

Julia Machado Pelegrini

**SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA SOJA SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE MANEJO EM
PROPRIEDADE SITUADA NO MUNICÍPIO DE CACHOEIRA
DO SUL**

Porto Alegre
Dezembro de 2018

JULIA MACHADO PELEGRINI

**SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA SOJA SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE MANEJO EM
PROPRIEDADE SITUADA NO MUNICÍPIO DE CACHOEIRA
DO SUL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO INSTITUTO DE PESQUISAS
HIDRÁULICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE ENGENHEIRA HÍDRICA.

Orientador: José Antônio Saldanha Louzada
Co-orientadora: Nilza Maria dos Reis Castro

Porto Alegre
Dezembro de 2018

Julia Machado Pelegrini

Simulação da produtividade da soja sob diferentes condições de manejo em
propriedade situada no município de Cachoeira do Sul

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Hídrica da Universidade Federal do
Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 13/12/2018 pela Comissão Avaliadora
constituída pelos professores:

Banca Examinadora

.....

Prof. Dra. Franciele Zanandrea

.....

Prof. Dr. Gean Paulo Michel

.....

Prof. Dr. José Antônio Saldanha Louzada

Conceito:.....

Dedico este trabalho aos meus pais, minha irmã e as minhas gatinhas, que sempre me apoiaram em tudo o que sempre sonhei.

“Não vim ao mundo para ser amado e admirado, mas sim para amar e agir.

Quem me cerca não tem o dever de me amar.

Ao contrário, é meu dever estar consciente do mundo e dos homens”

-Janus Korczak

Resumo

Dada as condições favoráveis do solo, clima e infraestrutura, a soja foi sendo rapidamente adotada pelos agricultores a partir dos anos 60. Em pouco tempo, a soja se tornou o principal produto explorado pela agricultura gaúcha. Além dos municípios norte-noroeste gaúchos destaca-se Cachoeira do Sul. Apesar das boas safras oriundas dos últimos anos, as ocorrências de El Niño e La Niña têm sido mais frequentes devido às mudanças climáticas em nível global. No estado do Rio Grande do Sul já se acumulou perdas de 37,8 milhões de toneladas de grãos de soja e trigo no período de 1985 a 2005, devido ao déficit hídrico, acarretando, assim, um prejuízo para o PIB nacional. Uma maneira eficiente para aumentar a produtividade das colheitas é a adoção da prática de irrigação. O modelo utilizado neste trabalho é denominado SWAP. O qual se baseia em representações matemáticas dos fenômenos físicos que controlam o movimento da água no solo considerando os fenômenos climáticos, como precipitação e radiação solar. Para a utilização deste software fez-se uma saída de campo para compreender melhor os parâmetros físicos do solo da propriedade. Para tanto se fez os cálculos utilizando dois potenciais matriciais: -300 kPa e -1000 kPa. Os resultados dos dois potenciais matriciais testados foram muito semelhantes com o desvio padrão se aproximando muito de zero. O ganho financeiro variou de -R\$835,00 a R\$3172,00/ha durante toda a safra, sendo maior ganho financeiro da safra de 2012/13 e o menor ganho financeiro na safra de 2010/11. Das dez safras analisadas a implantação da irrigação gerou lucro em sete e em três houve prejuízo. Assim, se recomenda um sistema de irrigação para a propriedade.

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	11
2.	Objetivo	16
3.	Referencial teórico.....	17
3.1.	Soja no rio grande do sul e em cachoeira do sul.....	17
3.2.	ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE SOJA	18
3.3.	Irrigação no Rio Grande do Sul e em Cachoeira do Sul	21
3.4.	Modelos agro-hidrológicos	23
3.4.1.	Modelos empíricos	23
3.4.2.	Modelos mecânicos	24
3.4.3.	O modelo Swap.....	24
4.	Metodologia.....	27
4.1.	Área de estudo	27
4.2.	O modelo SWAP	29
4.2.1.	Equação de Richards	30
4.2.2.	Equações de Van Genuchten	30
4.2.3.	Extração de água pelas raízes	31
4.2.4.	Evapotranspiração potencial e de referência	33
4.2.5.	Rendimento real e rendimento potencial da cultura	34
4.3.	Definição das variáveis	35
4.3.1.	Dados meteorológicos.....	35
4.3.2.	Parametrização do solo	35
4.3.3.	Parametrização da cultura	38
4.4.	Avaliação de custos e benefícios decorrentes da irrigação.....	38
5.	Resultados e discussão	40

5.1. Produtividade da soja sem irrigação	40
5.1.1. Potencial matricial -300 kPa	40
5.1.2. Potencial matricial -1000 kPa	42
5.2. Avaliação de custos e benefícios decorrentes da irrigação	46
6. Conclusões.....	48
7. Bibliografia.....	49
8. Anexo A.....	55

Lista de Figuras

Figura 1- Municípios gaúchos produtores de soja. Fonte Adaptado do Atlas socioeconômico, 2018	13
Figura 2 - Área plantada em Cachoeira do Sul. Fonte: Agrolink, 2018.	18
Figura 3 - Ciclo da soja. Fonte: Silva, 2011	20
Figura 5- Área da propriedade.....	27
Figura 6 - Bacia incluída na propriedade.....	28
Figura 7 - Solo no local de estudo	29
Figura 8 - Processos de transporte do SWAP. Fonte: Kroes, 2008.....	30
Figura 9 - Redução do coeficiente para captação de água pela raiz, como função de potencial de pressão e transpiração potencial. Fonte: Adaptado de Kroes, 2008.	32
Figura 10 - Localização dos pontos na propriedade	36
Figura 11 - Relação T_a/T_p e precipitação por safra para o potencial matricial de -300 kPa ...	41
Figura 12 - Relação T_a/T_p e precipitação por safra para o potencial matricial de -1000 kPa .	43
Figura 13 - Lucro por safra por hectare	47

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Relação da área plantada, produção e produtividade da soja no Rio Grande do Sul.	11
Tabela 2 - Descrição dos estádios vegetativos da soja	19
Tabela 3 - Descrição dos estádios reprodutivos da soja	19
Tabela 4 - Duração dos estádios da soja.....	20
Tabela 5 - Porcentagem de areia, argila e silte nas amostras de solo	36
Tabela 6 - Propriedades físico-hidráulicas do solo.....	37
Tabela 7 - Discretização vertical do perfil do solo	37
Tabela 8 - Dados da cultura da soja.....	38
Tabela 9 - Preços do custo da irrigação e da venda da soja.....	39
Tabela 11 - Produtividade real calculada pelo SWAP da soja por safra para o potencial matricial de -300 kPa, T_a/T_p e Precipitação média mensal ocorrida ao longo da safra.....	41
Tabela 12 - Transpiração potencial e real do potencial matricial igual a -1000 kPa.....	42
Tabela 13 - Produtividade da soja no estudo de caso por safra para o potencial matricial de -1000 kPa	43
Tabela 14 - Ganho da produtividade irrigando a soja para os dois potenciais matriciais	45
Tabela 15 - Médio do ganho da produtividade e o desvio padrão dos dados analisados	45
Tabela 16 - Benefício financeiro trazido pela irrigação	46

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o agronegócio é encarregado de 30% do PIB nacional (MELO, 2015). Na década de 1970, a produtividade da soja brasileira retratava apenas 3,6% dos grãos que circulavam mundialmente (EMBRAPA, 1987). Atualmente, representa 30% dos grãos mundiais, caracterizando, assim, o Brasil como o segundo maior exportador de soja do mundo, ficando atrás somente dos Estados Unidos, que exporta 31% dos grãos que circundam mundialmente (EMBRAPA, 2018).

A produção da soja brasileira, em escala comercial, iniciou no Rio Grande do Sul. As estatísticas oficiais mostram os primeiros dados a partir de 1941, como apresentado na Tabela 1. Existem, no entanto, registros sobre vendas realizadas por produtores já em 1935, bem como sobre a primeira exportação de 6.420 kg de soja gaúcha em 1937 (EMBRAPA, 1987).

Tabela 1 - Relação da área plantada, produção e produtividade da soja no Rio Grande do Sul.

Período	Área plantada [ha]	Produção [t]	Produtividade [kg/ha]
1940/1950 ⁽¹⁾	7732,6	9177,4	944,8
1950/1960 ⁽¹⁾	81496,0	109755,3	1377,6
1960/1970 ⁽¹⁾	454582,9	479528,1	1047,7
1970/1980 ⁽¹⁾	2917066,3	3954885,1	1371,1
1980/1990 ⁽²⁾	3538100,0	5133850,0	1445,8
1990/2000 ⁽²⁾	3055850,0	5179760,0	1700,0
2000/2010 ⁽²⁾	3742250,0	7440210,0	2005,6
2010/2017 ⁽²⁾	4975762,5	13812200,0	2737,1

(1) Fonte: EMBRAPA, 1987; (2) Fonte: CONAB, 2018

Dada as condições favoráveis do solo, clima e infraestrutura (como cooperativas agrícolas, construção de cilos, armazenamento de grãos, construção de estradas para o escoamento da safra), inicialmente montada para a cultura do trigo, a soja foi sendo rapidamente adotada pelos agricultores a partir dos anos 60. Até o início da década de 70, caracterizava-se como uma cultura secundária, em relação ao trigo. Era cultivada na restiva deste, normalmente semeada a partir de fins de novembro e durante o mês de dezembro, fora da época ideal, e não lhe eram dispensados muitos cuidados culturais.

A partir dos anos 70, face ao alto retorno financeiro que passou a proporcionar e aos problemas de produção com a cultura do trigo, como secas, geadas e chuva na colheita, a soja começou a receber maior atenção dos agricultores. O crescente interesse dos produtores impulsionou as pesquisas relacionadas a soja, gerando tecnologias e cultivares mais adequadas ao sistema trigo-soja, bem como a desenvolver cultivares de soja mais precoces, visando a melhor adequação das duas culturas.

A cultura da soja motivou também a indústria no sentido de que fossem melhoradas as máquinas agrícolas, especialmente as semeadeiras-adubadeiras e colheitadeiras. Em pouco tempo, a soja se tornou o principal produto explorado pela agricultura gaúcha. Chegou a cobrir mais de quatro milhões de hectares na safra de 1978/79 (EMBRAPA, 1987). A partir da década de 80, a produtividade da soja vem crescendo de 17 a 36% a cada década, aumentando, principalmente, entre as duas últimas duas décadas (Tabela 1).

Conforme consta no Atlas socioeconômico de 2018 os principais municípios produtores de soja encontram-se no norte-noroeste do Rio Grande do Sul. No último período analisado de 2009 a 2011, 33 municípios apresentaram produção média entre 200.000 a 367.650 toneladas/ano, como ilustrado na Figura 1, e juntos são responsáveis por quase 40% da produção estadual. Entre estes municípios destaca-se Cachoeira do Sul, com uma produção média de mais de 200 mil toneladas anuais, com 138 mil hectares plantados em 2015 (Agrolink, 2018).

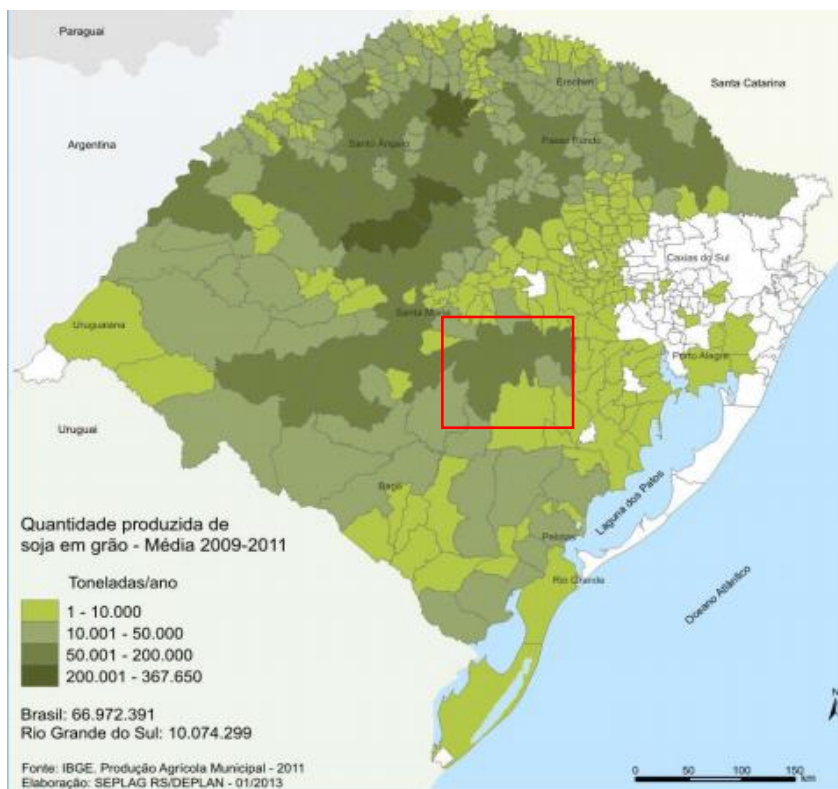


Figura 1- Municípios gaúchos produtores de soja. Fonte Adaptado do Atlas socioeconômico, 2018

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias. Já a La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao EL Niño, e que se caracteriza por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical. Alguns dos impactos de La Niña tendem a ser opostos aos de El Niño (CPTEC, 2018). No Rio Grande do Sul, em períodos de El Niño há uma tendência de aumento no regime pluviométrico, enquanto que em épocas de La Niña há uma tendência de diminuição das chuvas anuais.

No estado do Rio Grande do Sul já se acumulou perdas de 37,8 milhões de toneladas de grãos de soja e trigo no período de 1985 a 2005, devido ao déficit hídrico, acarretando, assim, um prejuízo para o PIB nacional (Aguiar, 2005). No período de 1985 a 2005 ocorreram seis fenômenos de El Niño: dois de forte intensidade (nos períodos 1990-1993 e 1997 – 1998), três de moderada intensidade (nos períodos 1986 – 1988, 1994 – 1995 e 2002 – 2003) e um de fraca intensidade (no período 2004-2005). Já o La Niña ocorreu em três períodos: um de forte intensidade (no período de 1988-1989), um de média intensidade (no período de 1998-2001) e um de fraca intensidade (no período de 1995-1996) (CPTEC, 2018).

Uma maneira eficiente para aumentar a produtividade das colheitas é a adoção de uma prática de regularização de precipitação sobre uma área determinada, ou seja, uma prática de irrigação. Segundo Cabrai et al. (2018), a produtividade da soja sem irrigação é de 3526,80 kg/ha e com irrigação a produtividade é igual a 4051,12 kg/ha para a área experimental do IFFAR – Campus Alegrete, onde o período de estudo foi a safra 2015/2016. Esse aumento de 115% mostra a eficiência na produtividade com o uso de irrigação.

Entretanto, é necessário utilizar-se irrigação com o uso racional da água, no qual exige aspectos legais e instrumentos de gestão, como a outorga. Um instrumento para ajudar na decisão sobre outorgas é estudo do balanço hídrico que pode ser realizado com auxílio de modelos computacionais.

Os modelos computacionais podem ser classificados como mecanísticos ou empíricos. Os modelos mecanísticos são aqueles em que os processos simulados descrevem o sistema em termos dos mecanismos físicos, químicos e biológicos. Já os modelos empíricos consistem em analisar dados experimentais, ajustando equações matemáticas que possam representar o comportamento dos dados observados especificamente para as condições do estudo.

Face ao exposto, a irrigação garante maiores produtividades, mas deve ser utilizada de forma racional, sem desperdício (de água e energia). Para isso, nesta pesquisa será utilizado um modelo que simula o movimento da água no solo e estima a quantidade necessária de água a ser utilizada na irrigação, para determinada cultura e condições de solo e clima.

O modelo utilizado neste trabalho é um modelo mecanístico denominado SWAP (Soil, Water, Atmosphere, Plant). O qual se baseia em representações matemáticas dos fenômenos

físicos que controlam o movimento da água no solo (Kaufmann, 2013). Este é um modelo unidimensional que simula o transporte vertical de água, e outros componentes, através do perfil do solo, considerando a cultura na superfície. A aplicação deste modelo depende de três conjuntos de informações básicas: caracterização do solo, parâmetros das culturas na superfície e dados meteorológicos locais (MELO, 2015).

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é verificar o a relação custo-benefício da produtividade proporcionado pela irrigação da plantação de soja utilizando um sistema de irrigação e comparando sem tal sistema em uma propriedade em Cachoeira do Sul.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. SOJA NO RIO GRANDE DO SUL E EM CACHOEIRA DO SUL

A soja é originária da Ásia, onde foi cultivada há cerca de 4500 a 4800 anos. Sua expansão começou na Europa, em 1739, e nos Estados Unidos, em 1765. Com uma relação internacional estreita entre os Estados Unidos e o Brasil, houve uma difusão no qual começou na Bahia em 1882 e logo chegou ao Rio Grande do Sul, em 1914. Os principais agricultores que plantavam soja tinham o objetivo de utilizar o grão na dieta humana e suína, devido a 40% do peso seco da soja ser formado por proteínas e 20% formado por óleos, sendo que essa combinação é considerada ideal na dieta humana e suína (Mundstock & Thomas, 2005)

A produtividade dos grãos no Brasil no começo era baixa, cerca de 650 kg/ha na safra 1940/1941, a primeira safra de soja documentada (EMBRAPA, 1987), pois a planta tinha um pequeno crescimento, tornando a atividade antieconômica. Entretanto, com pesquisas que geraram informações técnicas sobre o modo de cultivo, o aumento de agrotóxicos e a melhoria no maquinário agrícola, incrementou-se o rendimento para 3.258 kg/ha na safra 2017/2018 no Rio Grande do Sul (Companhia Nacional de Abastecimento, 2018).

A cultura da soja somente começou a ser comercializada de modo rentável nos anos 1960 na região sul e sudeste do Brasil, com um sistema de rotação de culturas de verão com milho e, após o trigo/cevada/aveia branca e aveia preta como cobertura de inverno e impulsionada pelo cultivo do trigo. Devido à grande demanda por óleo vegetal em todo o mundo, houve uma grande quantidade de investimentos, chegando a introduzir o conceito “agronegócio” no país (Federizzi, 2014).

A produção brasileira, que era 1,5 milhões de toneladas em 1970, atualmente é de cerca de 75 milhões de toneladas, sendo superada apenas pelos Estados Unidos.

A região de Cachoeira do Sul, que é conhecida por ser uma cidade com tradição na plantação de arroz, está começando a ver suas áreas arrozeiras perdendo espaço para a soja de várzea. Devido ao mercado aquecido, a alta liquidez do mercado, fenômenos climáticos e o baixo preço pago ao produtor arrozeiro, os produtores estão começando a migrar para a soja. Em 2005 havia 41.144 hectares ocupados com arroz, já em 2015 restaram 33 068 hectares. Uma redução de 20% na área ocupada (Agrolink, 2018).

Em 2005, a área plantada com soja em Cachoeira do Sul era de 50.000 hectares, já em 2015 havia 135.000 hectares, um crescimento de 270% em apenas 10 anos. O “boom” da soja na cidade se deu na safra 2011/2012, como é demonstrado na Figura 2. Junto com a quantidade de área plantada, aumentou-se o valor da produção, que em 2005 era 20,18 mil reais e em 2015 é de 315,090 mil reais, um crescimento de 1560% (Agrolink, 2018).

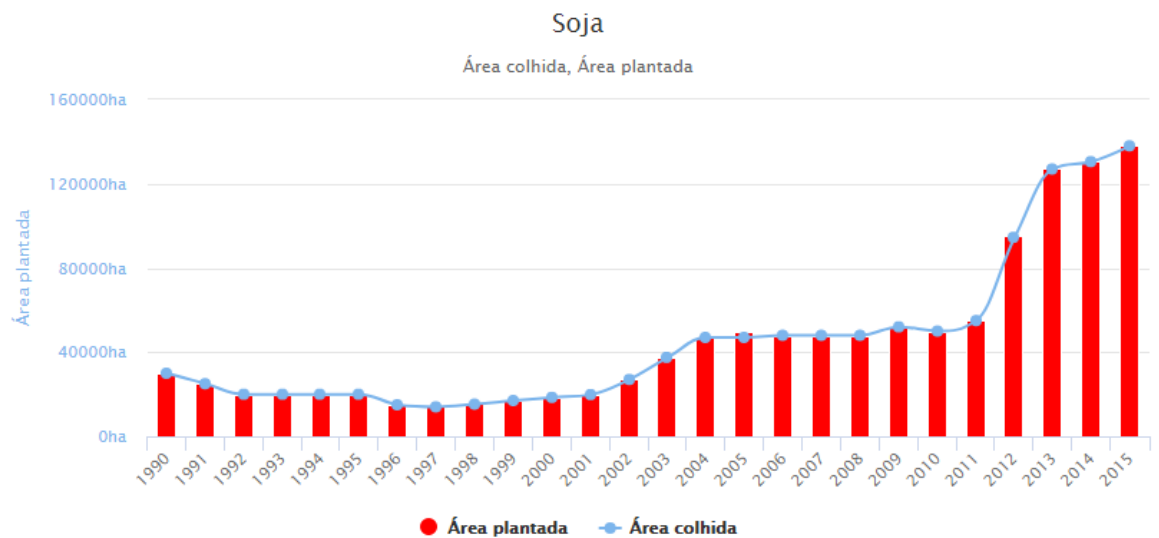


Figura 2 - Área plantada em Cachoeira do Sul. Fonte: Agrolink, 2018.

3.2. ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE SOJA

O ciclo da soja é dividido em dois estádios: o vegetativo e o reprodutivo. O estágio vegetativo vai desde o crescimento do primeiro broto até o início do florescimento das plantas, quando começa a contar o estágio reprodutivo. Subdivisões da fase vegetativa (Tabela 2) são designadas numericamente como V1, V2, V3, até Vn, menos os dois primeiros estádios que são designados como VE (emergência) e VC (estádio de cotilédones). O último estágio vegetativo é designado como Vn, onde “n” representa o número do último nó vegetativo formado por um cultivar específico. O valor de “n” varia em função das diferentes variedades da semente e ambientais (Nunes, 2016).

A fase reprodutiva apresenta oito estádios, como mostra a Tabela 3, onde o esquema do ciclo fenológico da soja é representado pela Figura 3. Já o tempo, em dias, dos estádios fenológicos, em média, da cultura da soja, é apresentado na Tabela 4.

Tabela 2 - Descrição dos estádios vegetativos da soja

Símbolo	Denominação	Descrição
V_E	Emergência	Os cotilédones estão acima da superfície do solo
V_C	Cotilédone	Os cotilédones totalmente abertos
V_(n)	Enésimo nó	“Enésimo” nó ao longo da haste principal com trifólio aberto

Fonte: (Silva, 2011)

Tabela 3 - Descrição dos estádios reprodutivos da soja

Símbolo	Denominação	Descrição
R1	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal
R2	Florescimento pleno	Maioria das inflorescências da haste principal com flores abertas
R3	Início da frutificação	Vagem com 0,5 a 1,5 cm de comprimento no terço superior da haste principal
R4	Frutificação plena	Maioria das vagens no terço superior da haste principal com comprimento de 2 a 4 cm (“canivete”)
R5.1	Início da granação	Até 10% da granação máxima na maioria das vagens localizadas no terço superior da haste principal
R5.2	Média granação	Maioria das vagens no terço superior da haste principal com 25 a 50% da granação máxima
R5.3	Final da granação	Maioria das vagens no terço superior da haste principal com 75 a 100% da granação máxima
R6	Semente formada ou granação plena	100% de granação. Maioria das vagens no terço superior contendo sementes verdes em seu volume máximo (“vagem gorda”)
R7.1	Maturidade fisiológica	Até 50% de folhas e vagens amarelas
R7.2	Maturação fisiológica	Entre 50 e 75% de folhas e vagens amareladas.
R7.3	Maturidade fisiológica	Acima de 75% de folhas e vagens amareladas
R8.1	Desfolha natural	Até 50% de desfolha
R8.2	Desfolha natural	Acima de 50% de desfolha. Aproxima-se o ponto de colheita
R9	Maturidade a campo	95% de vagens com a cor da vagem madura

Fonte: (Silva, 2011)

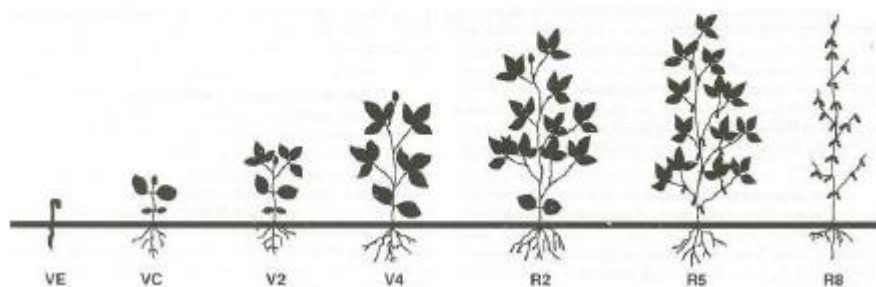


Figura 3 - Ciclo da soja. Fonte: Silva, 2011

Tabela 4 - Duração dos estádios da soja

Estádios	Número médio de Dias
Semeadura – VE	10
VE – VC	5
VC – V₁	5
V₁ – V₂	5
V₂ – V₃	5
V₃ – V₄	5
V₄ – V₅	5
V₅ – V₆	3
Acima de V₆	3
R₁ – R₂	3
R₂ – R₃	20
R₃ – R₄	9
R₄ – R₅	9
R₅ – R₆	15
R₆ – R₇	18
R₇ – R₈	10

Fonte: Adaptado de FEHR & CAVINESS (1977).

Segundo Farias 2007, o rendimento da soja alcançado não é tão alto em função da má distribuição da precipitação durante a fase mais crítica (período reprodutivo, ou seja, do R₁ ao R₄, totalizando 32 dias, começando 36 dias após a sua semeadura), limitando drasticamente a obtenção de elevados rendimentos de grãos. Por outro lado, o excesso de chuva e os dias nublados podem prejudicar a fotossíntese, o arejamento do solo, o desenvolvimento das raízes

e a fixação de nitrogênio e, ainda, interferir em outros processos e causar várias anomalias no desenvolvimento da soja, reduzindo o rendimento de grãos. A fase de vegetação.

3.3. IRRIGAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL E EM CACHOEIRA DO SUL

A irrigação tem o objetivo de corrigir a distribuição espacial das chuvas artificialmente, através de técnicas e equipamentos para que não haja insuficiência de água total ou parcial nas plantas. Essa técnica propõe-se a atingir uma máxima produção em certa área definida.

A partir das décadas de 1970 e 1980 ocorreu um aumento do interesse pela agricultura irrigada, pois esta técnica possibilita reduzir riscos para o produtor. Essa prática é uma opção estratégica para aumentar a oferta de produtos, tanto no mercado interno, quanto no mercado internacional (Lima, 1999). Atualmente o Brasil está entre os dez países com as maiores áreas irrigadas do mundo, sendo os líderes mundiais China e Índia, com cerca de 70 milhões de hectares irrigados cada, seguidos dos Estados Unidos (26,7 milhões de hectares), Paquistão (20 milhões de hectares) e o Irã (8,7 milhões de hectares). O Brasil aparece no grupo com uma área de 6,9 milhões de hectares irrigados (ANA, 2017).

O manejo correto da irrigação consiste em ter um método de controle de água. O produtor rural que irriga em excesso pode causar estresse hídrico na cultura pelo excedente de água. Além da quantidade de água perdida e o custo da energia que o produtor tem que desembolsar para irrigar em demasia, a irrigação pode causar problemas na disponibilidade hídrica da região, contaminação dos corpos hídricos. Quando a água volta ao corpo hídrico, com insumos agrícolas, erosão do solo e, conseqüentemente, assoreamento dos recursos hídricos. Atualmente o Brasil utiliza 969 m³/s somente para agricultura irrigada (ANA, 2017).

Na Figura 4 são apresentados os incrementos anuais de área irrigada no Brasil entre 2000 e 2016. Este incremento não leva em conta o método de irrigação superficial, como inundações e sulcos. Observa-se que os grupos mais eficazes, em termos de gastos de água, gotejamento e microaspersão localizada representam cerca de 70% deste incremento.

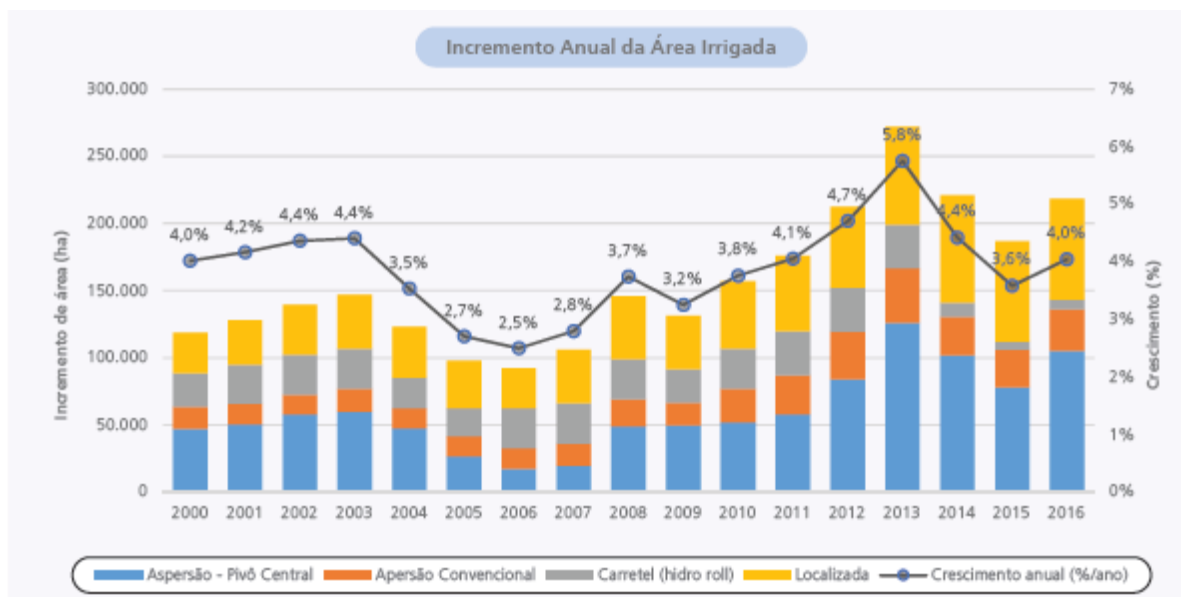


Figura 4 – Incremento anual da área irrigada. Fonte: ANA, 2017

O Rio Grande do Sul cultiva 6 milhões de hectares de lavouras, como o milho, a soja, o feijão e o fumo, dos quais 2% possui sistema de irrigação. Apenas 80 mil hectares irrigados com pivô, 30 mil hectares por aspersão e 5 mil hectares por gotejamento segundo a EMATER, 2018 e a ANA, 2017.

No estado, o sistema de irrigação é utilizado em fases de déficit hídrico, como afetados pelo fenômeno “La Niña”. Em Cachoeira do Sul no período de 1988-1989, 1995-1996 e 1998-2001, quando ocorreu tal fenômeno, ocorreu uma precipitação de 1276,4 mm, 1505,8 mm e 1392,75 mm, respectivamente, diferente da média anual que é 1637,85 mm (ANA, 2018). Essa diferença de 22%, 8% e 15% a menos de precipitação é característica do evento La Niña, que causa secas no sul do país. Porém, não só em anos de La Niña se usa a irrigação no Rio Grande do Sul, pois mesmo em um ano com o total pluviométrico alto, pode faltar água justamente quando a cultura necessita, causando déficit hídrico, diminuindo a produtividade ou, até mesmo, perdendo toda a plantação em casos mais severos de seca.

A irrigação apresentou ganhos de produtividade, de cerca de 24,4% em 2015 no Rio Grande do Sul. A região gaúcha se destaca por ser uma potência em expansão da irrigação por pivôs centrais na produção de grãos, onde as bacias destaques no Rio Grande do Sul são as do Ijuí e a do Alto Jacuí, sendo a última em que está localizado o município de Cachoeira do Sul. Na bacia do Alto Jacuí tem-se 21,5% dos pivôs centrais do estado do Rio Grande do Sul e,

somente, a cidade de Cachoeira do Sul concentra 3,45% dos pivôs centrais do estado gaúcho (Martins et. al, 2016)

3.4. MODELOS AGRO-HIDROLÓGICOS

Para um ótimo manejo de sistemas de irrigação se necessita de conhecimento preciso sobre o consumo da água pela planta, fluxo de água e dinâmica da umidade de água no solo durante as fases de crescimento da cultura. Assim, precisa-se de informações precisas sobre variabilidade temporal e espacial da chuva, solos e culturas.

Os modelos de simulação utilizando-se de equações matemáticas simulam a partir de um modelo conceitual criado, o que acontece na natureza partindo-se de observações do sistema real. O objetivo deste tipo de modelagem é compreender melhor o sistema e prever situações futuras, algumas vezes também reproduzir o passado, para direcionar as ações de decisão (Machado, 2002).

Alguns modelos hidrológicos têm a capacidade de simular, por expressões matemáticas, com bases físicas, o fluxo de água na superfície e sub-superfície terrestre. Estes modelos pode descrever o impacto da agricultura na qualidade e disponibilidade de água (Blainski, 2008).

Devido à complexidade do sistema agrícola, modelos com diferentes níveis de dificuldade são encontrados na literatura em diferentes escalas. A escala da planta, geralmente, é o nível de maior interesse para uma modelagem agro hidrológica. Dependendo da disponibilidade de dados e do conhecimento do processo a ser modelado há diferentes modelos utilizados, podendo ser: os modelos empíricos e modelos mecanísticos (Scarpate, 2011).

3.4.1. Modelos empíricos

Segundo Teramoto (2003), os modelos empíricos consistem em analisar dados experimentais, realizando algumas análises dos mesmos e tentando idealizar equações matemáticas que possam ser usadas como modelos matemáticos que se ajustem aos dados observados. Nesse tipo de modelo utilizam-se dados empíricos, variáveis ou constantes consagradas que fazem parte do conhecimento de determinada ciência.

3.4.2. Modelos mecanísticos

Já nos modelos mecanísticos se busca uma compreensão do sistema em termos dos mecanismos presentes. Assim um modelo pode ser construído com base na estrutura do sistema, dividindo o sistema em componentes individuais e suas inter-relações.

Os resultados obtidos através do uso de modelos são mais rápido e de menor custo do que a pesquisa experimental e menos precisos. A construção de modelos simplificados tem por objetivo torná-los mais acessíveis para o público em geral. Tais modelos podem ser feitos extraindo os detalhes excessivos de modelos complexos e fazendo análises de sensibilidade para ver a variação do resultado (Bernardes, 1998).

3.4.3. O modelo Swap

3.4.3.1. Definição do modelo

Para as simulações das demandas futuras de água para irrigação escolheu-se o modelo SWAP, por ser um modelo já consolidado e de domínio público. Este modelo unidimensional integra o balanço de água no solo com o crescimento da planta, baseado em conceitos de técnicas atuais de modelagem e simulação (VAN DAM, 2000).

3.4.3.2. Aplicação do modelo SWAP

Viagem (2013) modelou através do SWAP o impacto das mudanças climáticas na agricultura irrigada, para Sussudenga, Moçambique, onde houve modelagens no tempo presente (1981-1998) e no tempo futuro (1931-2048), concluindo que, no futuro simulado, para a cultura do tomate aumenta em 0,93% a necessidade de água para a irrigação, enquanto a cultura do milho e do algodão ocorre uma tendencia de diminuição da necessidade de água que é respectivamente 44,39% e 4,9%.

Melo (2015) simulou os impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para a irrigação no noroeste do Rio Grande do Sul, incluindo a cultura de soja, concluindo que as precipitações são aumentadas até o fim do século no local estudado.

Já Kaufmann (2013) simulou o processo hidrológico e transporte de espécies químicas produzidas por chuvas intensas nos solos do sul do Brasil com diferentes tipos e usos do solo. Ele concluiu que o modelo SWAP simulou adequadamente os componentes do balanço

hídrico em lisímetro de 1 m³ sob chuvas simuladas nas escalas de tempo diário, exceto para escoamento superficial.

Louzada (2004) simulou os processos de irrigação por inundação e drenagem dos solos de várzea no Rio Grande do Sul com o SWAP, tendo que adaptar o modelo para as características específicas da irrigação. Ele concluiu que a aderência entre valores observados e calculados, verificada de forma visual e analítica justifica o emprego do modelo adaptado para a simulação do comportamento das variáveis que definem a dinâmica de irrigação por inundação e da drenagem em solos pouco profundos.

Mattiuzi et. al, (2017) utilizou o modelo SWAP para a avaliação do valor econômico da água em região agrícola de arroz e soja na bacia de Santa Maria, Rio Grande do Sul, definindo, assim, valores marginais para diferentes cidades.

Santos (2011) utilizou o modelo agro-hidrológico SWAP para avaliar o desempenho de duas funções de redução na estimativa da extração de água por plantas de soja sob condições úmidas em Piracicaba, São Paulo. O desempenho de ambas as funções de redução foi analisado através do potencial matricial e do conteúdo de água no solo, ambos simulados pelo modelo SWAP. Essas duas variáveis foram monitoradas ao longo do ciclo da cultura nas profundidades de 0,05; 0,15 e 0,30 m. Comparando tanto os valores do potencial matricial com os do conteúdo de água no solo simulados pelo SWAP, para as três profundidades analisadas, com os dados experimentais foram possível determinar qual das duas funções de redução apresentou melhor desempenho.

Almeida et. al (2015) avaliaram a produtividade do milho sob diferentes lâminas de irrigação e doses de adubação nitrogenada na região dos cocais maranhense. O experimento foi instalado em parcelas subdivididas, no delineamento em blocos casualizados e no esquema fatorial 4x5, com 20 tratamentos e quatro repetições. O sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão em linha e o manejo da irrigação baseou-se no teor de água do solo. A máxima produtividade foi alcançada com as lâminas de 100% e 125% em relação ao teor de água do solo, de 5012,22 e 4498,74 kg ha⁻¹, respectivamente.

Sua análise da aplicação dos modelos em situações expressivamente diferentes visou verificar o desempenho dos modelos quando utilizados para representar diferentes condições

de contorno. Como citado por Wesseling et al. (1998), as condições de contorno na superfície e no fundo do perfil do solo são cruciais para aplicação do modelo SWAP.

4. METODOLOGIA

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área estudada fica localizada no município de Cachoeira do Sul, na região central do Rio Grande do Sul e possui as seguintes coordenadas: a latitude é $-29,94^\circ$ e a longitude é $-53,17^\circ$, com uma área aproximada de 51,87 ha, onde sua geometria é demonstrada na Figura 5. O clima da região, segundo classificação de Köppen é subtropical (CFa) com clima úmido e verão quente, com temperatura média anual de $19,4^\circ\text{C}$ e precipitação média anual de 1637,85 mm distribuída no ano todo, sem apresentar períodos secos ou úmidos (Pohlmann, 2018). A precipitação média mensal varia de 118 mm a 216 mm, considerando o período de 1991 a 2017 e dados da estação meteorológica Santa Maria – RS, localizada na latitude $-29,7^\circ$ e longitude $-53,7^\circ$ a 65,21 km do local estudado.



Figura 5- Área da propriedade

A área da propriedade fica localizada na bacia do Baixo Jacuí, conforme apresentado na Figura 6. O limite inferior da propriedade é delimitado pela bacia dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim.

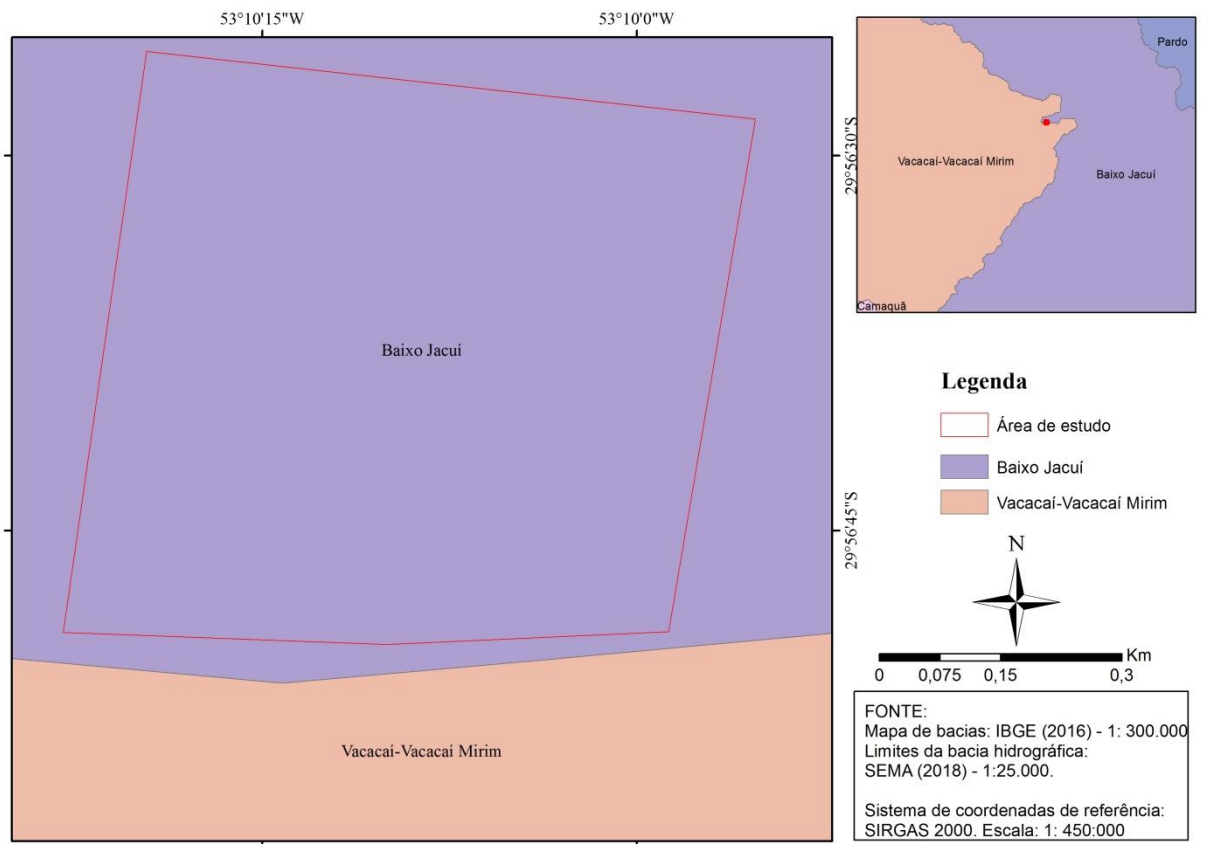


Figura 6 - Bacia incluída na propriedade

Fonte: EMBRAPA,2018

O uso do solo na área é agrícola, com prática do cultivo direto, sendo as culturas de verão soja e arroz, e de inverno gramíneas para pastagem, do tipo Aruana (*Panicum Maximum*), ambas as de verão não são irrigadas. O tipo de solo encontrado na área é Planossolo Háplico eutrófico arenico (PLE), como ilustrado na Figura 7.

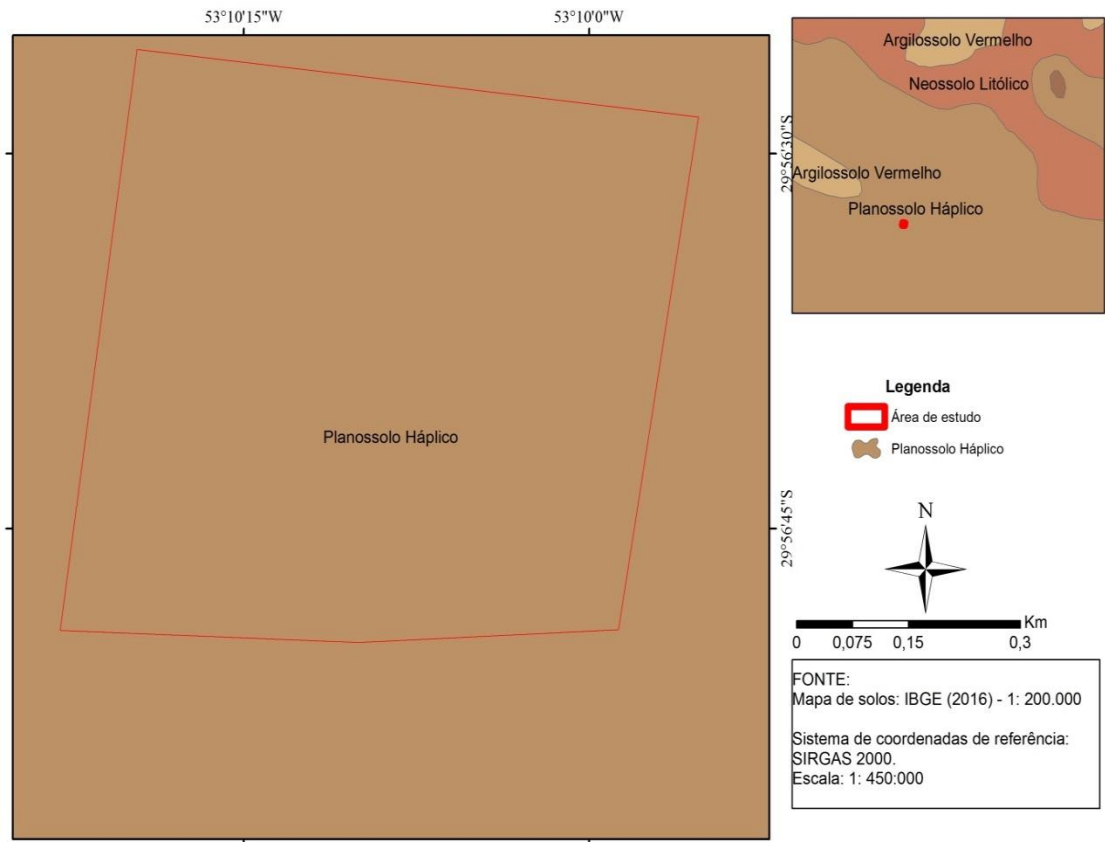


Figura 7 - Solo no local de estudo

O material de origem deste solo é predominantemente sedimentos, a drenagem é imperfeita, a textura do solo é areno-argilosa e o solo é profundo, ou seja, maior do que 200 cm (EMBRAPA, 2018)

4.2. O MODELO SWAP

O modelo SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) simula o transporte de água e o crescimento de plantas no solo (Kroes, 2008). Na Figura 8 são apresentados os fenômenos considerados, que são a precipitação, a irrigação, a transpiração, o escoamento superficial e a interação da água subterrânea com a planta. O modelo é de base física, unidimensional, vertical e descreve o fluxo de água usando a equação de Richards. Tal equação é uma combinação da equação de Darcy com a equação da continuidade (Kaufmann, 2013).

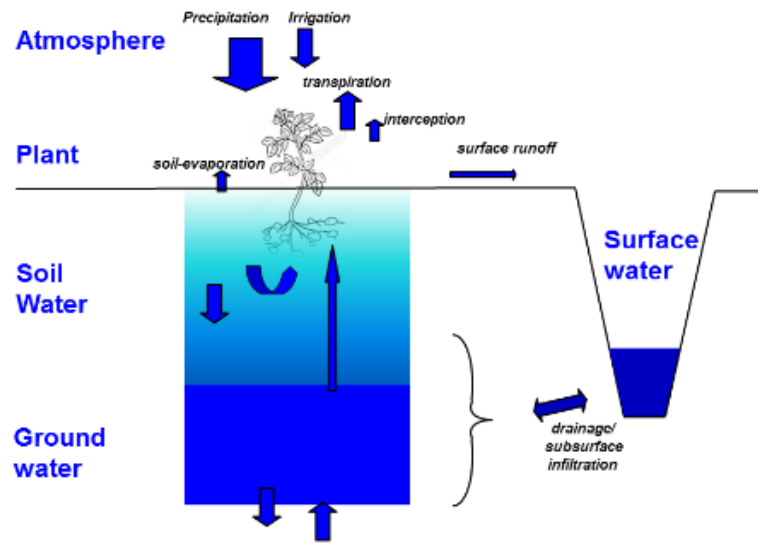


Figura 8 - Processos de transporte do SWAP. Fonte: Kroes, 2008

4.2.1. Equação de Richards

A equação de Richards (1931) é expressa segundo a equação 1 que é feita com o emprego de um esquema implícito de diferenças finitas, de tal forma que possibilita a simulação simultânea das zonas saturadas e não saturadas.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left[K(h) \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S_a(h) \quad 1$$

Onde:

θ : Umidade volumétrica [m^3m^{-3}];

$K(h)$: Condutividade hidráulica [$\text{cm} \cdot \text{dia}^{-1}$];

h : Potencial de pressão no solo [cm];

t : Tempo [d];

z : Coordenada vertical, onde é positivo para cima [cm];

$S_a(h)$: Extração de água no solo pelas raízes [$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$];

4.2.2. Equações de Van Genuchten

As funções hidráulicas da curva de retenção e condutividade hidráulica propostas por Van Genuchten (1980) são usadas pelo modelo SWAP. São elas, respectivamente, as equações 2 e 3.

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^{1-\frac{1}{n}}} \quad 2$$

$$K(\theta) = K_0 e^{z(\theta - \theta_0)} \quad 3$$

Onde:

θ : Teor de umidade do solo [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$];

θ_r : Teor de umidade residual do solo [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$];

K_0 [cm dia^{-1}], θ_0 [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$]: Valores de K e θ , respectivamente, para o tempo zero de redistribuição da água;

h : Pressão capilar [cm];

α [cm^{-1}], n []: Parâmetros de ajuste;

z : Coordenada vertical, onde é positivo para cima [cm].

O modelo SWAP define as relações $\theta - K - h$ através das equações 2 e 3.

4.2.3 Extração de água pelas raízes

A taxa de absorção de água pelas plantas é dada pela expressão 4.

$$S = a_{real} \cdot S_p \quad 4$$

Onde:

S_p : Taxa potencial de absorção de água [dia^{-1}];

a_{real} : Fator de redução que é dependente de h[.].

O fator de redução foi descrito por Feddes et al. (1978) que propôs a redução linear em condições extremamente úmidas e secas devido ao déficit de oxigênio e água, respectivamente. Caracterizando por quatro principais valores de potencial de pressão (Figura 9). Na extensão de valores intermediários, o valor é igual a 1.

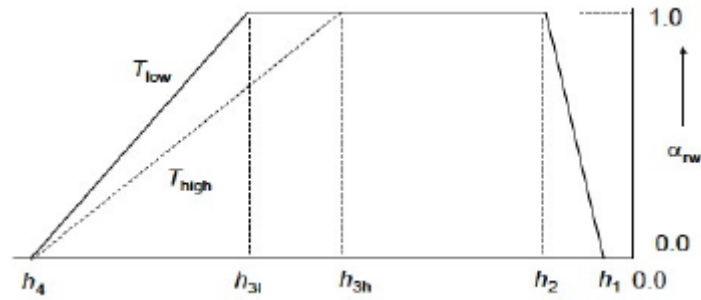


Figura 9 - Redução do coeficiente para captação de água pela raiz, como função de potencial de pressão e transpiração potencial. Fonte: Adaptado de Kroes, 2008.

No intervalo $h_3 < h < h_2$ a captação de água pela raiz é ótima. Abaixo de h_3 a captação de água pela raiz decresce linearmente até zero devido à seca no ponto h_4 (ponto de murcha permanente). O h_3 equivale ao limite hídrico inferior da cultura, ou seja, a tensão da água no solo em que a cultura começa a perder produtividade. Como há valores diferentes para esse limite para a soja na bibliografia, nesta pesquisa foram testados dois valores para o h_3 : 300 kPa, que significa que uma planta não é resistente em relação ao estresse hídrico considerando o tipo de solo e -1000 kPa, que significa que uma planta é muito resistente em relação ao estresse hídrico considerando o tipo de solo.

Acima de h_2 a captação de água decresce linearmente devido à aeração insuficiente até zero no ponto h_1 (Viagem, 2013). A máxima extração possível de água pelas raízes é igual à taxa de transpiração potencial, governado pelas condições atmosféricas, dado pela equação 5.

$$S_p(z) = \frac{l_{root}(z)}{\int_{-D_{rpppt}}^0 l_{root}(z) dz} T_p \quad 5$$

Onde:

S_p : Taxa potencial de absorção de água [dia^{-1}];

T_p : Taxa de transpiração potencial [$\text{cm} \cdot \text{dia}^{-1}$];

dz : Espessura da camada de raiz [cm];

l_{root} : Densidade de raiz [%].

4.2.4. Evapotranspiração potencial e de referência

A evapotranspiração de uma superfície cultivada com uma cultura de referência, que a grama, com 100% de cobertura vegetal e sem falta de água é denominada evapotranspiração de referência e é representada por ET_0 (Viagem, 2013). A evapotranspiração de referência, que é um dado de entrada para o modelo SWAP, foi obtida a partir da equação 6. Essa equação foi escolhida por necessitar apenas da temperatura máxima, mínima e da radiação solar, sendo estes dados disponibilizados pelo site do INMET.

$$ET_0 = 0,0135 \cdot K_T \cdot (T + 17,78) \cdot (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0,6} \cdot R_a \quad 6$$

Onde:

ET_0 : Evapotranspiração de referência [mm d-1];

K_T : Coeficiente empírico [];

T : Temperatura média [°C];

$T_{m\acute{a}x}$: Temperatura máxima [°C];

$T_{m\acute{i}n}$: Temperatura mínima [°C];

R_a : Radiação solar no topo da atmosfera [MJm⁻²dia⁻¹];

A radiação solar é obtida em função da latitude e época do ano, segundo as equações abaixo,

$$R_0 = 37,6 \cdot \left(\frac{\bar{D}}{D}\right)^2 \cdot \left(\frac{\pi}{180} \cdot H \cdot \text{sen}\phi \cdot \text{sen}\delta + \cos\phi \cdot \text{cos}\delta \cdot \text{sen}H\right) \quad 7$$

Onde:

R_0 : Irradiancia solar global diária no topo da atmosfera [MJ/m²];

$\left(\frac{\bar{D}}{D}\right)^2$: Fator de correção para a distância Terra-Sol [];

δ : Ângulo de declinação solar [];

ϕ : Latitude do local [°];

H : Ângulo horário do pôr do sol

A evapotranspiração Potencial (ET_p) é o total de água liberado para a atmosfera por evaporação e transpiração, por unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de uma cultura específica. Esta é descrita pela equação de Penman-Monteith.

A evapotranspiração potencial do solo parcialmente coberto corresponde a uma parcela da evapotranspiração potencial, que varia em função do índice de área foliar da planta. Ela pode ser calculada pela equação 7

$$E_p = e^{-k.LAI} ET_p \quad 8$$

Onde:

E_p : Taxa de evaporação potencial do solo [cm.dia⁻¹];

ET_p : Taxa de evapotranspiração potencial [cm.dia⁻¹];

k : Coeficiente de extinção para a radiação solar global [], onde o valor usualmente adotado é 0,39;

LAI : Índice de área foliar [].

A evapotranspiração potencial da cultura (ET_p) é utilizada para estimativa da demanda potencial de água de uma cultura em cada fase de crescimento, sendo esse método base para projetos de irrigação. A determinação da evapotranspiração potencial da cultura é através da multiplicação do valor de evapotranspiração potencial da cultura de referência (grama) em um período pelo valor do coeficiente de cultura (K_c) no mesmo período analisado da fase (Brunini, 2000).

4.2.5 Rendimento real e rendimento potencial da cultura

Para cada fase de crescimento da cultura, a relação entre a produtividade real e a produtividade potencial é calculada pelo modelo através da equação 8.

$$1 - \frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}} = K_{y,k} \cdot \left(1 - \frac{T_{a,k}}{T_{p,k}} \right) \quad 9$$

Onde:

$K_{y,k}$: Fator de resposta de rendimento da fase de crescimento [];

$T_{p,k}$: Transpiração Potencial [mm];

$T_{a,k}$: Transpiração real [mm];

$Y_{a,k}$: Relação entre o rendimento real [];

$Y_{p,k}$: Relação entre o rendimento potencial [].

4.3. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

4.3.1. Dados meteorológicos

Para a utilização da equação 6, foram retirados os dados de temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação o site do INMET. Os dados de precipitação foram obtidos no site da ANA. O posto utilizado no site do INMET é a estação denominada Encruzilhada do Sul, com latitude igual a $-30,53^\circ$ e longitude $-52,51^\circ$. Altitude 427,75 m. O posto utilizado no site da ANA (Hidroweb) tem estação denominada 02953037, com latitude $-30,01^\circ$ e longitude $-53,01^\circ$.

O período de simulação foi definido a partir dos dados do INMET, ou seja, de 01/jan/2007 até 31/dez/2017.

4.3.2. Parametrização do solo

Para encontrar os dados de entrada de algumas propriedades físico-hidráulicas do solo, como a condutividade hidráulica saturada, primeiramente precisa-se conhecer melhor o solo. então se fez uma saída de campo no dia 04 de agosto de 2018 e foram coletadas amostras do solo em cinco pontos, com um trado, em diferentes profundidades que variaram entre 0,10 m a 0,85 m. Estes pontos foram escolhidos devido às variações do relevo do terreno e com as observações apontadas pelo proprietário da propriedade, assim, foi realizado um mapa de localização dos pontos, apresentado na Figura 10.



Figura 10 - Localização dos pontos na propriedade

Na Tabela 5 são apresentadas as porcentagens de areia, silte e argila das amostras de solo e as profundidades dos locais das coletas. O primeiro número, que é separado por um ponto, é o número do ponto coletado e o segundo número foi colocado em ordem de afloramento, ou seja, o número um é o mais perto do solo do que o número dois.

Tabela 5 - Porcentagem de areia, argila e silte nas amostras de solo

Amostra	% de areia	% de argila	% de silte	Profundidade [m]
1.1	50,48	17,39	32,13	0,16
1.2	92,93	4,95	2,12	0,85
2.1	69,76	18,60	11,64	0,48
2.2	94,76	3,09	2,15	0,70
3.1	97,55	1,54	0,91	0,10
3.2	97,66	1,88	0,46	0,45
3.3	51,45	29,91	18,64	0,76
4.1	66,61	25,15	8,25	0,25

Amostra	% de areia	% de argila	% de silte	Profundidade [m]
4.2	96,87	2,95	0,18	0,50
5.1	59,03	30,03	10,94	0,45

Apesar do mapa do IBGE dizer que a propriedade ser areno-argilosa, encontrou-se amostras muito arenosas. Especula-se que pelo mapa do IGBE ter uma escala muito grande e a abordagem deste trabalho ser em escala de detalhe, se confia nos dados encontrados em campo.

Utilizou-se o software RETc, que tem uma abordagem simples para este tipo de caso, avaliou-se as propriedades físico-hidráulicas do solo, para os solos coletadas, resultando nos dados da Tabela 6.

Tabela 6 - Propriedades físico-hidráulicas do solo

Amostra	Solo	θ_r [cm ³ /cm ³]	θ_s [cm ³ /cm ³]	α_1 [1/cm]	n []	Ks [cm/dia]
1	1.1	0,0757	0,4017	0,0243	1,2910	8,6600
	1.2	0,0487	0,3802	0,0357	3,0715	551,2300
2	2.1	0,0456	0,3833	0,0337	1,4162	41,5300
	2.2	0,0511	0,3778	0,0341	3,3559	716,0800
3	3.1	0,0510	0,3775	0,0343	3,9112	1057,0800
	3.2	0,0587	0,3945	0,0181	1,4083	15,4200
	3.3	0,0587	0,3945	0,0181	1,4083	15,4200
4	4.1	0,0384	0,3875	0,0329	1,4142	46,6000
	4.2	0,0484	0,3808	0,0364	3,8519	978,7600
	5.1	0,0431	0,3876	0,0234	1,4070	32,8500

Como o solo predominante era o da amostra 1 e os coeficientes pouco variavam entre si, considerou-se em toda a simulação somente a amostra 1.

A discretização vertical do perfil do solo é apresentada na Tabela 7, que foi baseada nos perfis dos dados coletados na saída de campo que é a profundidade os solos da amostra 1.

Tabela 7 - Discretização vertical do perfil do solo

Camadas no perfil do	Subcamadas	Espessura das subcamadas	Espessura dos compartimentos	Número de compartimentos
----------------------	------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------

solo		[cm]	[cm]	
1	1	05,0	1,0	5,0
1	2	15,0	2,5	5,0
1	3	10,0	5,0	5,0

Fonte: (MELO, 2015)

Além das propriedades físico-hidráulicas, considerou-se que o solo trabalhado na região é profundo (maior do que 200 cm), logo a drenagem é livre ao longo do perfil.

4.3.3. Parametrização da cultura

O período simulado de cultivo da soja foi de 15 de novembro a 15 de abril, ou seja, 152 dias nos anos não bissextos e 153 dias nos anos bissextos. Outros parâmetros da cultura foram definidos a partir da bibliografia e apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados da cultura da soja.

Período [dias]	Índice de área foliar [IAF]	Coefficiente da cultura [Kc]	Profundidade das raízes [cm]
0-10	1,47	0,56	30,4
11-45	4,24	1,21	60,8
46-75	3,56	1,50	76,0
76-110	3,45	1,45	91,2
111-125	2,57	1,41	121,6
126-166	2,57	1,41	121,6

Fonte: (Matzenauer, Bergamaschi, & Berlato, 2002)

4.4. AVALIAÇÃO DE CUSTOS E BENEFÍCIOS DECORRENTES DA IRRIGAÇÃO

A viabilidade econômica de um empreendimento agrícola com irrigação é influenciada pelos custos de implantação, manutenção e eficiência do sistema, os quais, por sua vez, variam em função das lâminas e do manejo de irrigação ao longo do ciclo (Junior, Sales, & Pereira, 2018). Uma maneira de verificar a viabilidade econômica é através do Custo Operacional Efetivo (COE).

O COE o implica nas despesas financeiras do produtor, tais como mão-de-obra contratada, concentrados, fertilizantes, sementes, medicamentos, sais minerais, reparos de

benfeitorias, consertos de máquinas, impostos e taxas, energia elétrica, combustível, inseminação artificial e outros desta natureza (Boteon, 2017).

O COE orçado para a safra 2017/2018 de soja deve subir nas principais regiões produtoras do Brasil em relação à temporada passada, segundo cálculos do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), da Esalq/USP, realizados em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). A alta está atrelada à recente elevação do preço do diesel, devido ao aumento do PIS/Cofins que incide no preço do combustível e do frete agrícola. Além disso, os reajustes do salário mínimo e da energia elétrica devem impulsionar o custo.

No Sul do País, segundo a CEPEA, 2018, as margens obtidas foram semelhantes para sojicultores de Passo Fundo (RS). O COE médio para soja intacta foi R\$ 3200,00/ ha e a cotação média da soja em jan/17 de R\$ 66,63/sc. Na Tabela 9 é apresentado um resumo dessas informações.

Tabela 9 - Preços do custo da irrigação e da venda da soja.

Venda/Investimento	Valor
Venda da soja	R\$66,63 sc ^{-1*}
COE para a soja não irrigada	R\$3200,00 ha ^{-1**}
COE para a soja irrigada	R\$4200,00 ha ⁻¹

Estes valores de COE (e da produtividade potencial da soja que será mostrada posteriormente) foi disponibilizada pelo Engenheiro Agrônomo Luciano Mazuin da Silva (EMATER/Cachoeira do Sul) e pelo Técnico José Luis da Silva (EMATER/Tupanciretã).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PRODUTIVIDADE DA SOJA SEM IRRIGAÇÃO

Neste item é apresentada a relação entre a Transpiração real da soja (sem irrigação) e a Transpiração potencial da soja (com irrigação), considerando o fator de resposta de rendimento da fase de crescimento ao longo de todo ciclo como sendo igual a 1, para dois limites hídricos da soja, correspondentes aos potenciais de água no solo: -300 kPa e -1000 kPa, a partir do qual a soja começaria a sofrer déficit hídrico e conseqüentemente reduzir sua produtividade. A partir dessa relação, e da máxima produtividade da soja que ocorreu na região de estudo, no período analisado, foram calculadas as produtividades da soja não irrigada, para essas três situações de limite hídrico da soja.

5.1.1. Potencial matricial -300 kPa

Para o potencial matricial de -300 kPa foram avaliadas as variáveis Transpiração potencial ($T_{p,k}$) e Transpiração real ($T_{a,k}$) da equação 8, para calcular a divisão entre o rendimento real e o rendimento potencial, sendo o coeficiente K igual a 1 para todas as hipóteses. As variáveis $T_{p,k}$ e $T_{a,k}$ são dados calculados pelo softwares SWAP e são dados mensais acumulados. Na Tabela 10 são apresentados os resultados dessas variáveis e a relação entre elas. As relações com razão mais baixas são coincidentes com as menores precipitações no período (Figura 11).

Tabela 10 - Transpiração potencial e real do potencial matricial igual a -300 kPa

	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	2012/ 2013	2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016	2016/ 2017
Tp	18,19	28,50	24,43	15,27	22,74	32,57	29,49	30,59	27,54	26,56
Ta	15,37	24,15	21,68	14,99	14,70	10,57	24,15	20,38	22,30	24,78
Ta/Tp	0,84	0,85	0,89	0,98	0,65	0,32	0,82	0,67	0,81	0,93

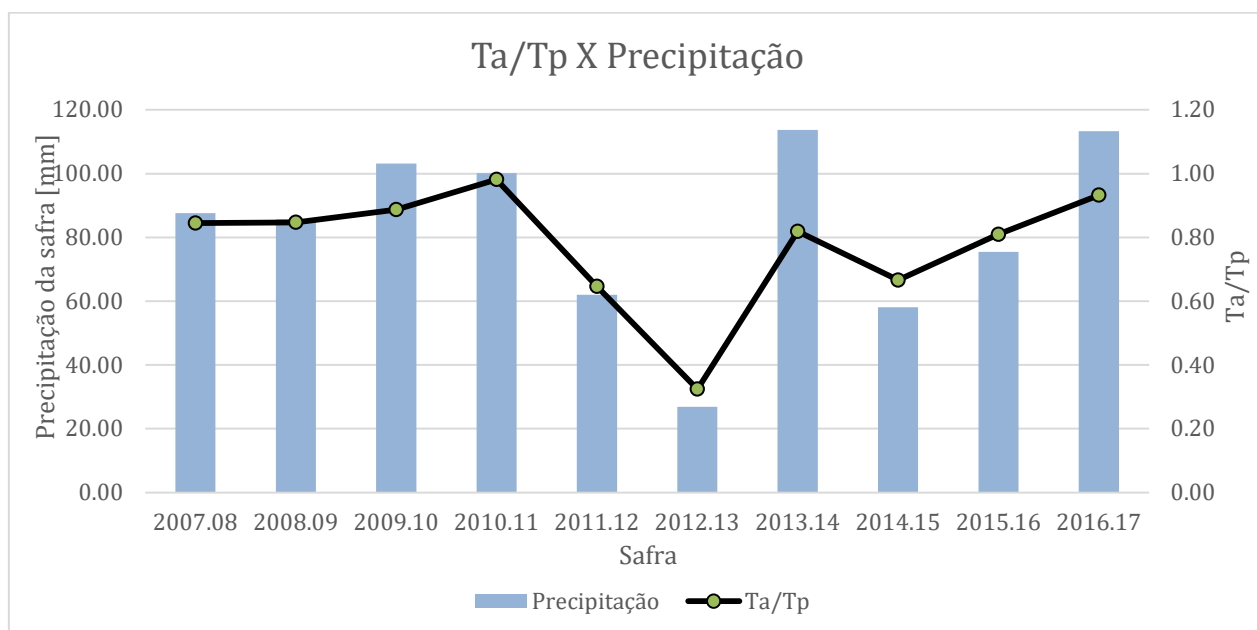


Figura 11 - Relação Ta/Tp e precipitação por safra para o potencial matricial de -300 kPa

Sabendo-se, pela equação 8, que a relação entre transpiração real sobre a potencial é igual a relação entre o rendimento real e o rendimento potencial, a produtividade real da soja foi calculada para cada safra, multiplicando-se a relação Ta/Tp (Tabela 10) pela máxima produtividade da soja irrigada ocorrida na região de Cachoeira do Sul na qual, segundo o agrônomo Luciano Mazuin da Silva, da EMATER/Cachoeira do Sul e o técnico José Luis da Silva, da EMATER/Tupanciretã é de aproximadamente 4200 kg/ha para a região. Os resultados da produtividade real da soja por hectare, calculada para cada safra, são apresentados na tabela 11, assim como os valores das precipitações ocorridas durante as safras consideradas nesta pesquisa e Ta/Tp.

Tabela 11 - Produtividade real calculada pelo SWAP da soja por safra para o potencial matricial de -300 kPa, Ta/Tp e Precipitação média mensal ocorrida ao longo da safra.

Safra	Produtividade [kg/ha]	Ta/Tp	Precipitação média mensal [mm]
2007/08	3564,651	0,84	87.65
2008/09	3571,708	0,85	85.70
2009/10	3728,586	0,89	103.15
2010/11	4126,187	0,98	100.18
2011/12	2724,998	0,65	62.02
2012/13	1363,673	0,32	26.92

Safra	Produtividade [kg/ha]	Ta/Tp	Precipitação média mensal [mm]
2013/14	3460,221	0,82	113.77
2014/15	2807,252	0,67	58.05
2015/16	3416,329	0,81	75.42
2016/17	3894,033	0,93	113.35

As safras com maior produtividade calculadas foram as de 2010/11, 2016/17 e 2009/10 respectivamente. Nas três safras ocorreram precipitações médias acima da média do período considerado (82,62 mm), ou seja, a precipitação foi bem distribuído no período mais crítico da planta, que é de 18 de dezembro a 23 de janeiro (considerando a semeadura da soja no dia 15/11), conforme ilustrado no anexo A. Na safra de 2010/11 houve a ocorrência do fenômeno La Niña, com o efeito moderado, onde mesmo esse fenômeno sendo caracterizado como seca no ambiente gaúcho, houve uma boa precipitação no mês de dezembro. Na safra 2009/10 ocorreu um El Niño moderado, ocasionando uma boa distribuição de chuvas quando a soja necessitava, além de ter uma Ta/Tp alta..

5.1.2. Potencial matricial -1000 kPa

Utilizando a mesma metodologia do potencial matricial de -300 kPa, avaliou-se as variáveis Tp e Ta, respectivamente, para encontrar a razão entre essas duas variáveis, Ta/Tp, para encontrar, conseqüentemente, a produtividade no local simulado. Na Tabela 12 e na figura 16 são apresentados os resultados. Pode-se observar que as razões mais baixas estão coincidindo com as precipitações mais baixas nos períodos analisados, conforme era esperado.

Tabela 12 - Transpiração potencial e real do potencial matricial igual a -1000 kPa

	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	2012/ 2013	2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016	2016/ 2017
Tp	18,19	28,50	24,43	15,27	22,74	32,57	29,49	30,59	27,54	26,56
Ta	15,40	24,19	21,70	15,00	14,73	10,57	24,25	20,46	22,35	24,60
Ta/Tp	0,85	0,85	0,89	0,98	0,65	0,32	0,82	0,67	0,81	0,93

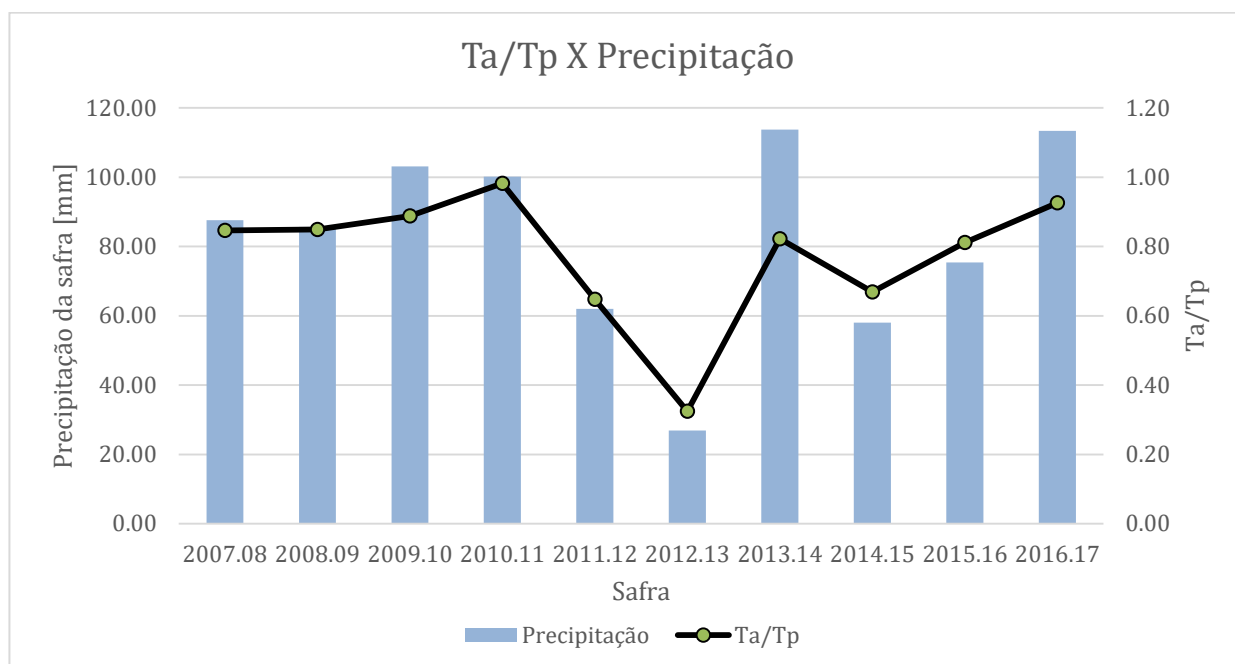


Figura 12 - Relação Ta/Tp e precipitação por safra para o potencial matricial de -1000 kPa

Através da equação 8, Ta/Tp é igual a Ya/Yp , sendo que, também se considerou K igual a 1. A produtividade da soja não irrigada (Tabela 13), considerando-se como limite hídrico inferior o potencial -1000kPa foi calculada pelo produto da produtividade máxima ocorrida na região para cada safra (4200kg/ha) por Ta/Tp (Tabela 12) .

Tabela 13 - Produtividade da soja no estudo de caso por safra para o potencial matricial de -1000 kPa

Safra	Produtividade [kg/ha]	Ta/Tp	Precipitação [mm]
2007/08	3564,651	0,85	87,65
2008/09	3571,708	0,85	85,70
2009/10	3728,586	0,89	103,15
2010/11	4126,187	0,98	100,18
2011/12	2724,998	0,65	62,02
2012/13	1363,673	0,32	26,92
2013/14	3460,221	0,82	113,77
2014/15	2807,252	0,67	58,05

Safra	Produtividade [kg/ha]	T_a/T_p	Precipitação [mm]
2015/16	3416,329	0,81	75,42
2016/17	3894,033	0,93	113,35

Assim como o potencial matricial iguala -300kPa , as três maiores produtividades foram as safras de 2010/11, 2016/17 e 2009/10. Já as menores produtividades se deram nas safras de 2012/13, 2011/12 e 2014/15. A safra de menor produtividade tem a menor precipitação média (26,92 mm) e a menor razão T_a/T_p (0,32). A distribuição das precipitações nessa safra é muito desfavorável, pois só se tem chuvas após o período reprodutivo da soja (após 23/01 considerando a semeadura no dia 15/11). A safra de 2011/12 tem baixa precipitação (62,02 mm) e baixa razão T_a/T_p (0,65) e sua distribuição temporal das chuvas é bem distribuída. A safra de 20014/15 tem uma precipitação abaixo da média (58,05 mm) e uma razão T_a/T_p relativamente alta (0,67).

Produtividade DA SOJA COM A IRRIGAÇÃO

Para avaliar a produtividade da soja com irrigação, considerou-se a hipótese que quando houver irrigação, então a razão Y_a/Y_p vai ser igual a 1, gerando assim, uma produtividade máxima no local estudado. Assim a produtividade da soja com a irrigação é apresentada na referencia do Eng. Agrônomo Luciano Mazuin da Silva (EMATER/Cachoeira do Sul) e do Técnico José Luis da Silva (EMATER/Tupanciretã). O percentual de ganho da produtividade comparando o local de estudo com e sem irrigação é dado através da Tabela 14.

Tabela 14 - Ganho da produtividade irrigando a soja para os dois potenciais matriciais

Safra	-300kPa	-1000kPa
2007/08	18%	18%
2008/09	18%	18%
2009/10	13%	13%
2010/11	2%	2%
2011/12	55%	54%
2012/13	208%	208%
2013/14	22%	21%
2014/15	50%	50%
2015/16	23%	23%
2016/17	7%	8%

Os percentuais entre os dois potenciais matriciais são muito parecidos, então fez-se uma média entre os dois e verificou-se o desvio padrão (para verificar se os dados estão próximos da média, sendo desvio padrão igual a zero quando todos os dados são iguais a média), gerando a Tabela 15. Como os desvios padrões são muito próximos à zero, então se assumiu os valores de produtividade da soja para cálculos futuros.

Tabela 15 - Médio do ganho da produtividade e o desvio padrão dos dados analisados

Safra	Produtividade [kg/ha]	Média do ganho da produtividade	Desvio Padrão
2007/08	3564,651	18%	2.65E-03
2008/09	3571,708	18%	2.00E-03
2009/10	3728,586	13%	5.20E-04
2010/11	4126,187	2%	2.26E-04
2011/12	2724,998	54%	2.72E-03
2012/13	1363,673	208%	1.22E-03
2013/14	3460,221	22%	3.66E-03
2014/15	2807,252	50%	3.24E-03
2015/16	3416,329	23%	2.80E-03
2016/17	3894,033	8%	4.23E-03

5.2. AVALIAÇÃO DE CUSTOS E BENEFÍCIOS DECORRENTES DA IRRIGAÇÃO

Os custos e os benefícios decorrentes da irrigação foram avaliados através da metodologia no capítulo 4.4. Os benefícios e os ganhos (comparando com o benefício financeiro sem a irrigação) foram calculados e estão apresentadas na Tabela 16. Nesta tabela o benefício financeiro irrigando representa o quanto o produtor gera de lucro irrigando, ou seja, é a multiplicação do preço da soja com a quantidade de sacas que gera na propriedade com a prática de irrigação. O benefício financeiro sem a irrigação é quanto o produtor gera de lucro/prejuízo sem a prática de irrigação na propriedade. Já o ganho pela irrigação é a subtração do benefício financeiro irrigando pelo benefício financeiro sem a irrigação.

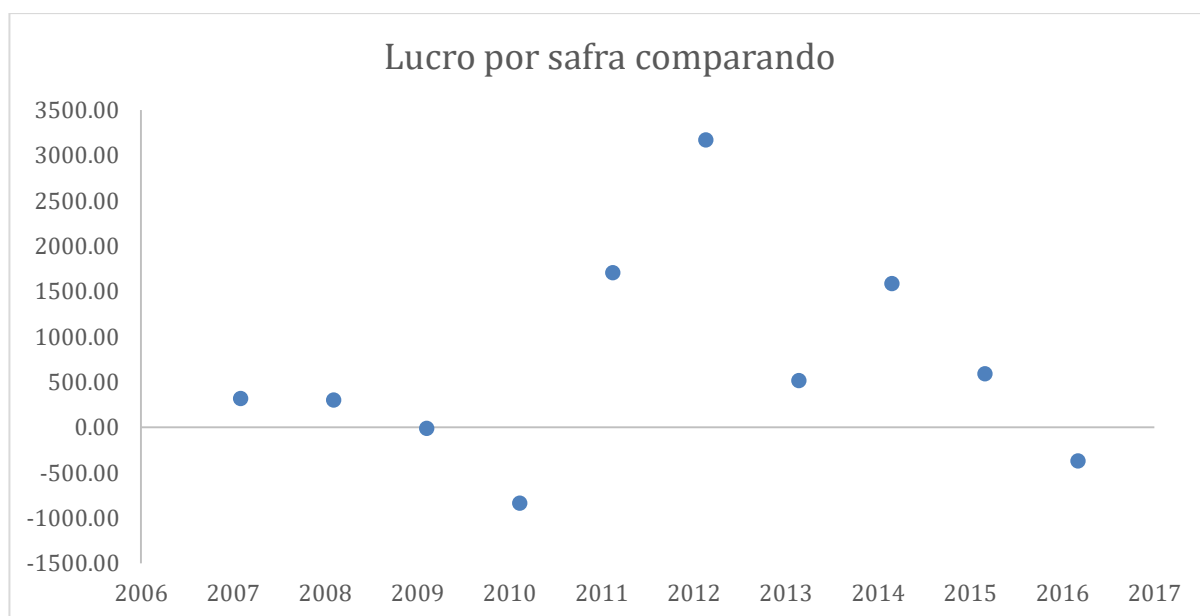
Tabela 16 - Benefício financeiro trazido pela irrigação

Safra	Benefício financeiro irrigando [R\$/ha]	Benefício financeiro sem a irrigação [R\$/ha]	Ganho pela irrigação [R\$/ha]
2007/08	464,10	144,85	319,25
2008/09		161,61	302,49
2009/10		474,25	-10,15
2010/11		1299,60	-835,50
2011/12		-1243,51	1707,61
2012/13		-2708,70	3172,80
2013/14		-52,98	517,08
2014/15		-1123,45	1587,55
2015/16		-128,06	592,16
2016/17		833,72	-369,62

Os maiores ganhos foram nas safras de 2012/13, 2014/15 e 2015/16. A safra de 2012/13 foi a menos produtiva de todas as safras e, com o sistema de irrigação, mostrou um alto ganho financeiro. A safra de 2014/15 não foi nem uma safra com alta produtividade, nem com baixa produtividade de soja, onde sua distribuição de chuvas foi boa, com uma alta pluviosidade em dezembro e média no mês de janeiro. A safra de 2015/16 foi a terceira melhor produtividade.

Entretanto, mesmo todos apresentando ganhos em relação a plantação não irrigada, calculou-se os lucros por safra levando em conta os gastos com o Custo Operacional Efetivo (COE) e o resultado é apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Lucro por safra por hectare



Nas safras de 2009/10, 2010/11 e 2016/17 tiveram lucro negativo, ou seja, prejuízo comparando o rendimento financeiro da soja não irrigada para a soja irrigada. Nessas três safras o sistema de irrigação não valeria a pena. Uma ressalva deve ser feita, pois a metodologia se baseia no custo operacional efetivo (COE) não incluindo a implementação e compra do sistema de irrigação. Além de ser considerado um valor fixo, independentemente do tipo de irrigação e do manejo adotado pelo agricultor. Se produtor conseguir utilizar técnicas mais econômicas (bombas mais eficientes, menores diâmetros das adutoras e tubulações, escolha ideal de aspersores, rotação de culturas, entre outras técnicas), certamente haverá maior lucro.

6. CONCLUSÕES

Os resultados dos dois potenciais matriciais testados (-300 kPa e -1000 kPa) foram muito semelhantes com o desvio padrão se aproximando muito de zero.

O ganho financeiro variou de -R\$835,00 a R\$3172,00/ha durante toda a safra, sendo maior ganho financeiro da safra de 2012/13 e o menor ganho financeiro na safra de 2010/11.

Apesar do COE para a soja irrigada considerar os custos referentes a irrigação, não se considerou nos custos a compra e instalação dos equipamentos para tal prática.

Das dez safras analisadas a implantação da irrigação gerou lucro em sete e em três houve prejuízo. Assim, se recomenda um sistema de irrigação para a propriedade baseado nas safras analisadas.

7. BIBLIOGRAFIA

- Agrolink. (14 de Maio de 2018). Fonte: <https://www.agrolink.com.br/regional/rs/cachoeira-do-sul/estatistica>
- AGRIC. (10 de 06 de 2018). Fonte: AGRIC: http://www.agric.com.br/producoes/cultivo_da_soja.html
- Aguiar, R. (2005). *Estiagem: como conviver com esse fenômeno? Extensão rural e desenvolvimento sustentável*. Porto Alegre.
- Almeida, K. F., Júnior, W. L., Santos, E. B., Silva, Y. N., & Sousa, C. L. (2015). *AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO (Zea mays L.) SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NA REGIÃO DOS COCAIS MARANHENSE*. São Cristóvão: XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem.
- ANA. (2017). *Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. Brasília: Agência Nacional de Águas.
- ANA. (2017). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017 : relatório pleno*. Brasília: Agência Nacional de Águas.
- ANA. (28 de Junho de 2018). Fonte: HIDROWEB: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf
- Atlas socioeconômico . (15 de Maio de 2018). *Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul*. Acesso em 28 de Junho de 2018, disponível em Rio Grande do Sul: <http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/soja>
- Bernardes, M. S. (1998). Sistemas de produção para áreas com restrições à colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Anais: Semana de cana-de-açúcar em Piracicaba*, 35-37.

- Biggs, T. M. (2008). *Evaporation and regional probabilities of soilmoisture in rainfed crops, southern India gricultural and forest meteorology*. Analysis of Soil Water Response to Grass Transpiration.
- Blainski, E. S. (2008). *UTILIZAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO SWAT (Soil and Water Assessment Tool) PARA ESTUDOS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARARANGUÁ/SC*. Florianópolis: Taller Internacional Red Riegos–CYTED.
- Brunini, O. (2000). *Quantificação das necessidades hídricas de culturas para manejo de irrigação*.
- Cabrai, M., Peccin, M., Pivoto, O., Ujacov, G., & Parizi, A. (2018). Avaliação da produtividade da cultura da soja submetida a diferentes lâminas de irrigação. *CONBEA*, 5.
- Camsul. (14 de Abril de 2016). Fonte: Camsul: <http://camsul.com.br/site/2016/04/14/safra-historica-de-soja-e-impactada-por-cenario-de-instabilidade-no-pais/>
- Castillo, A. C. (2016). *Efeito das mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação e o rendimento de grãos da cultura da soja na bacia do rio Potiribu, Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS.
- CEPEA (2018). *CUSTOS TRIMESTRAIS GRÃOS de Maio de 2018*. São Paulo : ESALQ/USP.
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2018). *Acompanhamento da safra brasileira grãos*. Brasília : CONAB.
- CONAB. (02 de Maio de 2018). Fonte: CONAB séries históricas: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>
- CPTEC. (25 de Junho de 2018). *CPTEC El Niño e La Niña*. Acesso em 28 de Junho de 2018, disponível em CPTEC: <http://enos.cptec.inpe.br/>

- Daniel, J. M. (s.d.). *Área Técnica*. Acesso em 13 de Junho de 2018, disponível em Emater: <http://www.emater.tche.br/site/area-tecnica/apoio-a-gestao-e-producao/irrigacao.php#.WyFS9FVKhaQ>
- Doorenbos, J., & Kassan, A. (1979). *Yield response to water*. Rome: FAO.
- EMATER. (2017). *SAFRA DE VERÃO 2016/17 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO*. Porto Alegre: EMATER.
- EMBRAPA. (1987). *Soja no Brasil: história e estatística*. Londrina: EMBRAPA.
- EMBRAPA. (17 de Junho de 2018). *EMBRAPA*. Fonte: EMBRAPA SOLOS: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos>
- EMBRAPA. (Maio de 2018). *EMBRAPA*. Fonte: EMBRAPA SOJA: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>
- FARIAS, José Renato B.; NEPOMUCENO, Alexandre L.; NEUMAIER, Norman. *Ecofisiologia da soja. Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)*, 2007.
- Feddes, R., Kowalik, P., Malinka, K., & Zaradny, H. (1978). *Simulation of field water use and crop yield*. Wageningen: Simulation Monographs.
- Federizzi, L. (2014). *A soja como fator de competitividade no mercosul: histórico, produção e perspectivas futuras*. Porto Alegre.
- FEHR, W.R. CAVINESS, C.E. **Stage of soybean development**. Iowa State University. Special report 80, March, 1977. p. 25-26p.
- Hwang, S., Lee, K. P., & Lee, D. S. (2002). Models for estimating soil particle size distributions. *Soil Society of America Journal*, 1143 - 1150.
- JOHANN, A. R., CUNHA, C. A., & WANDER, A. E. (27 de Outubro de 2017). Operações de barter para financiamento da produção de soja e milho em Goiás e Mato Grosso, Brasil,. *Embrapa Arroz e Feijão - Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

- Junior, J.A., Sales, D., & Pereira, R. (22 de Junho de 2018). Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, p. 6.
- Kaufmann, V. (2013). *Processo hidrológico e transporte de espécies químicas produzidos por chuva intensa simulada em solos do sul do Brasil*. Porto Alegre: UFRGS.
- Kroes, J., Van Dam, J., Groenedijk, P., Hendriks, R., & Jacobs, C. (2008). *SWAP version 3.2. Theory description and user manual*. Alterra, The Netherlands.
- Lima, J. E. (1999). O uso da irrigação no Brasil. *O estado das águas no Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica.
- Louzada, J. (2004). *Simulação da irrigação por inundação e da drenagem dos solos de várzea no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS.
- Machado, R. E. (2002). *Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento*. Piracicaba: USP.
- MARTINS, J. D., BOHRZ, I. S., FREDRICH, M., VERONEZ, R. P., KUNZ, G. A., & TURA, E. F. (maio - junho de 2016). LEVANTAMENTO DA ÁREA IRRIGADA POR PIVÔ CENTRAL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL . *Irriga, Botucatu*, pp. 300-311.
- Mattiuzi, C. D., Marques, G. F., Medellín-Azuara, J., & Goldenfum, J. A. (2017). AVALIAÇÃO DO VALOR ECONÔMICO DA ÁGUA EM REGIÃO AGRÍCOLA DE ARROZ E SOJA – BACIA DO RIO SANTA MARIA/RS. *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, p. 8.
- Matzenauer, R., Bergamaschi, H., & Berlato, M. (2002). *Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Boletim Fepagro.

- MELO, T. M. (2015). *Simulação estocástica dos impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação na região noroeste do rio grande do sul*. Porto Alegre: UFRGS.
- Mundstock, C. M., & Thomas, A. L. (2005). *Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos*. Porto Alegre: Evangraf.
- Nunes, J. L. (12 de Setembro de 2016). *Agrolink*. Fonte: https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/caracteristicas_361509.html
- Pohlmann, V. L. (2018). Caracterização climática de Cachoeira do Sul, RS quanto à precipitação pluvial. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, 42-60.
- Sano, E. E., Lima, J. E., Silva, E. M., & Oliveira, E. C. (2005). *Estimativa da variação na demanda de água para irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002* *Estimative variation in the water demand for irrigation by center pivot in Distrito Federal-Brazil, between 1992 and 2002*. *Engenharia Agrícola*, 25(2), 508-515.
- Santos, M. A. (2011). *Extração de água do solo por plantas de soja: modelagem hidrofísica e empírica*. Piracicaba: USP.
- Scarpate, F. V. (2011). *Simulação do crescimento da cana-de-açúcar pelo modelo agrohidrológico SWAP/WOFOST*. Piracicaba: USP.
- Silva, D. F. (2011). *Uso de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade e de risco climático para a soja no vale do médio Paranapanema*. Campinas: Secretaria de Agricultura e Abastecimento.
- Teramoto, E. R. (2003). *Avaliação e aplicação de modelos e estimativa de produção de cana-de-açúcar baseados em parâmetros do solo e do clima*. Piracicaba: USP.
- VAN DAM, J. (2000). *Field scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation and case studies*. Wageningen University.

- van Genuchten, M. (1980). A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Science Society of America Journal*, 892-898.
- Viagem, S. (2013). *Simulação do impacto das mudanças climáticas sobre a agricultura irrigada na região de Sussundenga - Moçambique*. Porto Alegre: UFRGS.
- Von Hoyningen-Hüne, J. (1983). Die Interception des Niederschlags in landwirtschaftlichen Beständen. *Schriftenreihe des DVWK*, 1-53.
- WESSELING, J. G., KROES, J. G., & METSELAAR, K. (1998). *Global sensitivity analysis of the Soil-water-Atmosphere-Plant (SWAP) model*. Wageningen: DLO-Staring Centre.

8. ANEXO A

