foram, respectivamente: 66,2; 69,9; 69,5; 65,1; e 65,5. Conforme Tabela 10, observou-se que somente na safra 2014/15 a produtividade média da região, ficou abaixo da média do estado. A produtividade média do milho irrigado por ha, conforme dados do Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (2021) nos períodos foram, respectivamente: 150; 157; 157,2; 157,9; e 150,4. Observou-se que a média região ficou abaixo do Estado em todas as safras.

A Tabela 11 apresenta a Receita Bruta Adicional da Irrigação para o período de 2014/15 a 2019/20.

Tabela 11 – Receita Bruta Adicional da Irrigação aos preços médios

Safra	Receita Bruta Adicional da soja	Receita Bruta Adicional do milho	Receita Bruta Adicional Total
2014/15	R\$ 109.539,46	R\$ 138.001,97	R\$ 247.541,43
2015/16	R\$ 206.907,87	R\$ 132.481,89	R\$ 339.389,76
2016/17	R\$ 170.394,72	R\$ 358.805,11	R\$ 529.199,83
2017/18	R\$ 133.881,56	R\$ 242.883,46	R\$ 376.765,02
2018/19	R\$ 304.276,28	R\$ 198.722,83	R\$ 502.999,11
2019/20	R\$ 206.907,87	R\$ 204.242,91	R\$ 411.150,78

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Os valores correspondem ao diferencial de produtividade multiplicado pelo preço médio de venda referentes às safras de 2014/15 a 2019/20.

Do ponto de vista da viabilidade econômica serão viáveis as tecnologias (ou sistemas de produção, ou investimentos) cujo indicador RBC seja maior que 1,0. As frações acima de 1 indicam em quanto as Receitas Líquidas Adicionais atualizadas são maiores que o investimento inicial, considerando a vida útil do investimento. Por exemplo, um valor de 1,2 indica que as RLAs adicionais trazidas para o valor presente são 20% superiores ao investimento inicial. Da mesma forma valores menores que 1,0 indicam em quanto as RLAs trazidas para o momento presente são menores que o investimento inicial. Um valor de 0,8 indica que os ganhos com o projeto serão 80% do investimento inicial, ou seja, as receitas líquidas futuras não pagam o investimento inicial.

4.4 Análise de cenários

A análise de cenários expande parcialmente a análise determinística, ou seja, onde os valores de entrada são considerados como tendo 100% de chance de ocorrerem. Pode-se considerar dois ou mais valores das variáveis de risco que interferem no valor final do indicador (RBC), e assim compor diversos cenários possíveis em função de diferentes valores de entrada.

No caso deste estudo os cenários apresentados levam em consideração possíveis produtividades das culturas de sequeiro e irrigada (variáveis de entrada) e seus impactos sobre o indicador de resultado da viabilidade econômica (RBC).

Em geral os cenários a serem desenhados devem contemplar a pior situação (cenário pessimista), a melhor situação (cenário otimista) e a com maior probabilidade de ocorrência (cenário mais provável). No caso em estudo, a limitação da base histórica de produtividades não permite desenhar o cenário mais provável, pois, não é possível identificar produtividades modais. Assim, desenhou-se o cenário médio, utilizando as produtividades médias das culturas de sequeiro e irrigadas.

- 1) Cenário médio (produtividades médias das culturas de sequeiro e produtividade médias das culturas irrigadas)
- 2) Cenário pessimista (maior produtividade nas culturas de sequeiro e menores produtividades das culturas irrigadas)
- 3) Cenário otimista (menor produtividade nas culturas de sequeiro e maior produtividades das culturas irrigadas)

Os resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Produtividades (em sacas/ha) utilizadas para o desenho de 3 cenários de RBC

Cenários	Produtividade Milho Sequeiro	Produtividade Milho Irrigado	Produtividade Soja Sequeiro	Produtividade Soja Irrigado
1 Médio	105	143,5	55,5	71
2 Pessimista	119	116	62	55
3 Otimista	84	153	46	76

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Com estes diferenciais de produtividade foi possível estimar a Receita Bruta Adicional da Irrigação em cada cenário multiplicando-se por um preço de venda. Utilizou-se o preço de venda médio referentes as vendas das safras de 2014/15 a 2019/20, obtendo-se os dados apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Receita Bruta Adicional em 3 cenários de produtividade (área total)

RBA	Receita Bruta adicional
Cenário Médio	R\$ 401.179,86
Cenário Pessimista	R\$ 101.758,03
Cenário Otimista	R\$ 746.026,88

Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

Da receita bruta adicional da irrigação (RBA) foram descontados os valores do custo da água e de energia, obtendo-se a Receita Líquida adicional (RLA) com o sistema de irrigação.

Admitindo-se um o custo médio de água e energia igual em todos os anos de cada cenário, o indicador de Relação Benefício Custos (RBC) foi estimada trazendo para o valor presente as Receitas Líquidas Adicionais descontadas a uma taxa Selic, no período de 10 anos, que é a vida útil do sistema de irrigação, e dividindo-se pelo valor do investimento inicial que é o mesmo nos três cenários. Os resultados são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Relação benefício custo do Investimento em sistema de irrigação por aspersão nas culturas de soja e milho em área de 86,24 ha trazidas para o valor presente a uma taxa de 5,8% e 10 anos de vida útil

Cenários	Médio	Pessimista	Otimista
Receita Bruta Adicional	R\$ 401.179,86	R\$ 101.758,03	R\$ 746.026,88
Receita Líquida Adicional	R\$ 274.111,46	-R\$ 25.310,37	R\$ 618.958,48
Relação Benefício Custo	2,2	0,2	4,9

Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

A análise da receita líquida adicional de cada cenário mostrou que no cenário pessimista não é viável o investimento, por apresentar um RBC menor que 1. O diferencial de produtividade neste cenário, conforme apresentado na Tabela 13, gerou uma RLA menor que os custos da irrigação, inviabilizando o investimento. No cenário otimista o RBC foi de 4,9, indicando que a RLA é 390% maior que o investimento

inicial. No cenário médio o investimento também se mostrou viável, com um RBC de 2,2, e uma RLA de 120% maior que o investimento inicial.

4.5 Análise de risco do investimento em irrigação

A análise de risco pelo método de simulação de Monte Carlo inicia-se pelo ajuste das funções de distribuição de probabilidade das variáveis críticas, a saber: preço de venda do milho e preço de venda da soja; produtividade de milho e soja de sequeiro; produtividade de milho e soja irrigados; consumo de água na soja e consumo de água no milho; tarifas de pagamento de uso de água; consumo de energia elétrica para irrigação do milho; e consumo de energia elétrica para irrigação da soja, tarifa de energia elétrica.

O ajuste dos dados à uma função de produção é feita pelo programa *@Risk* e utilizou-se o teste de Chi-quadrado para a escolha da função. Os dados simulados são apresentados na Figura 5, que mostra as funções ajustadas, os valores mínimos médios e máximos e os limites para a ocorrência dos valores na faixa de probabilidade de 90%.

Figura 5 – Simulação de dados para ajuste nos modelos pelo teste Chi-quadrado

Variável de Risco	Gráfico	Função de Distribuição	Mínima	Média	Máxima	Faixa de probabilidade de 90%	
Preço de Venda da Soja		Exponencial	68,40592	90,92675	177,7561	69,16875	135,1512
Preço de Venda do Milho		Exponencial	29,72419	41,42687	116,3127	30,13399	63,11268
Produtividade Soja Sequeiro		Logística	40,74002	55,90595	75,11739	46,31091	64,85028
Produtividade Milho Sequeiro		Exponencial	80,58607	101,4885	192,6902	81,56673	142,4959
Produtividade Soja Irrigada		Logística	51,29307	72,7072	95,49023	61,92205	82,81784
Produtividade Milho Irrigado		Logística	116,539	146,4069	174,5334	127,4393	163,7891
Tarifa de Consumo de Água		Beta Geral	0,0115	0,0204	0,0298	0,0115	0,0298
Consumo Água Soja irrigada		ExtValue	3251,446	5569,593	11951,87	3692,646	7996,987
Consumo Água Milho Irrigado		Logística	3186,237	6130,054	9894,919	4482,267	7708,491
Tarifa Energia Elétrica		Logística	-0,04180825	0,5223777	1,01798	0,2477728	0,7716368
Consumo Energia Soja Irrigada		Exponencial	378,9767	554,5307	1231,816	386,1383	903,3334
Consumo Energia Milho Irrigado		Extvalue	752,205	1585,305	4306,403	943,7627	2420,217

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A seguir foram apresentadas as medidas estatísticas do indicador RBC na Tabela 15, a partir dos dados simulados.

Tabela 15 – Resultados estatísticos do RBC para viabilidade do investimento

Medidas estatísticas do indicador RBC	Valores
Mínimo	0,1051
Máximo	4,7759
Médio	1,5908
Desvio Padrão	0,9199
Variância	0,8462
Assimetria	0,7924
Curtose	3,6283
Mediana	1,5230
Moda	1,6035

Fonte: dados da pesquisa (2021).

Os resultados indicaram que o RBC máximo que poderá ser obtido é de 4,77 e o RBC mínimo de 0,105. O RBC médio é de 1,59, com desvio padrão de 0,9199. O valor da assimetria menor que 1 indicou uma distribuição assimétrica (positiva). A curtose com valor acima de 3, indica uma curva alongada (leptocúrtica) para a direita, mostrando valores mais próximos ao valor modal. O valor da moda foi 1,6035.

O mapeamento de risco da irrigação mostra o RBC em vários níveis de risco. Esse resultado deriva da função cumulativa de distribuição de probabilidade e permite escolher a melhor alternativa, com base em certa possibilidade de garantir o RBC a determinado nível de aceitação de risco. O mapeamento de risco pode ser visto na Tabela 16.

Tabela 16 – Mapa de Risco da viabilidade econômica do investimento

Percentil de Risco	Valor da RBC
5%	0,2660
10%	0,5667
15%	0,7365
20%	0,8129
25%	0,8729
30%	0,9438
35%	1,0076
40%	1,2163
45%	1,2532
50%	1,5230
55%	1,6044
60%	1,7224
65%	1,8170
70%	2,0217
75%	2,1671
80%	2,2978
85%	2,6265
90%	2,8642
95%	3,2131

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

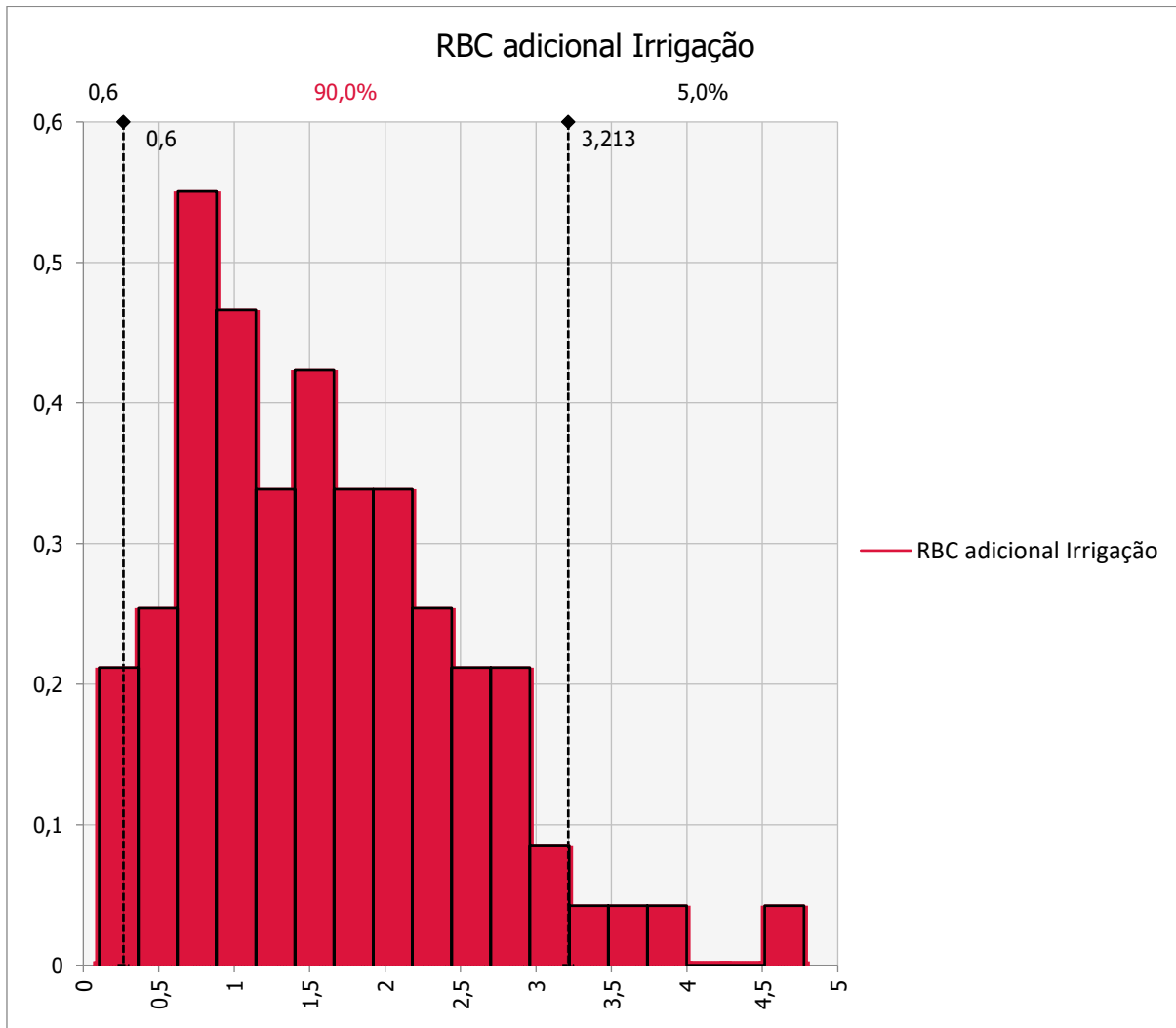
O mapeamento de risco, dado pelos percentis, mostrou que o investimento é indicado, pois o RBC apresenta uma probabilidade de 65,9% de recuperar o valor investido, já que no percentil de 35% de risco, a Receita Líquida Adicional já recupera o investimento inicial.

No entanto, se o produtor tende a aceitar riscos moderados e admitir em torno de 40% de nível de risco, o RBC poderá ser 1,21, indicando uma Receita Líquida Adicional 21% maior que o investimento inicial.

Se o produtor tende a aceitar riscos maiores, é possível obter o RBC de 3,21, com uma Receita Líquida Adicional de 221% maior que o investimento inicial, porém neste caso, terá que admitir um nível de risco em torno de 95%.

Para verificar como o RBC se comporta em termos de probabilidade de ocorrência, a Figura 6 mostra os valores de RBC e as probabilidades de ocorrência.

Figura 6 – Probabilidades de ocorrências de RBC

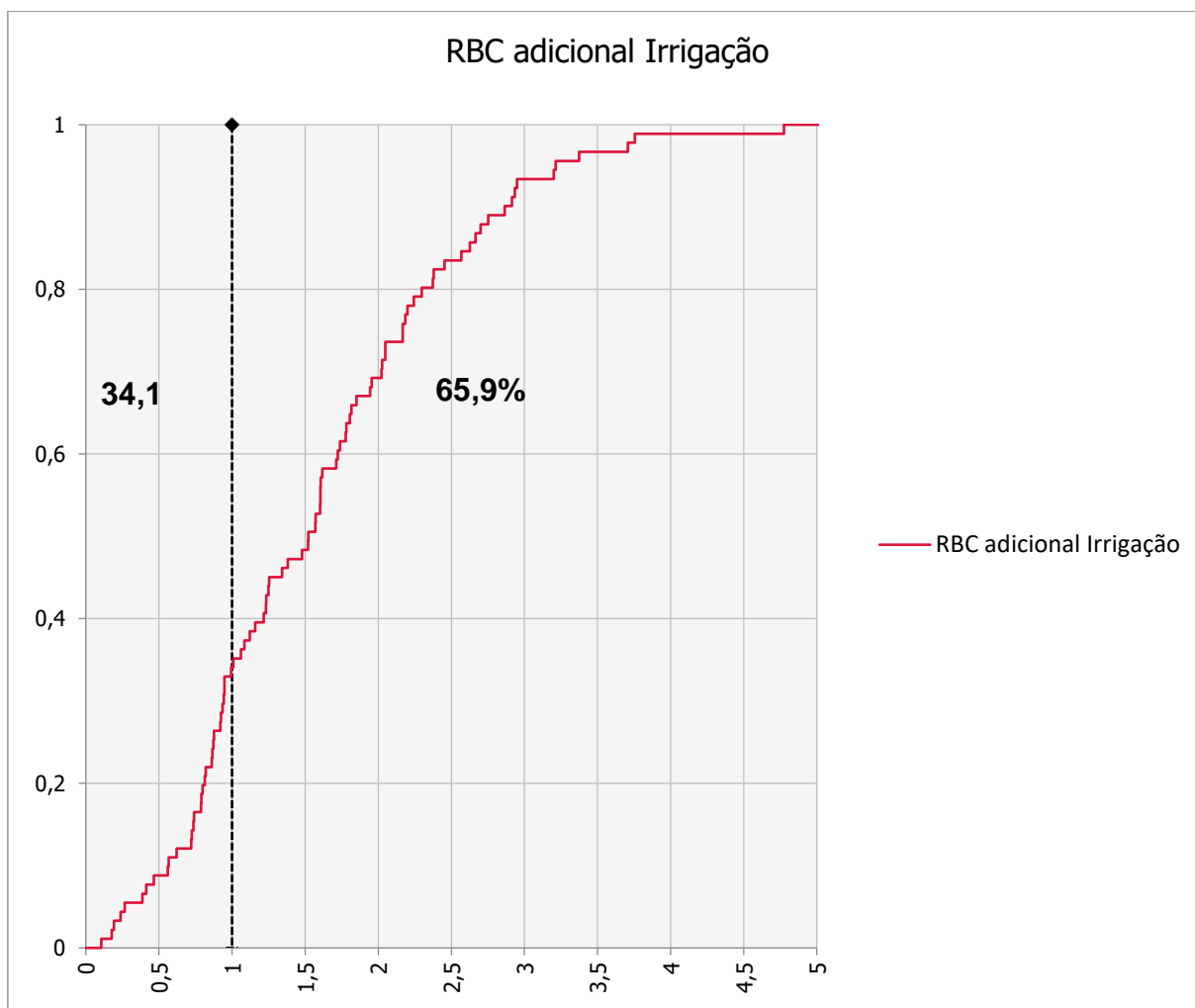


Fonte: Dados da Pesquisa (2021).

O gráfico de probabilidade de ocorrência de RBC mostrou que existe 90% de chance do RBC estar entre 0,60 e 3,21, com maiores probabilidades de ocorrência para valores do RBC entre 0 e 2,1. De modo geral existe 5% de probabilidade de que o RBC seja maior que 3,21 e a probabilidade de 5% do RBC ser abaixo 0,60.

Dadas as possibilidades de alteração nas variáveis críticas que determinam a economicidade do investimento, qual a chance do investimento em irrigação da região apresentar viabilidade econômica é apresentada na Figura 7 a seguir mostra o resultado da análise.

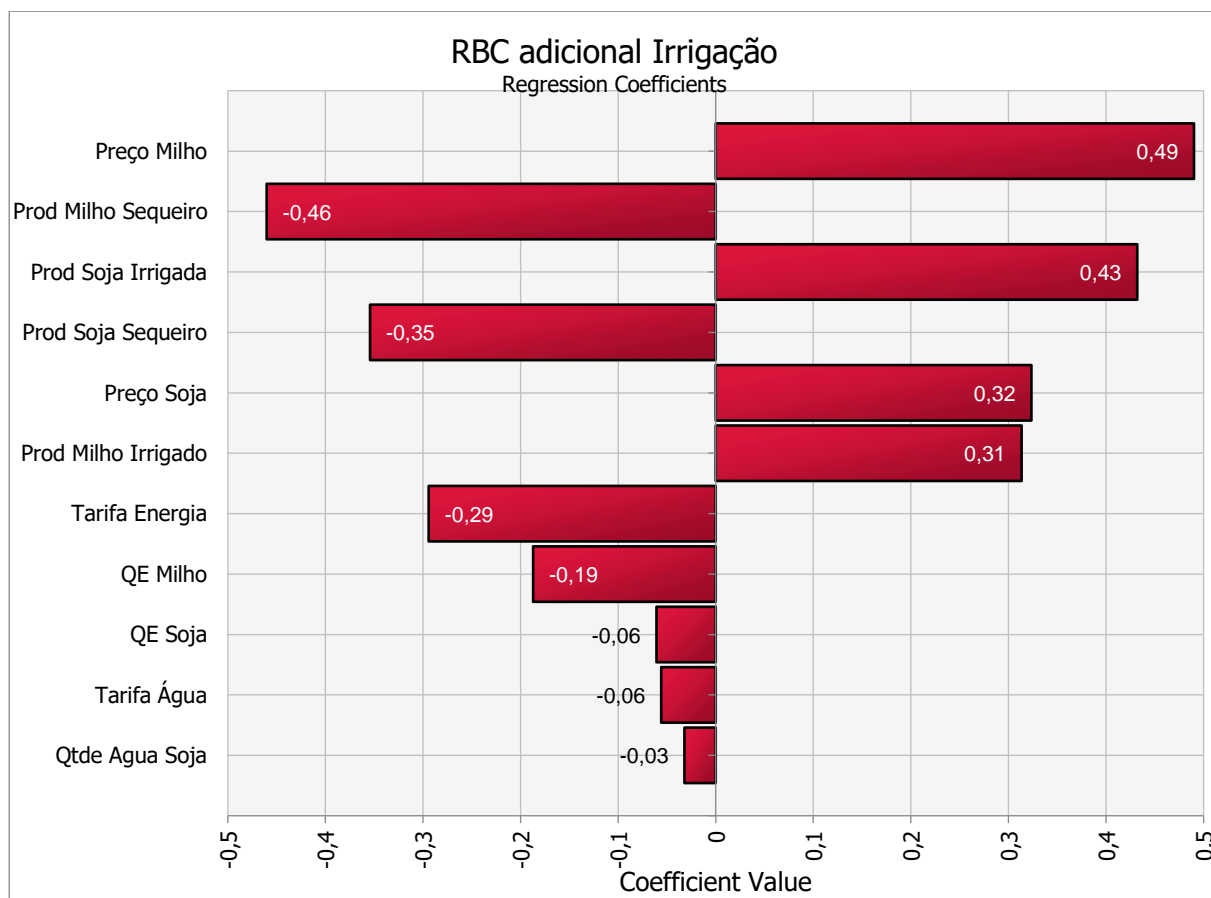
Figura 7 – Distribuição de probabilidade acumulada dos índices de eficiência econômica



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A distribuição de probabilidade acumulada mostrou que a adoção de um sistema de irrigação para a área de cultivo de soja e milho apresenta 65,9% de chance de ser economicamente viável, e 34,1% de não se pagar o investimento inicial.

Para identificar as variáveis de risco que mais contribuem para os resultados de viabilidade econômica, apresenta-se a seguir o gráfico tornado, onde são apresentados os coeficientes de regressão. Estes representam a mudança média na variável resposta (RBC) para uma unidade de mudança na variável preditora, mantendo as outras preditoras constantes. Esse controle estatístico que a regressão proporciona é importante porque isola o papel de uma variável de todas as outras no modelo.

Figura 8 – Coeficientes de Regressão do RBC da Irrigação

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A análise de regressão linear mostrou que os dados estão ajustados a reta na distribuição linear, apresentando uma distribuição normal e verificou-se que o preço do milho é a variável que apresenta a maior influência sobre o indicador RBC. A cada 10% de aumento no preço do milho, mantidas as demais variáveis constantes, o RBC aumenta em 4,9%, visto que o sinal do coeficiente de regressão é positivo. A segunda variável que mais influencia positivamente na viabilidade econômica da irrigação é a produtividade da soja irrigada. A cada aumento de 10% na produtividade da soja irrigada, o RBC aumenta em 4,3%, também com o coeficiente de regressão positivo.

O preço da soja e a produtividade do milho irrigado também influenciam positivamente o RBC. A cada aumento de 10% no preço da soja ocorre um aumento de 3,2% do RBC e a cada aumento de 10% na produtividade do milho irrigado, aumenta em 3,1% o RBC.

A variável que mais afeta de maneira negativa a viabilidade econômica da irrigação é a produtividade do milho sequeiro. A cada aumento de 10% na produtividade do milho sequeiro, o RBC reduz em 4,6%, pois se reduz o diferencial de produtividade entre as culturas de sequeiro e irrigadas. Não é surpreendente que o milho, tanto na ótica de preços de venda quanto da ótica de produtividade sejam variáveis que tem grande influência na viabilidade econômica, pois o milho safrinha é cultivado no inverno. As culturas de inverno em geral têm maior volatilidade de preços, além disso é o período em que a seca pode reduzir muito a produtividade, situação na qual a irrigação faria grande diferença.

A segunda variável que mais afeta negativamente o RBC é a produtividade da soja sequeiro, onde o aumento de 10% na produtividade reduz em 3,5% o RBC.

Outras variáveis que afetam de maneira negativa a RBC são: a tarifa de energia elétrica, onde o aumento de 10% no seu preço reduz o RBC em 2,9% e a quantidade de energia elétrica utilizada na irrigação do milho, onde o aumento de 10% reduz o RBC em 1,9%. Verificou-se que os demais custos operacionais da irrigação tem menor influência sobre a viabilidade econômica da irrigação que depende mais dos preços de vendas e produtividade das culturas.

A Tabela 17 mostra os dados dos coeficientes de sensibilidade das variáveis de risco do RBC.

Tabela 17 – Coeficientes de sensibilidade das variáveis de risco do RBC

Posição	Variável Crítica	Coeficientes de Regressão
1	Preço Milho	0,490
2	Produtividade Milho Sequeiro	-0,460
3	Produtividade Soja Irrigada	0,432
4	Produtividade Soja Sequeiro	-0,354
5	Preço da Soja	0,324
6	Produtividade Milho Irrigado	0,313
7	Tarifa Energia Elétrica	-0,294
8	Quantidade de Energia Milho	-0,187
9	Quantidade Energia Soja	-0,061
10	Tarifa de Água	-0,056
11	Quantidade de Água Soja	-0,032
12	Quantidade de Água Milho	-0,000
Coeficiente de Determinação (R²)		0,980

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Quanto ao poder explicativo das variáveis, notou-se que coeficiente de determinação (R²) indicou que houve um excelente ajuste das variáveis aos resultados obtidos nas simulações do RBC. Em termos gerais, a qualidade do ajustamento das variáveis ao modelo usado foi considerada altamente satisfatória.

Na simulação obteve-se um coeficiente de determinação (R²) de 0,980, portanto, as variáveis usadas nas simulações explicaram 98,0% dos resultados encontrados do RBC, restando cerca de 2,0% a carga de outros elementos aleatórios, ou variáveis que não participaram das simulações.

5 CONCLUSÕES

Neste estudo procurou-se avaliar a Relação Benefício Custo para a implantação de um sistema de irrigação por pivô central comparando o investimento inicial e a Receita Líquida Adicional gerada pela irrigação.

Verificou-se que existe uma probabilidade de 65,9% do investimento ser viável, com as variáveis que mais influenciaram de forma positiva para o RBC foram o preço de venda do milho e a produtividade da soja irrigada. Destaca-se que, o preço de venda é uma variável que não está sob controle do produtor, o que o deixa vulnerável às possíveis flutuações de preços agrícolas, podendo gerar uma instabilidade da Receita Líquida Adicional da Irrigação.

As maiores fontes de risco para o RBC, foram a produtividade das culturas em sequeiro, pois se estes diferenciais de produtividade forem baixos, a Receita Líquida Adicional da Irrigação tende ser baixa, afetando o RBC.

O estudo do mapeamento de riscos pode auxiliar o produtor na tomada de decisão para a adoção da tecnologia da irrigação, facilitando o planejamento financeiro e econômico da sua atividade, conforme a sua aceitação para riscos.

Embora não seja possível extrapolar todos os resultados apresentados para a implantação do sistema de irrigação por pivô central, a pesquisa tende a fornecer subsídios para a tomada de decisão do empresário rural que forneceu os dados para o estudo, visto que ainda não existe uma literatura consolidada sobre o assunto.

Destaca-se que o estudo foi realizado especificamente para uma determinada propriedade localizada no município de Ourinhos/SP, servindo como base para a tomada de decisão dos proprietários, e pode ser utilizado em outras propriedades.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Cobrança pelo uso da água**: cobrança estadual paulista, mecânicos e valores. Disponível em <https://agencia.baciaspcj.org.br/instrumento-de-gesto/cobranca-pelo-uso-da-agua/>. Acesso em: 18 ago. 2021.
- AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Irrigação por aspersão**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_37_1311200215102.html. Acesso em: 26 nov. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017. 86 p.
- ALVES JUNIOR, J. *et al.* Viabilidade da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife/PE, v 22 n. 1, p. 1-6, 2018.
- ANDRADE JUNIOR, A. S. *et al.* Irrigação em cana-de-açúcar. In: SILVA, F. C. da; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. de (Ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília: Embrapa, 2017. p. 98-147.
- ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Maracujá**. São Paulo: Agra FNP Pesquisas, 2009. p. 345-350.
- ARÊDES, A. F. *et al.* Análise econômica da irrigação na cultura do maracujá. **Revista de Economia da Universidade Estadual de Goiás**. Ambiência, Guarapuava, v. 5, n. 3, p. 443-455, 2009.
- BARCELLOS, A. F. de. **Análise de risco da produção de milho irrigado sob pivô central**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural) – Universidade de Cruz Alta/RS, Cruz Alta, 2017.
- BEAUVOIR. S. **Memórias de uma moça bem-comportada**. 5. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2017. 320 p.
- BENTO, A. C; BASSO, S. L.; NERY, J. T. o clima urbano da cidade de Ourinhos/SP: diagnóstico das variáveis meteorológicas. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA E I CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2017, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2017, p. 2.633-2638.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2019. 545 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 625 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico de energia elétrica 2021 ano base 2020**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em 30 ago. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 27 ago. 2021.

CARVALHO, I. R. *et al.* Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 969-985, dez. 2013.

CASTILLO, A. C.; LOUZADA, J. A. S.; CASTRO, N. M. Dos R. Simulação do efeito da irrigação sobre o rendimento da soja na bacia do rio Potiribu, Rio Grande do Sul. **Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 1, p. 44-54, 2018.

CORDEIRO DA SILVA, J. *et al.* Necessidade de irrigação para o feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul. **Rev. bras. eng. agríc. ambient. [online]**. 2011, vol.15, n.10, pp. 1030-1036.

CUNHA, P. C. R. *et al.* Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 735-742. 2013.

DARRÉ, E. *et al.* Environmental impacts on water resources from summer crops in rainfed and irrigated systems. **Journal of Environmental Management**. London, v. 232, p. 514-522, 2019.

DILLON, A. Do differences in the scale of irrigation projects generate different impacts on poverty and production? **Journal of Agricultural Economics**, Banbury, v. 62, n. 2, p. 474-492, 2011.

EMBRAPA (2020). **Adoção de tecnologias aumenta a produção de arroz irrigado no Tocantins**. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52432441/adocao-de-tecnologias-aumenta-producao-de-arroz-irrigado-no-tocantins>. Acesso em 26 nov. 2020.

EMBRAPA (2016). **Adubação e irrigação fazem cana aumentar a produtividade no Cerrado**. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/10691479/adubacao-e-irrigacao-fazem-cana-aumentar-produtividade-no-cerrado>. Acesso em 26 nov. 2020.

EMBRAPA (2012). **Tecnologias fazem da Bahia o quarto produtor de café do Brasil**. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1487585/tecnologias-fazem-da-bahia-o-quarto-produtor-de-cafe-do-brasil>. Acesso em 26 nov. 2020.

ESPERANCINI, M. S. T. **Avaliação econômica de sistemas de sucessão de culturas sob condições de risco no estado de São Paulo, 2005.** 2006. 87 p. Tese (Livre Docência em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2006.

FARACO, J. R. *et al.* Rendimento de grãos e eficiência do uso de água da cultura do milho em áreas de cultivo de arroz inundado com diferente manejo de irrigação e drenagem. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 274, 2018.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C.; PAZ, V. P. S. Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 119-127, 1998.

GAO, J. *et al.* Mitigating global warming potential while coordinating economic benefits by optimizing irrigation managements in maize production. **Journal of Environmental Management**. London, v. 298, 2021. (No Prelo).

GAVA, R. *et al.* Water depths for different soybean cultivars in center pivot. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 22, n. 1, p. 10-15, 2018.

GIBSON, K. E. *et al.* Assessing explanatory factors for variation in on-farm irrigation in US maize-soybean systems. **Agricultural Water Management**, Mountain View, v. 197, p. 34-40, 2018.

GOMES, E. P. *et al.* Análise econômica e viabilidade energética da cultura do feijoeiro comum sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campo Grande/PB, v. 17 n. 8, p. 835-842, 2013.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados aspersão e gotejamento.** João Pessoa: Universitária/PB, 1994, 344 p.

GREENE, W. H. **Econometric analysis.** 6. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2006. 802 p.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Georreferenciamento dos pivôs centrais de irrigação no Brasil: ano base 2020.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020, 63 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo ISSN 1679-0154; 222).

HENRIQUE DA SILVA, G. **Eficiência econômica e energética de sistemas de produção de mamona nos estados de Minas Gerais e Paraná.** 2008. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

HERZOG, R. DAS S.; LIVIEN, R.; TREIN, C. R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 771-780, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de dados:** cidades. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/ourinhos/panorama>. Acesso em: 28 jan. 2020.

IRMAK, S. *et al.* Soybean yield, evapotranspiration, water productivity, and soil water extraction response to subsurface drip irrigation and fertigation. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. St. Joseph, v. 57, n. 3, p. 729-748, 2014.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007. 800 p.

LARSEN, R. J.; MARX, M. L. **An introduction to mathematical statistics and its applications**. 4. Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2006. 757 p.

LÚCIA DA SILVA, A.; FARIA, M. A.; REIS, R.P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 37-44, 2003.

LUSTOSA, P. R. B.; PONTE, V. M. R. e DOMINAS, W. R. Simulação. In: CORRAR, L. J. e THEÓPHILO, C. R. (Org.). **Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas, 2004. 489 p.

MAEHLER, A. R.; *et al.* Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** Brasília, v. 38, n. 2, p. 225-231, 2003.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3 ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2009. 355 p.

MARQUELI, W. A.; CARVALHO E SILVA, W. L.; RIBEIRO DA SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. 2. ed. rev. atual. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

MARTIN, *et al.* Sistema integrado de custos agropecuários – Custagri. **Informações Econômicas**. São Paulo, v. 28, n. 1, p. 7-28, 1998.

MATILLA, D. M. *et al.* Low-cost Edge Computing devices and novel user interfaces for monitoring pivot irrigation systems based on Internet of Things and LoRaWAN Technologies. **Biosystems Engineering**, 2021. (No Prelo).

MATSUNAGA, M. *et al.* A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, ano 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

MATTOSO, M. J.; SILVA, W, L. C. Modelo de estimativa de custo de produção de culturas irrigadas: caso do milho irrigado por pivô central. 1989. 24 p. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Circular Técnica 1. Disponível em

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/71402/1/CPAMN-CIR.-TEC.-1-89.pdf>. Acesso em 04 out 2021.

OLIVEIRA E SILVA, M.L. *et al.* Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p.200-205, 2007.

OLIVEIRA, Z. B. *et al.* Influência da irrigação suplementar na produtividade de cultivares de soja para safra e safrinha 2018-19 e 2019-20 na região do RS. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 15580-15595, 2021.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; GOMES, J. I. T. Produtividade de cultivares de soja com e sem irrigação suplementar para a safra e safrinha de 2019/20 na região central do RS. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 81268-81284, 2020.

OLIVEIRA, J. T. *et al.* Viabilidade econômica de irrigação por pivô central em pequenas áreas cultivadas com feijão, soja e milho. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, v. 14, n. 4, p. 4171-4179, 2020.

RICHETTI, A.; FLUMIGNAN, D. L.; ALMEIDA, A. C. DOS S. Viabilidade econômica do milho safrinha, sequeiro e irrigado, na região sul de Mato Grosso do Sul, 2016. 13 p. **Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico 207**. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/137275/1/COT2015207.pdf>. Acesso em 04 out. 2021.

RICHETTI, A.; FLUMIGNAN, D. L.; ALMEIDA, A. C. DOS S. Viabilidade econômica da soja irrigada na safra 2015/2016, na região sul de Mato Grosso do Sul, 2015. 7 p. **Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico 203**. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1025764/1/COT2015203.pdf>. Acesso em 04 out. 2021.

RUVIARO, C. *et al.* Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídricos e viabilidade da irrigação suplementar na região do Vale do Jaguari-RS. **Perspectiva**, Erechim, v. 35, n. 131, p. 79-90, 2011.

SAAD, A. M. **O fortalecimento da agricultura irrigada no Estado de São Paulo: uma questão de política pública**. Ilha Solteira, 1998. Disponível em http://www.agr.feis.unesp.br/irrig_sp.htm. Acesso em 18 abr. 2021.

SÃO PAULO (Estado). **Lei n. 12.183, de 29 de dezembro de 2005**. Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores e dá outras providências. Disponível em: <https://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/159879/lei-12183-05>. Acesso em: 27 ago. 2021.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto n. 61.430, de 17 de agosto de 2015**. Aprova a fixa os valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de S.Paulo na Unidade de gerenciamento de recursos hídricos Piracicaba, Capivari e Jundiá. Disponível em:

<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2015/decreto-61430-17.08.2015.html>. Acesso em 18 ago. 2021.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estatística de produção da agropecuária paulista**. São Paulo, 2021.

Disponível em: <<http://www>.

http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1 >. Acesso em 30 abr. 2021.

SOUZA, L. S. B. de. *et al.* Eficiências do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 715-721, 2011.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Campinas: Unicamp/FEAGRI, 2017, 215 p.

VILAS BOAS, R. C. *et al.* Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 781-788, 2011.

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental: um estudo de caso no município de Ourinhos-SP**. 2006. 200 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências Exatas - Campus de Rio Claro - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2006.

ANEXO A – Orçamento do Sistema de Irrigação

FICHA TÉCNICA							
Nome:		Proposta:			Opção:		
Propriedade:		Município:			Estado:		
PIVÔ CENTRAL 9500P		OURINHOS			SP		
P 01-838/05-638/03-637/L4 + AC		GALVANIZADO			Baixa pressão, com 09 torres de sustentação		
Composição do equipamento				Alturas Manométricas			
Vão inicial	838	(54,91 m)	54,91	m	pressão no extremo da tubulação do Pivô	15,00	mca
Vão intermediário	638	(54,53 m)	272,65	m	desnível ponto Pivô ao ponto mais alto	10,00	m
Vão intermediário	637	(47,88 m)	143,64	m	perda friccional no tubo Pivô	31,21	mca
Vão intermediário		() m)		m	altura dos aspersores	4,60	m
Vão intermediário		() m)		m	Pressão na entrada do Pivô	60,81	mca
Vão intermediário		() m)		m			
comprimento até a última torre R.U.T.			471,20	m	desnível motobomba ao centro do pivô	34,00	m
comprimento do lance em balanço			27,74	m	perda friccional na adutora	3,97	mca
comprimento total do equipamento	1636,942	ft	498,94	m	altura de sucção	3,00	m
Área Irrigada				perdas diversas			
alcance efetivo do canhão final	33,35	m³/h	25,00	m	Altura Manométrica Total	109,00	mca
raio efetivo da área irrigada			523,94	m			
área circular irrigada	(360°)		86,24	Ha	Número out-lets do equipamento	218	pcs
número de posições			1,00	unid.	Parâmetros Painel (360°):		
área total irrigada	(360°)		86,24	ha	Vazão:	99,44	LPS
Características Técnicas				Unidade de Bombeamento			
lâmina bruta a aplicar			8,72	mm/dia	vazão exigida	358,00	m³/h
tempo máximo de operação diário			21,00	h	pressão exigida	109,00	mca
vazão necessária			358,00	m³/h	Informações Complementares: Opcional:		
velocidade da última torre a 100%			268	m/h	painel:	<input checked="" type="checkbox"/> 712C	<input type="checkbox"/> 700C
tempo mínimo para 1 volta a 100%			11,05	h	desnível ponto do pivô ao ponto mais baixo		<input type="checkbox"/> 500C
lâmina bruta mínima para 1 volta a 100%			4,59	mm	Ventosa Sim () Não ()	Válvula de alívio Sim () Não ()	
Tubulação Adutora 780							
Trecho	Comprimento	Diam (mm)	Material	Coef.	Vazão m³/h	hf total (mca)	Veloc. (m/s)
A	590	299,8	PVC 300/125	145	358,00	3,11	1,41
B	190	309,0	PVC 300/80	145	358,00	0,86	1,33
C							
D							
E							
Bomba 2				Motor Elétrico 2			
SÉRIE				Tipo de chave p/ F.S. 1,00			
marca KSB				SOFT STARTER STANDARD WEG			
modelo ETA 150-40				marca do motor WEG ou SIMILAR			
nº estágios 02				nível de proteção IP55			
diâmetro dos rotores 353,00 mm				Modelo: W22			
vazão prevista 358,00 m³/h				100,00 cv IR3 1,25			
pressão prevista 54,50 mca				nº de fases Trifásico			
rendimento 80,00 %				nº de pólos 4 pólos			
rotação 1.750 rpm				rotação 1750 rpm			
potência absorvida no eixo 90,33 cv				tensão 380 v			
potência motor 99,36 cv				freqüência 60 Hz			
				eficiência 90,00 %			
				Consumo Energia PC: 11,9 Kwh Bomb: 147,7 Kwh Total: 160 Kwh			
Fonte de Alimentação Trifásica (Recomendações)				Auto Trafo do Pivô no bombeamento Sim Cálculo Cabos p/ Injetora: Até 5CV			
Transformador da Unidade de Bombeamento				Grupo Gerador			
potência 225,0 kva				Auto Trafo			
tensão 380 v				potência 25 kva			
				tensão 880 v			
Distribuidor:				De acordo / Cliente:			
Engº Responsável:				Nome:			
Nº CREA:				CPF/CNPJ:			
				I.P. / I.E.:			
Assinatura:				Assinatura:			

PROPOSTA COMERCIAL

Nome: _____ Proposta: _____ Opção: **PC 01**
 Propriedade: _____ Município: **OURINHOS** Estado: **SP**

Sub Total A - Unidade de Bombeamento
 Sub Total B - Adução
 Sub Total C - Cabos Elétricos
 Sub Total D - PIVÓ CENTRAL 9500P ZIMMATIC
Total A + B + C + D R\$ 984.000,00
 Extensão - _____

Data: 01/02/21
 Validade da Proposta: 15 dias. Após esta data os preços serão reanalisados, e caso haja reajuste, serão apresentados novos preços para V.Sa.
 Impostos: ICMS, IPI, Pis e Cofins inclusos, conforme legislação vigente, caso ocorra alterações, serão renegociados antes do faturamento.
 Forma de Pagamento: Financiamento Banco: Brasil
 Local de Entrega: CIF - POSTO FAZENDA
 Prazo de Embarque dos Materiais: 90 dias após Assinatura de Contrato de Compra e Venda com a Lindsay América do Sul Ltda

Parcela	Valor	Vencimento	Parcela	Valor	Vencimento
1	R\$		8		
2	R\$		9		
3	R\$		10		
4	R\$		11		
5	R\$		12		
6	R\$		13		
7	R\$		14		
			TOTAL		

Observações:
 1. Este pedido esta sujeito a aprovação de crédito;
 2. Os valores foram calculados de acordo com os impostos vigentes nesta data, qualquer alteração implicam em alteração dos valores.
 3. No caso de cobrança de Diferencial de Alíquota de ICMS pelo estado de destino, esta será de responsabilidade do cliente.
 4. Os preços poderão sofrer alterações de acordo com maior precisão dos dados do projeto.
 5. É de responsabilidade do cliente o fornecimento dos dados planialtimétricos do projeto.
 6. É de responsabilidade do cliente o fornecimento de energia trifásica 380 V até a entrada das chaves de partida dos motores.
 7. As despesas de abertura e fechamento de valeta, obras civis, instalação elétrica próximo à casa de bombas, caminhão muck fornecimento de 05 pessoas para ajudar na montagem, estadia e alimentação para o montador, correrão por conta do comprador.
 8. Se o comprador tenha a intenção de buscar um financiamento junto ao Sistema Financeiro Nacional, terá o prazo de até 180 dias após a emissão da nota fiscal de entrega futura para fornecimento da autorização de faturamento bancário à vendedora, cfme BNDES.
 9. Caso haja cobrança de taxa flat o comprador se responsabilizará pela mesma. A devolução de recursos antecipados pelo comprador acontecerá somente após o repasse do valor integral por parte do agente financeiro ao fabricante.
 para sistema de monitoramento Field Net. Será de responsabilidade do cliente o fornecimento de

De acordo / Cliente:
 Nome: _____
 CPF/CNPJ: _____
 I.P. / I.E.: _____

Assinatura: _____ Assinatura: _____