

MINISTERIO DA EDUCACÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

MODELOS ÁGUA-RENDIMENTO PARA A CULTURA DA
SOJA (Glycine max L. Merrill) EM
PLANOSSOLO PELOTAS

José Maria Barbat Parfitt

Dissertação submetida ao Programa
de Pós-graduação em Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental
como requisito parcial para
obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia

Porto Alegre, Julho 1991

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob a orientação do Prof. Raul Dorfman e co-orientação do Prof. João Gilberto Correa da Silva da Universidade Federal de Pelotas.

Agradeço aos professores Drs Raul Dorfman (UFRGS) e João Gilberto Correa da Silva (UFPel), pelos ensinamentos, orientação eficiente, incentivo e apoio na realização de trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pela liberação e apoio financeiro e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade do curso.

Aos Drs Flavio Gastal, Rogerio Coelho e Algenor da Silva Gomes, ex chefes e atual chefe do CPATB-EMBRAPA, pelo apoio dispensado durante todas as fases do curso.

Aos colegas, funcionarios e demais professores do IPH, pela agradável convivência e amizade.

Ao professor Elio Zonta e aos colegas Nelsi Warken, Joseane Garcia e Carlos Moreira pelos auxilios em programação e informática que tornaram possível este trabalho.

Finalmente à minha mulher, Claire, pelo carinho, compreensão e segurança transmitida durante todos os instantes do curso. Ao meu filho, Gustavo, pela constante alegria.

RESUMO

Nas várzeas do Estado do Rio Grande do Sul um modelo água-rendimento será uma ferramenta de fundamental importância num processo de simulação de safras com o uso ou não da irrigação. Identificou-se e adaptou-se modelos de água-rendimento disponíveis na literatura para estimar o rendimento da soja nas condições das várzeas do RS. Os modelos ajustados foram os de Blank, Jensen, Stewart, Minhas e os de Aginsky. Para o ajuste dos modelos foram utilizados dados provenientes de experimentos conduzidos no Planosolo Pelotas, no período de 1974 a 1986 conduzidos com a cultivar de ciclo médio IAS-4. Cada modelo analisado foi ajustado a dados globais de 3, 4, 5, 6 e 7 divisões do ciclo da cultura. Apenas para os modelos de Aginsky o maior número de divisões do ciclo melhorou o ajuste. Nos planossolos a introdução de um termo que quantifica o excesso hídrico melhora o ajuste dos modelos considerados. Os modelos de Minhas, Jensen, Stewart e Blank estimaram de maneira semelhante o rendimento da soja. Os coeficientes de correlação entre os rendimentos observados e estimados por esses modelos, quando foram consideradas sete divisões do ciclo da cultura, foram, respectivamente, 0,85, 0,86, 0,86 e 0,84.

ABSTRACT

A water-yield model is a very important tool, to simulate crops with or without irrigation in the Rio Grande do Sul flood plain. Water-yield models available in literatura were identified and fitted to estimate soybean yield under flood plain conditions in this states. Data from experiments performed in the Pelotas Planossol, with the mean cycle cultivar IAS-4, from 1974 to 1986, were used to fit the models. Each model analyzed was fitted to comprehensive data from 3, 4, 5, 6 and 7 divisions of the crop cycle. The best fits occurred for the largest number of divisions. In Planossol, the introduction of a term which quantifies excess water improves the fit of the models considered. The Minhas, Jensen, Stewart and Blank model estimated soybean yields with equivalent results. The correlation coefficients between observed yield and those estimated by these models, when seven crop cycle divisions considered, were, respectively, 0,86, 0,86, 0,85 and 0,84.

SUMÁRIO

	Página
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVOS	4
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 - Descrição da cultura da soja	5
3.2 - Consumo de água e coeficiente de cultivo (Kc)	6
3.3 - Efeito da deficiência hídrica no rendimento da soja	7
3.4 - Efeito do excesso hídrico	12
3.5 - Modelos água-rendimento	15
3.6 - Análise crítica	27
4 - MATERIAL E MÉTODO	28
4.1 - Dados	28
4.2 - Balanço hídrico	30
4.2.1 - Método de Rijtema e Abouklaled	31
4.3 - Cálculo do rendimento máximo	33
4.4 - Avaliação dos modelos	39
4.4.1 - Subdivisão do ciclo	40
4.4.2 - Quantificação do estresse hídrico	41
4.4.3 - Ajuste dos modelos	44
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6 - CONCLUSÕES	67
7 - RECOMENDAÇÕES	69
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
9 - ANEXOS	76

v

LISTA DE TABELAS

	Página
3.1 Valores dos coeficientes de cultivo (kc) de soja para a região de Taquari - RS.	8
3.2 Rendimento relativo da soja quando submetida à deficiência hídrica em diferentes estágios de seu desenvolvimento.	9
4.1 Grupos de cultivos de acordo com a fração de água disponível do solo em que a ETr ainda permanece igual à ETm.	32
4.2 Fração do esgotamento da água do solo (p) para grupos de cultivos e evapotranspiração máxima (ETm).	32
4.3 Recepção máxima de radiações ativas de onda curta (Rse), em cal/cm ² /dia, e produção bruta de matéria seca em dias nublados (y ₀) e claros (y _c), em kg/ha/dia, para um cultivo tipo (De Wit 1965). Latitude 31,45°.	36
4.4 Taxa de produção (y _m , em Kg/ha/hora) por grupo de cultivo e temperatura média.	36
4.5 Correção para o desenvolvimento do cultivo com o tempo e para a superfície foliar (CL).	37
4.6 Número de dias a partir do qual foi considerado o efeito do excesso hídrico no rendimento da soja.	42
5.1 Estimativas dos parâmetros (a _i e b _i), resultados dos correspondentes testes de significância e desvios padrões dos erros de ajustamento, para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Modelo de Blank original e modificado.	48
5.2 Estimativas dos parâmetros (a _i e b _i), resultados dos correspondentes testes de significância e desvios padrões dos erros de ajustamento, para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Modelo de Jensen original e modificado.	49
5.3 Estimativas dos parâmetros (a _i e b _i), resultados dos correspondentes testes de significância e desvios padrões dos erros de ajustamento, para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Modelo de Stewart original e modificado.	50

5.4 Estimativas dos parâmetros (a_i e b_i), resultados dos correspondentes testes de significância e desvios padrões dos erros de ajustamento, para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta Modelo de Minhas 2.	51
5.5 Estimativas dos parâmetros (a_i), resultados dos correspondentes testes de significância e desvios padrões dos erros de ajustamento para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta . Modelo Aginsky 1.	52
5.6 Estimativas dos parâmetros (a_i), resultados dos correspondentes testes de significância e desvios padrões dos erros de ajustamento para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta . Modelo Aginsky 2.	53
5.7 Coeficiente de correlação entre rendimento observado e rendimento estimado pelos modelos considerados, conforme as formas de divisão do ciclo da soja.	54
5.8 Processo e resultados dos testes de significância da importancia da inclusão do excesso hídrico para os modelos de Blank, Jensen, Stewart e as duas formas do modelo de Minhas	56
9.1 Fase de crescimento da soja (Fehr et al, 1971)	78
9.2 Quantidade de água armazenada (mm) por safra, correspondente ao perfil do solo de 40cm, na tensão de 0,1 atm, com 5,0% e 7,5% de espaço aéreo, e na condição de saturação.	79
9.3 Médias dos rendimentos observa dos (YOBS) e máximos (YMAX) estimados, evapotranspiração real (ETr), evapotranspiração máxima (ETm), número de dias em que o espaço aéreo foi inferior a 7,5% e precipitação efetiva (em mm), para as sete divisões do ciclo da planta, para cada experimento.	80

LISTA DE FIGURAS

	Página
5.1 Gráficos de dispersão de pontos correspondente aos rendimentos observados e estimados pelos modelos de Blank e Jensen para a cultivar IAS-4 na forma D7 de divisão do ciclo.	59
5.2 Gráficos de dispersão de pontos correspondente aos rendimentos observados e estimados pelos modelos de Stewart e Minhas 2 para a cultivar IAS-4 na forma D7 de divisão do ciclo.	60
5.3 Gráficos de dispersão de pontos correspondente aos rendimentos observados e estimados pelos modelos de Aginsky para a cultivar IAS-4 na forma D7 de divisão do ciclo.	61
5.4 Variação das estimativas dos parâmetros ao longo dos sete períodos do ciclo da planta, para os modelos de Blank, Jensen, Stewart e Minhas 2 para a cultivar IAS-4, na forma D7 da divisão do ciclo.	63

1 - INTRODUÇÃO

No Estado do Rio Grande do Sul, várias pesquisas foram realizadas visando avaliar o aumento da produtividade de culturas de verão de sequeiro com o uso da irrigação (Bergamaschi & Cauduro 1975, Bergamaschi & Berlato 1975, Goulart et al 1976, Lago et al 1977, Porto et al 1979, Bergamaschi et al. 1981, Zanette 1982, Vasconcellos et al. 1987, Vasconcellos et al 1988, Verneti et al. 1989). Entretanto, os resultados obtidos até o presente não permitem obter informações conclusivas sobre o efeito quantitativo da irrigação ao longo dos anos, já que o aumento da produtividade das parcelas irrigadas foi variável de um experimento para outro, conforme o regime de chuvas ocorridas durante a execução dos mesmos.

As chuvas no Estado do Rio Grande do Sul caracterizam-se por serem de alta variabilidade temporal e espacial. Variamdo consideravelmente de um ano para outro, e mesmo durante um ciclo de crescimento vegetal completo. É comum ocorrerem déficits e excessos hídricos em períodos sucessivos, que provocam redução do rendimento das culturas.

Na Região Sul do Estado, a cultura da soja é semeada, preferencialmente, no mês de novembro e colhida em fins de abril, com ciclo total de 170 dias, em média. Ela está sujeita à probabilidade de 33 a 50 % de deficiência hídrica acumulada de 50

mm ou mais durante os meses de janeiro e fevereiro, bem como probabilidade de 20 % de ter um excesso hídrico de 100 mm ou mais, no mês de abril, que normalmente coincide com as últimas fases do período reprodutivo da cultura (Pascale & Pórfido, 1979) (apud Verneti et al. 1980).

Os planossolos, um dos tipos de solos de várzeas do Rio Grande do Sul, representam uma área em torno de 3 milhões de hectares. Usualmente, esses solos são utilizados com a cultura de arroz irrigado por inundação permanente, em rotação com soja, milho ou pastagens nativas não irrigadas. Essa Região já dispõe de infraestrutura de captação e condução de água para irrigação. Dessa forma, a irrigação das culturas sucessoras citadas ou de outras possíveis de serem introduzidas nesses solos, mesmo não demandando investimentos adicionais consideráveis, ainda não são utilizadas, como alternativas tecnológica de produção.

A cultura da soja em rotação com o arroz irrigado é um dos sistemas de cultivo utilizados nos planossolos. Seria possível expandi-la consideravelmente, se fossem amenizados os problemas, tanto de deficiência como de excesso hídrico.

A irrigação poderia ser uma prática recomendada para minimizar os problemas de deficiência, uma vez comprovado seu retorno econômico, já que sua prática implicaria somente em custos de energia, de adequação dos solos e de mão-de-obra. Para avaliar seus benefícios sobre o aumento da produtividade é necessário se conhecer o efeito quantitativo da irrigação no rendimento de grãos da cultura ao longo dos anos.

Por outro lado, também é necessário se conhecer os efeitos do excesso hídrico sobre o rendimento da soja, a fim de verificar o benefício da melhoria da drenagem dos planossolos.

Em regiões onde não é usada a irrigação, os rendimentos das culturas passam a depender, principalmente, do regime de chuvas durante seu ciclo vital. A previsão de produção com base na distribuição de chuvas é, então, de relevante importância. Ela pode ser efetuada através de modelos água-rendimento.

Na agricultura irrigada, os modelos água-rendimento têm sido utilizados para otimizar o uso da água, seja para obter a máxima eficiência do uso ou a máxima produção, ou, ainda, para maximizar os benefícios financeiros. Modelos água-rendimento podem ser utilizados em processos de simulação de safras na agricultura irrigada. A quantificação do efeito da irrigação sobre o rendimento de grãos ao longo dos anos permitiria o zoneamento agroecológico a nível estadual para a identificação de zonas onde o aumento do rendimento situa-se dentro de uma mesma faixa de produção.

2 - OBJETIVOS

Objetivos do presente trabalho são os seguintes:

- 1 - Adaptar os modelos água-rendimento disponíveis na literatura às condições de várzea do Estado do Rio Grande do Sul.
- 2 - Verificar entre esses modelos o que melhor estima o rendimento de grão de soja nesta Região.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Descrição da cultura da soja

A soja cultivada (*Glycine max* L. Merrill) pertence à família das leguminosas e é originária da China. A sua semente, para germinar, necessita de disponibilidade de água correspondente a 50 % de seu peso.

A extensão do sistema radicular, embora possa atingir até 2,5m em condições de lavoura, na maioria das vezes localiza-se nos primeiros 30 cm do solo e a sua maioria concentra-se nos primeiros 10 a 15 cm. (Verneti & Gastal, 1979).

O ciclo de desenvolvimento da cultura é subdividido, segundo Fehr et al. (1971), em duas fases: a fase vegetativa (V) e a fase reprodutiva (R). Por sua vez, cada uma destas é subdividida em estádios ($V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ e $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$). (anexo 1)

A temperatura, o fotoperíodo e a água são os fatores mais importantes que atuam sobre o crescimento e o rendimento de grãos da soja (Runge & Odell, 1960).

3.2 - Consumo de água e coeficiente de cultivo (Kc)

Segundo Chang (1968) (apud Berlato & Bergamaschi, 1979) o consumo de água das plantas durante seu ciclo é uma variável dependente de elementos climáticos, principalmente radiação solar, temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. O consumo de água também varia em função da fase fenológica.

Berlato & Bergamaschi (1979), estudaram o consumo de água da cultivar Bragg (ciclo médio), em Taquarí-RS, durante três anos agrícolas, mantendo a umidade do solo em torno da capacidade de campo, ou seja, de modo que a soja pudesse expressar seu potencial de consumo de água. Os resultados obtidos indicaram que o consumo médio para aquela região está em torno de 840 mm, com uma variação de 805 a 873 mm nas safras estudadas. O consumo médio durante todo o ciclo foi de 5,8 mm/dia. O consumo de água foi mais elevado no período entre os estádios R₃ (máximo surgimento de vagens segundo os autores) e R₇, com 43% da evapotranspiração do ciclo. Mas o período de máximo consumo diário foi o compreendido entre os estádios R₁ e R₃ com 7,4 mm/dia, em média. Os autores afirmam que os resultados obtidos são especialmente válidos para a região da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, mas em caso de ausência de determinações locais eles poderão ser utilizados, com razoável exatidão, para outros locais que apresentem o mesmo tipo de clima (Cfa, da classificação de Koeppen).

A taxa de evapotranspiração de uma superfície extensa coberta de grama verde de 8 a 15cm de altura, que está crescendo ativamente, que sombreia completamente o terreno no qual não há falta de água é que denomina-se de evapotranspiração potencial (ETp). A taxa de evapotranspiração de uma cultura, numa fase qualquer de seu ciclo, também sem falta de água é que denomina-se de evapotranspiração máxima (ETm). A relação entre a evapotranspiração máxima e a potencial é denominada de coeficiente de cultivo (Kc). A taxa de evapotranspiração de uma cultura, que ocorre numa determinada fase do ciclo e num determinado teor de umidade do solo é denominada de evapotranspiração real (ETr).

Berlato & Matzenauer (1985) determinaram o coeficiente kc para a cultivar Bragg, também para a região de Taquari-RS. Os valores mais altos dos kc observados no período R1 - R5 coincidem com os valores máximos do índice de área foliar que, normalmente, ocorrem entre esses dois estágios de desenvolvimento da soja. Observa-se que os valores do kc serão maiores em função do aumento da demanda evaporativa da atmosfera, sendo os valores da Tabela 3.1 valores médios dos cinco anos.

3.3 - Efeito da deficiência hídrica no rendimento da soja

Deficiências hídricas na cultura da soja a partir do estágio R2 (floração) da fase reprodutiva da planta afetam significativamente o rendimento de grãos. O tamanho e o número de grãos são os componentes do rendimento mais afetados por deficiência hídrica a partir do estágio R4 (Doss et al. 1974, Brown et al. 1985).

Tabela 3.1 - Valores dos coeficientes de cultivo (kc) de soja para a região de Taquarí - RS.

Período	kc
Semeadura - V_2	0,56
V_2 - R_1	1,21
R_1 - R_5	1,50
R_5 - R_7	1,41

Fonte: Berlato & Matzenauer (1985)

Stegman (1989), para estudar como períodos de déficit de água influem sobre o rendimento de grãos de soja, submeteu a cultura a três diferentes graus de deficiência hídrica: baixo (B), moderado (M) e severo (S). Ao mesmo tempo, subdividiu o ciclo da cultura em três intervalos: plantio até o estágio R_1 , estágio R_1 até o estágio R_5 , e estágio R_5 até a maturação fisiológica da cultura (R_7). O rendimento de grãos foi máximo nos tratamentos BBB e MBB. Esse rendimento foi considerado como o rendimento potencial, ou seja 100%. Os outros tratamentos provocaram decréscimos no rendimento, em decorrência da intensidade do déficit ou do período do crescimento em que ele ocorreu, como é mostrado na Tabela 3.2.

Santos et al. (1989), estudaram o comportamento estomático e o rendimento de cinco genótipos de soja submetidos a diferentes níveis de umidade do solo (10, 20, 30 e 40% de umidade gravimétrica), do décimo dia após a emergência até o fim do ciclo, num solo pertencente à Unidade de Mapeamento Pelotas.

Tabela 3.2 - Rendimento relativo da soja quando submetida à deficiência hídrica em diferentes estágios de seu desenvolvimento.

Sequência das deficiências	Rend. relativo Y/Ymax
BBB ou MBB	1,00
BBB	0,95
BMB	0,90
BSB (entre R ₅ e R ₆)*	0,73
BSB (R ₃)*	0,85
BBM	0,90
BBS (R ₆)*	0,73
BBS (entre R ₇ e R ₈)*	0,88

* Déficit máximo ocorreu neste subperíodo do ciclo.
 Fonte: Stegman (1989).

Verificaram que o máximo rendimento ocorreu com o nível de umidade de 30 % (0,045 atm) e que, a partir deste ponto, o rendimento decresceu tanto com o aumento como com a diminuição da umidade do solo. Este fato evidencia que o ponto ótimo de umidade do solo Pelotas situa-se em torno de 30 % de umidade gravimétrica.

Doorembos & Kassam (1979), a partir da análise de resultados de pesquisas realizadas, afirmaram que é possível quantificar a redução do rendimento por meio da evapotranspiração relativa (ET_r/ET_m). Para tal, há que se dispor de informações sobre o rendimento real (Y) e o rendimento máximo (Y_{max}) sob diferentes regimes de déficit de água. Em situações em que condições econômicas não limitam a produção e o meio ambiente é

isento de limitações, tem-se $Y=Y_{max}$, quando são atendidas todas as necessidades de água durante o ciclo. Os autores deduziram uma relação entre a diminuição do rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração relativa, expressa pela relação:

$$1-Y/Y_{max} = k_y \cdot (1-E_{Tr}/E_{Tm}) \dots \dots \dots (3.1)$$

onde:

Y = rendimento real (observado);

Y_{max} = rendimento máximo;

E_{Tr} = evapotranspiração real;

E_{Tm} = evapotranspiração máxima; e

k_y = coeficiente (constante), denominado pelos autores de "fator do efeito do déficit sobre o rendimento".

O valor de k_y para distintas culturas foi estimado com base na avaliação de numerosos resultados de pesquisas, abrangendo uma ampla gama de condições ambientais. Foram, então, obtidas relações para todo o ciclo da cultura e para os distintos períodos de desenvolvimento. O ciclo da cultura foi dividido em três períodos: vegetativo, floração e formação de grão.

Eles deduziram os valores de k_y para a maioria das culturas, supondo que a relação entre o rendimento relativo (Y/Y_{max}) e a evapotranspiração relativa (E_{Tr}/E_{Tm}) é linear e válida para deficiência de água até cerca de 50 %. Isto significa dizer que a relação é válida para $1-E_{Tr}/E_{Tm} > 0,5$.

A hipótese discutida na literatura refere-se à linearidade da relação entre o rendimento de grãos de uma cultura e a evapotranspiração real ocorrida durante seu ciclo. Vários autores têm demonstrado que, para o caso da produção de matéria seca, a relação com o déficit de transpiração é de proporcionalidade, ou seja, além de ser linear, a função passa pela origem.

Stewart & Hagan (1973), a partir de experimentos com a cultura do milho, constataram que a relação entre Y e E_{Tr} é linear e isto se dá, segundo eles, porque Y é parte da matéria seca e a transpiração é parte da E_{Tr} . Os autores consideraram o ponto correspondente a Y e E_{Tr} máximos como origem. A partir deste ponto, a função cai linearmente, sendo a declividade dependente somente da variedade cultivada, portanto, independente do clima e do tipo de solo. Isto significa que a função é estabelecida com o conhecimento do ponto correspondente a E_{Tr} e Y e da declividade.

Jensen & Sletten (1968) (citados por Stewart & Hagan 1973) determinaram uma relação linear entre o rendimento relativo (Y/Y_{max}) e a evapotranspiração relativa (E_{Tr}/E_{Tm}) para a cultura do sorgo granífero. Constataram que na faixa de redução do rendimento relativo entre 20 a 40 %, resultou em uma razão entre redução de rendimento e déficit de evapotranspiração igual a 1,75.

Entretanto, nem sempre a relação é linear. Stewart & Hagan (1969), determinaram uma relação curvilínea de forma convexa, no caso da cultura do trigo. O desvio da linearidade foi atribuído ao fato de que o déficit de evapotranspiração afetou mais a parte aérea da planta do que a produção de grãos. Eles também verificaram que, quando a cultura permaneceu sempre bem irrigada, ocorreu acamamento, que afeta negativamente o rendimento de grãos.

Hogg & Chang (1969) verificaram que, no caso de cana-de-acúcar, a relação se mantém linear até 70% de déficit de evapotranspiração; depois a relação torna-se curvilínea.

Com a cultura da soja, Stegman (1989) obteve coeficientes de determinação próximos de 0,95 no ajustamento de regressão linear entre o rendimento de grãos e a ETr ocorrida durante o ciclo da planta, concluindo pela possibilidade da relação para esta cultura ser linear.

3.4 - Efeito do excesso hídrico

Em virtude da má drenagem natural dos planossolos, o excesso hídrico constitui-se num fato característico que interfere no rendimento de grãos da soja. A melhoria da drenagem poderá minimizar estes efeitos. Isso é evidenciado por resultados obtidos por Bergamaschi & Berlato (1975), comparando a produção da soja, com e sem drenagem, num solo hidromórfico com características semelhante aos planossolos. O rendimento nas

parcelas drenadas foi superior em torno de 20 %, em ano agrícola com excesso de precipitação, principalmente na fase reprodutiva da cultura.

O efeito do excesso hídrico está associado à duração do período de ocorrência e ao estágio do ciclo da planta. Entretanto, ainda se dispõe de poucas informações a respeito deste assunto na região em estudo.

Barni & Costa (1975), em experimento realizado no planossolo pertencente à Unidade de Mapeamento Guaíba, determinaram o efeito quantitativo da inundação do solo em diferentes estágios da cultura sobre o rendimento de grãos. Os autores concluíram que os períodos mais sensíveis à inundação, em ordem decrescente, são: florescimento, emergência - florescimento e enchimento de grãos. Considerando como rendimento máximo a produção mais elevada, verificaram que a inundação de 30 dias ininterruptos provocou um decréscimo do rendimento relativo diário de 2,2% na floração, 0,95% no enchimento de grãos e 1,36% no período vegetativo. O efeito negativo da inundação foi mais acentuado quanto maior foi a duração do período de inundação.

Barni (1978), complementando o trabalho recém citado, estudou mais detalhadamente o efeito do excesso hídrico na fase reprodutiva da soja. Concluiu que a inundação do solo no período correspondente ao final da floração, formação de legumes e início

do enchimento de grãos (R3, R4 e R5) é o mais crítico no que diz respeito à produção de grãos. A inundação contínua do solo nesse período provocou um decréscimo no rendimento relativo diário da ordem de 1,99%.

Lago et al. (1979), estudaram a influência do encharcamento do solo sobre o rendimento da soja com experimentos conduzidos no Planossolo Pelotas. Os tratamentos foram: encharcamento nos períodos vegetativo, de floração e de enchimento de grãos, com durações de 5, 10, 15 e 20 dias. Determinaram que períodos de até 5 ou, no máximo, 10 dias de encharcamento, em qualquer estágio do desenvolvimento, não afetaram significativamente o rendimento de grãos.

Através da análise de resultados de três anos desses experimentos, verificamos que o efeito do encharcamento sobre o rendimento foi linear, ou seja, os efeitos foram aditivos. Embora, na média, o efeito do encharcamento do solo na fase vegetativa tenha sido negativo, eles verificaram numa safra agrícola, que o encharcamento do solo mesmo com duração de 20 dias resultou em pequeno aumento no rendimento de grãos. O decréscimo no rendimento diário na média dos três anos foram os seguintes: 0,57% no período vegetativo, 1,75% no período da floração e 1,0% no enchimento de grãos.

3.5 - Modelos água-rendimento

Os modelos água-rendimento, que relacionam o rendimento de culturas com o regime hídrico durante o ciclo vital da planta, levam em conta a magnitude do estresse hídrico em diferentes fases de crescimento da planta. O comprimento de cada fase pode ser escolhido arbitrariamente. Mas, deve-se procurar coincidir, simular ou reproduzir os diferentes estágios fisiológicos da planta. A magnitude de estresse hídrico, num determinado período, pode ser avaliada através de:

- a) redução da relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração potencial,
- b) conteúdo de umidade do solo, e
- c) chuvas ocorridas.

O efeito dos estresses determinados por um desses índices para diferentes subperíodos de desenvolvimento da planta, interagem entre si de uma maneira muito complexa. Alguns dos modelos água-rendimento supõem que esses efeitos são independentes e aditivos, enquanto outros supõem que o estresse hídrico numa fase afeta as fases sucessivas, sendo sua expressão matemática multiplicativa .

Os principais modelos que estimam o rendimento (Y) ou o rendimento relativo (Y/Y_{max}) em função do regime hídrico são aqui classificados em cinco grupos, segundo a variável independente que consideram:

- I - índice de deficiência de umidade do solo;
- II - Evapotranspiração relativa (ETr/ETm);
- III - Transpiração relativa (T/Tp);
- IV - Regime de chuva ou irrigação; e
- V - índice de deficiência hídrica baseado em dados de clima.

I - índice de deficiência de umidade no solo

Neste grupo, estão os modelos água-rendimento que consideram como variável independente a umidade do solo ao longo do ciclo da cultura.

Hall & Butcher (1968) desenvolveram um modelo com a seguinte equação:

$$Y/Y_{\max} = \sum_{i=1}^n a_i (SMD)_i + e \quad (3.2)$$

onde:

Y = rendimento;

Y_{max} = rendimento máximo, sem restrição de umidade;

Y/Y_{max} = rendimento relativo;

a_i = coeficiente que representa o efeito do déficit hídrico no intervalo i;

SMD_i = nível de deficiência da água no solo, no intervalo i;

n = número de intervalo da divisão do ciclo da planta; e

e = erro (desvio) entre os valores esperado e observado do rendimento relativo.

II - Evapotranspiração relativa

Este grupo inclui os modelos que consideram a evapotranspiração relativa E_{Tr}/E_{Tm} ou a deficiência de evapotranspiração relativa $1-E_{Tr}/E_{Tm}$, como variável independente, sendo E_{Tr} a evapotranspiração real da cultura determinada de forma específica para cada modelo, e E_{Tm} representa a evapotranspiração potencial da cultura. A E_{Tr} será igual à E_{Tm} quando o teor de umidade do solo for adequado à planta, o que normalmente ocorre na capacidade de campo ou faixa entorno a esse ponto, dependente da espécie cultivada bem como da própria E_{Tp} (evapotranspiração potencial).

Jensen (1968) (apud Rao et al. 1988), elaborou um modelo água-rendimento de forma que os efeitos das deficiências hídricas são multiplicativas. Sua equação é:

$$Y/Y_{max} = \prod_{i=1}^n (E_{Tr}/E_{Tm})_i^{b_i} \dots \dots \dots (3.3)$$

onde:

b_i = constante que expressa a sensibilidade no intervalo i .

Esse modelo foi utilizado por Berlato (1987), com quatro termos ($i=4$), para três grupos de maturação de soja no Estado do Rio Grande do Sul. No processo de validação do modelo obteve um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,914 para os grupos de maturação precoce e médio e 0,952 para o grupo de maturação tardia.

Blank (1975) (apud Rao et al. 1988), elaborou um modelo semelhante ao anteriormente citado, mas considerou os efeitos das deficiências hídricas aditivas nos diferentes períodos do ciclo da planta. O modelo de Blank postula a seguinte equação:

$$Y/Y_{\max} = \sum_{i=1}^n a_i (E_{Tr}/E_{Tm})_i + e \dots \dots \dots (3.4)$$

onde: a_i = coeficiente estimado experimentalmente para cada intervalo i e para cada cultura.

Stewart et al. (1976) (apud Rao et al. 1988), desenvolveram um modelo água-rendimento no qual os efeitos das deficiências de evapotranspiração relativa são aditivos. Sua equação é a seguinte:

$$Y/Y_{\max} = 1 - \sum_{i=1}^n k_i (1 - E_{Tr}/E_{Tm})_i + e \dots \dots \dots (3.5)$$

onde:

k_i = índice de sensibilidade à deficiência hídrica, dependente da espécie cultivada e da fase de crescimento da mesma.

Mota (1979) comparou vários índices de deficiência de evapotranspiração relativa, com o objetivo de estabelecer um índice adequado para caracterizar os efeitos quantitativos das secas na redução das safras da soja, na Região das Missões do Rio Grande do Sul. Concluiu que o índice mais eficiente para explicar o rendimento é o somatório da deficiência de evapotranspiração

relativa do período de dezembro a fevereiro. A ETr foi calculada através do balanço hídrico diário versátil (Mota et al. 1989). O coeficiente de determinação (R^2) da regressão linear do rendimento de grãos em relação a este índice, mais um fator tecnológico, foi de 0,90.

A partir da equação (3.1), Seção 3.2, e análise dos modelos propostos por Jensen (1968) e Stewart et al. (1976), equações (3.3) e (3.5), Rao et al. (1988) propuseram o seguinte modelo multiplicativo :

$$Y/Y_{max} = \prod_{i=1}^n [1 - k_i (1 - ETr/ETm)_i] . e \dots \dots \dots (3.6)$$

Os autores comparam esses três modelos matemáticos com um coeficiente K único correspondente ao ciclo completo dos cultivos de algodão, milho, sorgo e noqueira e com a subdivisão do ciclo em subperíodos onde os k_i são conhecidos. Verificaram que os três modelos tendem a predizer valores equivalentes do rendimento relativo, até com níveis baixos de umidade do solo. Verificaram, também, que o modelo aditivo de Stewart et al. (1976), equação (3.5), apresenta restrições quando os coeficientes k_i são altos (milho $K = 1,5$) e a evapotranspiração relativa baixa, pois pode até predizer valores negativos do rendimento relativo, o que é um absurdo em termos biológicos.

Hiler & Clark (1971), com o propósito de estabelecer um índice que caracterize o efeito da deficiência hídrica sobre as culturas, desenvolveram o "índice de estresse diário" (SDI), o qual é calculado pela seguinte expressão:

$$SDI = \sum_{i=1}^n CS_i (1-ETr/ETm)_i \dots \dots \dots (3.7)$$

onde:

CS_i = fator de sensibilidade da cultura, na i-ésima fase de desenvolvimento, determinado experimentalmente.

A partir de dados disponíveis na literatura, os autores determinaram o fator CS para várias culturas, entre as quais a soja, cujos valores são os seguintes:

- Floração 0,47
- Frutificação 0,22
- Frutificação tardia 0,27

Uma vez calculado o índice de estresse diário, uma relação linear entre a produção e este índice pode ser ajustado através de regressão linear simples:

$$Y = a SDI + b + e \dots \dots \dots (3.8)$$

Minhas et al. (1974) elaboraram um modelo água-rendimento com o propósito de predizer o rendimento do trigo otimizando o uso da água de irrigação. A equação do modelo é a seguinte:

$$Y = (a+v_i) \prod_{i=1}^n [1-(1-ETr/ETm)_i]^{b_i} \cdot e \dots \dots \dots (3.9)$$

onde: e = desvio entre os valores esperado e observado do rendimento

Os intervalos de subdivisão do ciclo da cultura poderão ser de 10 dias, ou de outra magnitude arbitrariamente escolhida. Neste modelo, v_i representa a variável indicadora que é introduzida para levar em conta efeitos como: esquema experimental, variedades usadas, fertilidade do solo e fatores climáticos (exceto umidade do solo) entre diferentes locais e anos.

IV - Transpiração relativa

Neste grupo, estão os modelos água-rendimento que consideram a transpiração relativa (T/TP) como variável independente. Esses modelos estão baseados nas experiências de Ritchie (1972) que permitem separar a evapotranspiração em transpiração realizada pelas plantas e evaporação direta do solo quando a umidade do solo não é limitada.

Hanks (1974) desenvolveu um modelo cuja expressão matemática é a seguinte:

$$Y/Y_{\max} = \prod_{i=1}^n (T/TP)^{a_i} \quad \text{e} \quad \dots \quad (3.10)$$

onde:

T_i = transpiração cumulativa no período de crescimento i ;

TP_i = transpiração potencial cumulativa no período i ;

Y_{\max} = rendimento máximo quando a transpiração é igual à transpiração potencial;

a_i = coeficiente para o i -ésimo intervalo do ciclo da planta; e

$n = 5$, número de intervalos do ciclo da planta.

Hill et al. (1979) utilizaram este modelo para a cultura da soja. Os 5 intervalos do ciclo de desenvolvimento da planta considerados foram: 1) semeadura-emergência; 2) emergência-início do florescimento (quando 10% das plantas têm pelo menos uma flor); 3) início da floração-início do enchimento de grãos; 4) início do enchimento de grãos-fim da floração; e 5) fim da floração-maturação fisiológica. Os resultados obtidos foram considerados pouco satisfatórios, o que os levou as modificações no modelo proposto acima, descritas a seguir.

Primeiramente, introduziram um fator estacional de rendimento (SYF), com a finalidade de relacionar a produção de matéria seca total com a transpiração acumulada total, dado por:

$$SYF = \begin{cases} 1,0, & \text{se } T \geq T_p' \\ (T/T_p')^b, & \text{se } T < T_p' \end{cases} \quad \dots \dots \dots (3.11)$$

onde: T = transpiração calculada ao longo do ciclo;

Tp' = transpiração requerida pela cultura para produzir adequada matéria seca total; e

b = constante.

Outro fator foi introduzido para levar em conta o efeito negativo causado pelo acamamento das plantas em decorrência do crescimento excessivo quando a umidade disponível do solo foi alta nos períodos 2 e 3. Este fator de acamamento (LF) é expresso por:

$$\text{LF} = \begin{cases} 1,0, & \text{se } \text{TRA} < \text{TR23} < \text{TRB} \\ \text{TR23/TRA}, & \text{se } \text{TR23} < \text{TRA} \dots \dots \dots (3.12) \\ \log(1,0 \text{ TR23} + \text{TRB} + \text{C}) / \log(1,0 + \text{C}), & \text{se } \text{TR23} > \text{TRB} \end{cases}$$

onde:

TR23 = razão entre transpiração real e potencial nos períodos 2 e 3;

TRA = razão inferior da transpiração;

TRB = razão superior da transpiração;

C = constante.

Os valores de T_p' , a, b, C, TRA e TRB são determinados no processo de calibração. O modelo final é:

$$Y/Y_{\text{max}} = \prod_{i=1}^n (T/T_p)^{a_i} \cdot \text{SYF} \cdot \text{LF} \cdot e \dots \dots \dots (3.13)$$

V - Regime de chuva ou irrigação

Neste grupo de modelos, a variável independente é a chuva efetiva acumulada nos diferentes períodos da cultura. Dorfman (1985) revisou varios modelos para estimativa do rendimento em função da disponibilidade hídrica. Face a falta de dados, adotou um modelo generalizado que correlacionava o total de chuva com produtividades esperadas. Aginsky et al. (1988) testaram modelos com a cultura do milho, em vários locais do Estado do Rio Grande do Sul, com bons resultados.

O rendimento da cultura é estimado em função das chuvas distribuídas nos seus estádios de desenvolvimento. São modelos empíricos em que os parâmetros das equações são estimados através da regressão múltipla.

Os autores consideraram dois modelos, para verificar o mais adequado: um modelo aditivo e outro multiplicativo, descritos a seguir.

- Modelo aditivo (Aguinsky 1).

Este modelo foi denominado pelo autores de LIN por supõe que os efeitos das variáveis independentes são independentes e lineares. Sua equação é:

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i X_i + C + e \dots \dots \dots (3.14)$$

onde:

Y = rendimento de grãos, expresso em percentagem de um valor arbitrado;

X_i = precipitação acumulada no intervalo i;

a_i = coeficiente da variável X_i ;

C = intersecção ;

- Modelo multiplicativo (Aguinsky 2)

Este modelo foi denominado pelo autores de LOG por supõe que as variáveis independentes interagem entre si. Sua equação é:

$$Y = C \cdot \prod_{i=1}^n (X_i)^{b_i} \dots \dots \dots (3.15)$$

onde:

b_i = expoente da variável X_i .

C = constante.

Em ambos, os modelos foi utilizada a precipitação total e não a precipitação efetiva que representa a parte da precipitação total útil às plantas. Aguinsky (1991) adotou a precipitação efetiva, que representa aquela porção útil às plantas, ou seja, retida no perfil do solo. A precipitação é expressa por duas equações:

$$P_{ef} = \begin{cases} (P_b)^E, & \text{se } P_b < K \\ J, & \text{se } P_b > K \end{cases} \quad (3.16)$$

onde:

P_b = precipitação diária total;

P_{ef} = precipitação efetiva;

K e E = parâmetros obtidos por calibração, onde $K = J^{1/E}$

Fisicamente, J representa a quantidade máxima de água armazenada no solo disponível às plantas. Quantidade acima deste valor é considerada perda por escoamento superficial ou percolação. O expoente E representa as perdas iniciais por interceptação, já que seu valor é sempre menor do que a unidade.

A escolha dos valores E e J baseia-se em uma análise de sensibilidade dos modelos. Combinam-se vários valores de J e E e verifica-se quais dos valores determinam o maior coeficiente de determinação (R^2) da regressão. O autor determinou os valores de $J = 50$ mm e $E = 0,90$ para quase todos os locais analisados do Rio Grande do Sul.

VI - índice de deficiência hídrica baseado em dados de clima

Neste grupo, está incluído o chamado Modelo Agrometeorológico, desenvolvido pela "Dependencia de Ecologia de Recursos Genéticos de la División de Producción e Protección Vegetal" da FAO. Esse modelo foi descrito por Frère & Popov (1980) e tinha, inicialmente, o objetivo de prognóstico de colheitas.

Este modelo está baseado no balanço hídrico cumulativo durante o ciclo da cultura, estabelecido por períodos sucessivos de 10 dias. O balanço hídrico é dado pela diferença entre as precipitações e a quantidade de água perdida pela cultura e pelo solo. O somatório da evapotranspiração durante todo o ciclo da planta constitui a necessidade hídrica total (NHT). No início, arbitra-se um índice de 100 e, caso ocorra uma deficiência hídrica num decênio, determina-se o quociente entre esta deficiência e a NHT. O resultado expressa o sacrifício em porcentual suportado pela cultura na década o qual é diminuído do índice anterior. Em caso de ocorrência de excesso hídrico de 100mm ou mais na década, o índice é decrescido de três unidades. No final do ciclo, o índice mostrará o esforço cumulado suportado pela cultura através dos excessos e deficiências de água.

Por meio dos registros históricos, correlacionam-se os índices anuais com os rendimentos reais, determinando-se uma equação de regressão que permite estimar o rendimento através do índice.

3.6 - Análise Crítica

Todos os modelos água-rendimento descritos apresentam grandes semelhanças. A principal diferença entre os modelos está no fato de que um grupo deles considera os efeitos das deficiências hídricas em diferentes estágios do ciclo vegetativo como independentes e aditivos; outro grupo considera que os efeitos se interrelacionam, ou seja, que uma deficiência em um estágio do ciclo interfere nos estágios seguintes.

No que diz respeito às variáveis consideradas pelos modelos, a mais intimamente relacionada com a produção vegetal é a transpiração, pois representa a água que a planta utilizou para satisfazer suas necessidades vitais. A dificuldade está em conhecer seu valor quando o experimento é realizado a campo, em condições ambientais não controladas.

O excesso hídrico é uma característica dos planossolos em períodos de chuvas intensas. Entretanto, em geral, os modelos água-rendimento não atribuem importância a esse fato, não o considerando como elemento que interfere no rendimento. Apenas o modelo proposto por Frère & Popov (1980) considera o efeito do excesso hídrico através da diminuição do índice em três unidades, quando ocorrer um excesso de 100 mm. Entretanto, ele não subdivide o ciclo da planta em diferentes estágios, e, dessa forma, considera os efeitos dos estresses hídricos independentes da época de ocorrência e da duração.

4 - MATERIAL E MÉTODO

4.1 Dados

Os dados utilizados são provenientes de 71 experimentos de melhoramento genético da cultura da soja conduzidos na EMBRAPA-CPATB, situada no Município de Capão do Leão, durante o período compreendido entre os anos de 1974 e 1986. Os dados correspondem às parcelas experimentais com a cultivar de ciclo médio IAS-4, de boa adaptação à condição de planossolo. De cada parcela foram registradas, além da produção, informações de fenologia da planta, como datas de semeadura, emergência, início e fim da floração (R_1 e R_4), e maturação de campo. Para complementar a subdivisão do ciclo da cultura, os estádios V_2 e R_7 foram fixados em 15 dias após a emergência e 15 dias antes da maturação de campo, respectivamente (Marcos Filho, 1986).

De cada local de experimento, foram retiradas amostras indeformadas de solo a duas profundidades (10 e 20cm) para a obtenção da curva de retenção de umidade. Uma vez obtidos os pontos no laboratório, foi efetuado o ajustamento da curva pelo método de Vanguenuchem (Tabela 9.2).

Os dados meteorológicos básicos e derivados foram fornecidos pela Estação Agroclimática de Pelotas convênio EMBRAPA-CPATB/UFPel cujas coordenadas geográficas são: latitude 31° 45', longitude 52° 21' e altitude 7,0m s.n.m.m. A Estação está situada a, aproximadamente, 5 km dos campos experimentais. Os dados utilizados, todos eles diários, foram: temperatura média, insolação, precipitação e evapotranspiração potencial, calculada pelo método de Penman.

Foi estimada a evapotranspiração máxima diária, através da seguinte equação:

$$ET_m = ETP \cdot K_c \quad (4.1)$$

onde:

ETp = evapotranspiração potencial estimada pelo método de Penman; e

Kc = representa a relação entre a ETP e a evapotranspiração máxima (ETm). Neste estudo foram adotados os valores médios obtidos por Berlato & Matzenauer (1985) (Tabela 3.1).

4.2 Balanco hídrico

Para estimar a evapotranspiração real diária (ETr), variável utilizada pela maioria dos modelos água-rendimento, foi determinado o balanço hídrico diário para cada parcela experimental tendo em conta que a fenologia da planta não foi uniforme nas diferentes parcelas de cada experimento. Para tal, utilizou-se o método de Rijtema & Aboukhaled (1975), descrito na próxima Seção. Para o cálculo do balanço hídrico considerou-se, inicialmente, uma camada de solo útil de 15cm e umidade volumétrica de 50% da saturação, o que é pouco inferior à capacidade de campo, e que se constitui um bom momento para a sementeira dos campos experimentais. Com o intuito de adaptar este método de cálculo da ETr, foram introduzidas as seguintes modificações na metodologia original:

1 - O solo onde foram realizados os experimentos é predominantemente plano (baixa declividade, típica dos planossolos), de baixa condutividade hidráulica e assentado sobre uma camada argilosa (horizonte B), com condutividade hidráulica saturada muito próxima a zero. Por essa razão, considerou-se que o excesso hídrico no solo é retirado principalmente pela cultura, através da transpiração, e pela evaporação da água, diretamente, e não pela drenagem interna do solo, como é considerado usualmente. Quando ocorreu excesso hídrico, supôs-se a ETr igual à ETm, embora saiba-se que a transpiração decresce nesta oportunidade (Bradford & Yang, 1981). A precipitação excedente à saturação do solo é retirada fora do experimento pelo escoamento superficial.

2 - Embora o sistema radicular da soja no Planossolo Pelotas concentre-se nos primeiros 10 a 15cm de solo (Verneti & Gastal, 1979), considerou-se, neste trabalho, que, quando adulta, a cultura explora toda água disponível no perfil, ou seja, até a profundidade de 40cm, que foi o perfil médio observado. O ponto de capacidade de campo foi considerado à tensão de 0,1 atm. A lâmina de água armazenada no solo (SA) foi obtida pela soma dos armazenamentos parciais, representativa de cada amostra (10 e 25cm de profundidade) (Tabela 9.2). No início do desenvolvimento da cultura, o sistema radicular é pequeno. Considerou-se, então, que, no momento da semeadura, a faixa útil de solo é de 15cm de profundidade, crescendo gradativamente até o estágio R1, onde a profundidade considerada foi igual à final, ou seja 40cm.

4.2.1 - Método de Rijtema e Aboukhaled

Esta metodologia, desenvolvida por Rijtema & Aboukhaled (1975) (citados por Doorembos & Kassam 1979), parte do princípio de que a E_{Tr} deixa de ser igual à E_{Tm} em função da cultura, umidade disponível do solo (US) e da demanda evaporativa da atmosfera (E_{Tp}).

Definiu-se como fração p a parte a que pode reduzir-se a água total disponível na profundidade das raízes sem que a E_{Tr} fique menor que a E_{Tm} . Na Tabela 4.1, estão os grupos de cultivos de acordo com a fração p a que pode reduzir-se a água disponível do solo, mantendo-se $E_{Tr} = E_{Tm}$.

Em condições em que a ET_m é elevada, p é menor e o solo está comparativamente úmido quando a ET_r se faz menor que a ET_m , em comparação com o que sucede quando a ET_m é reduzida. Em consequência, a fração p da água disponível do solo para a qual $ET_r = ET_m$ varia com o nível da ET_m (Tabela 4.2).

Tabela 4.1 - Grupos de cultivos de acordo com a fração de água disponível do solo em que a ET_r ainda permanece igual à ET_m

GRUPO	CULTIVOS
1	Cebola, pimenteiro, batata
2	Banana, couve, videira, ervilha, tomate
3	Alfafa, feijão, cítricos, amendoim, girassol, melancia, trigo
4	Algodão, milho, oliveira, cartamo, sorgo, soja, beterraba açucareira, cana-de-açúcar, fumo.

Fonte: Rijtema & Aboukhaled 1975

Tabela 4.2 - Fração do esgotamento da água do solo (p) para grupos de cultivos e evapotranspiração máxima (ET_m)

GRUPO	ET_m (mm/dia)									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,50	0,425	0,35	0,30	0,25	0,225	0,20	0,20	0,175	
2	0,675	0,575	0,475	0,40	0,35	0,325	0,275	0,25	0,225	
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,425	0,375	0,35	0,30	
4	0,875	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,425	0,40	

Fonte: Rijtema & Aboukhaled 1975

Com essas suposições, calcula-se a ETr pela seguinte expressão:

$$ETr = US \cdot ETm / [(1-p) \cdot SA] \quad (4.1)$$

quando $US > (1-p) \cdot SA$

onde: US = umidade disponível do solo; e

SA = capacidade de armazenamento de água do solo.

4.3 - Cálculo do rendimento máximo

Outra variável de fundamental importância utilizada em alguns modelos água-rendimento é o rendimento máximo (Y_{max}), ou rendimento potencial. O método que foi utilizado para calcular o rendimento máximo da soja, detalhado a seguir, foi elaborado por Kassam (1977) (apud Doorembos & Kassam 1979) e é denominado método da "zona agroecológica".

O rendimento máximo de uma cultura é determinado, principalmente, por suas características genéticas e pela boa adaptação da cultura ao ambiente predominante.

O rendimento máximo se define como o rendimento de colheita de uma cultivar de boa produção, bem adaptada ao ambiente, incluindo o tempo disponível para chegar a maturidade, em condições tais que seu rendimento não seja limitado pela água, nutrientes, pragas e doenças.

Os elementos climáticos que determinam o rendimento máximo são: temperatura, radiação solar além da duração do ciclo vegetativo total, além das necessidades específicas do cultivo no

que diz respeito à temperatura e duração do dia para seu desenvolvimento.

No cálculo do rendimento máximo, supõe-se que são satisfeitas as necessidades climáticas da cultura e que a água, os nutrientes, a salinidade e as pragas e doenças não afetam seu desenvolvimento nem seu rendimento.

O procedimento de determinação do rendimento máximo segue os seguintes passos: a) Calcula-se a produção bruta de matéria seca de uma cultura hipotética (Y_0); b) aplica-se uma correção segundo a espécie de cultura e temperatura; c) aplica-se uma correção para o tempo e para a superfície foliar (CL); d) aplica-se uma correção para a produção líquida de matéria seca (CN); e e) aplica-se uma correção para a parte colhida (CH).

a) Cálculo da produção bruta de matéria seca de uma cultura hipotética (Y_0)

O valor de Y_0 , em kg/ha/dia, para uma localidade determinada, segundo o conceito de De Wit (1965), é obtido através da seguinte expressão:

$$Y_0 = F \cdot y_0 + (1 - F) \cdot y_c \dots \dots \dots (4.2)$$

onde:

Y_0 = produção bruta de matéria seca de uma cultura hipotética, em kg/ha/dia;

F = fração do tempo do dia em que o céu está nublado ou seja:

$$F = (R_{se} - 0,5R_s) / 0,8 \cdot R_{se},$$

onde:

R_{se} = irradiação global total recebida em dias claros, em cal/cm²/dia (Tabela 4.3);

R_s = irradiação global em cal/cm²/dia;

y_0 = taxa de produção bruta de matéria seca de uma cultura hipotética numa dada localidade, num dia completamente nublado, em kg/ha/dia (Tabela 4.3); e

y_c = taxa de produção bruta de matéria seca de um cultivo tipo numa localidade dada, em dia claro (sem nuvens), em kg/ha/dia (Tabela 4.3)

R_s pode ser calculada a partir dos dados da duração do brilho solar (n), em horas/dias, através de:

$$R_s = (0,25 + 0,50 \frac{n}{N}) \cdot R_a \dots \dots \dots (4.3)$$

onde:

R_a = radiação extra-terrestre em cal/cm²/dia, cujo valor depende da latitude e do mês do ano; e

N = duração máxima possível de insolação, em horas/dia, dependente da latitude e mês do ano.

b) Correcção para a espécie de cultivo e a temperatura

A produção bruta de matéria seca depende da espécie da cultura e da temperatura. A taxa de produção (y_m) pode ser maior ou menor do que 20 kg/ha/hora, que é a suposta para a cultura hipotética.

Tabela 4.3 - Irradiação global total recebida em dias claros (Rse), em cal/cm²/dia, e produção bruta de matéria seca em dias nublados (yo) e claros (yc), em kg/ha/dia, para uma cultura hipotética (De Wit 1965). Latitude 31,45°

NORTE SUL	JAN JUL	FEV AGO	MAR SET	ABR OUT	MAI NOV	JUN DEZ	JUL JAN
Rse	180,5	235,38	295,48	358,8	399,3	417,88	411,35
yc	270,15	324,25	379,4	435,25	472,58	491,98	485,45
yo	130,35	162,58	196,15	230,43	251,35	262,23	258,88

continuação

NORTE SUL	AGO FEV	SET MAR	OUT ABR	NOV MAI	DEZ JUN
Rse	381,38	327,05	261,25	199,68	168,33
yc	455,83	408,15	348,65	288,85	257,63
yo	242,3	213,2	177,28	141,70	123,18

Fonte: Doorembos & Kassam 1979

Tabela 4.4 - Taxa de produção (ym, em Kg/ha/hora) por grupo de cultivo e temperatura média

GRUPO DE CULTIVO	TEMPERATURA MÉDIA, °C								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
I Frio	5	15	20	20	15	5	0	0	0
I Cálido	0	0	15	32,5	35	35	32,5	5	0
II Frio	0	5	45	65	65	65	45	5	0
II Cálido	0	0	5	45	65	65	65	45	5

I frio : alfafa, feijão, couve, ervilha, batata, tomate, beterraba açucareira e trigo;

I cálido : alfafa, cítricos, algodão, amendoim, pimenta, arroz, caitamo, soja, girassol, fumo e tomate;

II frio : algumas variedades de milho e sorgo;

II cálido : milho, sorgo, cana açucareira.

Fonte: Doorembos & Kassam 1979

Aplicando o conceito de De Wit, pode-se ajustar o valor de y_0 e y_c para distintos grupos de cultivos:

I. quando $y_m > 20$ kg/ha/hora,

$$Y_0 = F(0,80+0,01.y_m).y_0+(1-F).(0,5+0,025.y_m).y_c, \text{ em kg/ha/dia.} \dots \dots \dots (4.5)$$

II. quando $y_m < 20$ kg/ha/hora,

$$Y_0 = F(0,5+0,025y_m).y_0+(1-F).(0,05y_m).y_c, \text{ em kg/ha/dia.} \dots \dots \dots (4.5)$$

c) Correção para o desenvolvimento do cultivo com o tempo e para superfície foliar (CL)

Em relação à taxa máxima de crescimento na média do período vegetativo total, o crescimento do cultivo será pequeno no começo e no final do período vegetativo. Em outras palavras, a taxa média do período vegetativo é em torno de 50% da taxa correspondente ao crescimento máximo. Também supõe-se que o cultivo tipo tem uma superfície foliar ativa equivalente a 5 vezes a superfície do terreno (LAI = 5). Quando a superfície foliar é inferior a 5, deve-se aplicar uma correção; quando é superior a 5, o efeito é pequeno (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Correção para o desenvolvimento do cultivo com o tempo e para a superfície foliar (CL)

LAI	1	2	3	4	> 5
CORREÇÃO (CL)	0,2	0,3	0,4	0,48	0,5

Santos Filho et al. (1979) determinaram, através de experimento realizado com soja em Planossolo Pelotas, o índice de área foliar (LAI) de 2,6 e 2,0, respectivamente para as cultivares IAS-4 e IAS-5. Estes valores não são semelhantes aos obtidos por Koller et al (1970), que encontraram um LAI máximo de 4,3. É importante salientar que o experimento realizado por Santos Filho et al (1979) foi conduzido sem irrigação, o que pode ter inibido a cultura de expressar seu potencial de crescimento. Supondo-se, então, que o índice determinado seja inferior ao potencial para o Planossolo Pelotas, será adotado o valor de 4,0 para o índice LAI.

d) Correção para produção de matéria seca (CN)

Para manter a produção de matéria seca, a planta necessita de energia para os processos internos de desenvolvimento (também chamados respiração). Só a energia remanescente pode ser usada para produzir um novo crescimento que é em torno de 0,6 em condições frias (temperatura média inferior a 20°C) e de 0,5 em condições cálidas (temperatura média superior a 20°C), ou seja $CN = 0,5$ ou $CN = 0,6$.

e) Correção para a parte colhida (CH)

Em geral, só se colhe uma parte da matéria seca total, como o grão, o açúcar ou o óleo. A relação entre a matéria seca total e a parte colhida é dada pelo índice de colheita (CH) para variedades de alta produção com irrigação. Para a cultura da

soja, este índice varia de 0,3 a 0,4. No presente trabalho, adotou-se $CH = 0,35$.

A determinação do rendimento máximo foi realizado por parcelas, já que num experimento as repetições diferiam entre si no que diz respeito à fenologia, portanto também no rendimento máximo. Após a inclusão dos 13% correspondentes ao teor de umidade de colheita verificou-se que os valores dos rendimentos obtidos foram em alguns casos, inferiores aos observados. Decidiu-se então, a elevar os valores calculados do rendimento de forma que no mínimo em somente um experimento esse fosse igual ao observado, somando-se um fator de correção de 1517,7 kg/ha a todos os valores determinados. Este resultado de certa forma explica-se porque o Método utilizado estima os rendimentos de lavouras e os rendimentos de ensaios são normalmente mais elevados. Os valores dos rendimentos máximos estimados médios por experimento constam na Tabela 9.3

4.4 Avaliação dos modelos

Dos modelos descritos na Seção 3.4, foram escolhidos para avaliação no presente trabalho os modelos de Blank, Jensen, Stewart e Minhas e os dois modelos de Aginsky, nas respectivas formas originais e os quatro primeiros também modificados para levar em conta o estresse resultante do excesso hídrico.

4.4.1 Subdivisão do ciclo

Com a finalidade de verificar o efeito do estresse hídrico nos diferentes estágios do ciclo da cultivar de soja IAS-4, este foi dividido em 6 diferentes formas, ou seja:

D7 - 7 períodos:

P₁ - Da sementeira ao estágio V₂. Corresponde à germinação e estabelecimento da cultura.

P₂ - Do estágio V₂ até a metade do intervalo entre estágios V₂ e R₁: $(R_1 - V_2)/2$.

P₃ - Intervalo compreendido entre $(R_1 - V_2)/2$ e R₁

P₄ - Intervalo compreendido entre R₁ e $(R_5 - R_1)/2$.

P₅ - Intervalo compreendido entre $(R_5 - R_1)/2$ e R₅.

P₆ - Intervalo compreendido entre R₅ e $(R_7 - R_5)/2$.

P₇ - Intervalo compreendido entre $(R_7 - R_5)/2$ e R₇.

D6 - 6 períodos:

Divisão igual à anterior, exceto pela exclusão do período P₁, em que pode ter havido manipulação dos experimentos, como replantio, desbaste, capina e, até mesmo, irrigação para melhoria do estado de plantas.

D5 - 5 períodos:

Derivada da divisão D7 pela agregação dos períodos P₄ e P₅, formando um único período P₄₅, correspondente ao período de floração da cultura, e períodos P₆ e P₇, formando o período P₆₇, que corresponde ao enchimento de grãos e maturação fisiológica. Dessa forma, esta subdivisão é constituída pelos períodos P₁, P₂, P₃, P₄₅, e P₆₇.

D41 - 4 períodos:

Derivada da divisão D5 pela agregação dos períodos P₂ e P₃, constituindo o período P₂₃. Portanto, esta subdivisão é constituída dos períodos P₁, P₂₃, P₄₅ e P₆₇.

D42 - 4 períodos

Constituída dos períodos P₂, P₃, P₄₅ e P₆₇

D3 - 3 períodos

Constituída dos períodos P₂₃, P₄₅ e P₆₇.

4.4.2 Quantificação do estresse hídrico

Os modelos água-rendimento a serem pesquisados foram originalmente formulados para quantificar somente a deficiência hídrica. Como a soja em planossolo também sofre estresse decorrente do excesso hídrico, os modelos deverão ser alterados para quantificação do excesso hídrico, através da introdução da variável N para representar o efeito do número de dias em que o espaço aéreo do solo ficar reduzido ao nível inferior de 7,5% em determinado período, sendo que, a ETr desse dia passa a ser considerada nula para o ajustamento dos modelos. O efeito negativo do estresse decorrente da redução do espaço aéreo a menos de 7,5% ocorre após um certo número de dias de redução do espaço aéreo, que depende do estágio do ciclo da planta. Então, uma expressão apropriada para a variável é a seguinte:

$$N = \begin{cases} n_i - d_i, & \text{se } n_i \geq d_i \\ 0, & \text{se } n_i < d_i \end{cases} \quad (4.1)$$

onde: n_i = número de dias em que o espaço aéreo do solo foi inferior a 7,5%, no período i ;

d_i = valor da Tabela 4.6.

Os valores da Tabela 4.1 foram obtidos, empiricamente, de forma iterativa.

A variável N foi introduzida nos modelos de forma aditiva ou multiplicativa, de acordo com a forma da presença da variável que representa a deficiência hídrica nos modelos originais. Assim, os modelos permaneceram na forma original

Tabela 4.6 Número de dias a partir do qual foi considerado o efeito do excesso hídrico no rendimento da soja.

Formas de subdivisão do ciclo	Período						
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇
D7 -	6	6	4	3	3	3	3
D6 -		6	4	3	3	3	3
D5 -	6	6	5	3			3
D41 -	6			3			3
D42 -		6	5	3			3
D3 -			6	3			3
		P ₂₃		P ₄₅		P ₆₇	

aditivos ou multiplicativos. Após a introdução da variável N para representar o excesso hídrico, as equações dos modelos considerados passaram a ser as seguintes:

- Modelo de Blank(1989) modificado:

$$Y_{obs}/Y_{max} = \sum_{i=1}^n a_i (ET_r/ET_m)_i + \sum_{i=1}^n b_i (N)_i + e \dots (4.2)$$

- Modelo de Jensen(1968) modificado:

$$Y_{obs}/Y_{max} = \prod_{i=1}^n (ET_r/ET_m)_i^{a_i} \cdot \prod_{i=1}^n (1+N)_i^{b_i} \cdot e \dots (4.3)$$

- Modelo de Stewart(1976) modificado:

$$Y_{obs}/Y_{max} = 1 - \left(\sum_{i=1}^n a_i (1-ET_r/ET_m)_i - \sum_{i=1}^n b_i (1/(1+N_i)) \right) + e \dots (4.4)$$

- Modelo de Minhas(1974) modificado:

$$Y_{obs} = (C+v_i) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - (1-ET_r/ET_m)_i^2)^{a_i} \cdot \prod_{i=1}^n (1+N_i)^{b_i} \cdot e \dots (4.5)$$

Os dois modelos de Aginsky(1989) foram ajustados na forma original conforme já descritos na Seção 3.5 ou seja as equações 3.14 e 3.15. Não parece ter sentido introduzir neles uma variável para quantificar o excesso hídrico, já que eles têm como variável independente somente a precipitação efetiva.

A variável indicadora (v_i) do modelo de Minhas foi neste trabalho associada aos diferentes solos em que foram realizados os ensaios.

4.4.3 Ajuste dos modelos

Para o ajustamento dos modelos foram tomadas as médias de produção por experimento, já que as variáveis meteorológicas são globais para cada experimento.

Os valores das variáveis independentes consideradas nos seis modelos foram inicialmente calculados para cada dia do ciclo da planta. A partir desses dados, foram determinados os valores das variáveis independentes dos modelos para os sete períodos da forma D7 de subdivisão do ciclo da planta. Esse dados, bem como os dados correspondentes as produções médias e máximas calculadas para cada experimento constam da Tabela 9.3. Os dados para as demais formas de divisão do ciclo da planta foram, então, obtidos por agregações sucessivas, conforme as definições dos períodos, na seguinte ordem das formas de divisão: D7, D6, D5, D41, D42, e D3.

Na determinação da precipitação efetiva utilizada pelos modelos de Aginsky foi usada a metodologia descrita na Seção 3.5, com a variável J da equação 3.16 definida como capacidade de armazenamento de água no ponto em que o solo atinge 5,0% do espaço aéreo, cujos valores constam da Tabela 9.3.

Os modelos não lineares (modelos de Jensen e Minhas e modelo Aginsky 2) foram linearizados através da transformação logarítmica.

Os ajustamentos dos modelos - estimação dos parâmetros e testes de significância - para cada uma das 6 formas de subdivisão do ciclo da planta, foram efetuados através dos procedimentos para a análise de regressão linear (PROC REG) e análise de modelos lineares gerais (PROC GLM) do SAS (Statisticals Analysis Systems, 1985). Tendo em conta os números diferentes de repetições dos experimentos, as análises das médias por experimentos foram ponderadas, tomando os números de repetições como peso.

Os modelos foram ajustados nas correspondentes formas originais apenas para a forma D7 da divisão do ciclo da planta, ou seja a forma de divisão no número mais elevado de períodos. Para essa forma de divisão do ciclo da planta, foi efetuado o teste de significância da importancia da inclusão do excesso hídrico, para os modelos de Blank, Jensen, Stewart e Minhas. O teste foi efetuado pelo método do "resíduo condicionado", através da estatística

$$F = \frac{[SQ \text{ Resíduo cond.} - SQ \text{ Resíduo}]/7}{SQ \text{ Resíduo}/v}$$

que tem distribuição de F com 7 (número de componentes no modelo referentes ao excesso hídrico) e v graus de liberdade do resíduo, onde SQ Resíduo é a soma de quadrados do resíduo para o modelo modificado, com os 7 componentes referentes ao excesso hídrico, e SQ Resíduo condicionado é a soma dos quadrados do resíduo para o modelo original.

O modelo de Minhas foi ajustado, também, com e sem a variável indicadora, para permitir a avaliação da conveniência da consideração do tipo de solo. Quando o modelo possui a variável indicadora denominou-se de Minhas 1 e sem a variável indicadora Minhas 2

Os ajustamentos para as seis formas de divisão do ciclo da planta, para um mesmo modelo e os ajustamentos para os seis modelos, para uma mesma forma de divisão do ciclo da planta, foram comparados através dos coeficientes de correlação entre os rendimentos observados e os rendimentos estimados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 5.1 a 5.6 apresentam as estimativas dos parâmetros e resultados dos correspondentes testes de significância parciais, através da estatística t, referentes aos modelos originais e modificados de Blank, Jensen, Stewart e Minhas² e aos dois modelos de Aginsky, respectivamente, para as seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Para a forma D7# de divisão do ciclo, os modelos foram ajustados na forma original, ou seja, sem os termos que quantificam o excesso hídrico.

A Tabela 5.7 apresenta os coeficientes de correlação entre os rendimentos observados e os rendimentos esperados dos 71 experimentos para as sete equações de regressão ajustadas para as seis formas de divisão do ciclo da planta, para cada modelo.

Os valores mais elevados dos coeficientes de correlação para os ajustamentos dos modelos modificados indicam que a consideração do excesso hídrico melhorou sensivelmente a qualidade do ajuste, dos modelos água-rendimento de Blank, Jensen, Stewart e Minhas² (sem variável indicadora). Isso é confirmado pela alta significância ($P < 0,01$) da inclusão dos termos que quantificam o excesso hídrico (Tabela 5.8) para esses modelos.

Tabela 5.1 Estimativas dos parâmetros (a_i e b_i), resultados dos correspondentes testes de significância¹ e desvios padrões dos erros de ajustamento, para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Modelo de Blank original e modificado.

Divisão do ciclo ²	Período														Desvio padrão do erro
	Deficiência hídrica							Excesso hídrico							
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	
D7 [#]	0,212 [*] <i>0,0291</i>	0,091 <i>0,4908</i>	-0,103 <i>0,4085</i>	0,193 ^{&} <i>0,0672</i>	0,369 ^{**} <i>0,0010</i>	0,359 ^{**} <i>0,0001</i>	0,137 <i>0,2241</i>	-	-	-	-	-	-	-	0.257
D7	0,045 <i>0,6745</i>	-0,261 <i>0,1220</i>	0,040 <i>0,8189</i>	0,220 [#] <i>0,0335</i>	0,443 ^{**} <i>0,0003</i>	0,397 ^{**} <i>0,0001</i>	0,471 ^{**} <i>0,0003</i>	-0,005 <i>0,7144</i>	0,048 ^{**} <i>0,0023</i>	-0,036 <i>0,6017</i>	-0,041 <i>0,6163</i>	-0,041 <i>0,2975</i>	-0,008 <i>0,1582</i>	-0,001 <i>0,8444</i>	0.223
D6		-0,265 ^{&} <i>0,0982</i>	0,051 <i>0,7552</i>	0,200 [#] <i>0,0418</i>	0,467 ^{**} <i>0,0001</i>	0,415 ^{**} <i>0,0001</i>	0,496 ^{**} <i>0,0001</i>		0,049 ^{**} <i>0,0015</i>	-0,042 <i>0,5242</i>	-0,071 <i>0,2770</i>	-0,033 <i>0,3343</i>	-0,009 <i>0,1355</i>	-0,001 <i>0,8670</i>	0.221
D5	0,110 <i>0,2406</i>	-0,268 <i>0,1447</i>	-0,064 <i>0,7063</i>	0,702 ^{**} <i>0,0001</i>		0,859 ^{**} <i>0,0001</i>	-0,010 <i>0,3679</i>	0,040 ^{**} <i>0,0015</i>	-0,045 <i>0,7203</i>		-0,020 <i>0,1980</i>			-0,005 <i>0,3059</i>	0.221
D41	0,122 <i>0,1630</i>		-0,479 ^{**} <i>0,0023</i>	0,779 ^{**} <i>0,0001</i>		0,815 ^{**} <i>0,0001</i>	-0,004 <i>0,5828</i>	0,039 ^{**} <i>0,0001</i>			-0,015 <i>0,2568</i>			-0,004 <i>0,1752</i>	0.215
D42		-0,208 <i>0,2135</i>	-0,108 <i>0,4942</i>	0,684 ^{**} <i>0,0001</i>		0,966 ^{**} <i>0,0001</i>		0,045 ^{**} <i>0,0004</i>	-0,028 <i>0,8255</i>		-0,011 <i>0,4402</i>			-0,006 <i>0,2060</i>	0.225
D3			-0,407 ^{**} <i>0,0024</i>	0,791 ^{**} <i>0,0001</i>		0,960 ^{**} <i>0,0001</i>			0,042 ^{**} <i>0,0001</i>		-0,010 <i>0,4377</i>			-0,006 [#] <i>0,0424</i>	0.218

¹Número em itálico indica o valor da estatística t (Prob. It)

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

& Significativo ao nível de 10% de probabilidade

²# Neste ajuste não foram considerados os termos que quantificam o excesso hídrico.

Equação:

$$Y_{obs}/Y_{max} = \sum_{i=1}^n (ET_r/ET_m)_i + \sum_{i=1}^n b_i(N)_i + e$$

Tabela 5.2 Estimativas dos parâmetros (a_i e b_i), resultados dos correspondentes testes de significância¹ e desvios padrões dos erros de ajustamento, para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Modelo de Jensen original e modificado.

Divisão do ciclo ²	Período														Desvio padrão do erro
	Deficiência hídrica							Excesso hídrico							
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	
D7 ^h	0,155 [†] 0,0221	0,026 0,3410	-0,141 [*] 0,0146	0,146 [†] 0,0429	0,267 ^{**} 0,0016	0,104 ^{**} 0,0002	0,070 0,2500	-	-	-	-	-	-	-	0,492
D7	0,029 0,6672	-0,006 0,0034	-0,065 0,2049	0,117 [‡] 0,0579	0,145 0,1550	0,178 ^{**} 0,0002	0,131 [‡] 0,0620	0,061 0,2794	0,111 [‡] 0,0995	-0,236 0,2902	-0,022 0,9131	-0,131 0,2463	-0,172 ^{**} 0,0005	-0,041 0,4312	0,400
D6		-0,004 0,0810	-0,074 0,1371	0,116 [‡] 0,0560	0,171 [‡] 0,0602	0,176 ^{**} 0,0001	0,140 [†] 0,0300		0,139 [†] 0,0200	-0,294 0,1541	0,056 0,7321	-0,128 0,2545	-0,156 ^{**} 0,0000	-0,035 0,4900	0,397
D5	-0,003 0,9545	-0,016 0,4934	-0,113 [*] 0,0261	0,297 ^{**} 0,0059		0,444 ^{**} 0,0001	0,016 0,7465	0,142 ^{**} 0,0043	-0,517 0,1092	-0,003 0,9599			-0,099 [†] 0,0199		0,395
D41	0,047 0,4356		-0,213 [†] 0,0244	0,215 [†] 0,0103		0,478 ^{**} 0,0001	0,053 0,2445	0,099 [*] 0,0347		0,001 0,0102			-0,135 ^{**} 0,0004		0,408
D42		-0,015 0,5219	-0,117 [*] 0,0151	0,308 ^{**} 0,0025		0,439 ^{**} 0,0001		0,146 ^{**} 0,0010	-0,539 [‡] 0,0760	-0,006 0,9150			-0,091 ^{**} 0,0000		0,389
D3			-0,228 [*] 0,0139	0,310 ^{**} 0,0040		0,499 ^{**} 0,0001			0,111 [†] 0,0156	-0,008 0,0679			-0,127 ^{**} 0,0001		0,407

¹Número em itálico indica o valor da estatística t (Prob. < t)

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

‡ Significativo ao nível de 10% de probabilidade

²Neste ajuste não foram considerados os termos que quantificam o excesso hídrico.

Equação:

$$Y_{obs}/Y_{max} = \prod_{i=1}^n (ETr/ETn) \cdot \prod_{i=1}^n (1+b_i) \cdot e$$

Tabela 5.3 Estimativas dos parâmetros (a_i e b_i), resultados dos correspondentes testes de significância¹ e desvios padrões dos erros de ajustamento, para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Modelo de Stewart original e modificado.

Divisão do ciclo ²	Período														Desvio padrão do erro	
	Deficiência hídrica							Excesso hídrico								
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇		
D7 [#]	0,1598 [‡] 0,0745	0,285 [*] 0,0336	-0,249 [*] 0,0104	0,107 0,1316	0,252 [*] 0,0214	0,261 ^{**} 0,0007	-0,021 0,0232	-	-	-	-	-	-	-	0,246	
D7	0,046 0,6503	-0,084 0,6567	-0,056 0,7519	0,123 0,2645	0,230 0,1098	0,272 [*] 0,0128	0,255 [‡] 0,0757	0,018 0,7962	0,196 ^{**} 0,0026	0,066 0,9588	0,015 0,9026	-0,076 0,3092	-0,161 [*] 0,0196	-0,036 0,5215	0,212	
D6		-0,104 0,5586	-0,033 0,6457	0,118 0,2304	0,267 [*] 0,0429	0,296 ^{**} 0,0012	0,289 [*] 0,0143			0,202 ^{**} 0,0013	-0,007 0,8545	0,011 0,9232	-0,098 0,2585	-0,164 [*] 0,0129	-0,035 0,5183	0,208
D5	0,069 0,4421	-0,050 0,7497	-0,157 0,2456		0,357 [*] 0,0178		0,573 ^{**} 0,0032	0,007 0,9180	0,187 ^{**} 0,0066	-0,125 0,1931	0,002 0,9746			-0,122 [*] 0,0203	0,207	
D41	0,098 0,2889		-0,230 [‡] 0,0876		0,333 [*] 0,0156		0,581 ^{**} 0,0001	0,004 0,9425	0,110 0,0171		-0,027 0,6318			-0,154 ^{**} 0,0024	0,216	
D42		-0,049 0,7217	-0,151 0,2105		0,355 ^{**} 0,0037		0,641 ^{**} 0,0001		0,189 ^{**} 0,0004	-0,134 0,1545	0,011 0,8386			-0,137 ^{**} 0,0049	0,205	
D3			-0,216 0,1042		0,314 ^{**} 0,0078		0,669 ^{**} 0,0001		0,107 [*] 0,0186		-0,013 0,7946			-0,178 ^{**} 0,0001	0,215	

¹Número em itálico indica o valor da estatística t (Prob.)t)

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

‡ Significativo ao nível de 10% de probabilidade

²# Neste ajuste não foram considerados os termos que quantificam o excesso hídrico.

Equação:

$$Y_{obs}/Y_{max} = 1 - \left(\sum_{i=1}^n a_i (1 - ETr/EIm) - \sum_{i=1}^n b_i (1/(1+H_i)) \right) + e$$

Tabela 5.4 Estimativas dos parâmetros (a_i e b_i), resultados dos correspondentes testes de significância¹ e desvios padrões dos erros de ajustamento, para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Modelo de Minhas 2.

Divisão do ciclo ²	C	Período														Desvio padrão do erro	
		Deficiência hídrica							Excesso hídrico								
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇		
D7H	8,117** 0,0001	0,180 [†] 0,0474	0,028 0,3505	-0,144 [‡] 0,0763	0,123 0,1696	0,394** 0,0015	0,238** 0,0015	0,119 0,2775	-	-	-	-	-	-	-	-	0,511
D7	8,099** 0,0001	0,050 0,5842	0,002 0,9297	-0,085 0,2712	0,118 0,1628	0,157 0,2785	0,229** 0,0070	0,160 0,1311	0,073 0,2609	0,105 0,1537	-0,230 0,3366	-0,009 0,9666	-0,216 [‡] 0,0817	-0,171** 0,0010	-0,027 0,6118	0,415	
D6	8,188** 0,0001		0,001 0,9846	-0,063 0,3977	0,134 0,1057	0,212 0,1105	0,247** 0,0015	0,210 [†] 0,0324		0,115 0,1125	-0,260 0,2470	0,063 0,7121	-0,231 [‡] 0,0590	-0,161** 0,0014	-0,103 0,5914	0,413	
D5	8,043** 0,0001	-0,012 0,0765	-0,008 0,7355	-0,116 [†] 0,0396		0,304 [‡] 0,0540		0,577** 0,0001	0,026 0,6442	0,139 [†] 0,0119	-0,537 0,1058		-0,062 0,3737		-0,079 [‡] 0,0598	0,403	
D4I	8,194** 0,0001	0,027 0,7466		-0,212 [‡] 0,0851		0,336 [‡] 0,0590		0,737** 0,0001	0,025 0,6579	0,070 0,1385			-0,074 0,2765		-0,115** 0,0037	0,417	
D4E	8,067** 0,0001		-0,007 0,7719	-0,153 [†] 0,0391		0,328 [†] 0,0225		0,583** 0,0001		0,139 [†] 0,0103	-0,550 [‡] 0,0850		-0,079 0,1839		-0,068 [‡] 0,0579	0,398	
D3	8,223** 0,0001			-0,209 [‡] 0,0835		0,372 [†] 0,0188		0,766** 0,0001			0,071 0,1293		-0,087 0,1447		-0,109** 0,0027	0,411	

¹ Número em itálico indica o valor da estatística t (Prob. > t)

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

‡ Significativo ao nível de 10% de probabilidade

² Neste ajuste não foram considerados os termos que quantificam o excesso hídrico.

Equação:

$$Y_{obs} = C \cdot \prod_{i=1}^n (1 - (1 - ET_i / ET_m)^2)^{a_i} \cdot \prod_{i=1}^n (1 + b_i)^{b_i}$$

Tabela 5.5 Estimativas dos parâmetros (a_i), resultados dos correspondentes testes de significância¹ e desvios padrões dos erros de ajustamento para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Modelo Aguincky I.

Divisão do ciclo ²	C	Período							Desvio padrão do erro
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	
D7	1811,00** 0,0001	11,893** 0,0003	9,065** 0,0001	-8,679* 0,0162	-2,088 0,3770	3,252 0,2927	-2,877& 0,0943	1,819 0,3207	963,97
D6	2257,00** 0,0001		9,487** 0,0001	-6,373& 0,0994	-1,388 0,5919	4,616 0,1733	-3,070 0,1645	-0,934 0,6129	1083,00
D5	2095,27** 0,0001	10,284** 0,0012	8,933** 0,0001	-13,054** 0,0001	0,147 0,9323		-0,442 0,7408		1009,00
D41	1842,93** 0,0001	5,033 0,1961	5,144** 0,0061		2,089 0,3519		-2,227 0,1968		1320,22
D42	2420,97** 0,0001		9,554** 0,0001	-9,759** 0,0019	0,971 0,5993		-1,678 0,2273		1005,02
D3	2020,90** 0,0001		5,708** 0,0020		2,396 0,2880		-2,759 0,1027		1327,15

¹Número em itálico indica o valor da estatística t (Prob.)t)

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

& Significativo ao nível de 10% de probabilidade

Equação:

$$Y_{obs} = \sum_{i=1}^n a_i X_i + C + e$$

Tabela 5.6 Estimativas dos parâmetros (a_i), resultados dos correspondentes testes de significância¹ e desvios padrões dos erros de ajustamento para cada uma das seis formas de subdivisão do ciclo da planta. Modelo Aginsky 2.

Divisão do ciclo ²	C	Período							Desvio padrão do erro
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	
D7	7,828** <i>0,0001</i>	0,026 <i>0,2042</i>	0,115** <i>0,0053</i>	-0,178** <i>0,0020</i>	-0,022 <i>0,1420</i>	0,077 <i>0,3774</i>	-0,038 <i>0,3371</i>	-0,008 <i>0,8086</i>	0,568
D6	7,838** <i>0,0042</i>		0,119** <i>0,0042</i>	-0,172** <i>0,0029</i>	-0,024 <i>0,1200</i>	0,096 <i>0,2678</i>	-0,039 <i>0,3330</i>	-0,016 <i>0,7474</i>	0,571
D5	7,957** <i>0,0001</i>	0,029 <i>0,1572</i>	0,130** <i>0,0002</i>	-0,199** <i>0,0001</i>	0,019 <i>0,0056</i>		-0,036 <i>0,5803</i>		0,569
D41	7,422** <i>0,0001</i>	0,029 <i>0,2219</i>	0,060 <i>0,3675</i>		0,089 <i>0,3332</i>		-0,091 <i>0,2458</i>		0,672
D42	7,989** <i>0,0001</i>		0,130** <i>0,0001</i>	-0,195** <i>0,0001</i>	0,029 <i>0,7113</i>		-0,042 <i>0,5201</i>		0,574
D3	7,452** <i>0,0001</i>		0,074 <i>0,2637</i>		0,099 <i>0,2022</i>		-0,099 <i>0,2075</i>		0,675

¹Número em itálico indica o valor da estatística t (Prob. It)

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

& Significativo ao nível de 10% de probabilidade

Equação:

$$Y_{obs} = C \cdot \prod_{i=1}^n b_i \cdot e$$

Tabela 5.7 Coeficiente de correlação entre rendimento observado e rendimento estimado pelos modelos considerados, conforme as formas de divisão do ciclo da soja.

Divisão do ciclo	Modelo ajustado						
	Blank	Jensen	Stewart	Minhas1	Minhas2	Aguinsky1	Aguinsky2
D7#	0,751	0,744	0,766	0,855	0,729	-	-
D7	0,842	0,861	0,857	0,873	0,850	0,748	0,672
D6	0,841	0,860	0,856	0,876	0,852	0,683	0,659
D5	0,835	0,855	0,852	0,860	0,851	0,728	0,646
D41	0,837	0,838	0,834	0,841	0,836	0,456	0,303
D42	0,827	0,856	0,850	0,864	0,854	0,672	0,625
D3	0,830	0,840	0,832	0,841	0,838	0,430	0,249

Para o modelo de Minhas 1 (com variável indicadora) a melhoria não foi significativa. Isso pode ser explicado pelo fato deste modelo considerar o efeito de solo, através de variáveis indicadoras. A variável indicadora considera, de uma certa forma, o fator excesso hídrico, pois este é uma característica intrínseca do solo. Mas se compararmos os dois modelos de Minhas, através do coeficiente de correlação, para a forma de divisão D7 com a variável indicadora (Minhas 1) e na divisão D7 sem a variável indicadora (Minhas 2) (Tabela 5.7), verifica-se que a introdução dos termos que quantificam o excesso hídrico, de uma certa forma, tem função equivalente, no que diz respeito a qualidade do ajuste, à variável indicadora. Entretanto, no uso deste modelo num processo de simulação do efeito da água de irrigação, é mais conveniente a utilização dos termos que quantificam o excesso hídrico, pois, numa determinada oportunidade, pode ocorrer efeito negativo da irrigação em qualquer subperíodo da cultura. Ademais, a considerar que a variável indicadora não leva em consideração apenas o efeito solo, mas, também, outros efeitos como de ambiente, ano e fertilidade do solo, que de alguma forma, influenciam as estimativas dos parâmetros.

A comparação dos coeficiente de correlação entre rendimentos observados e rendimentos estimados revela não existir grande diferença na qualidade de ajuste dos modelos que quantificam a deficiência hídrica através da evapotranspiração relativa (E_{Tr}/E_{Tm}) e da deficiência de avapotranspiração relativa ($1-E_{Tr}/E_{Tm}$). Também, não se verificam diferenças consideráveis

Tabela 5.6 Processo e resultados dos testes de significância da importância da introdução do excesso hídrico para os modelos de Blank, Jensen, atewart e as duas formas do modelo de Minhas.

Modelo	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Blank	Resíduo modelo orig.	64	4,234	-	
	Resíduo modelo mod.	57	2,845	0,050	
	Diferença	7	1,389	0,198	3,974**
Jensen	Resíduo modelo orig.	64	15,507	-	
	Resíduo modelo mod.	57	9,093	0,160	
	Diferença	7	6,414	0,916	5,744**
Stewart	Resíduo modelo orig.	64	3,880	-	
	Resíduo modelo mod.	57	2,555	0,045	
	Diferença	7	1,325	0,189	4,222**
Minhas 1	Resíduo modelo orig.	64	10,387	-	
	Resíduo modelo mod.	57	8,182	0,164	
	Diferença	7	1,270	0,181	1,108 ^{ns}
Minhas 2	Resíduo modelo orig.	64	16,453	-	
	Resíduo modelo mod.	57	9,646	0,172	
	Diferença	7	6,808	0,973	5,646**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

entre modelos aditivos (lineares) e modelos multiplicativos (não lineares), com pouca superioridade para os modelos multipliativos de Jensen e de Minhas quando utiliza a variável indicadora.

Os menores coeficientes de correlação entre rendimentos observados e estimados correspondem aos modelos de Aginsky, cujas variáveis independentes são precipitações efetivas. Entretanto, é com os modelos de Aginsky que se verifica uma malhoria mais acentuada na qualidade do ajustamento com o aumento do número de períodos de divisão do ciclo total da cultura. Isso sugere que, para modelos que utilizam a precipitação efetiva, a qualidade do ajuste melhora com a consideração de maior número de subdivisões do ciclo da planta. Isso é justificável pelo fato de que, com um período menor (± 10 dias), a metodologia da determinação de precipitação efetiva é mais adequada e há maior proximidade entre esta e o consumo de água pela planta, que em última instância é o que importa.

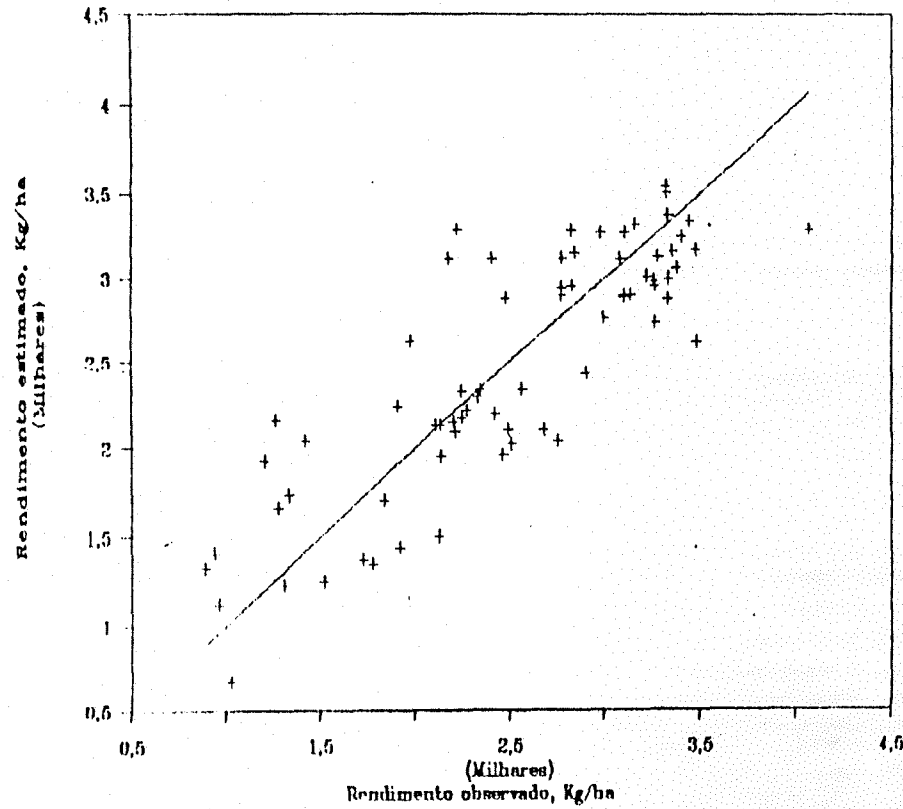
Para os demais cinco modelos, não há grande variação na qualidade do ajuste com o aumento do número de períodos. Isto significa que, se o objetivo for somente predizer o rendimento, poderão ser utilizados os modelos mais simplificados como por exemplo os modelos de Aginsky.

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam os gráficos de dispersão de pontos correspondentes aos rendimentos médios observados e estimados pelos modelos considerados para os 71 experimentos, para a subdivisão do ciclo da planta em 7

períodos (fora D7H). Observa-se que a distribuição de pontos mais próxima da bissetriz, indicada pelo segmento de linha reta, significa ajuste mais perfeito. Verifica-se que, em geral, os modelos tem igual precisão no que diz respeito à estimativa de rendimentos altos e baixos, com excessão dos modelos de Aginsky, que tendem a superestimar os rendimentos baixos. Nos modelos modificados de Blank, Jensen, Stewart e Minhas 2, observa-se maior quantidade de rendimentos abaixo da bissetriz, mas relativamente mais próximos desta do que os pontos acima da bissetriz. Isso parece indicar que a falha maior destes modelos está em superestimar alguns dos rendimentos dos 71 experimentos.

Os resultados obtidos, de modo geral, concordam as reportados em outros trabalhos com soja. A qualidade do ajuste, entretanto foi, relativamente inferior (Hill et al. 1979, Mota 1979 e Berlato 1987). Esse fato pode ser atribuído às condições ambientais dos experimentos aqui considerados, os quais foram conduzidos em planossolos. Esses solos são bem mais complexos do que aqueles bem drenados para os quais foram originalmente desenvolvidos e ajustados os modelos. Outro fato importante a considerar é que neste estudo foram utilizados dados de todos os experimentos disponiveis. Não foi adotado qualquer critério de seleção de experimentos, como, por exemplo, exclusão de experimentos com coeficientes de variação elevados. Entendeu-se que, muitas vezes, a alta variação do rendimento entre as parcelas de um experimento é decorrência da condição de estresse hídrica, já que neste tipo de solo a variação espacial é muito acentuada.

Modelo de Blank



Modelo de Jensen

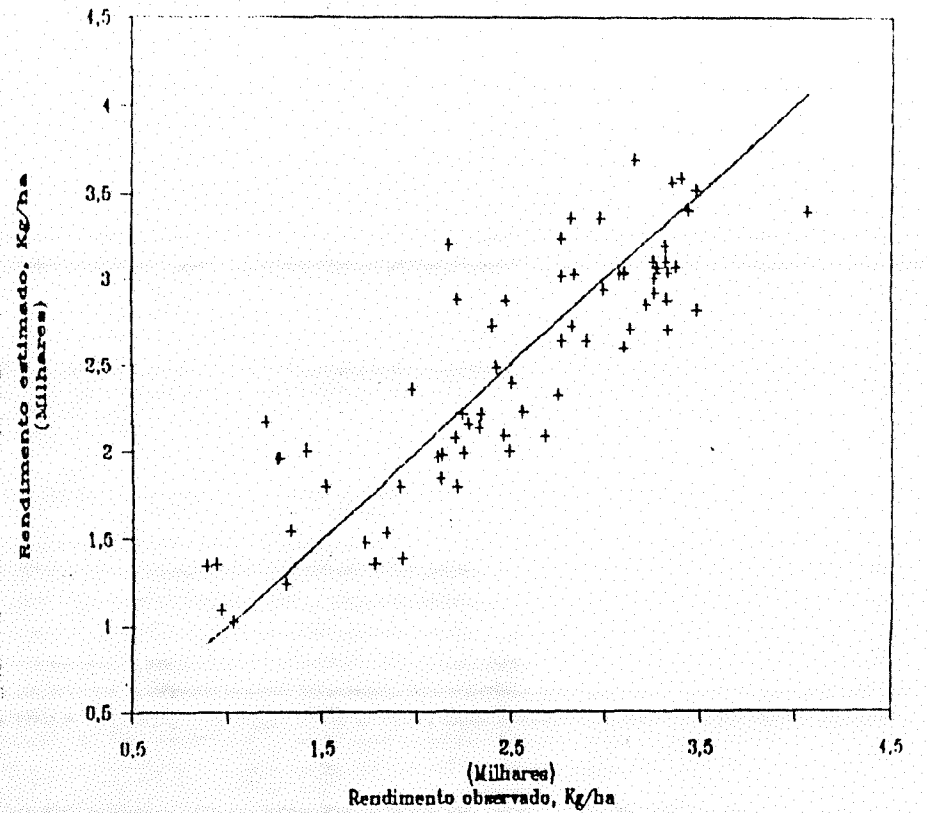
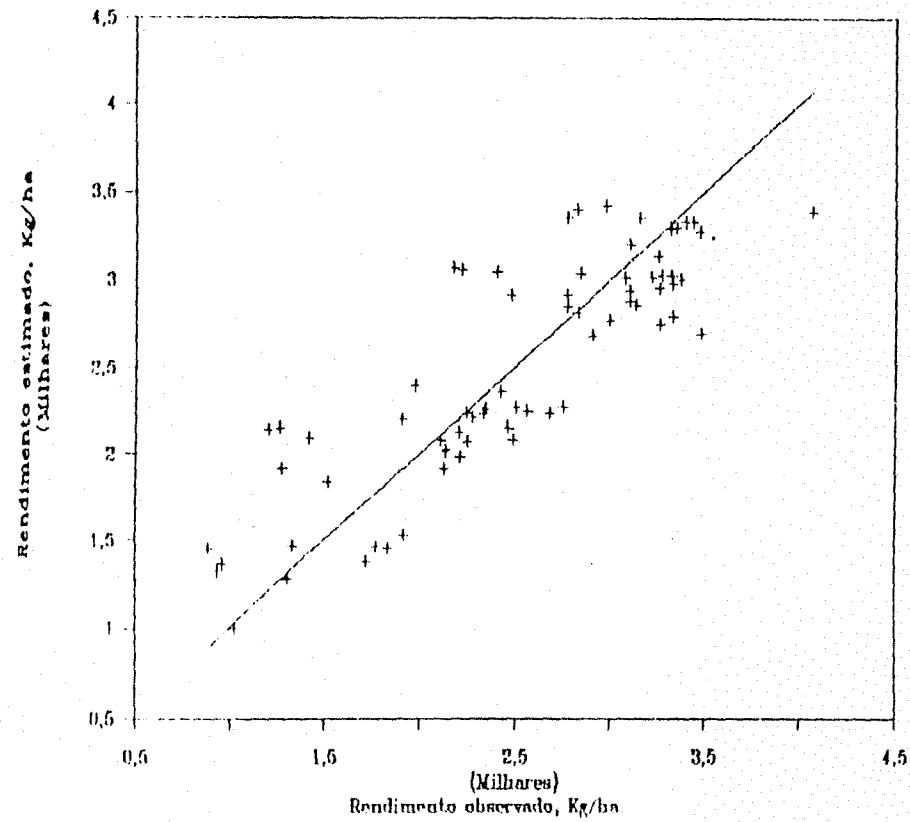


Figura 5.1 Gráficos de dispersão de pontos correspondente aos rendimentos observados e estimados pelos modelos de Blank e Jensen para a cultivar IAS-4 na forma D7 de divisão do ciclo.

Modelo de Stewart



Modelo de Minhas 2

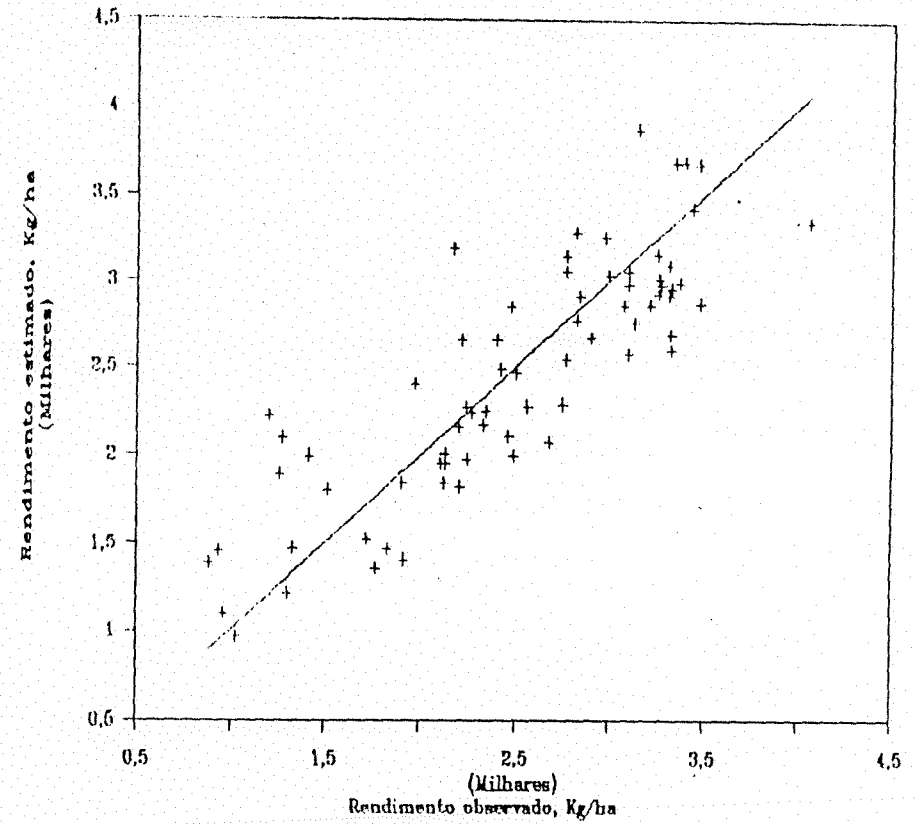
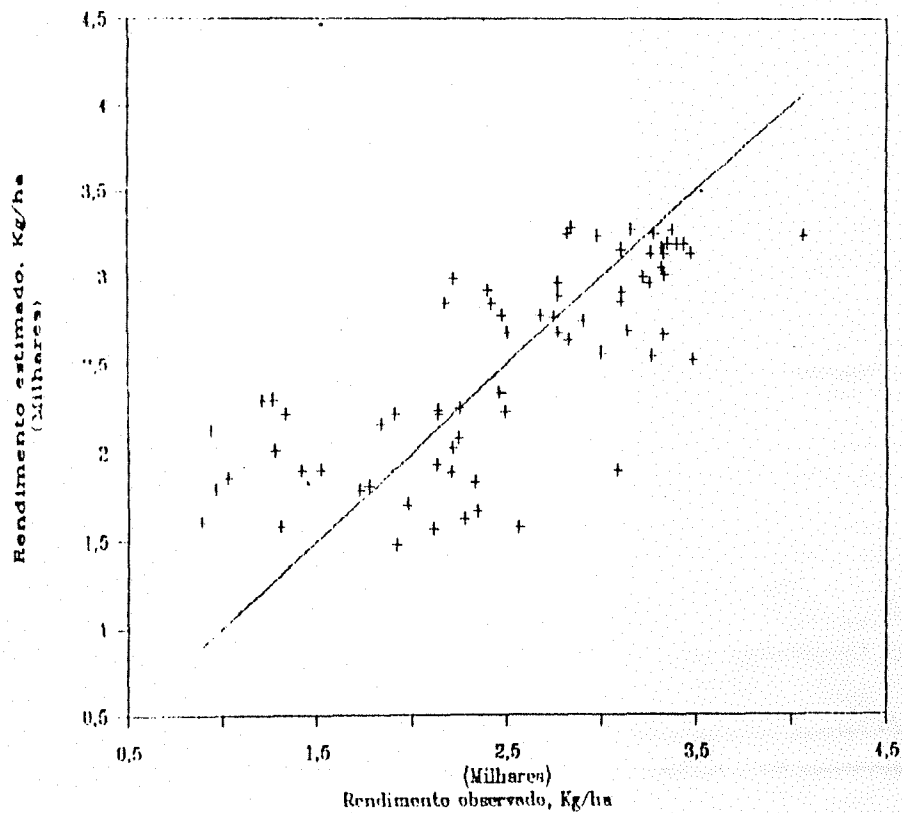


Figura 5.2 Gráficos de dispersão de pontos correspondente aos rendimentos observados e estimados pelos modelos de Stewart e Minhas 2 para a cultivar IAS-4 na forma D7 de divisão do ciclo.

Modelo de Aguinsky 1



Modelo de Aguinsky 2

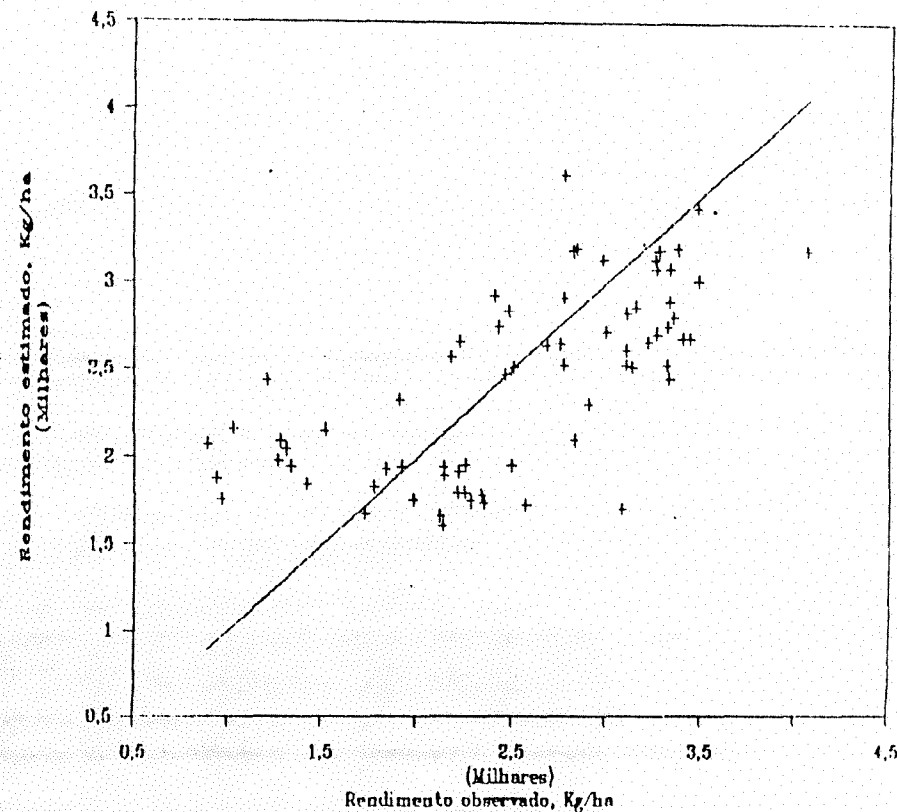
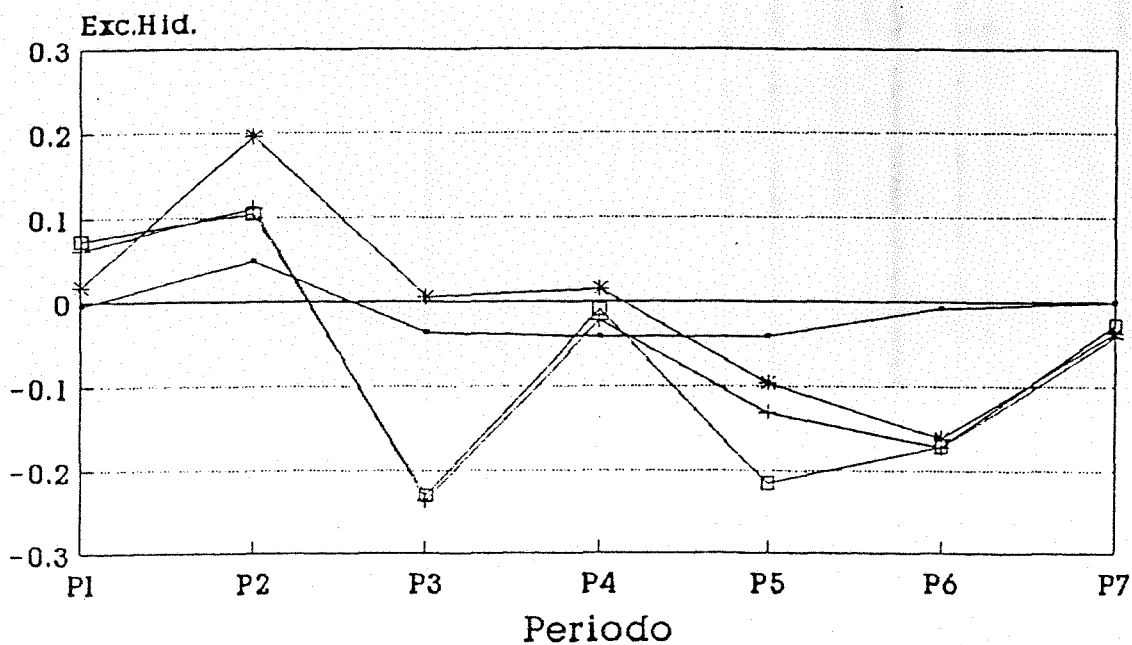
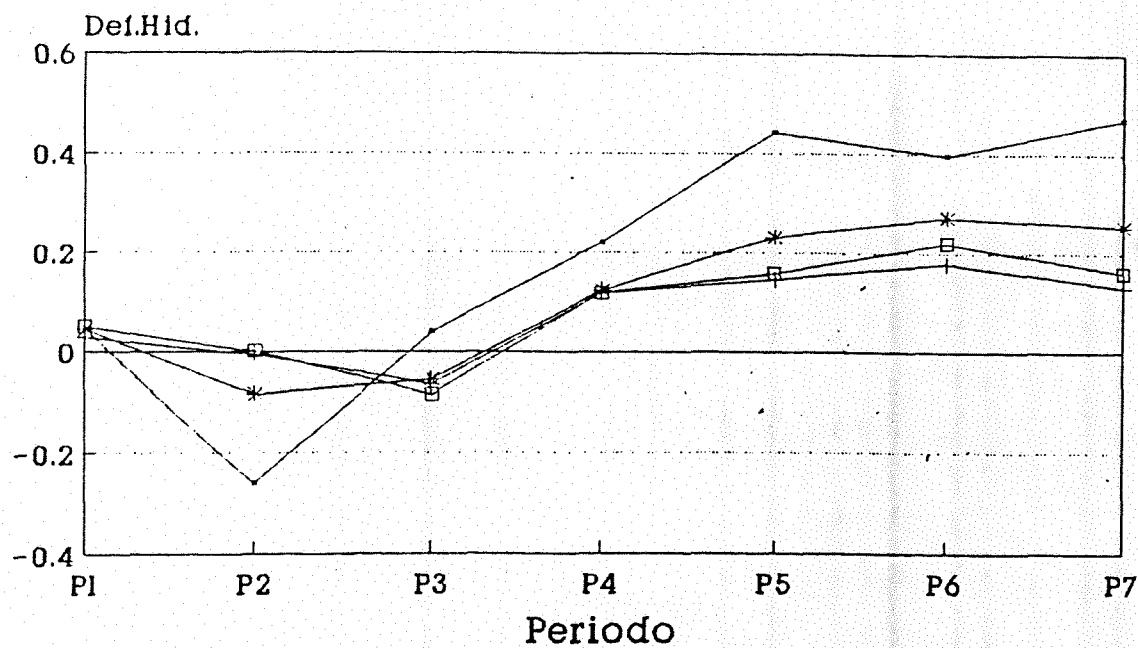


Figura 5.3 Gráficos de dispersão de pontos correspondente aos rendimentos observados e estimados pelos modelos de Aguinsky para a cultivar IAS-4 na forma D7 de divisão do ciclo.

As estimativas dos parâmetros que exprimem o estresse hídrico nos sete períodos do ciclo da planta, obtidos para os modelos considerados, para a forma D7 da divisão do ciclo são representados na Figura 5.4. Através dessa figura, pode-se avaliar a variação da sensibilidade da cultivar IAS-4 ao estresse hídrico entre os sete períodos, indicado pelos diferentes modelos. Essa figura auxilia na interpretação das comparações das estimativas obtidas pelos diferentes modelos somente no que diz respeito à forma da curva. Os valores das estimativas não são comparáveis, já que as variáveis dos modelos não são as mesmas, e, ademais, alguns modelos são aditivos e outros multiplicativos.

De modo geral, as estimativas dos parâmetros dos diferentes modelos ajustados confirmam a expectativa (Stegman 1989, Doorembos & Kassam, 1979 e Berlato 1987) de que a fase mais crítica da cultura da soja à deficiência hídrica é a reprodutiva, e, dentro desta, o período compreendido entre o fim da floração e o final do ciclo (período P67), que corresponde, em grande parte, ao enchimento de grãos. Isso é revelado pelos valores mais elevados das estimativas dos parâmetros, cujos resultados dos testes foram altamente significativos para a forma D3 de divisão do ciclo da cultura.

Os resultados dos ajustamentos, para a forma D7, indicam que os diferentes modelos diferiram levemente quanto à sensibilidade à deficiência hídrica quantificada pela evapotranspiração relativa (E_{Tr}/E_{Tm}) e pela deficiência de evapotranspiração relativa ($1-E_{Tr}/E_{Tm}$). Nos modelos de Jensen,



— BLANK + JENSEN * STEWART □ MINHAS 2

Figura 5.4 Variação das estimativas dos parâmetros ao longo dos sete períodos do ciclo da planta, para os modelos de Blank, Jensen, Stewart e Minhas 2 para a cultivar IAS-4, na forma D7 da divisão do ciclo.

Stewart e Minhas 2, o período P6 apresentou-se como o mais sensível à deficiência hídrica, enquanto que no modelo de Blank os períodos P4, P5, P6 e P7 foram os mais suscetíveis, embora com valores mais elevados para os três últimos períodos.

Observa-se, entretanto, estimativas negativas de parâmetros (sempre não significativas, com excessão do modelo de Aginsky 2), com mais frequência para os períodos P2 e P3. Com excessão dos modelos de Aginsky, as estimativas para o período P23 sempre tem estimativas negativas (nos modelos de Blank e Jensen com significância nos níveis de 1% e 5%, respectivamente). Uma estimativa negativa indica que há uma relação inversa entre o rendimento e a variável E_{Tr}/E_{Tm} no correspondente intervalo.

Os valores das estimativas dos parâmetros dos termos que quantificam o excesso hídrico, confirmam o efeito negativo do excesso hídrico. Em todos os modelos que incluem estes termos, os sinais das estimativas dos parâmetro nos períodos P45 e P67 são negativos, embora para o modelo de Stewart o sinal da estimativa seja positivo para os períodos P4. Em todos os modelos, a estimativa para o período P67 é negativa, com alta significância, indicando que há uma relação linear inversa entre rendimento e número de dias em que o espaço aéreo foi inferior a 7,5%.

Os modelos também divergem levemente no que diz respeito ao período mais crítico ao excesso hídrico. Para o modelo de Blank, há indicação de ser a floração o período mais

crítico. Entretanto, para os modelos de Jensen, Stewart e Minhas 2, o período mais crítico é o enchimento de grãos, com alta significância. O período P5, que seria o mais sensível à inundação do solo segundo Barni & Costa (1975) e Barni (1978), teve este comportamento confirmado por todos os modelos, mas com variação da sensibilidade entre os diferentes modelos.

Com relação às estimativas negativas dos parâmetros dos termos do excesso hídrico, observa-se que as estimativas $-0,041$ dos coeficientes a_4 e a_5 do modelo de Blank, na forma D7 de divisão do ciclo, indicam que para cada dia em que o espaço aéreo foi inferior a 7,5% a partir de 3 dias corresponde um decréscimo diário de 4,1% do rendimento máximo ou potencial. Esse valor é pouco superior ao resultado obtido por Barni (1978), ou seja 1,99%. Supondo um período de encharcamento do solo de 10 dias, pelo resultado de Barni se teria um decréscimo do rendimento de aproximadamente 20%; pelo modelo de Blank, aproximadamente, 33%; pelo modelo de Jensen, de 25%, se tomarmos o período de P5.

Por outro lado, observa-se que estimativas de parâmetros de alguns termos do excesso hídrico são positivas, ao contrário do que seria esperado. Isso ocorre principalmente no período P2. Isso significa que excessos hídricos nos períodos iniciais da cultura provocam um aumento no rendimento de grãos da cultivar em estudo. Se confrontarmos essa observação com a análise das estimativas dos parâmetros dos termos correspondentes à deficiência hídrica, verifica-se que há indicação de que nesse período ambos estresses hídricos provocam efeitos positivos no

rendimento de grãos de soja no Planossolo Pelotas. Hill et al. (1975), ajustando o modelo de Hank (1974) modificado, verificaram que "boa disponibilidade hídrica" nos períodos da fase vegetativa (V) tinham efeito negativo sobre o rendimento, o que ele atribuiu ao excesso de crescimento que provoca, mais tarde, acamamento de plantas.

6 CONCLUSÕES

A análise dos resultados do ajustamento dos modelos água-rendimento, em sua forma original e com as correspondentes modificações introduzidas para levar em conta o efeito do excesso hídrico, a partir do balanço hídrico de Rijtema & Abouklaled, também modificado para melhor ajusta-lo às condições de planossolos, permite as seguintes conclusões:

1 - Os modelos modificados de Blank, Jensen, Stewart e Minhas estimam com precisão equivalente o rendimento da cultivar de soja IAS-4 no Planossolo Pelotas.

2 - A introdução do termo que quantifica o excesso hídrico melhora significativamente o desempenho dos modelos água-rendimento no que diz respeito à predição do rendimento.

3 - A divisão do ciclo da cultura da soja em maior número de períodos não melhora o ajustamento dos modelos água-rendimento que quantificam a deficiência hídrica através da evapotranspiração relativa.

4 - O maior número de períodos de divisão do ciclo da planta melhora o ajustamento dos modelos que quantificam a deficiência hídrica através da precipitação efetiva.

5 - Para a cultivar IAS-4, o período entre o fim da floração e a maturação fisiológica é o mais sensível ao estresse hídrico.

6 - Há indicação de que, para o ambiente do estudo, a cultivar IAS-4, estresses hídricos na fase vegetativa provocam aumento no rendimento de grão.

8 - RECOMENDAÇÕES

1 - Os resultados indicam um efeito positivo do estresse hídrico, tanto por deficiência como por excesso, sobre o rendimento de grãos no início da fase vegetativa da soja. Esse resultado pode ser atribuível ao desfavorecimento do estresse para o desenvolvimento exuberante da planta, que pode ocasionar, inclusive, acamamento em detrimento da formação de grãos. Essa indicação merece confirmação em estudo específico, bem como, até que magnitude do estresse o efeito continua sendo positivo.

2 - Neste trabalho, o efeito do excesso hídrico sobre o rendimento, foi quantificado através da redução do espaço aéreo do solo. Entretanto, a quantificação poderia ter sido feita de uma forma equivalente à deficiência hídrica, ou seja, através da redução da evapotranspiração. Para tal, são necessários conhecimentos adicionais, no que tange à relação da evapotranspiração com o excesso hídrico no solo.

3 - Os resultados para os modelos de Aguinisky(1991) indicam uma considerável melhoria de predição do rendimento com o aumento do número de períodos do ciclo da planta. Isso indica que pode existir um número ótimo de divisão do ciclo da planta para o ajustamento desses modelos, alias já apontado pelo autor. Entretanto, quando o modelo for usado a nível de pré-viabilidade,

a divisão do ciclo em 5 períodos é suficiente, isto porque os modelos aqui estudados apresentam a necessidade de dados experimentais bastante detalhados e a nível diário. Na ausência destas informações, a alternativa de uso destes modelos parece bastante razoável.

4 - Recomenda-se este tipo de estudo para outros cultivos, como por exemplo, milho, sorgo, feijão e pastagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUINSKY, S.D; DORFMAN, R. & MATZENAUER, R. Modelos para prognósticos e otimização do rendimento do milho (*Zea mays*L). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM 8 Florianópolis, SC, 1988. Anais... Florianópolis, ABID, 1988. P.161-82.
- AGUINSKY, S.D; Prognóstico e otimização do rendimento do milho (*Zea Mays L.*) no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS-Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 196f. Diss. Mestrado em Engenharia Civil.
- BARNI, N.A. Resposta da Soja (*Glycine max L. Merrill*) à inundação do solo durante o período reprodutivo. Agronomia Sul Riograndense. 14(2):215-25, 1978.
- BARNI, N.A & COSTA, J.A. Efeitos de períodos de inundação do solo sobre o rendimento de grãos da soja (*Glycine max L. Merrill*) Agronomia Sul Riograndense, 11 (2): 207-22, 1975.
- BERGAMACHI, H. & BERLATO, M.A. Efeito de tratamentos de drenagem na produção de duas cultivares de soja (*Glycine max. (L.) Merrill*), em terras de arroz. Agronomia Sul Riograndense, 10(1):73-85, 1974.
- BERGAMACHI, H. & BERLATO, M.A. Efeito de tratamentos de irrigação, espaçamento e população no rendimento da soja. Porto Alegre, IPAGRO, 10f. (Mimeografado). (Trabalho apresentado na III Reunião Conjunta da Pesquisa de Soja - RS/SC). 1975.
- BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; WESPHALEN, S.L. 1981. Efeito da irrigação em soja na safra 1980/81. Porto Alegre, IPAGRO, Sec. Agric./RS - Deptº Fitotecnia/UFRGS (mimeografado - apresentado na IX Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul).
- BERGAMASCHI, H; CAUDURO, F.A. Efeito de níveis de umidade do solo sobre o rendimento de duas cultivares de soja (*Glycine max L. Merrill*), em três épocas de semeadura. Agronomia Sul Riograndense. 11(2): 195-206, 1975.
- BERLATO, M.A. & BERGAMASCHI, H. Consumo de água da soja. I Evapotranspiração estacional em condições de ótima disponibilidade de água no solo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1, LONDRINA, PR, 1978. Anais... Londrina, EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1979. p. 53-8

BERLATO, M.A. Modelo de Relação entre o rendimento de grãos da Soja e o Déficit Hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul, 1987. Tese (Doutorado), INPE, São José dos Campos, SP.

BERLATO, M.A. & MATZENAUER, R. Coeficiente de Cultura (kc) da Soja (Glycine max L. Merrill). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4 Londrina, PR, 1985. Resumos... Londrina, SOCIEDADE BRASILEIRA DE AGROMETEOROLOGIA/FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONIMICO DO PARANÁ, 1985. P. 13-4

BLANK, H. Optimal irrigation decisions with limited Water. Department of Civil Engineering. Colorado University, Fort Collins, CO. 1975. Ph.D. Thesis.

BRADFORD, K.J. & YANG, S.F. Physiological responses of plant to waterlogging. Hort Science. 16(1):25-30, 1981

BROWN, E.A.; CAVINESS, C. E & BROWN, D.A. Response of selected soybean cultivars to soil moisture deficit. Agronomy Journal. 77(2): 274-8, 1985.

CHANG, JEN-HU. Climate and Agriculture. An Ecological survey. Chicago, Aldine. 304p. 1968.

DOOREMBOS, J. & KASSAM, A.H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma. Estudio FAO: Riego y Drenaje, 1979. 212p. serie 33.

DORFMAN, R. Planning of irrigation systems under condition of scarce data. Haifa, Technion- Israel Institute of Technology. 1985. 114f. (Tese Dout. Ciência Tecnológica).

DOSS, B.D; PEARSON, R.W. & ROGERS, H.T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. Agronomy Journal. 66(2):297-9, 1974.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E; BURMOOD, D.T. & PENNING, Ton, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, Glycine max L. Merrill. Crop Science. 11(6):929-31, 1971.

FRÉRE, M. & POPOV, G.F. Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos. Estudio FAO: Producción J. Protección Vegetal. Roma, 1980, 65 pp.

GOULART, J.P.; VIANNA, A.C.T; GOMES, A.S. & LAGO, J.C. Resposta da soja sob diferentes épocas de irrigação na região de Pelotas. Departamentos de Engenharia Rural e Solo da FAEM - UFPEL Mimeografado. 1976. 6p.

HANKS, R.J. Model for predicting plant yield as influence by Water use. Agronomy Journal. 66(5): 660-5, 1974.

- HALL, W.A. & BUTCHER, W.S. Optimal timing of irrigation
Journal of the irrigation and drainage division ASCE. 94
(IR2):267-75, 1968.
- HILER, E.A. & CLARK, R.N. Stress day index to characterize
effects of Water stress on crop yields. Transactions of
the ASAE. 14 (): 757-61, 1971.
- HILL, R.W; JOHNSON, D.R. & RYAN, K. H. A model for
predicting soybean yields from climatic data. Agronomy
Journal. 71(2): 251-6, 1979.
- HOGG, H.C.D; CHANG, J.H. Economics of a Water Yield
function for Sugarcane. Journal of the irrigation and
drainage division. 95(1):94-8, 1969.
- JENSEN, M.E., Water consumption by agricultural plants: In
T. Kozlowski (Editor), Water, Deficits and Plant Growth,
vol. 2. Academic Press, New York, 1968. PP.1-22.
- JENSEN, M.E. & SLETTEN, W.H. Evapotranspiration and soil
moisture-fertilizer interrelations with irrigated grain
sorghum in the southern great plains. Production
Research Report nº 5. Agricultural Research Service,
U.S. Department of Agriculture In cooperation With Texas
agricultural Experiment Station 1968.
- KASSAM, A.H. Net biomass production and Yield of crops.
Present and Potential land Use by Agroecological Zones
Project . FAO, Roma. 1977.
- KOLLER, H.R.; NYQUIST, W.E. & CHORUSH, I. S Growth analysis
of the soybeans community. Crop Sci. 10(4):407-12, 1970.
- LAGO, J.C.; GOULART, J.P.; GOMES, A.S. & VIANNA, A.C.T.
Resposta da soja sob diferentes épocas de irrigação na
região de Pelotas. Departamentos de Engenharia Rural e
Solo da FAEM-UFPEL. Mimeografado. 1977. 5p.
- LAGO, J.C.; GOULART, J.P.; GOMES, A.S. & VIANNA, A.C.T.
Influência da época e da duração do encharcamento do
solo sobre a cultura da soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE
PESQUISA DE SOJA, 1, Londrina, PR, 1979.
Anais..Londrina, EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa
de Soja, 1979. p.299-305.
- MARCOS FILHO, J. Produção de sementes de soja. Campina:
Fundação Cargill, 1986. 86p.
- MOTA, F.S. da. índice de seca para soja (Glycine max L.
Merrill): Tese para concurso de professor titular de
climatologia Agrícola. Pelotas, Universidade Federal de
Pelotas, 1979. 61p.

MINHAS, B.S.; PARIKH, K.S. & SRINIVASAN, T.N. Toward the Structure of a production function for Wheat Yields With dated in puts oof irrigation Water. Water Resources Researd 10(3):383-93, 1974.

PASCALE, A.J. & PÓRFIDO, D.P. Zoneamento mesoagroclimático hídrico do Rio Grande do Sul para a cultura da soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1, Londrina, 1978. Anais . . . Londrina, Centro Nacional de Pesquisa de Soja. 1979. p.116-29.

PORTO, M.C.M.; SANTOS FILHO, J.M. dos.; BARNI, N.A.; NINOR, H.S. & BERGAMASCHI, H. Resposta da Soja (Glycine max L. Merrill) à irrigação e níveis de fertilidade do solo I: rendimento de grãos e características agronômicas. Agronomia Sul Riograndense. 15(2):251-280, 1979.

RAO, N.H.; SARMA, P.B.S. & CHANDER, S. A Simple dated Water-product function for use in irrigated agriculture. Agricultural Water Management, 13(1):25-32, 1988.

RIJTEMA, P.E. & ABOUKLALED, A. Crop Water use. In: Research on crop Water use, alt affected soil and drainage in the Arab Republic of Egypt. ABOUKLALED, A; ARAR, A, BALBA, A.M.; BISHAY, B.G.; KADRY, L.T.; RIJTEMA, P.E & TAHER, A. FAO Regional office for the Near East. 5-61p.

RITCHIE, J.T. Model for Predicting Evaporation from a Row Crop With Incomplete Cover. Water Resources Rescarch. 8(5):1204-13, 1972.

RUNGE, E.C.A. & ODELL, R.T. The relation between precipitation, temperature, and the Yield of soybean on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. Agronomy Journal, 53(5):245-47, 1960.

SANTOS, Fº B.G.; SANTOS, D.S.B.; GOMES, A.S.; PAULETTO, E.A; MESQUITA, J.A. & SCHUCH, L.A.B. O comportamento estomático y rendimento de cinco genótipos de soja sometidos a diferentes niveles de humedad en el suelo. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4, Buenos Aires, Argentina, 1989. Actas... Buenos Aires, Asociación Argentina de la soja, 1989. p. 383-90.

SANTOS FILHO, B.G.; SCHRODER, E.P. & MORAES, D.M. Análise de crescimento de três cultivares de soja (Glycine max L. Merrill), em diferentes populações, em Pelotas-RS. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1, Londrina, PR, 1978. Anais . . . Londrina, EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1979. p.22-49.

SAS Institute Inc. SAS. User,s Guide: Statistics, Version 5 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1985. 956pp.

- STEGMAN, E.C. Soybean Yields as influencea by timing of ET deficits. Transactions of the ASAE. 32(2):551-7, 1989.
- STEWART, J. I. & HAGAN, R.M. Predicting effects of Water shortage on crop Yield. Journal of the irrigation and drainage division. 95(1):91-104, 1969.
- STEWART, J.I. & HAGAN, R.M. Functionsto predict effects of crop Water deficits. Journal of the irrigation and drainage division. 99(4):421-37, 1973.
- STEWART, J.I.; HAGAN, R.M. & PRUITT, W.O. Production functions and predicted irrigation programmes for principal crops as required for Water resources planning and increased Water use efficiency. Final Report, U.S. Department of Interior Washington D.C. 1976. 80 pp.
- VAN GENUCHTEN, M.Th. & NIELSEN, D.R. On describing and predicting the hydraulic properties of insaturated soil. Annales Geophys. 3(5):615-27, 1985.
- VASCONCELLOS, E.B.; PARFITT, J.M.B.; PORTO, M.P.; VERNETTI Jr., F.J.; SILVA, J.G.C. 1987. Irrigação e drenagem nos solos hidromórficos com o uso de camalhões para a cultura do milho. In: REUNIÃO ANUAL DO MILHO, 32. Porto Alegre, 1987. Ata . . . Porto Alegre, IPAGRO/EMATER 1987. p. 93-100
- VASCONCELLOS, E.B.; VERNETTI Jr. F.J. PARFITT, M.B.; PORTO, M.P. 1988. Irrigação e drenagem nos solos hidromórficos com o uso de camalhões para a cultura do milho. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 33. Porto Alegre, 1988. Ata . . . Porto Alegre, IPAGRO/EMATER, 1988. p. 101-115.
- VERNETTI Jr., F.J.; VASCONCELLOS, E.B.; PARFITT, J.M.B.; PORTO, M.P. 1989. Irrigação e drenagem nos solos hidromórficos, com o uso de camalhões, para a cultura do milho. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 34. Porto Alegre, 1989. Ata . . . Porto Alegre, IPAGRO/EMATER, 1989. p. 101-114.
- VERNETTI, F. de J. & GASTAL, M. F. da C. Descrição botânica da Soja. Pelotas, EMBRAPA - UEPAE de Pelotas/UFPEL, 1979. 15 P. (Circular Técnica, 7).
- VERNETTI, F. de J.; MOTA, F.S. da; & ROSKOFF, J.L.C. Fatores climáticos que influem sobre o crescimento e o desenvolvimento da soja. UEPAE/Pelotas, Convênio EMBRAPA/UFPEL, Circular Técnica nº 10 Pelotas-RS, Outubro, 1980. 39p.
- ZANETTE, N.H. Planossolos: Irrigação em Soja e Milho. Lavoura Arrozeira. 35 (3):51-5, 1982.

9 - ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 9.1 - Fase de crescimento da soja (Fehr et al,1971)

FASE	DESCRIÇÃO
Vegetativa	Crescimento da planta
V ₁	Folha do nó unifoliolado completamente desenrolada a unifolilado
V ₂	Folha do 1º nó acima do nó unifolilado completamente desenrolada
V ₃	Terceiro nó no caule principal partindo do nó unifolilado
V(N)	N nós no caule principal partindo do nó unifolilado
Reprodutivo	Floração e formação da colheita
R ₁	Uma flor num nó qualquer
R ₂	Flores no nó imediatamente abaixo do último nó, com folha completamente desenrolada
R ₃	Vagens com 0,5 cm de comprimento em um dos 4 últimos nós, com folha completamente desenrolada
R ₄	Vagens com 2 cm de comprimento em um dos 4 últimos nós com folha completamente desenrolada.
R ₅	Grãos começam a se desenvolverem (podem ser sentidos quando apertados).
R ₆	Vagens contendo grandes grãos verdes
R ₇	Vagens com demão de amarelo, 50% das folhas amarelas. Maturação fisiológica
R ₈	95% das vagens marrões. Maturação de colheita

Tabela 9.2 Quantidade de água armazenada (mm) por safra, correspondente ao perfil do solo de 40cm, na tensão de 0,1 atm, com 5,0% e 7,5% de espaço aéreo, e na condição de saturação.

Safra	0,1 atm	5,0% de espaço aéreo	7,5% de espaço aéreo	Condição de saturação
74/75	55,74	79,70	89,70	109,70
76/77 a 79/80	50,31	73,31	83,31	103,31
80/81	36,27	44,56	54,56	74,56
81/82	28,90	29,81	39,81	59,81
82/83 a 83/84	32,72	31,25	41,25	61,25
84/85	14,60	11,24	21,24	41,24
85/86 a 86/87	21,55	26,61	36,61	56,61

Tabala 9.3 Médias dos rendimentos observa dos (YOBS) e máximos (YMAX) estimados, evapotranspiração real (ETr), evapotranspiração máxima (ETm), número de dias em que o espaço aéreo foi inferior a 7,5% e precipitação total (em mm), para as sete divisões do ciclo da planta, para cada experimento.

EXP	YOBS	YMAX	ETr							ETm						
			1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	2822	3979	44	59	111	42	29	64	24	53	104	152	140	129	105	89
2	2899	4045	37	97	141	35	54	22	20	57	135	200	144	128	64	56
3	3322	3912	47	116	65	106	118	25	73	56	135	134	145	126	116	94
4	3328	3859	36	121	61	133	105	10	60	56	134	135	164	138	84	74
5	2218	3931	36	128	57	138	99	13	79	56	141	140	158	135	98	79
6	2770	3842	47	96	68	39	125	101	19	56	115	124	135	125	124	109
7	3076	4069	30	98	77	155	29	80	35	60	131	133	156	140	84	66
8	3260	4012	47	34	5	39	89	47	58	62	146	126	221	192	105	95
9	2994	4004	47	34	5	39	83	51	59	58	146	126	212	194	108	95
10	3479	4062	39	41	7	38	93	44	57	63	133	126	243	215	100	90
11	2172	4042	38	68	21	52	98	48	35	53	172	174	250	185	72	55
12	3215	4039	38	63	23	17	124	52	43	56	149	156	255	194	85	69
13	3132	3936	49	54	21	25	116	49	33	61	143	150	242	185	80	63
14	2770	3947	45	63	16	52	98	44	29	58	155	161	250	185	65	52
15	3099	4049	54	62	25	16	111	55	42	54	159	163	230	182	103	75
16	3097	4004	38	68	22	43	108	44	26	53	163	166	260	194	63	51
17	2473	4020	56	66	25	43	108	43	22	56	159	172	270	194	61	48
18	2401	4096	54	68	25	17	124	52	39	54	164	172	248	194	85	65
19	2771	4077	53	82	18	58	61	105	53	64	140	150	217	167	114	103
20	2817	4089	53	82	17	67	92	74	51	64	140	150	240	187	102	79
21	4066	4066	53	82	16	74	91	68	46	64	147	158	239	177	96	75
22	2974	4133	53	82	18	67	86	80	49	64	140	150	240	180	104	83
23	3270	4139	52	85	22	67	98	68	51	61	149	148	261	193	96	79
24	3369	4110	52	86	19	62	91	79	47	62	149	149	245	186	100	81
25	3328	4110	52	86	19	61	81	89	48	62	149	149	236	181	108	88
26	3255	4102	52	85	21	61	81	88	46	62	145	149	241	181	105	87
27	2838	4147	52	80	27	62	96	77	51	61	140	148	266	192	104	80
28	3250	3883	47	77	50	21	18	134	64	58	158	149	52	53	195	157
29	3396	3836	37	64	32	46	50	112	55	57	134	125	95	87	173	142
30	3437	3854	47	69	34	46	50	110	56	58	142	131	95	87	172	140
31	3347	3795	32	47	28	64	64	101	29	58	122	121	134	114	133	117
32	3153	3767	32	50	27	43	51	108	54	58	129	123	92	81	163	141
33	3472	3825	28	72	47	21	35	119	62	54	151	143	62	60	181	146
34	3317	4028	42	58	51	92	80	81	10	57	152	153	173	144	117	105
35	3312	3905	42	66	50	85	79	75	13	55	160	159	156	127	110	95
36	3098	3860	47	75	53	74	73	77	13	55	165	155	147	110	118	100
37	2458	3830	32	70	40	78	62	10	35	71	163	164	130	114	102	93
38	1203	3833	28	70	39	79	63	16	31	68	163	156	138	114	108	92
39	1908	3624	33	56	48	78	55	3	39	67	167	157	114	99	77	72
40	2677	3865	26	74	41	82	65	7	35	60	185	184	139	117	88	78
41	2421	3949	26	74	32	74	63	25	41	60	176	178	135	108	118	109
42	2749	3983	33	74	32	88	69	16	31	63	183	178	151	126	108	92
43	2505	3858	30	73	33	58	66	41	18	64	169	167	134	105	109	103

Tabela 9.3 continuação

EXP	Y0BS	YMAX	ETr							ETm						
			1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
44	1305	3942	27	40	64	61	28	51	40	65	136	129	131	110	142	136
45	885	3944	26	40	60	56	36	46	41	66	129	125	127	111	148	143
46	1028	3875	26	47	66	66	15	40	31	66	143	131	136	108	116	121
47	1916	4019	25	38	68	53	36	49	44	60	144	144	122	111	154	142
48	1265	4160	19	60	64	82	87	52	59	48	153	138	127	130	173	152
49	2132	4032	13	45	68	62	76	72	46	54	138	129	104	115	177	150
50	2208	3997	20	47	88	69	70	42	47	49	155	137	113	104	154	136
51	2489	4055	13	45	64	66	84	64	50	54	138	123	111	124	173	155
52	2244	4101	19	60	64	66	80	68	47	48	153	138	111	120	173	152
53	1723	4130	12	12	35	36	22	45	28	71	175	175	126	125	154	108
54	963	4207	9	22	41	21	26	44	31	64	197	194	97	80	197	128
55	1771	4187	7	24	33	30	26	29	40	53	167	197	123	84	162	140
56	937	3949	27	12	34	20	22	37	37	65	157	149	95	82	183	120
57	1833	3953	29	0	35	31	28	32	42	65	149	146	99	86	191	123
58	1333	3968	29	0	35	28	26	33	45	65	149	146	92	77	202	130
59	2125	4174	3	6	36	35	27	28	36	3	68	179	190	126	119	164
60	1515	4164	3	9	29	35	32	26	40	24	69	188	184	120	115	159
61	2109	3732	2	17	35	63	17	49	62	29	70	145	138	81	69	152
62	2328	3773	25	17	35	63	17	49	68	32	70	145	138	81	69	164
63	1972	3722	36	17	34	57	35	34	65	39	73	155	150	65	58	150
64	2202	3682	21	17	30	62	17	49	56	33	70	138	138	81	69	146
65	2271	3690	26	17	32	59	27	53	49	33	70	141	135	91	76	137
66	2340	3767	31	17	30	62	27	59	55	36	70	138	138	91	84	151
67	2562	3728	24	17	30	62	27	59	55	33	70	138	138	91	84	142
68	2243	3728	20	17	30	62	35	59	47	32	70	138	138	100	82	140
69	2135	3771	11	17	35	63	41	67	32	31	65	154	147	112	102	120
70	1417	3744	26	17	35	63	41	67	32	35	70	145	138	112	102	121
71	1276	3776	14	19	56	48	43	20	45	35	59	140	131	115	108	125

EXP	Espaco Aéreo							Precipitação total						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0	12	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	102	133	130	36	27	54	22
2	0.0	10	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	105	134	144	28	61	15	20
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64	92	66	148	87	11	98
4	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64	120	38	160	84	2	92
5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64	120	45	157	80	9	133
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46	99	63	26	152	75	19
7	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	92	60	140	102	19	133	99
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67	5	5	39	103	38	53
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67	5	5	39	103	35	56
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58	14	5	39	103	39	52
11	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98	21	20	95	88	25	65
12	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98	21	20	18	128	53	73

EXP	Espaço Aéreo							Precipitação total						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77	20	20	44	102	53	73
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77	36	4	95	88	16	73
15	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73	46	20	16	115	60	82
16	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98	21	20	95	88	16	57
17	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73	46	20	95	88	16	37
18	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63	57	20	18	128	53	73
19	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34	140	15	65	58	111	188
20	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34	140	15	80	115	38	190
21	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34	140	15	81	115	38	183
22	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34	140	15	80	108	49	214
23	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34	140	15	80	115	38	190
24	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34	140	15	65	124	45	183
25	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34	140	15	65	95	74	183
26	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34	140	15	65	95	74	183
27	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34	140	15	65	131	46	183
28	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71	191	68	0	20	163	32
29	2.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71	183	38	38	59	130	26
30	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71	183	38	38	59	130	27
31	4.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64	191	30	68	57	118	11
32	4.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64	194	27	43	56	128	26
33	4.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71	194	65	0	53	136	27
34	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50	204	38	97	71	85	10
35	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50	204	66	68	71	75	11
36	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70	191	68	59	71	75	11
37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38	65	41	94	60	16	29
38	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38	65	41	93	61	29	16
39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56	38	66	75	56	2	39
40	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79	81	42	104	59	6	35
41	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79	81	32	108	62	7	41
42	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79	81	32	108	65	29	16
43	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79	81	32	106	36	40	15
44	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15	43	64	99	247	267	33
45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14	43	58	105	247	266	34
46	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14	71	74	61	273	241	33
47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16	35	72	99	247	267	33
48	5.0	2.0	3.0	4.0	0.0	0.0	0.0	122	45	90	135	81	185	45
49	9.0	2.0	3.0	4.0	0.0	0.0	0.0	122	45	91	132	81	188	33
50	5.0	2.0	3.0	4.0	0.0	0.0	0.0	109	53	117	109	72	181	21
51	5.0	2.0	3.0	4.0	0.0	0.0	0.0	122	45	90	133	65	193	29
52	5.0	2.0	3.0	4.0	0.0	0.0	0.0	122	45	90	133	65	188	33
53	1.0	1.0	4.0	1.0	0.0	0.0	0.0	41	15	78	21	22	100	134
54	0.0	1.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36	20	79	16	26	100	136
55	0.0	1.5	4.7	1.5	0.0	0.0	0.0	25	26	65	32	23	76	131
56	0.0	2.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55	23	56	20	22	99	137
57	0.0	2.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55	23	56	14	28	98	137
58	0.0	2.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55	23	56	14	28	83	152
59	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	32	24	45	47	28	98
60	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	36	20	78	17	26	100
61	0.0	0.0	3.0	3.0	4.0	3.0	7.0	2	9	55	115	62	56	120

Tabela 9.3 continuação

EXP	Espaço Aéreo							Precipitação total						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
62	0.0	0.0	3.0	3.0	4.0	3.0	8.0	29	9	55	115	62	56	150
63	0.0	0.0	4.0	3.0	4.0	3.0	7.0	17	9	59	110	66	52	120
64	0.0	0.0	4.0	3.0	4.0	3.0	7.0	39	9	55	115	62	56	120
65	0.0	0.0	3.7	3.3	4.0	3.0	7.0	15	9	55	115	65	79	99
66	0.0	0.0	4.0	3.0	4.0	3.0	8.7	21	9	55	115	62	94	126
67	0.0	0.0	4.0	3.0	4.0	3.0	7.0	15	9	55	115	62	94	95
68	0.0	0.0	4.0	3.0	4.0	3.0	8.0	68	9	55	115	66	90	141
69	0.0	0.0	3.0	3.0	5.0	2.0	9.7	60	9	55	115	103	53	165
70	0.0	0.0	3.0	3.0	5.0	2.0	10	19	9	55	115	103	53	172
71	0.0	5.0	3.0	0.0	0.0	1.0	0.0	39	90	78	47	43	48	27

ANEXO 2

Programa SAS utilizado no processamento das análises

```

DATA UNID03;
  INFILE "C:\WS5\UNID03";
  INPUT ARQ EXPER PARC DIA PREC ETM ETR US PREF EA EMER IF FF MAT
  YOBS YMAX;
PP=EMER +15;
SS=(PP + IF )/2;
TT=(IF+FF)/2;
QQ=(FF+MAT)/2;
IF 1<= DIA < PP THEN PER=1;
IF PP <= DIA < SS THEN PER=2;
IF SS <= DIA < IF THEN PER=3;
IF IF <= DIA < TT THEN PER=4;
IF TT <= DIA < FF THEN PER=5;
IF FF <= DIA < QQ THEN PER=6;
IF QQ <= DIA <=MAT THEN PER=7;
IF DIA > MAT THEN PER=8;
  ETR2 = (-ETR);
  IF EA >= 7.5 THEN ETR2=0;
  EA2=.;
  IF EA<=7.5 THEN EA2=1;
IF 7400 < ARQ < 7600 THEN CC=89.7;
IF 7600 < ARQ < 8000 THEN CC=83.31;
IF 8000 < ARQ < 8100 THEN CC=54.56;
IF 8100 < ARQ < 8200 THEN CC=39.81;
IF 8200 < ARQ < 8400 THEN CC=41.25;
IF 8400 < ARQ < 8500 THEN CC=21.24;
IF 8500 < ARQ < 9000 THEN CC=36.61;
PRECE=PREC**0.9;
IF PRECE>CC THEN PRECE=CC;
RUN;
PROC SORT; BY PARC PER;
PROC MEANS NOPRINT N SUM; BY PARC PER;
  VAR DIA PREC PRECE ETM ETR ETR2 EA EA2;
  OUTPUT OUT=SAIDA
         N=DIAN PRECN PRECEN ETMN ETRN ETR2N EAN EA2N
         SUM=DIAS PRECS PRECES ETMS ETRS ETR2S EAS EA2S;
DATA SOJA; SET SAIDA;
PUT ARQ EXPER PARC DIAN1 DIAN2 DIAN3 DIAN4 DIAN5 DIAN6 DIAN7
  PRECS1 PRECS2 PRECS3 PRECS4 PRECS5 PRECS6 PRECS7
  PRECES1 PRECES2 PRECES3 PRECES4 PRECES5 PRECES6
  PRECES7 ETMS1 ETMS2 ETMS3 ETMS4 ETMS5 ETMS6 ETMS7 ETRS1
  ETRS2 ETRS3 ETRS4 ETRS5 ETRS6 ETRS7 ETR2S1 ETR2S2 ETR2S3
  ETR2S4 ETR2S5 ETR2S6 ETR2S7 EA2N1 EA2N2 EA2N3 EA2N4
  EA2N5 EA2N6 EA2N7 EMER IF FF MAT YOBS YMAX ;
  TITLE "MODELOS AGUA-RENDIMENTO PARA SOJA - CULTIVAR IAS-4";
  TITLE2 "CONSIDERANDO SETE PERIODOS DO CICLO VEGETATIVO";
PROC SORT DATA=SOJA; BY EXPER;
PROC MEANS DATA=SOJA NOPRINT N MEAN; BY EXPER;
  VAR YOBS YMAX DIAN1 DIAN2 DIAN3 DIAN4 DIAN5 DIAN6 DIAN7 PRECS1
  PRECS2 PRECS3 PRECS4 PRECS5 PRECS6 PRECS7 PRECES1 PRECES2
  PRECES3 PRECES4 PRECES5 PRECES6 PRECES7 ETMS1 ETMS2 ETMS3

```

```

ETMS4 ETMS5 ETMS6 ETMS7 ETRS1 ETRS2 ETRS3 ETRS4 ETRS5
ETRS6 ETRS7 ETR2S1 ETR2S2 ETR2S3 ETR2S4 ETR2S5
ETR2S6 ETR2S7 EA2N1 EA2N2 EA2N3 EA2N4 EA2N5 EA2N6 EA2N7 ;
OUTPUT OUT=MEDIAS N=NYOBS NYMAX NDIAN1 NDIAN2 NDIAN3 NDIAN4
NDIAN5 NDIAN6 NDIAN7 NPRECS1 NPRECS2 NPRECS3 NPRECS4
NPRECS5 NPRECS6 NPRECS7 NPRECES1 NPRECES2 NPRECES3
NPRECES4 NPRECES5 NPRECES6 NPRECES7 NETMS1 NETMS2 NETMS3
NETMS4 NETMS5 NETMS6 NETMS7 NETRS1 NETRS2 NETRS3 NETRS4
NETRS5 NETRS6 NETRS7 NETR2S1 NETR2S2 NETR2S3 NETR2S4
NETR2S5 NETR2S6 NETR2S7 NEA2N1 NEA2N2 NEA2N3 NEA2N4
NEA2N5 NEA2N6 NEA2N7 MEAN=YOBS YMAX DIAN1 DIAN2 DIAN3
DIAN4 DIAN5 DIAN6 DIAN7 PRECS1 PRECS2 PRECS3 PRECS4
PRECS5 PRECS6 PRECS7 PRECES1 PRECES2 PRECES3 PRECES4
PRECES5 PRECES6 PRECES7 ETMS1 ETMS2 ETMS3 ETMS4 ETMS5
ETMS6 ETMS7 ETRS1 ETRS2 ETRS3 ETRS4 ETRS5 ETRS6 ETRS7
ETR2S1 ETR2S2 ETR2S3 ETR2S4 ETR2S5 ETR2S6 ETR2S7 EA2N1
EA2N2 EA2N3 EA2N4 EA2N5 EA2N6 EA2N7 ;
DATA SOJA1; SET SOJA;
YMAX1=YMAX+1517.7;
YREL = YOBS/YMAX1;
LYREL = LOG(YREL);
LYOBS = LOG(YOBS);
YREL_1 = 1-YREL;

```

```

* - - - - -
Indexação da variável indicadora do modelo
de Minhas
- - - - - ;

```

```

IF 1<= EXPER < 3 THEN SOLO=1;
IF 3<= EXPER < 28 THEN SOLO=2;
IF 28<= EXPER < 37 THEN SOLO=3;
IF 37<= EXPER < 44 THEN SOLO=4;
IF 44<= EXPER < 53 THEN SOLO=5;
IF 53<= EXPER < 61 THEN SOLO=6;
IF 61<= EXPER < 72 THEN SOLO=7;

```

```

* - - - - -
Calculo de ETr para os diferentes períodos
- - - - - ;

```

```

ETR1=ETRS1+ETR2S1;
ETR2=ETRS2+ETR2S2;
ETR3=ETRS3+ETR2S3;
ETR4=ETRS4+ETR2S4;
ETR5=ETRS5+ETR2S5;
ETR6=ETRS6+ETR2S6;
ETR7=ETRS7+ETR2S7;
ETR23=ETR2+ETR3;
ETR45=ETR4+ETR5;
ETR67=ETR6+ETR7;

```

* - - - - -
Cálculo de variáveis que quantificam a deficiência
hídrica utilizadas pelos diferentes modelos
- - - - -

X1 = ETR1/ETMS1+0.000001;
X2 = ETR2/ETMS2+0.000001;
X3 = ETR3/ETMS3+0.000001;
X4 = ETR4/ETMS4+0.000001;
X5 = ETR5/ETMS5+0.000001;
X6 = ETR6/ETMS6+0.000001;
X7 = ETR7/ETMS7+0.000001;

ETMS23=ETMS2+ETMS3;
ETMS45=ETMS4+ETMS5;
ETMS67=ETMS6+ETMS7;
X23=ETR23/ETMS23+0.00001;
X45=ETR45/ETMS45+0.00001;
X67=ETR67/ETMS67+0.00001;

LX1 = LOG(X1);
LX2 = LOG(X2);
LX3 = LOG(X3);
LX4 = LOG(X4);
LX5 = LOG(X5);
LX6 = LOG(X6);
LX7 = LOG(X7);
LX23= LOG(X23);
LX45= LOG(X45);
LX67= LOG(X67);

LM1=LOG((1-(1-X1)**2));
LM2=LOG((1-(1-X2)**2));
LM3=LOG((1-(1-X3)**2));
LM4=LOG((1-(1-X4)**2));
LM5=LOG((1-(1-X5)**2));
LM6=LOG((1-(1-X6)**2));
LM7=LOG((1-(1-X7)**2));
LM23=LOG((1-(1-X23)**2));
DD45=LOG((1-(1-X45)**2));
LM67=LOG((1-(1-X67)**2));

S1=1-X1;
S2=1-X2;
S3=1-X3;
S4=1-X4;
S5=1-X5;
S6=1-X6;
S7=1-X7;
S23=1-X23;
S45=1-X45;
S67=1-X67;

Z1=PRECES1+0.00001;
Z2=PRECES2+0.00001;
Z3=PRECES3+0.00001;
Z4=PRECES4+0.00001;
Z5=PRECES5+0.00001;

```
* PROC PRINT,  
FILE "C:\WSS\CLIMA1";  
PUT EXPER 2.0 +1 YOBS 5.1 +1 YMAX1 5.1 +1 ETR1 3.0 +1 ETR2 3.0 +1  
ETR3 3.0 +1 ETR4 3.0 +1 ETR5 3.0 +1 ETR6 3.0 +1 ETR7 3.0 +1  
ETMS1 3.0 +1 ETMS2 3.0 +1 ETMS3 3.0 +1 ETMS4 3.0 +1 ETMS5 3.0 +1  
ETMS6 3.0 +1 ETMS7 3.0 +1 EA2N1 3.1 +1 EA2N2 3.1 +1 Z11 3. +1  
Z22 3. +1 Z33 3. +1 Z44 3. +1 Z55 3. +1 Z66 3. +1 Z77 3.;  
RUN;
```



```

PROC CORR;
  VAR YOBS YOBS;
  TITLE6 "CORRELACAO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";
* - - - - - ;

```

```

PROC REG;
  MODEL YOBS = Z1 Z2 Z3 Z4 Z5 Z6 Z7 / P;
  WEIGHT PESO;
  OUTPUT OUT=A P=YPRED;
  TITLE "AJUSTAMENTO DO MODELO DE AGUINSKY 1";

```

```

DATA AG1;
  SET A;
  YOBS = YPRED;
*FILE "C:\WS5\AAG1";
* PUT YOBS 6.2 +1 YOBS 6.2;

```

```

PROC CORR;
  VAR YOBS YOBS;
  TITLE6 "CORRELACAO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";
*PROC PLOT ;
* PLOT YOBS*YOBS;
* - - - - - ;

```

```

PROC REG;
  MODEL LYOBS = LZ1 LZ2 LZ3 LZ4 LZ5 LZ6 LZ7 / P;
  WEIGHT PESO;
  OUTPUT OUT=B P=LYPRE ;
  TITLE "AJUSTAMENTO DO MODELO DE AGUINSKY 2";

```

```

DATA AG2;
  SET B;
  YOBS = EXP(LYPRE);
*FILE "C:\WS5\AAAG2";
* PUT YOBS 6.2 +1 YOBS 6.2;

```

```

PROC CORR;
  VAR YOBS YOBS;
  TITLE6 "CORRELACAO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";

```

```

PROC PLOT;
* PLOT YOBS*YOBS;
* - - - - - ;

```

```

DATA CLIMA1; SET SOJA1;
KEEP EXPER YOBS YMAX1 ETR1 ETR2 ETR3 ETR4 ETR5 ETR6 ETR7
  ETMS1 ETMS2 ETMS3 ETMS4 ETMS5 ETMS6 ETMS7 EA2N1 EA2N2
  EA2N1 EA2N2 EA2N3 EA2N4 EA2N5 EA2N6 EA2N7 Z11 Z22 Z33
  Z44 Z55 Z66 Z77 ;

```

```

* FILE "C:\WS5\AJENSEN";
* PUT YOBS 6.2 +1 YOBS 6.2;

PROC CORR;
VAR YOBS YOBS;
TITLE6 "CORRELACAO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";
* - - - - - ;

PROC REG;
MODEL LYREL = LX1 LX2 LX3 LX4 LX5 LX6 LX7 / NOINT P ;
WEIGHT PESO;
OUTPUT OUT=A P=Y PRED;
TITLE4 "AJUSTAMENTO DO MODELO DE JENSEN SEN EXCESSO";

DATA B1; SET A;
YREL=EXP(Y PRED);
YOBS=YREL*YMAX1;
* FILE "C:\WS5\AJENSEN";
* PUT YOBS 6.2 +1 YOBS 6.2;

PROC CORR;
VAR YOBS YOBS;
TITLE6 "CORRELACAO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";
* - - - - - ;

PROC REG;
MODEL YREL_1 =S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 L1 L2 L3 L4 L5 L6
L7 /NOINT P ; WEIGHT PESO;
OUTPUT OUT=A P=Y PRED;
TITLE4 "AJUSTAMENTO DO MODELO DE STEWART ";

DATA C1; SET A;
YREL = (1-Y PRED);
YOBS = YREL*YMAX1;
* FILE "C:\WS5\ASTEWART";
* PUT YOBS 6.2 +1 YOBS 6.2;

PROC CORR;
VAR YOBS YOBS;
TITLE6 "CORRELACAO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";
* - - - - - ;

PROC REG;
MODEL YREL_1 =S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 /NOINT P ; WEIGHT PESO;
OUTPUT OUT=A P=Y PRED;
TITLE4 "AJUSTAMENTO DO MODELO DE STEWART SEN EXCESSO";

DATA C1; SET A;
YREL = (1-Y PRED);
YOBS = YREL*YMAX1;
* FILE "C:\WS5\ASTEWART";
* PUT YOBS 6.2 +1 YOBS 6.2;

```

```
PROC CORR;
VAR YOBS YOBSPPP;
TITLE6 "CORRELACAO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";
```

```
* - - - - - ;
```

```
PROC REG;
MODEL YOBS = X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 EA2N1 EA2N2 EA2N3 EA2N4 EA2N5
EA2N6 EA2N7 / NOINT P ;
WEIGHT PESO;
OUTPUT OUT=A P=YPRED;
TITLE4 "AJUSTAMENTO DO MODELO DE BLANK ";
```

```
DATA A1;
SET A;
YOBSP = YPRED;
* FILE "C:\WSS\ABLANK";
* PUT YOBS 6.2 +1 YOBSP 6.2;
```

```
PROC CORR;
VAR YOBS YOBSP;
TITLE6 "CORRELACAO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";
```

```
* - - - - - ;
```

```
PROC REG;
MODEL YOBS = X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 / NOINT P ;
WEIGHT PESO;
OUTPUT OUT=A P=YPRED;
TITLE4 "AJUSTAMENTO DO MODELO DE BLANK SEN EXCESSO";
```

```
DATA A1;
SET A;
YOBSP = YPRED;
* FILE "C:\WSS\ABLANK";
* PUT YOBS 6.2 +1 YOBSP 6.2;
```

```
PROC CORR;
VAR YOBS YOBSP;
TITLE6 "CORRELACAO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";
```

```
* - - - - - ;
```

```
PROC REG;
MODEL LYREL = LX1 LX2 LX3 LX4 LX5 LX6 LX7 LE1 LE2 LE3 LE4 LE5
LE6 LE7 / NOINT P ;
WEIGHT PESO;
OUTPUT OUT=A P=YPRED;
TITLE4 "AJUSTAMENTO DO MODELO DE JENSEN ";
```

```
DATA B1; SET A;
YRELP=EXP(YPRED);
YOBSP=YRELP*YMAX1;
```

```

*L22=1/(EA2N22+1);
*EA2N33=EA2N6+EA2N7-4;
*IF EA2N33<0 THEN EA2N33=0;
*LE33=LOG(EA2N33+1);
*L33=1/(EA2N33+1);
PESO=NYOBS;
* - - - - - ;

```

```

PROC GLM;
CLASS SOLO;
MODEL LYOBS = SOLO LM1 LM2 LM3 LM4 LM5 LM6 LM7
  / SOLUTION P ;
WEIGHT PESO;
OUTPUT OUT=SA P=LYPRED;
TITLE "AJUSTAMENTO DO MODELO DE MINHAS 1 SEM EXCESSO";

```

```

DATA FF;
SET SA;
YOBS = EXP(LYPRED);
* FILE "C:\WS5\AMINHAS";
* PUT YOBS 6.2 +1 YOBS 6.2;

```

```

PROC CORR;
VAR YOBS YOBS;
TITLE6 "CORRELAÇÃO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";

```

```

* - - - - - ;

```

```

PROC GLM;
CLASS SOLO;
MODEL LYOBS = SOLO LM1 LM2 LM3 LM4 LM5 LM6 LM7 LE1 LE2 LE3 LE4
  LE5 LE6 LE7 / SOLUTION P ;
WEIGHT PESO;
OUTPUT OUT=SSA P=LYPREDD;
TITLE "AJUSTAMENTO DO MODELO DE MINHAS 1";

```

```

DATA FFAF;
SET SSA;
YOBSPP = EXP(LYPREDD);

```

```

PROC CORR;
VAR YOBS YOBSPP;
TITLE6 "CORRELAÇÃO ENTRE VALOR PREDITO E VALOR OBSERVADO";

```

```

* - - - - - ;

```

```

PROC GLM;
MODEL LYOBS = LM1 LM2 LM3 LM4 LM5 LM6 LM7 LE1 LE2 LE3 LE4 LE5
  LE6 / P ;
WEIGHT PESO;
OUTPUT OUT=SSSA P=LYPREDD;
TITLE "AJUST DO MODELO DE MINHAS SEM VAR INDICADORA";

```

```

DATA FFAF;
SET SSSA;
YOBSPPP = EXP(LYPREDD);

```

```
Z6=PRECES6+0.00001;
Z7=PRECES7+0.00001;
Z23=Z2+Z3;
Z45=Z4+Z5;
Z67=Z6+Z7;
LZ23=LOG(Z23);
LZ45=LOG(Z45);
LZ67=LOG(Z67);
```

```
LZ1=LOG(Z1);
LZ2=LOG(Z2);
LZ3=LOG(Z3);
LZ4=LOG(Z4);
LZ5=LOG(Z5);
LZ6=LOG(Z6);
LZ7=LOG(Z7);
```

```
* - - - - -
Cálculo da variável que quantifica o excesso
hídrico para os diferentes modelos
- - - - - ;
```

```
EA2N1=EA2N1-6;
IF EA2N1<0 THEN EA2N1=0;
LE1=LOG(EA2N1+1);
L1=1/(EA2N1+1);
EA2N2=EA2N2-6;
IF EA2N2<0 THEN EA2N2=0;
LE2=LOG(EA2N2+1);
L2=1/(EA2N2+1);
EA2N3=EA2N3-4;
IF EA2N3<0 THEN EA2N3=0;
LE3=LOG(EA2N3+1);
L3=1/(EA2N3+1);
EA2N4=EA2N4-3;
IF EA2N4<0 THEN EA2N4=0;
LE4=LOG(EA2N4+1);
L4=1/(EA2N4+1);
EA2N5=EA2N5-3;
IF EA2N5<0 THEN EA2N5=0;
LE5=LOG(EA2N5+1);
L5=1/(EA2N5+1);
EA2N6=EA2N6-3;
IF EA2N6<0 THEN EA2N6=0;
LE6=LOG(EA2N6+1);
L6=1/(EA2N6+1);
EA2N7=EA2N7-3;
IF EA2N7<0 THEN EA2N7=0;
LE7=LOG(EA2N7+1);
L7=1/(EA2N7+1);
*EA2N11=EA2N2+EA2N3-6;
*IF EA2N11<0 THEN EA2N11=0;
*LE11=LOG(EA2N11+1);
*L11=1/(EA2N11+1);
*EA2N22=EA2N4+EA2N5-4;
*IF EA2N22<0 THEN EA2N22=0;
*LE22=LOG(EA2N22+1);
```