



IVALDO MARTINS BOGGIONE

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DO
CULTIVO DE MILHO IRRIGADO EM DIFERENTES REGIÕES DE
MINAS GERAIS UTILIZANDO MODELAGEM COMPUTACIONAL**

Sete Lagoas/MG

2014



IVALDO MARTINS BOGGIONE

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DO
CULTIVO DE MILHO IRRIGADO EM DIFERENTES REGIÕES DE
MINAS GERAIS UTILIZANDO MODELAGEM COMPUTACIONAL**

**SETE LAGOAS/MG
2014**

IVALDO MARTINS BOGGIONE

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DO
CULTIVO DE MILHO IRRIGADO EM DIFERENTES REGIÕES DE
MINAS GERAIS UTILIZANDO MODELAGEM COMPUTACIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Produção Vegetal.

**Orientador: Prof. Dr. João Carlos Ferreira
Borges Júnior**
**Coorientador: Dr. Camilo de Lélis Ferreira de
Andrade**

**SETE LAGOAS/MG
2014**

IVALDO MARTINS BOGGIONE

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA DO
CULTIVO DE MILHO IRRIGADO, EM DIFERENTES REGIÕES DE
MINAS GERAIS UTILIZANDO MODELAGEM COMPUTACIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovada em: 08/08/2014

Membros da banca:

Professora Dra. Daniela de Carvalho Lopes - UFSJ

Professora Dra. Denise Freitas Silva - UNIFEMM

João Carlos Ferreira Borges Júnior

**SETE LAGOAS / MG
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Divisão de Biblioteca da UFSJ, MG, Brasil.

- B674a Boggione, Ivaldo Martins, 1981 -
2014 Avaliação da viabilidade técnica e financeira do cultivo de milho irrigado em diferentes regiões de Minas Gerais utilizando modelagem computacional / Ivaldo Martins Boggione.-- 2014.
105 f. : il.
- Orientador: João Carlos Ferreira Borges Júnior
Coorientador: Camilo de Lélis Ferreira de Andrade
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João Del-Rei, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.
Inclui bibliografia.
1. Milho - Cultivo - Teses. 2. Milho - Análise financeira - Minas Gerais - Teses. 3. Milho - Cultivo - Modelagem computacional - Teses. I. Borges Junior, João Carlos Ferreira. II. Andrade, Camilo de Lelis Ferreira de. III. Universidade Federal de São João Del-Rei. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. IV. Título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Ivaldo Boggione e Vânia Lúcia Martins Boggione (*in memoriam*) pelo incentivo aos estudos desde sempre.

À minha família e amigos, em especial, Rita, Ilka e Pedro pelo apoio.

À Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural pela concessão do período de trabalho durante os estudos.

Aos colegas do Núcleo de Água, Solo e Sustentabilidade Ambiental da Embrapa Milho e Sorgo pelo apoio.

À Universidade Federal de São João del Rei pela oportunidade concedida.

Ao professor João Carlos, pela orientação e serenidade na condução deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1. Considerações Gerais	10
3.2. Dados de entrada	14
3.2.1. Dados Climáticos.....	14
3.2.2. Dados de solo	14
3.2.3. Coeficiente Genético	18
3.3. Configurações do Arquivo Sazonal.....	19
3.4. Dados de Saída	20
3.4.1. Produtividade da cultura.....	20
3.4.2. Produtividade de água: Irrigação e Precipitação	22
3.4.3. Evapotranspiração total	23
3.4.4. Radiação solar por período	23
3.5. Análise de Aderência.....	24
3.6. Análise de Variância.....	24
3.7. Análise Financeira	25
3.7.1. Caracterização da Análise	25
3.7.2. Receita Bruta	25
3.7.3. Custo Total	26
3.7.4. Análise de Sensibilidade.....	28
3.7.5. Simulação de Risco	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1. Produtividade da Cultura.....	30
4.1.1. Análise de Aderência.....	35
4.1.2. Análise de Variância.....	38
4.1.3. Análise das Funções de Probabilidade Acumulada.....	47
4.2. Lâmina de Irrigação.....	53

4.2.1. Análise de Aderência.....	58
4.2.2. Análise das Funções de Probabilidade Acumulada.....	60
4.3. Produtividade da Água	66
4.3.1. Produtividade da Global da Água.....	66
4.3.2. Produtividade da Água – Irrigação.....	67
4.3.3. Produtividade da Água – Precipitação.....	69
4.4. Evapotranspiração Total	70
4.5. Radiação Solar por Período	71
4.6. Análise Financeira	78
4.6.1. Análise de Sensibilidade.....	78
4.6.2. Simulação de Risco	79
5. CONCLUSÕES	86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

Avaliação da viabilidade técnica e financeira do cultivo de milho irrigado, em diferentes regiões de Minas Gerais utilizando modelagem computacional

RESUMO- A agricultura corresponde por 70% do uso da água potável no mundo e no Brasil a eficiência média de irrigação é de apenas 60%. As áreas irrigadas correspondem em 42% no total de alimentos produzidos no País. O milho é um cereal importante na cadeia agroindustrial. O Brasil é o terceiro produtor mundial do cereal e Minas Gerais o principal produtor em 1ª safra. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade agrônômica e financeira do híbrido simples de milho DKB-390 sob condições de irrigação total sob pivô central para Janaúba, Lavras, Presidente Olegário, Sete Lagoas, Uberaba e Viçosa em Minas Gerais, utilizando o modelo Ceres-Maize da base DSSAT. Para executar o modelo foram utilizados dados climáticos de uma série de pelo menos 48 anos, dados físicos e químicos de solo em cinco profundidades e coeficientes genéticos calibrados para o híbrido. O manejo foi o plantio direto precedido da cultura do feijão e dividido em 52 tratamentos, uma semeadura a cada semana; as repetições foram os anos com dados climáticos disponíveis. Os dados do custo do manejo da cultura são médias dos valores de anos anteriores em uma fazenda de alta tecnologia da região de Sete Lagoas e o custo de irrigação de acordo com lâmina simulada para cada local. O método de Monte Carlo foi utilizado na análise de risco financeiro. A melhor janela de semeadura ocorreu na segunda quinzena de fevereiro para todas as localidades exceto Janaúba. As menores lâminas médias de irrigação ocorreram para Uberaba. Os melhores índices de produtividade da água ocorreram para semeaduras entre fevereiro e março, exceto Janaúba. Houve correlação positiva entre elevada radiação solar diária e a fase de antese para todos locais. Janaúba e Viçosa apresentam maior risco de prejuízo financeiro na atividade, enquanto Lavras e Uberaba apresentaram as maiores receitas líquidas. O clima mais árido e quente de Janaúba acarretou um perfil diferente de janela de semeadura e lâmina de irrigação em relação aos demais locais.

Palavras-chave: DSSAT; Ceres-Maize; análise financeira; janela de semeadura; produtividade da água.

Assessment of the technical and financial viability of irrigated maize cultivation in different regions of Minas Gerais using computational modeling

ABSTRACT- Agriculture entails 70% of the world's use of potable water whilst Brazil's irrigation efficiency accounts for only 60%. Irrigated areas correspond to a total of 42% of food produced in the country. Maize is an important cereal in the agribusiness chain as Brazil is the world's third largest producer of the cereal with the state of Minas Gerais currently the leading producer of the country's summer crop. This study aims to evaluate the agronomic and financial viability of the simple corn hybrid DKB-390 in an area under total irrigation, pivoting centrally the regions of Janaúba Lavras, President Olegario, Sete Lagoas Uberaba and Viçosa in Minas Gerais using the Ceres-Maize model in DSSAT base. Climatic data from at least 48 years, physical and chemical data from five layers of soil and genetic coefficients calibrated to the hybrid were used to run the model. The planting was performed directly onto the site, with no tillage preceded by the bean culture, and divided into 52 treatments, with one sowing a week. The repetitions were the years provided by climatic data. The cost data for crop management was calculated by the average of previous years on the high-tech farm region of Sete Lagoas and the cost of irrigation, according to simulated depths, for each location. The Monte-Carlo method was used for the analysis of financial risk. The best sowing window occurred in the second half of February for all locations, except Janaúba. The lowest average irrigation occurred in Uberaba. The highest rates of water productivity in sowing occurred between February and March, except in Janaúba. There was a positive correlation between high daily solar radiation and the stage of anthesis for all locations. Janaúba and Viçosa presented a higher risk of financial loss whilst Lavras and Uberaba had the highest net income. The more arid and hot climate of Janaúba presented a different type of sowing and irrigation levels in relation to other local window profiles.

Key Words: DSSAT; Ceres-Maize; financial analysis; sowing window; water productivit

1. INTRODUÇÃO

O desafio de se produzir mais alimentos sem a inclusão de novas áreas é catalisado por diversas ações que tangem desde o melhoramento genético até o aprimoramento de todo o manejo agrônomo, incluindo-se a irrigação. Considerando-se as condições brasileiras, a Agência Nacional de Águas, ANA (2004), reportou que cada hectare irrigado equivale a três hectares de plantio em sequeiro. A adoção da prática de irrigação requer uma análise cuidadosa da viabilidade do projeto, especialmente os de maior porte, considerando os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos.

A irrigação no país se concentra nas regiões Sudeste e Sul. Segundo Paulino et al. (2011), as duas regiões concentram 3,80 milhões de hectares, representando 63,1% da área irrigada no país. Para a região Sudeste destaca-se a irrigação por aspersão convencional ou pivô-central, enquanto na região Sul, inundação. Estima-se que o País tenha cerca de 29,6 milhões de hectares apropriados para irrigação (Christophidis, 1999 citado por Paulino et al., 2011) e apenas 15% é destinada a este uso (IBGE, 2006). Para o Estado de Minas Gerais, o uso do pivô-central é relevante nas regiões onde a topografia é relativamente plana e o regime de chuvas é concentrado em um período menor que seis meses. Guimarães; Landau (2011) verificaram que há instalados 4432 pivôs centrais, concentrados nas bacias do Rio São Francisco e seus afluentes e nas bacias dos rios Grande e Paranaíba. O custo por hectare de aquisição do equipamento é maior quando implantado em pequenas áreas, indicando maior viabilidade de seu uso à agricultura de larga escala.

A cultura do milho é de grande relevância para o País e ainda grande parte dela é cultivada sob regime de sequeiro, tanto em primeira quanto em segunda safra, sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial (Brasil, 2014). Dados da CONAB (2014) apontam uma produção de 75,2 milhões de toneladas. A produtividade média do milho no país, 4,9 t ha⁻¹ (CONAB, 2014), ainda se encontra em patamar baixo se comparado ao maior produtor mundial, os Estados Unidos, onde se verifica 9,9 t ha⁻¹ (USDA, 2014) de produtividade média. A relativamente baixa produtividade média no País em parte se justifica com base na fisiologia da planta frente às condições edafoclimáticas brasileiras e na qualidade do material genético e o manejo agrônomo oferecido ao seu desenvolvimento.

O milho é um cereal que se insere, na base da cadeia agroindustrial, na elaboração de produtos com base protéica como carnes, leite e ovos. Logo a sua volatilidade na oferta afeta de forma significativa a economia do país e o abastecimento alimentar da população, considerando que ainda há cerca de 7 milhões de pessoas em estado de insegurança alimentar no Brasil (FAO, 2012).

A instabilidade climática corrente e um panorama em médio prazo de mudanças climáticas podem comprometer a produtividade em ambos os períodos de plantio, primeira e segunda safra. Para a primeira metade do século XXI, os eventos de seca moderada, severa e extrema irão incidir em 28, 10 e 8%, respectivamente, sobre as áreas de produção ao redor do Globo (Burke et al., 2006). Já para o território brasileiro, o Nordeste e áreas no entorno do seu perímetro possuem uma projeção de redução de mais de 70% na recarga de água do subsolo até o ano 2050 (IPCC, 2007).

O uso de modelagem computacional em cultivos comerciais permite avaliar uma cultura ainda não testada em um local e sua posterior validação, quanto traçar perspectivas futuras ao seu desempenho para espécies usualmente cultivadas em determinada região. A visualização do desenvolvimento da cultura em um intervalo mais amplo no espaço de tempo é uma valiosa ferramenta de auxílio e complementação aos experimentos de campo. Ainda que possível a implantação de ensaios em campo durante várias sequências, devido a questões práticas e financeiras, essa abordagem se torna de inviável execução. A modelagem insere-se como uma ferramenta auxiliar à condução das atividades no campo, tanto para o planejamento de pesquisas futuras quanto para tomadas de decisões relativas a empreendimentos agrícolas. Os modelos computacionais aplicáveis à agricultura representam matematicamente os processos físicos, químicos e biológicos inerentes ao sistema solo-planta-atmosfera. A inclusão ou não de um determinado processo é decidida de acordo com a finalidade do experimento. Tratando-se de um sistema dinâmico, o intervalo de tempo unitário é fundamental para a caracterização do modelo, sendo comum se trabalhar em base diária, embora outras bases maiores ou menores possam ser adotadas, a depender do problema objeto do estudo. Para Andrade et al. (2009), há três principais aplicações nos modelos de cultura: na pesquisa, tomada de decisões e como ferramenta de ensino e transferência de tecnologia.

Existem diversas plataformas de modelagem disponíveis no mercado, tanto de uso gratuito quanto pago. A decisão se dará, entre outros fatores, de acordo com a cultura a ser considerada e o objetivo da pesquisa aplicada. No presente trabalho foi utilizado o modelo

Ceres-Maize da base DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), para determinar a produtividade da cultura do milho, largamente utilizado ao redor do mundo por vinte anos pelo menos e calibrado para diversas condições edafoclimáticas.

O uso da irrigação auxilia os agricultores na eliminação ou mitigação das perdas causadas pelo déficit hídrico, porém os riscos financeiros permanecem. É importante conhecer o grau de risco, segundo aspectos financeiros, envolvido na aquisição de uma nova tecnologia, já que a atividade implica em custos adicionais ao sistema de produção e sua viabilidade deve ser avaliada para dimensionar seu risco de implantação. É vital conhecer os fatores de composição dos custos envolvidos, que se diferenciarão principalmente devido às condições edafoclimáticas e econômicas de cada região. Associando-se a flutuação da produtividade da cultura, custos e preços no mercado, pode-se estimar, de forma estocástica, o retorno financeiro líquido da atividade. Finalmente, a análise de sensibilidade deste benefício líquido gerado em função da variação dos fatores destacados auxilia no embasamento para a tomada de decisão quanto à implantação do empreendimento agrícola.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a viabilidade agrônômica e financeira do cultivo do milho híbrido simples DKB 390YG irrigado por pivô central em diferentes mesorregiões de Minas Gerais, utilizando modelagem computacional, simulando seu desenvolvimento em diversas épocas de semeadura ao longo de um ano.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente o Brasil é o terceiro maior produtor mundial da cultura do milho (Brasil, 2014). O regime de plantio da cultura ocorre em duas safras. O primeiro plantio ou safra de verão é conduzido sob os meses de maior pluviosidade entre outubro e março. O plantio e condução do milho em segunda safra já ocorrem entre os meses de fevereiro a junho. As produtividades médias de milho nacional em primeira e segunda safra foram respectivamente, 4.813 e 5.056 kg ha⁻¹ (IBGE, 2014). Valores baixos se comparados ao maior produtor mundial, os Estados Unidos, onde índice foi 9.900 kg ha⁻¹ (USDA, 2014). Minas Gerais é o principal estado em produção em primeira safra no País, respondendo por 16,7% do total e para segunda safra o índice é de apenas 2,5% do total (IBGE, 2014).

A cultura do milho em diferentes fases de plantio exige lâminas de 400 a 600 mm para que possa manifestar seu potencial produtivo (Fancelli, 2000). Considerando a semeadura de primeira safra em Minas Gerais, os valores de lâminas d'água são facilmente atingidos através da precipitação na maioria das regiões do Estado. Porém, as precipitações ocorrem de forma irregular ao longo dos anos, conforme verificado por Alves et al. (2011) para simulações de semeadura de milho de sequeiro em primeira safra para Janaúba-MG. O melhor período de plantio oferece tanto quebra de safra quanto os maiores índices de produtividade de grãos. O mesmo foi percebido por Andrade et al. (2009) para a cidade de Sete Lagoas-MG. Em ambos os casos o fenômeno do veranico influenciou negativamente na produtividade do milho. Em segunda safra as incertezas climáticas são maiores. Fatores como a redução da precipitação, temperatura e radiação (para algumas regiões do país) influenciam diretamente na redução ou até mesmo quebra da produtividade. Cardoso et al. (2004) verificaram através de modelagem computacional, que o plantio em sequeiro do milho em segunda safra para o norte do Paraná sofre grandes perdas e interrupção do ciclo devido a ausência de precipitação e baixas temperaturas.

A forma de utilização do gás carbônico na fotossíntese para a planta de milho é altamente influenciada pelas taxas de radiação. Ela é classificada como uma planta C₄ e a luz é essencial para regulação de várias enzimas específicas das plantas C₄ que auxiliam na maior captura do gás carbônico atmosférico (Taiz; Zeiger, 2009). A quantidade de radiação

incidente disponível, por exemplo, varia com a posição geográfica da região, ou seja, com sua latitude e altitude e com a época de semeadura da cultura (Forsthofer et al., 2006), além da topografia típica de onde é cultivada. A relação entre radiação e temperatura é descrita por Varejão-Silva (2005). Para o autor, as variações de temperatura são influenciadas pelas variações de radiação, visto que o Sol é o principal responsável pela temperatura do ar. Períodos contínuos sob altas temperaturas, principalmente durante o período noturno causam efeitos negativos no índice de produtividade. As plantas transpiram mais, como consequência há maior gasto dos fotoassimilados produzidos durante o dia. Em estudos para a América Latina a cultura do milho demonstrou perdas significativas com o aumento da temperatura e nas regiões subtropicais do continente que já possuem culturas trabalhando no limite de tolerância de calor, pode ser afetada negativamente (IPCC, 2007). Segundo Streck; Alberto (2006) houve uma correlação negativa entre o desenvolvimento da cultura do milho sob efeitos progressivos da temperatura entre 2 a 6 °C em relação ao ambiente, em sequeiro e com irrigação.

A produtividade do milho é afetada pela distribuição da disponibilidade de água ao longo do ciclo fenológico e a probabilidade média de redução de produção por deficiência hídrica é de aproximadamente 50% (Wagner et al., 2013). O uso da irrigação em qualquer período de plantio se mostra uma ferramenta essencial para o sucesso da atividade. O Brasil saltou da 23ª posição no ranque mundial em área irrigada com 2,6 milhões hectares no ano de 1996 para 9ª posição em 2006 com 4,5 milhões de hectares, números que ainda podem ser melhorados, se considerarmos que há um potencial de irrigação no país de aproximadamente 30 milhões de hectares (Brasil, 2011). Segundo Christofidis (2005), a área ocupada pela agricultura irrigada no Brasil ocupa apenas 18% da área cultivada e responde por aproximadamente 42% da produção total de alimentos. Os dados do censo agropecuário de 2006 indicaram que a região Sudeste do País superou a região Sul em área irrigada, totalizando 1,6 milhão de hectares, sendo 24% destinada a pivô central (Paulino et al., 2011). Minas Gerais no ano de 2010 apresentou uma área irrigada por pivô central de aproximadamente 303 mil hectares (Guimarães; Landau, 2011). O uso do pivô central permite a irrigação mecanizada de extensas áreas, facilidade no manejo, pois a estrutura não interfere nas operações agrícolas, além da possibilidade de aplicação de pequenas lâminas a intervalos reduzidos (Folegatti et al., 1998).

A agricultura irrigada no Brasil tem uma eficiência de apenas 60%, o que implica em riscos de danos ambientais pela dispersão de fertilizantes e defensivos agrícolas, além do risco de salinização das terras (Coelho, 2005). Em nível global, segundo a FAO (1993) 70% da água é utilizada somente na agricultura. O cenário atual claro de mudanças climáticas associada à conjugação destes fatores evidencia que a irrigação na agricultura precisa de ajustes e estudos para o aumento de sua eficiência e seu uso racional da água.

A escolha de um período ideal de semeadura é uma ferramenta eficaz para mitigar parte do problema, uma ação simples que não exige custos ao agricultor e promove vários benefícios, como a maior produtividade do grão e da água no sistema e conseqüentemente melhores ganhos financeiros e ambientais. Porém, a escolha de uma janela de semeadura é uma decisão a ser tomada sensível ao local onde se decide produzir. A utilização de modelos computacionais auxilia na definição deste período ótimo de semeadura. Para Andrioli; Sentelhas (2009) o uso de modelos de produção bem calibrados resulta em estimativas confiáveis de produtividade e tem potencial para ser usado como preditor de produtividade, para o zoneamento de culturas e para uma melhor determinação de épocas de semeadura.

Há modelos que possuem como procedimento básico o balanço hídrico na zona radicular. O CROPWAT 8.0 é um programa de livre, desenvolvido pelo *Land and Water Development Division* da FAO (2014). Seu uso é disponível livremente. O modelo calcula o requerimento de água usando dados de solo, clima e coeficientes de cultivo para diversas culturas. Por conseqüência permite programar diversos tipos de irrigação, garantindo a possibilidade de avaliação da conduta de irrigação. Há também o MCID, desenvolvido por Borges Júnior et al. (2008), no qual se pode considerar, além do balanço hídrico, o balanço de sais na zona radicular. O MCID pode ser aplicado na avaliação de diferentes manejos de irrigação e, ou configuração das redes de drenagem e tem como diferencial poder se considerar o retorno financeiro.

Os modelos de culturas já consideram um sistema maior, buscando-se representar o sistema solo-planta-atmosfera. Este sistema no ponto de vista do homem é o fornecedor de substâncias inorgânicas, o produtor de alimentos e o decompositor que permite que o ciclo feche (Reichardt; Timm, 2012). Um modelo de cultura nem sempre precisa considerar todos os fatores que interferem neste sistema, bastando validar a variável de interesse. Os cálculos efetuados pelos modelos de cultura são separados para cada fase do desenvolvimento fisiológico da planta estudada. A identificação de cada fase é determinada por parâmetros

inseridos pelo usuário e devem ser calibradas para cada região de teste. O fluxo de massa é o elo que conecta cada fase, que por sua vez são controlados pela energia disponível, geralmente radiação solar (Andrade et al., 2009).

A base de modelo de culturas provindas do *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) é ampla e abrange diversas culturas, considerando-se que o sistema estudado seja uma unidade homogênea (Thorp et al., 2008). Há o CROPGRO destinado a leguminosas como a soja, feijão, amendoim e fava. Este modelo também agrega simulações para tomate, pimentão, algodão e pastagens de braquiária. O modelo CROPSIM simula o desenvolvimento de culturas como a mandioca, trigo e cevada. Já o CANEGRO é específico para cana-de-açúcar e SUBSTOR para batata. Os modelos CERES possuem plataformas exclusivas para as culturas do sorgo, trigo, milheto, arroz e milho, o qual é denominado Ceres-Maize (Hoogenboom et al., 2012).

O Ceres-Maize é um modelo determinístico que já foi amplamente testado para diversos tipos de solos, climas e híbridos de milho ao redor do mundo (Jones et al., 2003). Este modelo simula o crescimento e o desenvolvimento do milho, como também a dinâmica da água no solo e processos ligados a ciclagem de nitrogênio e carbono no sistema e práticas de manejo. Uma grande vantagem é a divisão em módulos do Ceres-Maize. Esta divisão permite interfaces mais limpas e claras. Cada módulo pode ser ativado ou desativado, de acordo com a necessidade do usuário. Podem também ser escritos em diferentes linguagens de programação e conectados posteriormente entre si. Clima, manejo, solo, solo-planta-atmosfera e cultivar são as divisões propostas. São seis os passos de operação para os módulos: rodada inicial e de temporada, cálculos, a integração, resultado diário e o sumário dos resultados.

Hoogenboom et al. (2006) criaram um modelo híbrido entre Ceres-Maize e *Root Zone Water Quality Model* (RZWQM) destinado a avaliar a qualidade da água e avaliaram seu desempenho perante o Ceres-Maize. Não houve diferença na predição de ambos os modelos, porém dados relativos ao balanço hídrico na zona radicular provindos do modelo RZWQM foram considerados de melhor qualidade evidenciando o sucesso do modelo híbrido. Já Paglis; Von Pinho (2009) avaliaram o modelo Ceres-Maize simulando o florescimento e a produção de milho, para Lavras-MG, em diferentes cenários de investimento. Os resultados das simulações mostraram que as diferenças entre os dados de florescimento e produções simuladas, comparadas com os dados obtidos em campo, estão entre os limites de 5% a 8% de erro, aceitáveis pelo programa.

Quando comparado o Ceres-Maize com o modelo SWATRER-SUCROS, que é um modelo híbrido entre o SWATRER que simula o balanço hídrico utilizando como sistema a bacia hidrográfica levando em consideração a gestão administrativa da área quanto às suas práticas agrícolas e o SUCROS, um modelo mecanístico de culturas com possibilidades de dados de saída semelhantes ao Ceres-Maize, foi evidenciado por análises estatísticas que os cálculos de umidade no solo foram superiores no Ceres-Maize, enquanto os dados calculados de índice de área foliar e biomassa foram melhores aferidos para o SWATRER-SUCROS (Xevi et al., 1996). Hurtado et al. (2005) dividiram espacialmente uma área considerando patamares de saturação por bases no solo como referência e então compararam a simulação das produções de milho em diferentes coeficientes genéticos através do Ceres-Maize, com as obtidas em campo. Os autores afirmam que modelo foi capaz de estimar as produtividades para cada área e os dados foram mais precisos quando utilizados os coeficientes genéticos próprios a cada parcela. O modelo Ceres-Maize foi empregado por Soler et al. (2007) para avaliar a produção de segunda safra para quatro tipos de híbridos na região Sul do Brasil em condições de sequeiro e irrigado. Todos os híbridos obtiveram valores simulados condizentes aos de campo para o clima subtropical. Os autores ainda recomendam que o estudo seja ampliado às demais condições climáticas do País.

A utilização de modelagem computacional no desenvolvimento das culturas, por si, ajuda o agricultor a planejar suas ações na escolha do melhor manejo, cultivar e período de semeadura na obtenção da melhor produção. Porém, outro viés deve ser incorporado à modelagem: a análise financeira. Para isso deve-se ter sólido conhecimento na composição dos custos e receitas. A teoria microeconômica tradicional parte da premissa de que as empresas têm como objetivo a maximização de lucros, no curto e longo prazo (Vasconcellos; Garcia, 2012). As simulações de estratégias de irrigação para um plantio de segunda safra de um híbrido simples de milho para o norte do Paraná foram executadas pelo modelo Ceres-Maize para posterior análise financeira, que identificou que irrigações a 50% da capacidade de campo produziam as maiores receitas líquidas (Cardoso et al., 2004). Neste horizonte, Marques (2005) desenvolveu um modelo computacional para determinação do risco financeiro de culturas irrigadas, tanto na implantação do sistema, quanto no manejo da irrigação. Além dos usuais dados de entrada num modelo de cultura, foi incorporado também parâmetros de simulações de preços de venda do produto; custo de aquisição, vida útil e manutenção do sistema de irrigação; taxa de juros; e preço da água.

Para compreender a análise de risco de uma atividade é necessário que se tenha conhecimento do seu conceito. Frizzone et al. (2001) definem o risco como uma estimativa do grau de incerteza que se tem com respeito à obtenção dos resultados futuros desejados. Há diversas técnicas que possibilitam o tratamento do risco em projetos de investimento. Duas técnicas úteis a este propósito são a análise de sensibilidade e simulação de risco. A análise de sensibilidade é uma técnica simples e muito utilizada para projetos de investimento. O procedimento consta em variar os dados de entrada e medir o seu efeito produzido na receita final. Já a simulação de dados permite calcular diferentes combinações que podem ocorrer gerando-se distribuições de frequência de variáveis de saída. O método de Monte Carlo, utilizado neste trabalho, é uma técnica de simulação que se baseia na comparação de números aleatórios com uma determinada função de produtividade acumulada, ou seja, a partir de um número aleatório o método permite a geração de valores de determinada variável segundo sua função de probabilidade acumulada. O resultado é a geração de curvas de frequências dos valores simulados (Maya, 2003).

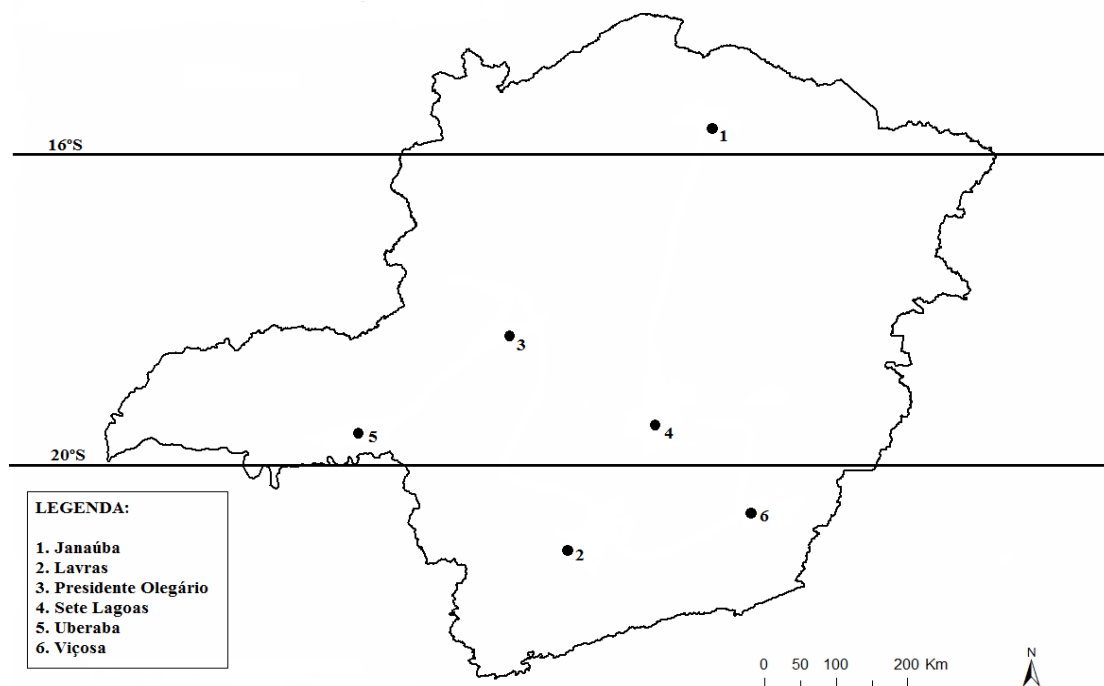
Percebe-se que ferramentas para predição da produção de culturas e sua análise financeira torna-se, a cada dia, mais próxima da realidade do agricultor o auxiliando na tomada de decisões, cabendo à pesquisa, o desenvolvimento, calibração e validação destes modelos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Considerações Gerais

O presente estudo utilizou o modelo Ceres-Maize da base DSSAT versão 4.5 (Hoogenboom et al., 2012). Foram utilizados dados de entrada de clima e solo para seis localidades do Estado de Minas Gerais: Janaúba, Lavras, Presidente Olegário, Sete Lagoas, Uberaba e Viçosa (Figura 1). Também foram empregados os valores dos coeficientes genéticos do híbrido simples DKB 390.

Figura 1 - Localização das cidades avaliadas.



Fonte: Google Image (2014), adaptado Ivaldo Martins Boggione (2014).

É mostrado na Tabela 1 o perfil climático para todas as localidades. As informações foram retiradas dos dados climáticos utilizados como referência para alimentar o modelo. São médias de informações diárias em uma série 48 anos. Janaúba se destaca pelo clima mais árido e quente. Lavras e Uberaba possuem as maiores precipitações médias. As menores médias de temperaturas máximas e mínimas ocorrem em Viçosa e Lavras.

Tabela 1. Temperaturas máxima e mínima e precipitação médias para as seis localidades avaliadas.

Localidade	Temperatura Média Mínima (°C)	Temperatura Média Máxima (°C)	Precipitação Média Anual (mm)
Janaúba	19,0	31,4	835
Lavras	15,0	27,0	1.510
Presidente Olegário ¹	16,3	27,9	1.503
Sete Lagoas	15,8	28,3	1.363
Uberaba	16,6	29,2	1.594
Viçosa	15,1	26,6	1.269

¹ Estação Meteorológica de Patos de Minas.

Os três bancos de dados de entrada (clima, solo e cultura) foram submetidos ao modo sazonal do modelo e cada localidade foi representada por um arquivo de simulação. A divisão de tratamentos ocorreu de forma idêntica em todos locais, sendo um total de 52, isto é, um para cada semana do ano, sendo que o primeiro tratamento (T1) ocorreu para a data de 1º de agosto. As sementeiras ocorridas a cada semana foram consideradas neste trabalho como tratamentos. Na Tabela 2 demonstra-se como foram dispostas as ordens dos tratamentos e suas respectivas datas. Cada ano foi considerado uma repetição; uma série histórica com dados coletados de 48 anos foi utilizada como referência ao trabalho.

Tabela 2. Esquema de distribuição dos tratamentos.

Id ¹	Data	Id	Data	Id	Data	Id	Data	Id	Data
T1	1-ago	T13	24-out	T25	16-jan	T37	10-abr	T49	3-jul
T2	8-ago	T14	31-out	T26	23-jan	T38	17-abr	T50	10-jul
T3	15-ago	T15	7-nov	T27	30-jan	T39	24-abr	T51	17-jul
T4	22-ago	T16	14-nov	T28	6-fev	T40	1-mai	T52	24-jul
T5	29-ago	T17	21-nov	T29	13-fev	T41	8-mai		
T6	5-set	T18	28-nov	T30	20-fev	T42	15-mai		
T7	12-set	T19	5-dez	T31	27-fev	T43	22-mai		
T8	19-set	T20	12-dez	T32	6-mar	T44	29-mai		
T9	26-set	T21	19-dez	T33	13-mar	T45	5-jun		
T10	3-out	T22	26-dez	T34	20-mar	T46	12-jun		
T11	10-out	T23	2-jan	T35	27-mar	T47	19-jun		
T12	17-out	T24	9-jan	T36	3-abr	T48	26-jun		

¹ Identificação do tratamento

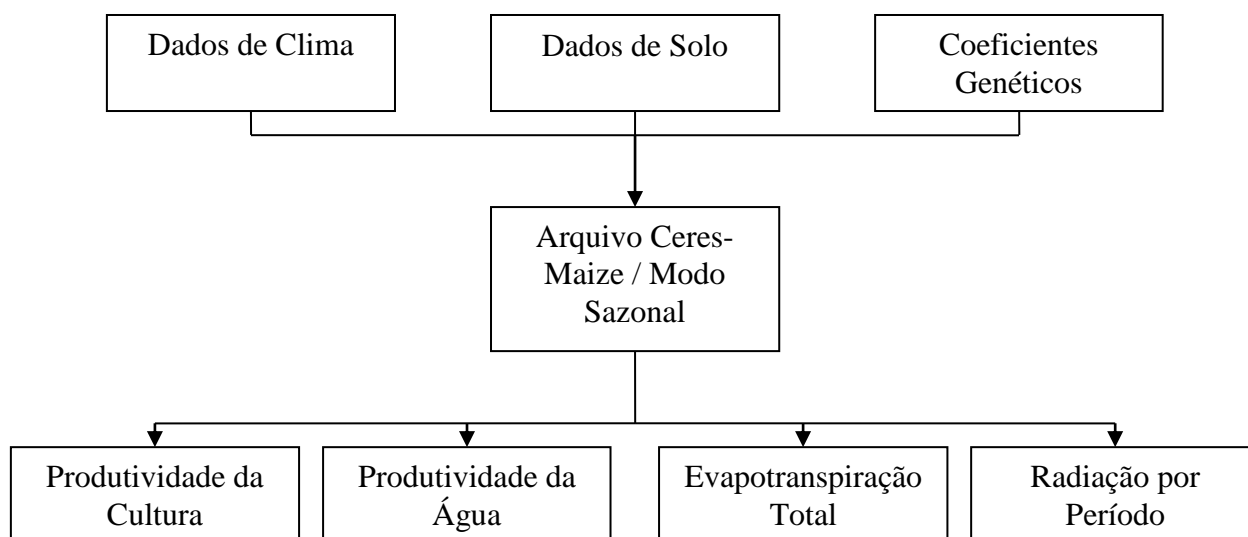
Mesmo com um total idêntico em número dos dados meteorológicos, o número de repetições foi diferenciado para cada local. Nas séries históricas disponibilizadas, verificou-se que o método empregado no preenchimento de falhas de dados de radiação solar propiciou sobrestimativas desta variável, implicando no descarte de alguns anos das séries. A permanência destes anos com preenchimento inadequado das falhas de radiação implicaria em sobrestimativas da produtividade simulada da cultura, interferindo na qualidade da informação. Os períodos das séries históricas variaram entre os anos de 1961 a 2009. Apenas na localidade de Uberaba não foi suprimido nenhum ano (Tabela 3).

Tabela 3. Total de repetições para cada local.

Local	Nº Repetições
Janaúba	19
Lavras	38
Presidente Olegário	41
Sete Lagoas	35
Uberaba	48
Viçosa	33

O modelo fornece dezenas de informações de saída. Porém, foram enfocadas neste estudo, para avaliação e discussão, as seguintes variáveis: produtividade da cultura, totais de lâmina de irrigação e precipitação, produtividade da água utilizada pela irrigação e pela precipitação, evapotranspiração total e a radiação solar total no período de cultivo. O processo de entrada e saída de dados pode ser descrito conforme a Figura 2.

Figura 2 - Diagrama do processo dos dados de entrada e saída no modelo Ceres-Maize.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

3.2. Dados de entrada

3.2.1. Dados Climáticos

Para cada ano considerado, foram disponibilizadas informações em base diária de temperaturas máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm) e radiação solar diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$). Estes indicadores são básicos para alimentar o modelo, podendo-se acrescentar outros indicadores meteorológicos. Na Tabela 4 encontram-se as coordenadas das estações meteorológicas. Em Presidente Olegário não há uma estação oficial, o que implicou no uso de dados coletados de Patos de Minas, que são representativos para a localidade avaliada. Os arquivos climáticos de entrada foram divididos por ano e localidade para posterior simulação. As informações climáticas, organizadas em arquivos pertinentes ao modelo, foram cedidas pelo Núcleo de Água, Solo e Sustentabilidade Ambiental (NSAM) da Embrapa Milho e Sorgo.

Tabela 4. Localização das estações meteorológicas.

Local	Latitude	Longitude	Altitude
	($^{\circ}$)	($^{\circ}$)	(m)
Janaúba	-15,78	-43,30	516
Lavras	-21,75	-45,00	919
Presidente Olegário ¹	-18,51	-46,43	940
Sete Lagoas	-19,46	-44,25	732
Uberaba	-19,73	-47,92	801
Viçosa	-20,75	-42,85	690

¹ Estação meteorológica de Patos de Minas.

3.2.2. Dados de solo

A equipe do NSAM realizou amostragens de campo conduzidas durante o ano de 2012 nas localidades escolhidas. Trincheiras com 115 centímetros de profundidade e estratificadas em cinco níveis de profundidade foram abertas para cada local. Os cinco intervalos de profundidade determinados foram: 0-5cm, 5-30 cm, 30-55 cm, 55-85 cm e 85-115 cm, sendo

que na porção média de cada estrato as amostras foram retiradas. Aquelas destinadas à análise química foram deformadas, enquanto as destinadas para análise física foram amostras não deformadas.

- **Análise Física**

Os dados físicos de solos requeridos pelo modelo exigem informações de granulometria, densidade, porosidade total, condutividade hidráulica, curva de retenção, cor e drenagem.

A análise granulométrica foi baseada nos métodos de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), identificando-se areias e partículas mais grossas através de peneiras. As frações argila e silte foram identificadas por dispersão em meio básico pelo Método da Pipeta. As escalas de identificação das frações utilizadas foram da Sociedade Brasileira do Solo.

Dados de densidade do solo foram obtidos através do método do anel volumétrico e por balão volumétrico para densidade de partícula (EMBRAPA, 1997). O modelo exige o valor de porosidade total, que é obtida através da razão entre densidade do solo e de partícula. Para efeito de adequação à realidade, seu valor foi corrigido para 95%, conforme descrito na Equação 1.

$$Pot = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p} \right) 0,95 \quad (1)$$

em que,

Pot = Porosidade total ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)

ρ_s = Densidade do solo (kg dm^{-3})

ρ_p = Densidade de partícula (kg dm^{-3})

Utilizando-se permeâmetro de carga constante, amostras de solo saturado foram empregadas para obtenção da condutividade hidráulica por meio da Equação de Darcy, considerando-se o fluxo após 7 a 8 horas do início do teste ou no momento em que os valores atingem estabilidade.

Os teores de umidade em base de peso foram obtidos em sete níveis de pressão: -2; -6; -10; -30; -60; -100; -1.500 kPa. Para o último nível (-1.500 kPa), as amostras foram deformadas. Para os demais níveis as amostras foram não deformadas. A mesa de tensão foi utilizada nas identificações dos valores referentes aos dois primeiros níveis e o Extrator de

Richards para o restante. Os dados no modelo são inseridos em base de volume, após ajuste conforme Equação 2.

$$\theta_v = \frac{\theta_p \rho_s}{\rho_{\text{água}}} \quad (2)$$

Em que:

θ_v = Umidade em base volume ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

θ_p = Umidade em base peso (kg kg^{-1})

ρ_s = Densidade do solo (g dm^{-3})

O ponto de murcha permanente foi determinado em -1.500 kPa, enquanto para a capacidade de campo utilizou valores em pressões de -2 e -30 kPa, sendo que o fator condicionante para a classificação foi a granulometria do solo. Para solos francos e arenosos, foram utilizados como referência a pressão -2 kPa, enquanto para solos de textura argilosa e muito argilosa considerou-se o potencial matricial de -30 kPa como referência para a capacidade de campo. É informado na Tabela 5 para a camada de 0-20 cm os dados de textura e a umidade do solo para as tensões de capacidade de campo e ponto de murcha permanente para cada localidade.

Tabela 5. Valores de Ponto de Murcha Permanente e Capacidade de Campo para a camada de 5-20 cm de acordo com a textura para as seis localidades.

Localidade	Textura	⊖ Ponto de	⊖	⊖
		Murcha	Capacidade	Capacidade
		Permanente	de Campo	de Campo
		(-1.500 kPa)	(-30 kPa)	(-2 kPa)
		$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$		
Janaúba	Argilosa	0,219	0,303	-----
Lavras	Muito Argilosa	0,207	0,286	-----
Presidente Olegário	Muito Argilosa	0,211	0,296	-----
Sete Lagoas	Argilosa	0,249	0,310	-----
Uberaba	Franco-Arg-Aren ¹	0,117	-----	0,409
Viçosa	Argilosa	0,263	0,332	-----

¹ Franco-Argilo-Arenoso

A cor do solo na camada superficial foi identificada através da caderneta de Munsell e adaptadas às opções de cores presentes no modelo. A avaliação da drenagem foi realizada visualmente segundo a localização do solo, granulometria e declividade. Na Tabela 6 resumem-se os três atributos para os arquivos de solo de entrada das seis localidades.

Tabela 6. Atributos de cor, drenagem, escoamento superficial do solo, declividade do terreno e localização geográfica.

Local	Cor		Drenagem	Escoamento Superficial	Declividade (%)	Localização (latitude/longitude) ¹
	Munsell	DSSAT				
Janaúba	7.5 YR 5/4 brown	Brown	Well	Moderately Low	1	-15,73/-43,37
Lavras	2.5 YR 4/8 red	Red	Excessive	Moderately Low	10	-21,26/-45,08
Presidente Olegário	5YR 4/6 red yellowish	Red	Excessive	Moderately Low	1	-18,12/-46,49
Sete Lagoas	5 YR 4/6 red yellowish	Red	Excessive	Moderately Low	8	-19,46/-44,18
Uberaba	2.5YR 3/6 dark red	Red	Excessive	Moderately Low	2	-19,66/-47,97
Viçosa	7.5 YR 6/4 light brown	Brown	Well	Moderately High	5	-20,75/-42,85

¹ Dados em grau decimal.

- **Análise Química**

Os parâmetros químicos considerados foram: concentração de fósforo e potássio (mg dm^{-3}); teores de nitrogênio e matéria orgânica (dag kg^{-1}); concentrações de cálcio, magnésio e alumínio; acidez potencial; pH; capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva e potencial, todos em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O modelo, nesta versão, ainda não apresenta adequada calibragem para o fósforo e potássio. Dinâmicas de cálcio, magnésio e alumínio não são apreciadas no modelo. Porém, todos serão insumos considerados na análise financeira através da necessidade de aplicação de corretivo e fertilizante no solo para o desenvolvimento da cultura.

A matéria orgânica aferida subsidia a determinação da porcentagem de carbono orgânico conforme estabelecido na Equação 3.

$$CO = \frac{MO}{1,724} \quad (3)$$

Em que:

CO = Carbono Orgânico (%)

MO = Matéria Orgânica (dag kg⁻¹)

Foi necessário ajustar também a adsorção do nitrato, principalmente nas condições avaliadas no trabalho. Caso contrário, o modelo iria superestimar a fração de nitrogênio lixiviado pela irrigação e precipitação. Até os primeiros 20 cm de profundidade, na camada arável do solo onde há interferência da calagem, foram considerados valores nulos para a adsorção. A partir desta profundidade considerou-se que os valores seguem ordem crescente: 0,3; 0,5; 0,7 para as faixas de profundidade de 20 a 40 cm; 40 a 70 cm; 70 a 10m cm, respectivamente (Bowen et al., 1993).

3.2.3. Coeficiente Genético

Na Tabela 7 são apresentados os valores calibrados para o híbrido simples DKB390YG (Silva, 2013).

Tabela 7. Coeficientes Genéticos para o híbrido DKB390YG.

P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
246,6	0,500	996,0	828,7	4,36	44,70

P1, P2, P5, G2, G3 e PHINT são atributos genéticos calibrados pelo modelo.

Por meio do coeficiente P1 se avalia o desenvolvimento da cultura desde a semeadura até fim da fase vegetativa em crescimento em grau dia base 8°C (CGD₈). Os valores se tornam crescentes à medida que as cultivares são estabelecidas em locais mais quentes, variando de 110 a 360. Já o coeficiente P2 refere-se à sensibilidade ao fotoperíodo, tabelado para cada região de cultivo, variando entre 0 a 0,8. P5 é o valor expresso em CGD₈ para a fase que compreende a formação da espiga até a maturidade fisiológica. G2 é potencial de número de grãos e G3 a taxa potencial do crescimento de grãos; ambos os valores podem ser obtidos em campo por meio de cultivos sem estresse de água e nutrientes a uma baixa

densidade populacional, com médias diárias de temperatura entre 20 e 30 °C. A aferição do coeficiente G3 ocorre em pelo menos três momentos durante o ciclo, iniciando obrigatoriamente após 10 dias do aparecimento das espigas. Os dois outros momentos são definidos aleatoriamente, sempre escolhendo para avaliação a porção mediana da espiga (Jones; Kiniry, 1986). O coeficiente PHINT afere em °C dia⁻¹ o intervalo filocrono para a cultivar (Hoogenboom et al., 2003).

3.3. Configurações do Arquivo Sazonal

As informações presentes neste arquivo são exatamente iguais em todas as localidades, sendo que as práticas de manejo do pré-plantio a colheita foram determinadas para a condução de uma lavoura de milho de alta tecnologia sem restrições hídricas e de nutrição. O que difere uma localidade da outra são os dados edafoclimáticos. Foi ativado o modo sazonal para execução da simulação.

- **Condições de Simulação**

Foi simulado que a cultura anterior ao milho era feijão, deixando para o plantio do milho um resíduo vegetal de 3.600 kg ha⁻¹, onde 20% eram compostos por nitrogênio e 1,8% por fósforo (Gallo; Mysaka¹, 1961 citado por Soratto et al., 2013). A semeadura ocorreu nas datas iniciais dos tratamentos, com emergência após seis dias a 5 cm de profundidade. O espaçamento entre linhas foi de 70 cm, com a uma população de 6,8 plantas m⁻². O início de todas as simulações ocorreu três meses antes da semeadura a fim de retratar a umidade inicial do solo.

A irrigação foi modelada para ser realizada automaticamente sempre que os teores de água no solo estivessem a 50% da disponibilidade total de água no solo para a planta na profundidade de 20 cm, através de aspersores a uma eficiência de 80%. Deste modo, na modelagem não se considerou estresse hídrico em nenhum dos tratamentos.

Os tratamentos foram impostos a uma adubação rica em nitrogênio para que este não fosse limitante ao desenvolvimento da cultura. A Tabela 8 corresponde ao procedimento padrão adotado para todos os tratamentos.

¹ GALLO, J.R. & MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos, do florescimento à maturação. **Revista Bragantia**, v.20, p.867-884, 1961.

Tabela 8. Fertilizantes utilizados na simulação para todos os locais.

DAS ¹	Fertilizante	Profundidade (cm)	N (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	K (kg ha ⁻¹)
0	Cloreto de Potássio	8			80
0	MAP ²	8	40	120	
30	Uréia	0	150		
45	Sulfato de Amônio	0	50		

¹ Dias após a semeadura.

² Fosfato Monoamoniônico

A colheita foi simulada para ser automática sempre na maturidade dos grãos. No entanto, o modelo não considera a maturidade fisiológica dos grãos como referência para a colheita. Todos os valores de produtividade da cultura gerados são em peso de matéria seca. Para vislumbrar valores de produtividade considerando-se umidade de grãos igual a 13%, pode-se aplicar um ajuste simples através da Equação 4

$$PF = \frac{PMS}{0,87} \quad (4)$$

Em que:

PF = Peso final a 13% umidade

PMS = Peso inicial a 0% umidade (peso de matéria seca)

3.4. Dados de Saída

3.4.1. Produtividade da cultura

Os valores de produtividade fornecidos pelo modelo são expressos em kg ha⁻¹, sempre em peso seco. Seu valor provém de cálculos compostos de múltiplas etapas pertinentes a cada fase de crescimento determinada no manual do modelo (Tabela 9).

Tabela 9. Descrição das fases fisiológicas do milho pelo modelo Ceres-Maize.

Milho – Ceres-Maize
Germinação
Emergência
Fim da fase juvenil
Indução floral
75% de formação de espigas
Começo do enchimento dos grãos
Maturidade fisiológica
Colheita

Adaptado Hoogenboom (2003)

Todo o processo de desenvolvimento da cultura é governado através do tempo térmico ou CGD (crescimento em grau dia) calculado para um dia. Ele é obtido através de uma função triangular ou trapezoidal onde as temperaturas de ocorrência no dia são a referência. O modelo seleciona então uma ou duas temperaturas ótimas ao desenvolvimento e uma temperatura extrema à qual o desenvolvimento não ocorreria.

A mudança de cada fase de crescimento ocorre quando é atingido o valor de CGD fornecido para os coeficientes genéticos introduzidos nos dados de entrada. Até o fim da fase juvenil determinada pelo modelo e que pode ser correspondida com a fase vegetativa, o crescimento das folhas é determinado pelo fotoperíodo. Estresses hídricos e nutricionais não são relevantes aos cálculos até o fim desta fase.

A fase reprodutiva do desenvolvimento já é influenciada pela disponibilidade hídrica e de nitrogênio. O crescimento diário da planta é calculado então através da conversão da radiação fotossinteticamente ativa diária interceptada, em matéria seca das plantas usando um coeficiente específico da cultura. A interceptação de luz é calculada em função do índice de área foliar já calculado anteriormente pelo modelo, juntamente com população de plantas e espaçamento inseridos nos dados de entrada. O acréscimo ou não de matéria seca disponível para o crescimento por dia são afetados pela disponibilidade hídrica, nitrogênio, temperatura e a concentração de CO₂ atmosférico disponíveis naquele momento. Funções empíricas governam a determinação e o acúmulo da matéria seca no processo.

O acúmulo de matéria seca calculado cessa quando os grãos atingem a maturidade e o ciclo então é fechado. O tempo deste processo final é determinado pela temperatura e disponibilidade hídrica e nitrogênio.

O modelo assume quebra de safra se eventos de temperatura e umidade do solo não permitirem o desenvolvimento fisiológico da planta.

3.4.2. Produtividade de água: Irrigação e Precipitação

A quantidade de água no sistema é determinada pelo balanço hídrico nas camadas pré-determinadas pelo usuário nos arquivos de solo. A Equação 5 descreve de forma geral o balanço hídrico pelo modelo Ceres-Maize. Ele calcula em base diária a soma entre a precipitação, informação oriunda dos arquivos climáticos e a lâmina de irrigação calculada de uma sub-rotina anterior. Esta sub-rotina, chamada SOILRI, considera a espessura da camada de solo trabalhada, bem como sua capacidade de campo, ponto de murcha permanente, o limite mínimo de extração de água pela planta no solo e um fator de crescimento de raízes. A redistribuição desta umidade no sistema já é calculada em outra sub-rotina chamada de WATBAL. Nesta sub-rotina o escoamento superficial é calculado pelo método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. A drenagem por uma diferença simples entre os cálculos já estabelecidos de umidade no sistema pela sub-rotina SOILRI e os escoamento superficial, quando houver. O modelo considera a evapotranspiração potencial da cultura para o balanço hídrico e a evapotranspiração de referência (Eto) pode ser realizada por três opções: Priestley e Taylor, que é a configuração padrão, Penman-FAO e Penman-Monteith, descrita no item 3.4.3. A produtividade global da água é descrita conforme a Equação 6.

$$\Delta\theta = (P + I) - ETp + E + D \quad (5)$$

$$YA = \frac{Y}{\Sigma\Delta\theta} \quad (6)$$

Em que:

$\Delta\theta$ = Diferença no teor de umidade na superfície do solo por dia (mm)

P = Precipitação (mm)

I = Irrigação (mm)

ETp = Evapotranspiração potencial (mm)

E = Escoamento superficial (mm)

D = Drenagem profunda (mm)

YA = Produtividade global da água (kg m⁻³)

Y = Produtividade da cultura (kg ha⁻¹)

Para os valores de produtividade de água de irrigação e de precipitação foram considerados suas lâminas separadamente.

3.4.3. Evapotranspiração total

A evapotranspiração potencial no modelo tem como base para os cálculos da Eto o método Penman-FAO-56, Penman-Monteith ou Priestley e Taylor. Apresentando menor uso de variáveis, o método Priestley e Taylor foi selecionado, pois os dados climáticos não possuíam todas as entradas exigidas pelo método FAO-56. O método Priestley e Taylor consistiu em analisar as observações lisimétricas de evapotranspiração, em condições aparentemente não advectivas. O conceito do método é baseado sobre o modelo de evapotranspiração de Penman (1948), mantendo apenas o termo que contempla o balanço de radiação, o corrigindo por um coeficiente de ajuste (α). Em suma, em α se considera a radiação líquida repartida entre fluxo de calor e evaporação (Priestley; Taylor¹, 1972 citado por Viswanadham et al., 1991).

3.4.4. Radiação solar por período

Os dados de radiação solar inseridos nos arquivos de clima são contabilizados para cada tratamento de acordo com o período em que a planta permaneceu em campo. A duração do ciclo é variável devido às condições edafoclimáticas. Com objetivo de refinar a verificação

¹ PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J.. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Month Weather Review*, v.100, p.81-92. 1972.

da influência da radiação em diferentes fases de desenvolvimento da cultura, foram definidas três divisões a partir das fases fisiológicas do milho descritas por Magalhães; Durães (2006).

As três divisões são:

- Fase 1 - Fase vegetativa que compreende da emergência, estágio VE até o último estágio vegetativo anterior a antese, estágio V18.
- Fase 2 - Antese, fixado em quinze dias para todos os tratamentos e locais, compreendido na classificação como estágio VT.
- Fase 3 - Fase reprodutiva que compreende ao primeiro estágio posterior a antese, R1, até a colheita na maturidade fisiológica, estágio R6.

O modelo fornece como dado de saída a data de antese, sendo seu período fixo. A partir dela é possível estabelecer os dois outros períodos que variam de acordo com as condições edafoclimáticas de cada tratamento e local. Para extrair os valores da radiação solar contabilizados para cada período, foram construídas macros em Visual Basic para processamento dos cálculos e apresentação de resultados. Cada fase foi correlacionada posteriormente com sua respectiva taxa de produtividade.

3.5. Análise de Aderência

A análise de aderência propicia verificar a adequação da análise de variância e serve como subsídio para simulação de risco. Os dados de saída de produtividade e lâmina de irrigação dos anos para cada tratamento gerados pelo modelo foram submetidos a uma verificação de ajuste, por meio do programa @RISK versão 6 (Palisade, 2014), à função densidade de probabilidade (FDP) normal. O teste de aderência empregado foi o de Kolmogorov-Smirnov, sendo que diferentes níveis de probabilidade foram considerados simultaneamente na análise. A função *bootstrap* foi ativada para 1000 reamostras, a fim de se determinar o intervalo de confiança com 95% de probabilidade para a média e o desvio padrão.

3.6. Análise de Variância

Os dados de produtividade média e lâmina de irrigação média gerados pelo modelo foram submetidos à análise estatística. A aplicação do teste foi determinada em delineamento inteiramente casualizado. Posteriormente aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias. Cada local foi avaliado individualmente, comparando entre si os

seus tratamentos. A ANOVA e os testes comparativos de médias foram executados na planilha eletrônica Excel (Microsoft Corporation). Para a ANOVA, utilizou-se a ferramenta “Análise Estatística”, enquanto para o teste de Tukey foram desenvolvidas macros em Visual Basic para processamento dos cálculos e apresentação de resultados.

3.7. Análise Financeira

3.7.1. Caracterização da Análise

A análise financeira contempla a avaliação da receita líquida advinda da atividade. Logo é necessário o conhecimento das múltiplas variáveis que a compõe, abrangidas na Equação 7. Os tratamentos considerados para cada localidade foram aqueles com a menor lâmina média de irrigação, maior produtividade média de grãos e seu primeiro tratamento que diferenciou estatisticamente pelo teste de média aplicado. Posteriormente foi aplicada análise de sensibilidade nas variáveis que integram o cálculo da receita líquida e a simulação de risco dos tratamentos.

$$RL = RB - CT \quad (7)$$

Em que:

RL= Receita Líquida (R\$ ha⁻¹)

RB = Receita Bruta (R\$ ha⁻¹)

CT = Custo Total (R\$ ha⁻¹)

3.7.2. Receita Bruta

A receita bruta compreende a multiplicação da produtividade da cultura ajustada pela cotação do preço vigente (Equação 8).

$$RB = Y_a * P_c \quad (8)$$

Em que:

Y_a = Produtividade ajustada (kg ha⁻¹)

P_c = Preço médio corrigido (R\$ kg⁻¹)

Os dados referentes à produtividade da cultura são fornecidos pelo modelo. Os valores foram ajustados para o grão com umidade na maturidade fisiológica, pois o modelo fornece dados de grãos sem umidade.

Os preços utilizados foram cotações médias coletadas entre janeiro de 2009 a março de 2014 (Agrolink, 2014). A correção monetária foi aplicada através do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) tomando como base de correção o mês de março de 2014 (IPEA, 2014). Assim, o valor corrigido do preço de venda foi de R\$ 0,43 kg⁻¹.

3.7.3. Custo Total

O custo total compreende a soma dos custos fixo e variável. No trabalho, o custo variável foi separado em duas categorias: custo variável 1 (CV₁) que compreende aos insumos e mão-de-obra; e custo variável 2 (CV₂), relativo ao custo da energia elétrica (Equação 9).

$$CT = CF + CV_1 + CV_2 \quad (9)$$

Em que:

CF = Custo Fixo (R\$ ha⁻¹)

CV₁ = Custo Variável 1 (R\$ ha⁻¹)

CV₂ = Custo Variável 2 (R\$ ha⁻¹)

Os custos fixos foram compostos do custo médio de implantação (CI) de um pivô central verificado em vendas no interior do estado de Minas Gerais em maio de 2014, igual a R\$ 8.000,00 ha⁻¹. Foi integrado ao custo de implantação o custo de manutenção, definido em 1% do custo do equipamento, além da taxa de juros de financiamento para um equipamento de vida útil de 15 anos.

O índice selecionado para representar os juros do financiamento é a taxa Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) que segundo a ata da 183ª reunião do COPOM, Comitê de Política Monetária, realizada em 28 de maio de 2014, foi indicada em 11% ao ano (BCB, 2014). Deduzindo que o agricultor pode implantar pelo menos duas lavouras temporárias sobre o pivô central no ano, este custo foi dividido pela metade (Equação 10, Equação 11 e Equação 12).

$$CI = \frac{CM + CAF}{2} \quad (10)$$

$$CAF = (C - R) * FRC \quad (11)$$

$$\text{FRC} = \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1} \quad (12)$$

Em que:

CI = Custo de implantação (R\$ ha⁻¹)

CM = custo de manutenção (R\$ ha⁻¹)

CAF = Custo anual fixo (R\$ ha⁻¹)

C = Custo de aquisição (R\$ ha⁻¹)

R = Valor de revenda (10% de C) (R\$ ha⁻¹)

FRC = Fator de recuperação de capital (R\$ ha⁻¹)

i = Taxa Selic

n = Vida útil do equipamento

O CV₁ é desdobrado em mão-de-obra e máquinas, sementes, defensivos e adubos. Os valores de referência foram coletados na Fazenda do Riacho, município de Matozinhos, Minas Gerais e da planilha de custos da Conab para localidade de Unaí, Minas Gerais (CONAB, 2009). Todos os valores foram corrigidos com o Índice de Preços ao Consumidor Amplos (IPCA) de seus respectivos meses de referência. A média do somatório dos itens corrigidos para cada ano foi utilizado como referência, no valor de R\$ 2.263,01 (Tabela 10).

Tabela 10. Valores de referência para o custo variável 1.

Ano	Mês	Mão-de-obra e	Sementes	Defensivos	Adubos	Total	IPCA	Total
		Máquinas						Corrigido
R\$ ha ⁻¹								
2009	5	251,05	431,22	116,58	996,91	1.795,77	1,32	2.367,91
2010	5	350,27	372,83	139,11	946,48	1.808,69	1,25	2.266,65
2011	4	236,33	384,04	107,53	1.244,29	1.972,19	1,18	2.330,47
2011 ¹	5	292,00	238,99	185,54	859,74	1.576,27	1,18	1.853,90
2012	3	356,41	455,70	85,71	1.163,96	2.061,78	1,13	2.332,85
2013	5	252,44	459,74	143,73	1.450,81	2.306,72	1,05	2.426,28
¹ Cotação Conab 2011							Média	2.263,01

O CV₂ compreende ao custo da energia. Dos dados gerados no modelo para lâmina de irrigação, obteve-se o número total, em horas, que o sistema de irrigação seria utilizado durante o ciclo. A Fazenda do Riacho foi utilizada como referência para a conversão em tempo da lâmina aplicada. O pivô central da propriedade possui uma área de 50 ha, onde são necessárias 9 horas para uma volta completa. Neste período são liberados 4 mm de lâmina d'água.

A bomba utilizada para o pivô central tem uma potência de 100 cv. Com a multiplicação do tempo total de funcionamento no ciclo pela potência da bomba, obteve-se o requerimento de energia durante o ciclo, para posterior cálculo do gasto sazonal com energia.

A energia na propriedade é fornecida pela Companhia Energética do Estado de Minas Gerais (CEMIG) e enquadrada no perfil de tarifa horo-sazonal verde. O valor deste enquadramento fora de ponta, tanto para estações seca e chuvosa, é R\$ 0,20467 (CEMIG, 2014).

3.7.4. Análise de Sensibilidade

O objetivo desta análise é identificar a elasticidade da viabilidade financeira da atividade quando se alteram os valores das variáveis envolvidas. Os itens produtividade da lavoura e custo total foram submetidos às variações separadamente, numa análise *ceteris paribus*. Consideraram-se oito níveis de variação a partir dos valores iniciais, quatro positivos

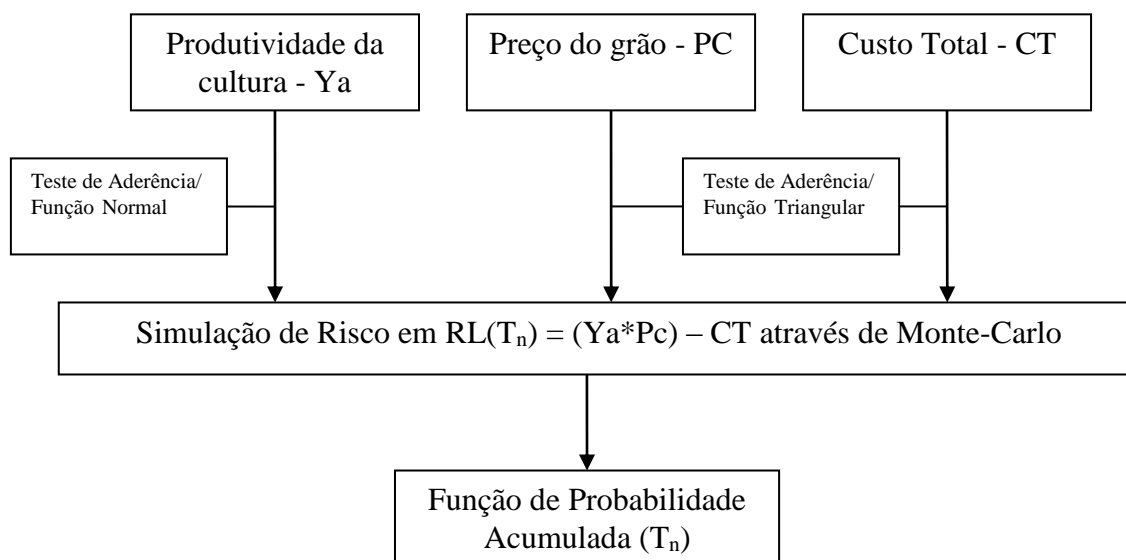
e quatro negativos. A amplitude foi de -40 a 40% em escala de dez pontos percentuais. Assim, obtiveram-se para os tratamentos em cada localidade, os valores em que a redução de produtividade da cultura ou elevação do custo inviabilizaria a atividade.

3.7.5. Simulação de Risco

Realizou-se a simulação de risco pela ferramenta @ Risk versão 6 (Palisade, 2014). As três variáveis, isto é, produtividade da cultura (Y_a), preço do grão (PC) e custo total (CT), que compõem a receita líquida, foram submetidas à análise de aderência. A função normal foi escolhida para o ajuste dos valores de produtividade da cultura conforme descrito no item 3.5. Os valores de preço do grão e custo total foram ajustados através da função triangular, designada pelos parâmetros valores máximo, mínimo e o mais provável. O valor considerado como “mais provável” foi a média entre o valor da moda fornecida pelo ajuste e a média dos dados de entrada para cada variável.

As simulações foram executadas com base no Método de Monte Carlo com 10.000 iterações, considerando-se como variáveis de entrada Y_a , PC e CT e como variável de saída a receita líquida, conforme esquematizado na Figura 3.

Figura 3. Esquema da elaboração da simulação de risco.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produtividade da Cultura

Os dados médios de produtividade fornecidos pelo modelo nas seis localidades mostraram uma amplitude entre 5.749 kg ha⁻¹ como valor mínimo para localidade de Janaúba, enquanto na outra extremidade foram alcançados 8.826 kg ha⁻¹ em Lavras. Observa-se que são valores de produtividade referente à massa seca de grãos.

O período dos melhores tratamentos coincidiu em praticamente todas as localidades. O T-30, correspondente à semana de 20 de fevereiro foi superior para as localidades de Presidente Olegário, Sete Lagoas, Uberaba e Viçosa. Para Lavras este período ocorreu com uma semana de antecedência, em 13 de fevereiro. Janaúba foi a única localidade onde este período diferiu de mês, sendo o T-22 referente à semana de 26 de dezembro melhor avaliado para o plantio irrigado (Tabela 11).

A simulação realizada corrobora com o trabalho realizado por Amaral et al. (2011), que aplicaram o modelo Ceres-Maize para milho irrigado por pivô central na região de Sete Lagoas a um híbrido simples. Neste trabalho, a melhor data de semeadura foi 20 de fevereiro correspondente ao T-30.

As produtividades médias mínimas apresentaram maior diversidade de períodos em relação aos picos. Ainda assim, pelo menos quatro locais obtiveram datas próximas. O T-11 (10 de outubro), referente a Lavras; T-12 (17 de outubro), para Presidente Olegário e Sete Lagoas; T-14 (31 de outubro), em Uberaba. Janaúba apresentou a semana de 03 de abril e Viçosa 24 de julho com piores valores (Tabela 11).

A condução de um trabalho semelhante utilizando o mesmo modelo, configurações e híbrido, para uma fazenda na região de Sete Lagoas, demonstrou que as piores produtividades se concentraram em outubro. O plantio realizado no 10º dia deste mês apresentou o pior desempenho (Amaral et al., 2011).

Tabela 11. Valores médios máximos e mínimos de produtividade média e respectivas datas de plantio, segundo o modelo Ceres-Maize.

Local		Produtividade ¹ (kg ha ⁻¹)	Data
Janaúba	Máximo	7.039	26/12
	Mínimo	5.749	03/04
Lavras	Máximo	8.826	13/02
	Mínimo	7.143	10/10
Presidente Olegário	Máximo	8.123	20/02
	Mínimo	6.403	17/10
Sete Lagoas	Máximo	8.675	20/02
	Mínimo	6.721	17/10
Uberaba	Máximo	8.511	20/02
	Mínimo	6.748	31/10
Viçosa	Máximo	7.580	20/02
	Mínimo	5.948	24/07

¹ Valores em peso seco.

Analisando-se as condições climáticas referentes aos tratamentos de máxima e mínima produtividade média, não se pode afirmar que a radiação exerce um efeito tanto deletério quanto benéfico aos índices. Considerando um valor médio da intensidade de radiação solar e sua divisão por fases no ciclo da cultura, a sua interação com a produtividade também não pode ser verificada. A temperatura ambiente é um fator primordial no desenvolvimento da cultura, pois afeta diretamente o desenvolvimento fisiológico da planta. Porém, a temperatura está intimamente associada aos índices de radiação solar. Portanto, o modelo não revelou padrões entre a produtividade média dos grãos, radiação solar e temperatura.

O mesmo não ocorre quando se avalia a interação entre os valores mínimos e máximos absolutos de produtividade de grãos em relação à radiação solar. Valores extremos dentro dos tratamentos para a modelagem proposta indicam ocorrência de eventos climáticos severos. O sistema é irrigado de forma que não haja qualquer tipo de estresse hídrico, portanto eventos de seca não são pertinentes na análise. Radiação e temperatura são os principais fatores de influência.

Na Tabela 12 verifica-se a radiação média incidente no ciclo e nas três fases consideradas na análise, para os tratamentos de valores extremos. O modelo revelou um padrão de interação entre a radiação solar na fase dois (antese) para aqueles tratamentos de menores valores absolutos de produtividade de grãos. Em todos os locais a fase dois apresentou valores muito abaixo de radiação solar em relação às outras fases, com exceção da localidade de Viçosa, que ainda assim apresentou um valor abaixo da média. Os tratamentos com os maiores valores de produtividade também apresentaram este padrão de interação, obtendo-se valores diferenciados para as localidades de Lavras, Presidente Olegário e Viçosa. A única localidade que se diferenciou das demais foi Sete Lagoas. Esta interação também pode ser visualizada para os tratamentos de maiores valores absolutos de produtividade de grãos. Janaúba, Lavras, Presidente Olegário e Viçosa, apresentaram índices superiores de radiação solar na fase dois em relação às outras fases. Para Sete Lagoas e Uberaba, não se observou este evento e os índices se mantiveram mais estáveis entre as fases.

Tabela 12. Produtividades do milho máximas e mínimas por localidade e a radiação solar média por ciclo e em fases.

Local	T-Ano ¹	Produtividade	Rad Ciclo	Rad F1 ²	Rad F2 ³	Rad F3 ⁴
		kg ha ⁻¹	MJ m ⁻² dia ⁻¹			
Janaúba	11-1992	3.264	16,6	15,7	10,3	19,1
	24-2003	10.035	24,1	21,5	29,2	25,7
Lavras	14-1993	4.026	19,6	19,9	13,5	20,3
	05-1994	12.689	26,2	22,5	31,6	17,3
Presidente	10-1962	2.904	16,0	17,2	7,3	17,0
Olegário	15-1982	12.019	23,8	19,9	31,2	25,9
Sete Lagoas	14-1965	3.070	17,7	18,4	9,7	19,2
	30-1962	12.472	21,1	24,5	21,4	18,2
Uberaba	42-1993	2.967	17,3	18,8	7,8	18,4
	30-1995	10.755	19,2	20,3	21,9	17,8
Viçosa	35-2004	3.314	13,1	12,2	12,2	14,1
	17-1963	12.140	26,6	22,4	33,1	16,2

¹ Tratamento e ano correspondente.

² Fase Vegetativa

³ Antese

⁴ Fase Reprodutiva

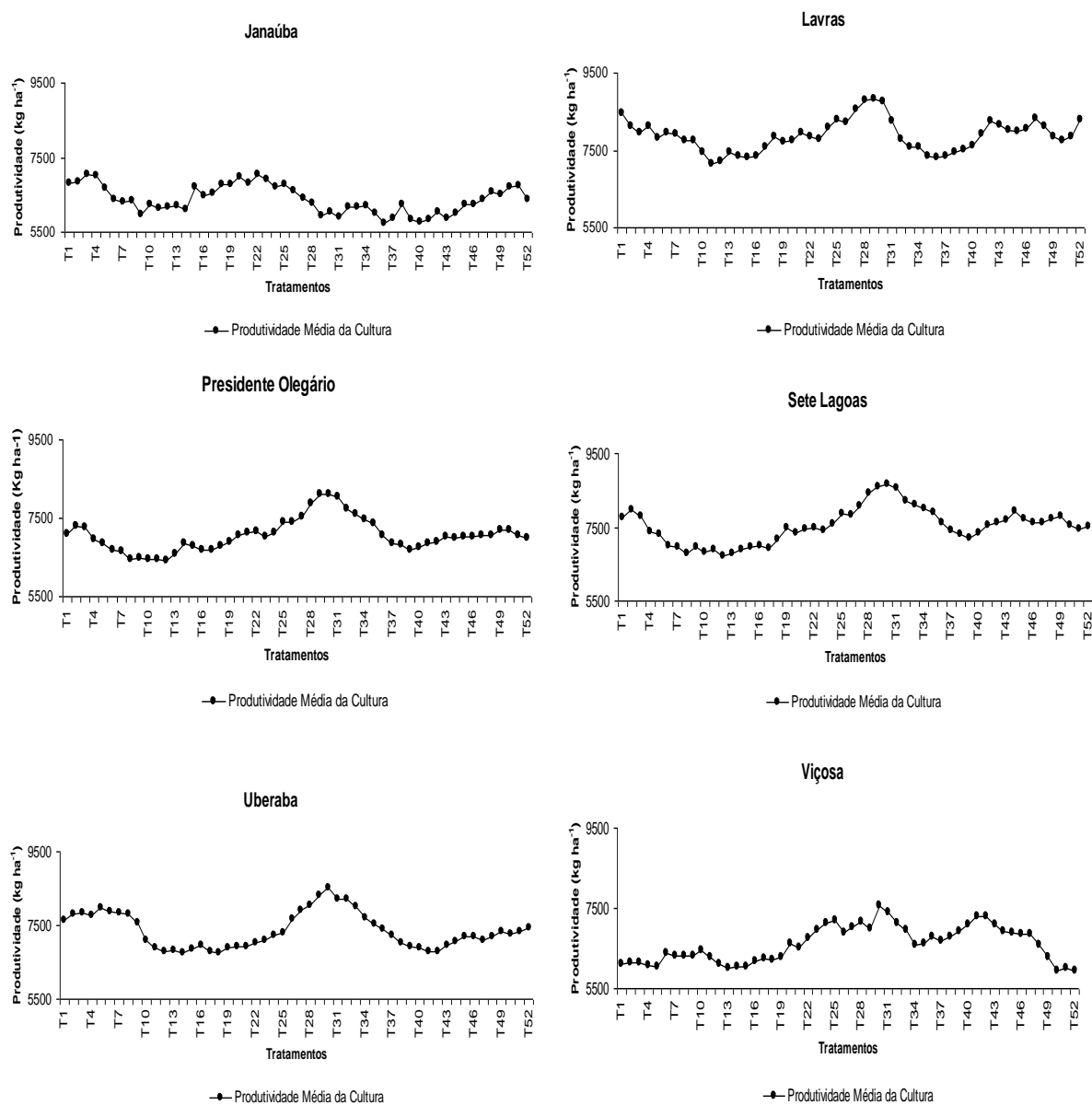
Valendo-se dos dados de produtividade, não houve em nenhum tratamento avaliado com produção zero, ou seja, interrupção do ciclo. Logo, as temperaturas extremas, tanto máximas quanto mínimas, não foram suficientes para quebra de produção, assim como verificado para valores extremos de radiação em plantio irrigado nestas localidades de Minas Gerais.

O estabelecimento de uma janela de plantio depende do montante e do risco de perda da produtividade, além de fatores externos como os custos de produção e a cotação no mercado. Levando-se em consideração apenas a produtividade média dos grãos, podemos descrever duas janelas específicas para as localidades avaliadas.

Segundo os dados fornecidos pelo modelo, ilustrados na Figura 4, há uma tendência no comportamento para todas as localidades, com os melhores índices de produtividade média concentrados entre os tratamentos 25 e 35. Este período compreende o plantio entre a segunda quinzena de janeiro e primeira quinzena de março, tendo como pico as semanas de 13 e 20 de

fevereiro. A exceção ocorre em Janaúba, onde se percebe a não sincronia do comportamento, evidenciando picos entre os tratamentos 16 a 23, com plantios entre segundas quinzenas de novembro e dezembro, período este, de índices não satisfatórios para as demais localidades.

Figura 4. Variação da produtividade média para as seis localidades avaliadas.



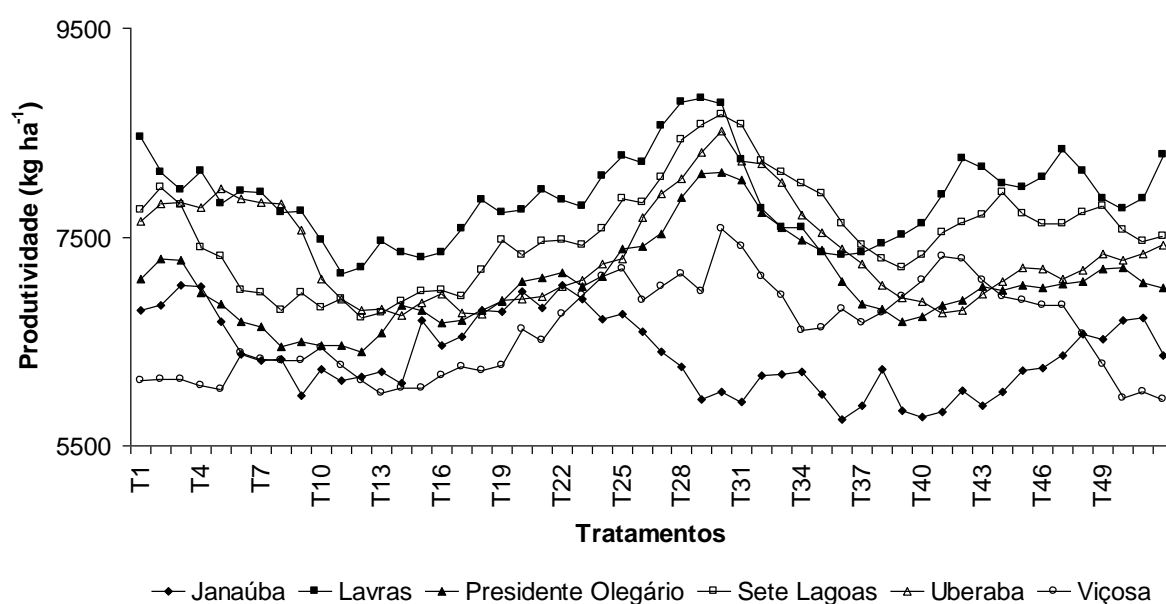
Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Ainda que Janaúba possua melhores índices de produtividade em um período não favorável a outras localidades, conforme verificado com a aplicação do modelo Ceres-Maize,

os valores de produtividade média se mantêm inferiores em relação às outras localidades, superando apenas Viçosa, o que se verifica na Figura 5.

As baixas produtividades médias observadas para Janaúba ao longo do ano podem ser explicadas com base nas diferenciadas condições edafoclimáticas. Apesar da boa radiação recebida, as altas temperaturas predominantes na região, principalmente durante o período noturno, favorecem a transpiração das plantas, o que compromete o acúmulo de fotoassimilados.

Figura 5. Comparativo da produtividade média entre as localidades.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

4.1.1. Análise de Aderência

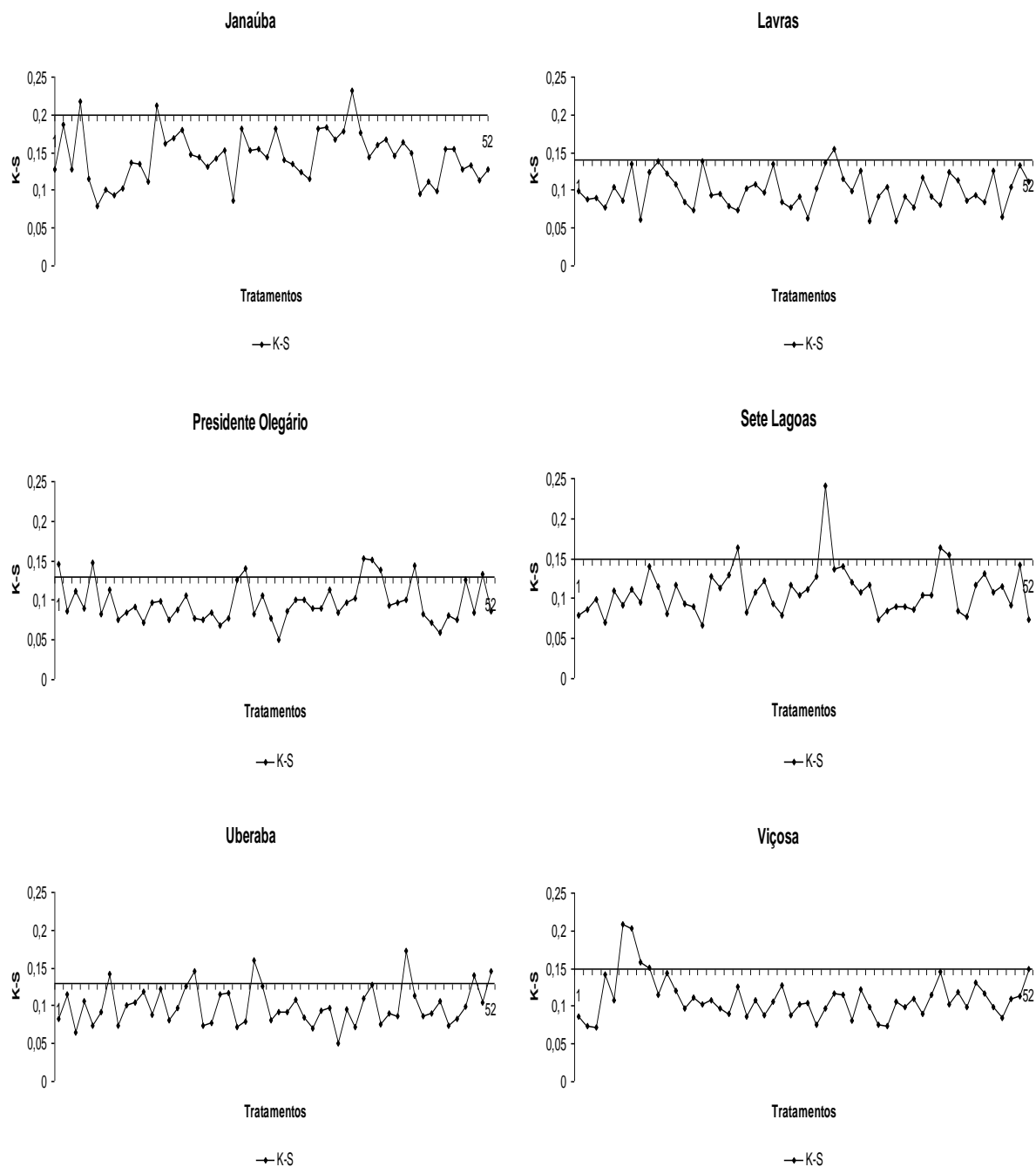
A análise aplicada para todos os tratamentos de produtividade de grãos de todas as localidades apresentaram aderência à função normal ao nível de significância de 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. O tratamento apresenta aderência à função normal quando este apresenta seu valor de K_s , a estatística do teste, menor ou igual ao valor crítico, para 5% de probabilidade.

A localidade de Janaúba apresentou o valor crítico 5% ($V_{Cr} 5\%$) = 0,2. Apenas três tratamentos não aderiram à função normal: 4, 13 e 36. Em Lavras, a aderência somente não ocorreu para o T-31, em que o valor de $V_{Cr} 5\%$ foi de 0,14. Presidente Olegário apresentou o maior número de tratamentos não aderidos à função normal, com um $V_{Cr} 5\%$ de 0,13. Os

tratamentos que não aderiram para a respectiva localidade foram: 1, 5, 23, 37, 38, 39, 43 e 51. Uberaba também apresentou um elevado número de tratamentos sem aderência à função normal se comparados às demais localidades. Foram no total 7 tratamentos (7, 17, 24, 42, 50, 52) e seu VCr 5% = 0,13. Para Viçosa, apenas 4 tratamentos não apresentaram distribuição de dados de produtividade da cultura aderindo-se à função normal, todos em sequência entre o 6 e 9. As variações dos valores da estatística do teste Kolmogorov-Smirnov, K_s , em relação ao VCr 5%, pertinentes à variável de saída produtividade da cultura, para todos os tratamentos e localidades, são apresentadas na Figura 6.

Logo, considerou-se a aplicação da análise de variância (Anova) com o teste F pertinente para todas as localidades para a variável de saída produtividade de grãos. A função normal se mostrou pertinente para a grande maioria dos tratamentos avaliados.

Figura 6. Valores da estatística do teste Kolmogorov-Smirnov, Ks, em relação à variável de saída de produtividade da cultura, comparadas ao valor crítico ao nível de 5% de probabilidade (VCr 5%, indicado pelo eixo horizontal) para as seis localidades.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

4.1.2. Análise de Variância

A análise de aderência à função normal subsidiou a aplicação da análise de variância (ANOVA) em todas as localidades avaliadas. Segundo a análise, todos os valores calculados de F foram superiores aos valores tabelados ao nível de 5% de significância. Logo, houve pelo menos uma diferença estatística entre contrastes dos tratamentos para todas as localidades (Tabela 13).

Tabela 13. Valores de calculados e tabelados de F (ANOVA) para $\alpha=5\%$.

LOCALIDADE	F calculado	F crítico ($\alpha 5\%$)
Janaúba	2,991244	1,360533
Lavras	4,398892	1,353322
Presidente Olegário	6,764382	1,352808
Sete Lagoas	6,499147	1,353926
Uberaba	14,02431	1,351864
Viçosa	3,726611	1,354392

Para a análise das médias dos tratamentos foi utilizado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, onde letras iguais determinam tratamentos que não se diferenciaram estatisticamente.

Janaúba

As médias para Janaúba apresentaram maior uniformidade entre si. Dos 52 tratamentos propostos, um total de 48 não apresentou uma diferença mínima estatística. Houve poucos níveis entre os tratamentos. A análise reafirma que apenas o critério de produtividade para identificação de uma janela ideal de semeadura irrigada para Janaúba é uma decisão que envolve altos riscos, visto que a diferença de produtividade média de milho entre o melhor tratamento, T-22 com semeadura em 26 de dezembro, e o primeiro que se diferenciou estatisticamente, T-40 com semeadura em 1º de maio, foi de 1.262 kg ha⁻¹. A diferença mínima significativa entre as médias calculada foi de 1.214 kg ha⁻¹ (Tabela 14).

Tabela 14. Teste de Tukey ao nível de significância $\alpha = 5\%$ para médias de produtividade de milho (kg ha^{-1}) em Janaúba.

Trat.	Produção	Trat.	Produção	Trat.	Produção	Trat.	Produção
T-22	7.039a	T-50	6.696abc	T-46	6.249abc	T-35	5.997abc
T-3	7.035a	T-5	6.685abc	T-10	6.237abc	T-9	5.984abc
T-4	7.022a	T-26	6.594abc	T-38	6.229abc	T-29	5.946abc
T-20	6.974ab	T-48	6.564abc	T-45	6.226abc	T-31	5.919abc
T-23	6.904abc	T-17	6.549abc	T-13	6.209abc	T-37	5.884abc
T-2	6.847abc	T-49	6.520abc	T-34	6.203abc	T-43	5.881abc
T-21	6.818abc	T-16	6.459abc	T-33	6.183abc	T-39	5.838abc
T-1	6.796abc	T-27	6.398abc	T-32	6.174abc	T-41	5.826abc
T-18	6.792abc	T-6	6.383abc	T-12	6.166abc	T-40	5.777 bc
T-19	6.783abc	T-52	6.371abc	T-11	6.129abc	T-36	5.749 c
T-25	6.763abc	T-47	6.366abc	T-14	6.101abc		
T-51	6.728abc	T-8	6.333abc	T-42	6.029abc		
T-24	6.708abc	T-7	6.317abc	T-30	6.022abc		
T-15	6.700abc	T-28	6.260abc	T-44	6.013abc		

Lavras

A produtividade de milho para Lavras apresentou as melhores médias em relação aos demais locais. Houve seis estratos na avaliação pelo Teste de Tukey, apresentando elevada diferença, um total de 1200 kg ha^{-1} , entre o melhor e o primeiro tratamento que se diferenciou estatisticamente que são representados, respectivamente, em T-29 semeado em 13 de fevereiro e T-40 em 1º de maio. Este intervalo engloba também uma realidade muito diversa de situações climáticas onde há uma relativa variação de aplicação de lâmina d'água sob irrigação. Esta variação impacta diretamente na avaliação financeira da atividade.

Pode-se afirmar que apenas o critério da produtividade não é suficiente para tomada de decisão sobre a identificação de uma janela de semeadura do milho irrigado ideal para Lavras, mesmo que haja elevados índices médios de produtividade. A diferença mínima significativa entre as médias calculada foi de 1.104 kg ha^{-1} (Tabela 15).

Tabela 15. Teste de Tukey ao nível de significância $\alpha = 5\%$ para médias de produtividade de milho (kg ha^{-1}) em Lavras.

Trat.	Produtividade	Trat.	Produtividade	Trat.	Produtividade
T-29	8.826a	T-45	7.973abcdef	T-40	7.626 bcde
T-28	8.787a	T-3	7.955abcdef	T-33	7.587 bcdef
T-30	8.776a	T-21	7.945abcdef	T-34	7.587 bcdef
T-27	8.564ab	T-6	7.940abcdef	T-17	7.580 bcdef
T-1	8.457abc	T-7	7.929abcdef	T-39	7.517 bcdef
T-47	8.332abcd	T-41	7.906abcdef	T-10	7.464 bcdef
T-52	8.289abcde	T-51	7.864abcdef	T-13	7.452 cdef
T-25	8.276abcde	T-49	7.861abcdef	T-38	7.439 cdef
T-42	8.247abcdef	T-18	7.860abcdef	T-16	7.353 cdef
T-31	8.243abcdef	T-22	7.857abcdef	T-14	7.351 def
T-26	8.217abcdef	T-5	7.814abcdef	T-37	7.348 def
T-43	8.167abcdef	T-23	7.797abcdef	T-35	7.346 def
T-4	8.136abcdef	T-32	7.769abcdef	T-36	7.324 def
T-48	8.127abcdef	T-50	7.768abcdef	T-15	7.304 def
T-2	8.123abcdef	T-20	7.754abcdef	T-12	7.202 ef
T-24	8.085abcdef	T-9	7.747abcdef	T-11	7.143 f
T-46	8.067abcdef	T-8	7.737abcdef		
T-44	8.010abcdef	T-19	7.732abcdef		

Presidente Olegário

As comparações de médias de produtividade de milho para Presidente Olegário mostraram-se mais estratificadas, em nove níveis ao total. A diferença encontrada entre o T-30, considerado o melhor tratamento e semeado em 20 de fevereiro, e o seu primeiro par que se diferenciou estatisticamente, representado pelo T-50 com semeadura em 10 de julho, foi de 920 kg ha^{-1} .

O universo de tratamentos que compuseram o primeiro e mais alto nível do grupo de médias, revelou uma maior homogeneidade, ou seja, houve similaridade entre as datas de semeadura num intervalo que compreende entre 16 de janeiro e 27 de março compostos pelos tratamentos 25 a 35. A exceção ocorre para os tratamentos 2 e 3 que completaram o nível.

Os tratamentos com as menores lâminas de irrigação se encontraram na base da avaliação com as menores produtividades médias e representando os dois últimos níveis para Presidente Olegário. A diferença mínima significativa entre as médias calculada foi de 907 kg ha⁻¹ (Tabela 16).

Tabela 16. Teste de Tukey ao nível de significância $\alpha = 5\%$ para médias de produtividade de milho (kg ha⁻¹) em Presidente Olegário.

Trat.	Produtividade	Trat.	Produtividade	Trat.	Produtividade
T-30	8.123a	T-1	7.093 defghij	T-41	6.846 efghij
T-29	8.107ab	T-20	7.072 defghij	T-38	6.807 fghij
T-31	8.045abc	T-48	7.072 defghij	T-18	6.798 fghij
T-28	7.873abcd	T-36	7.068 defghij	T-15	6.793 fghij
T-32	7.733abcde	T-51	7.060 defghij	T-40	6.740 fghij
T-33	7.591abcdef	T-47	7.046 defghij	T-17	6.700 fghij
T-27	7.534abcdefg	T-45	7.040 defghij	T-39	6.690 fghij
T-34	7.474abcdefgh	T-43	7.027 defghij	T-6	6.685 fghij
T-26	7.406abcdefgh	T-23	7.026 defghij	T-16	6.680 ghij
T-25	7.389abcdefghi	T-46	7.016 defghij	T-7	6.641 ghij
T-35	7.376abcdefghi	T-52	7.008 defghij	T-13	6.581 hij
T-2	7.288abcdefghij	T-44	6.993 defghij	T-9	6.492 ij
T-3	7.274abcdefghij	T-4	6.967 defghij	T-10	6.458 j
T-50	7.203 bcdefghij	T-42	6.895 efghij	T-11	6.456 j
T-49	7.191 cdefghij	T-19	6.886 efghij	T-8	6.455 j
T-22	7.152 cdefghij	T-37	6.863 efghij	T-12	6.403 j
T-24	7.126 defghij	T-5	6.860 efghij		
T-21	7.115 defghij	T-14	6.846 efghij		

Sete Lagoas

A comparação de médias para Sete Lagoas revelou que há pelo menos 11 níveis entre os 52 tratamentos avaliados. As médias de produtividade de milho que compreendem o nível mais alto não apresentaram uma sequência de tratamentos com datas de semeadura próximas. Houve uma elevada diversidade entre estas datas, bem como o período de desenvolvimento da

cultura. A definição de uma janela de semeadura baseada apenas na produtividade para a localidade revela-se sujeita a considerável risco.

Os tratamentos com menor aplicação de lâmina de irrigação, de ocorrência no período chuvoso na região, compuseram o grupo dos tratamentos com os piores valores de produtividade média de milho para Sete Lagoas. A diferença mínima significativa entre as médias calculada foi de 1.085 kg ha⁻¹ (Tabela 17).

Tabela 17. Teste de Tukey ao nível de significância $\alpha = 5\%$ para médias de produtividade de milho (kg ha⁻¹) em Sete Lagoas.

Trat.	Produtividade	Trat.	Produtividade	Trat.	Produtividade
T-30	8.675a	T-43	7.705abcdefghijk	T-5	7.316 defghijk
T-29	8.579ab	T-42	7.636abcdefghijk	T-38	7.294 defghijk
T-31	8.571ab	T-47	7.632abcdefghijk	T-39	7.210 defghijk
T-28	8.432abc	T-46	7.629abcdefghijk	T-18	7.183 defghijk
T-32	8.228abcd	T-36	7.625abcdefghijk	T-6	6.990 efghijk
T-33	8.116abcd	T-24	7.578 bcdefghijk	T-16	6.987 efghijk
T-27	8.071abcde	T-50	7.568 bcdefghijk	T-15	6.977 fghijk
T-34	8.007abcdef	T-41	7.545 bcdefghijk	T-9	6.967 fghijk
T-2	7.974abcdefg	T-52	7.506 bcdefghijk	T-7	6.963 fghijk
T-44	7.931abcdefgh	T-22	7.473 cdefghijk	T-17	6.935 fghijk
T-35	7.908abcdefgh	T-19	7.467 cdefghijk	T-11	6.907 ghijk
T-25	7.866abcdefghi	T-51	7.463 cdefghijk	T-14	6.883 hijk
T-26	7.826abcdefghij	T-21	7.457 cdefghijk	T-10	6.820 ijk
T-3	7.804abcdefghijk	T-23	7.425 cdefghijk	T-8	6.801 ijk
T-49	7.794abcdefghijk	T-37	7.420 cdefghijk	T-13	6.778 jk
T-1	7.761abcdefghijk	T-4	7.392 cdefghijk	T-12	6.721 k
T-48	7.736abcdefghijk	T-40	7.331 defghijk		
T-45	7.726abcdefghijk	T-20	7.329 defghijk		

Uberaba

O teste de Tukey para Uberaba apresentou o maior número de estratificação de grupos de médias, num total de 15. O grupo das melhores médias de produtividade de milho apresentou dois períodos de semeadura bem distintos. Neste universo foram revelados tratamentos consecutivos entre o 27 e 33, referente ao semeio entre 30 de janeiro e 13 março. O outro grupo compreendeu entre o T-2 e T-8, exceto o T-4, referente ao período de semeadura entre 08 de agosto a 19 de setembro.

A diferença entre a semeadura de 20 de fevereiro, considerada o melhor tratamento, para a realizada em 22 de agosto, o primeiro que se diferenciou estatisticamente, foi a menor entre todas as localidades, sendo igual a 732 kg ha^{-1} . A diferença mínima significativa entre as médias calculada foi de 727 kg ha^{-1} (Tabela 18).

Tabela 18. Teste de Tukey ao nível de significância $\alpha = 5\%$ para médias de produtividade de milho (kg ha^{-1}) em Uberaba.

Trat.	Produtividade
T-30	8.511a
T-29	8.306ab
T-31	8.224abc
T-32	8.208abc
T-28	8.053abcd
T-33	8.021abcd
T-5	7.959abcde
T-27	7.913abcdef
T-6	7.871abcdefg
T-3	7.833abcdefg
T-7	7.828abcdefgh
T-8	7.820abcdefghi
T-2	7.815abcdefghi
T-4	7.779 bcdefghij
T-34	7.709 bcdefghijk
T-26	7.680 bcdefghijkl
T-1	7.645 bcdefghijklm
T-9	7.565 cdefghijklmn
T-35	7.547 cdefghijklmn
T-52	7.416 defghijklmno
T-36	7.382 defghijklmno
T-49	7.341 defghijklmno
T-51	7.333 defghijklmno
T-25	7.293 efghijklmno
T-50	7.276 efghijklmno
T-37	7.242 efghijklmno

Trat.	Produtividade
T-24	7.237 efghijklmno
T-45	7.203 fghijklmno
T-46	7.196 fghijklmno
T-48	7.179 ghijklmno
T-10	7.101 hijklmno
T-47	7.097 ijklmno
T-23	7.087 jklmno
T-44	7.074 jklmno
T-38	7.034 klmno
T-22	7.031 klmno
T-16	6.955 lmno
T-43	6.953 lmno
T-21	6.926 mno
T-39	6.919 mno
T-20	6.910 no
T-11	6.904 no
T-19	6.888 no
T-40	6.879 no
T-15	6.865 no
T-13	6.812 o
T-12	6.797 o
T-42	6.794 o
T-17	6.776 o
T-41	6.773 o
T-18	6.762 o
T-14	6.748 o

Viçosa

A comparação das médias de produtividade de milho em Viçosa revelou poucos grupos e relativa homogeneidade. Foram apenas 4 níveis, conforme se observa na Tabela 19.

O grupo das melhores médias englobou 35 tratamentos. A diferença entre o melhor tratamento, T-30, com semeadura em 20 de fevereiro, e o primeiro a se diferenciar estatisticamente, T-19, semeado em 5 de dezembro foi de 1.315 kg ha⁻¹. O número elevado de tratamentos e com características climáticas heterogêneas de semeadura e desenvolvimento da cultura influenciou diretamente na quantidade da lâmina de água de irrigação aplicada e consequentemente na receita líquida da atividade. A diferença mínima significativa entre as médias calculada foi de 1.310 kg ha⁻¹

Tabela 19. Teste de Tukey ao nível de significância $\alpha = 5\%$ para médias de produtividade de milho (kg ha^{-1}) em Viçosa.

Trat.	Produtividade
T-30	7.580a
T-31	7.414ab
T-41	7.313abc
T-42	7.295abc
T-25	7.195abcd
T-28	7.152abcd
T-24	7.120abcd
T-32	7.117abcd
T-40	7.087abcd
T-43	7.086abcd
T-27	7.028abcd
T-29	6.983abcd
T-23	6.943abcd
T-39	6.927abcd
T-44	6.924abcd
T-45	6.891abcd
T-26	6.891abcd
T-46	6.845abcd
T-47	6.844abcd
T-36	6.805abcd
T-38	6.775abcd
T-22	6.758abcd
T-37	6.680abcd
T-35	6.628abcd
T-20	6.622abcd
T-6	6.393abcd
T-7	6.330abcd
T-8	6.320abcd
T-9	6.313abcd

Trat.	Produtividade
T-49	6.277abcd
T-19	6.265abcd
T-11	6.264 bcd
T-17	6.253 bcd
T-18	6.215 bcd
T-16	6.172 bcd
T-2	6.134 bcd
T-12	6.127 bcd
T-1	6.126 bcd
T-4	6.078 cd
T-14	6.058 cd
T-15	6.056 cd
T-5	6.039 cd
T-51	6.019 cd
T-13	6.006 cd
T-50	5.955 d
T-52	5.948 d

4.1.3. Análise das Funções de Probabilidade Acumulada

Visando complementar a análise de classificação dos tratamentos quanto ao resultado gerado para produtividade da cultura, feita com base em valores médios, estudou-se a dominância estocástica das funções de probabilidade acumulada. Foram selecionadas as funções de probabilidade acumuladas para três tratamentos para cada localidade, sendo um representado pela melhor produtividade média do milho e outro sendo o primeiro tratamento que diferiu estatisticamente ao de melhor desempenho. O terceiro tratamento considerado foi aquele em que o modelo calculou a menor lâmina média de irrigação.

Janaúba

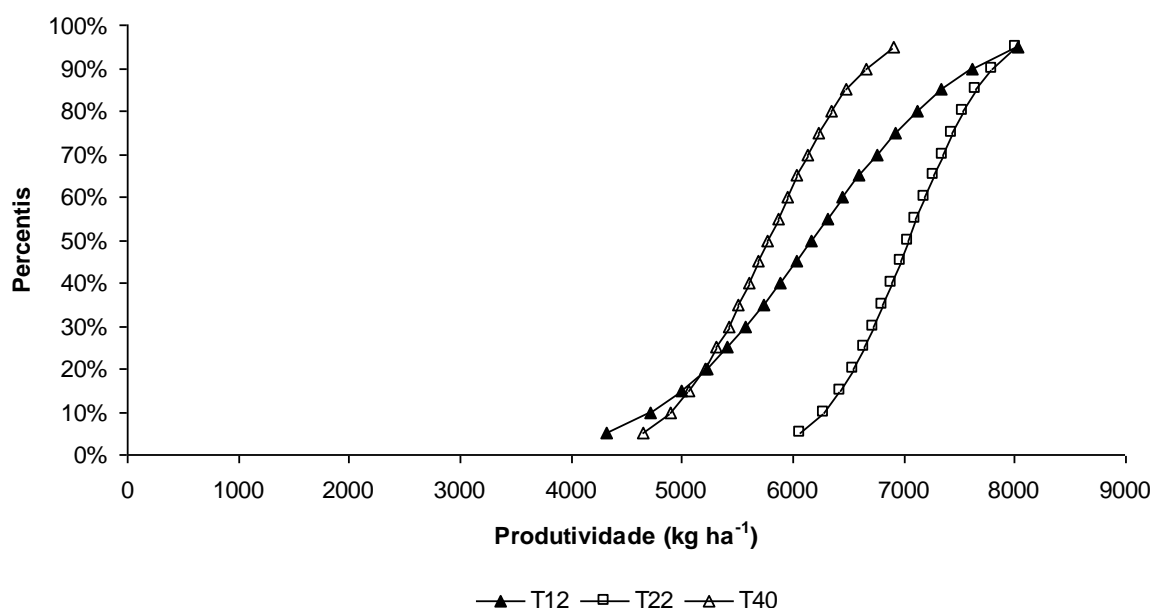
Os tratamentos selecionados para Janaúba foram: T-22 semeado em 26 de dezembro, que apresentou melhor desempenho de produtividade média de grãos; T-40 semeado em 1º de maio representando o primeiro que diferiu estatisticamente; e T-12 semeado em 17 de outubro que apresentou a menor utilização média de lâmina de irrigação.

Na Figura 7 pode-se afirmar que há dominância estocástica do T-22 em relação aos demais, sendo que apenas a partir da probabilidade de 95% verifica-se equivalência com o T-12. Este se sobrepôs ao T-40 a partir de 20% de probabilidade. O T-40 apresentou o pior perfil perante os demais.

Os tratamentos 12 e 40 apresentaram índices baixos de produtividade média. Comparando o índice de produtividade, para o T-22 ao nível de 5% de probabilidade acumulada (6.100 kg ha^{-1}) com os demais tratamentos, 12 e 40, os percentis apresentados foram bem superiores, 50 e 62%, respectivamente.

A probabilidade de montantes médios de produtividade de milho para Janaúba iguais ou acima de $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$ não foram encontradas.

Figura 7. Função de probabilidade acumulada da produtividade de cultura para três tratamentos na localidade Janaúba.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Lavras

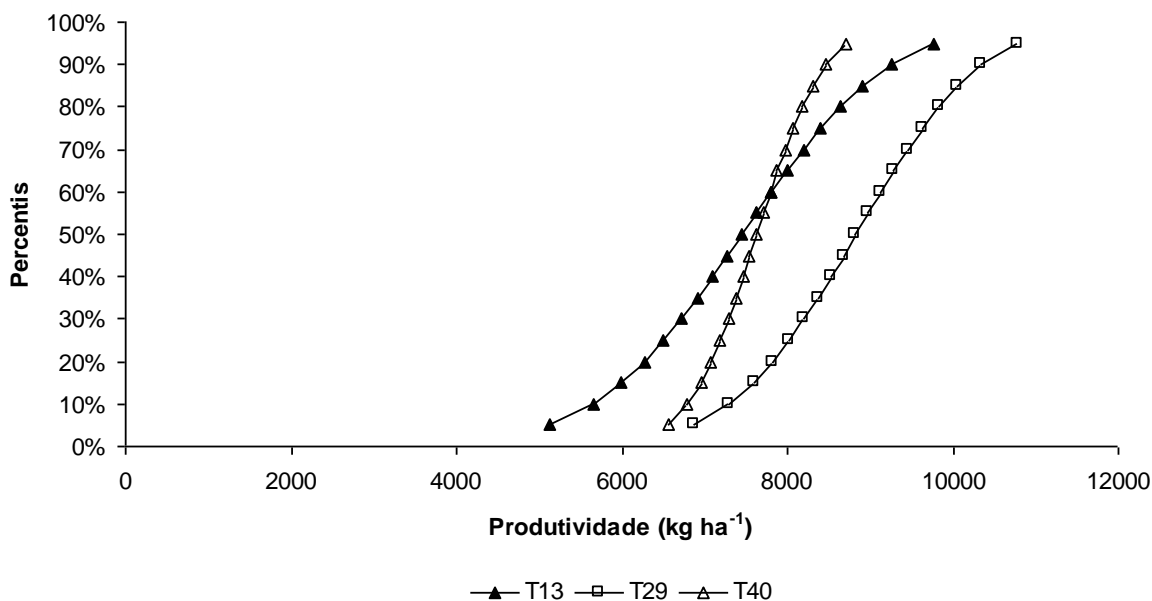
Em Lavras, o T-29, semeado em 13 de fevereiro, dominou estocasticamente todos demais. Para este tratamento se obteve a melhor média de produtividade de milho, segundo o modelo, enquanto o T-13, semeado em 24 de outubro, foi o que obteve a menor lâmina de irrigação aplicada e o T-40, com a semeadura em 1º de maio, foi o primeiro a diferir estatisticamente ao de maior produtividade de grãos.

O T-40 apresentou dominância estocástica em relação ao T-13 até 60% de probabilidade acumulada. O perfil mais inclinado da curva de probabilidade acumulada sugere que há maior estabilidade nos valores de produtividade média de grãos. A variação entre os percentis de 5 a 95% foi de apenas 2.200 kg ha⁻¹, pequeno se comparado aos tratamentos 13 e 40, em que se observaram os valores de aproximadamente 4.700 e 3.900 kg ha⁻¹, respectivamente.

Tomando como referência a maior produtividade média de grãos para Lavras, aproximadamente 8.800 kg ha⁻¹, sua probabilidade de ocorrer para o T-13 foi de apenas 18%. O T-40 não apresentou índices que superassem 8.700 kg ha⁻¹.

As produtividades acima de 10.000 kg ha⁻¹ ocorrem apenas para o T-29 com probabilidade de 15% de ocorrência (Figura 8).

Figura 8. Função de probabilidade acumulada da produtividade de cultura para três tratamentos na localidade Lavras.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Presidente Olegário

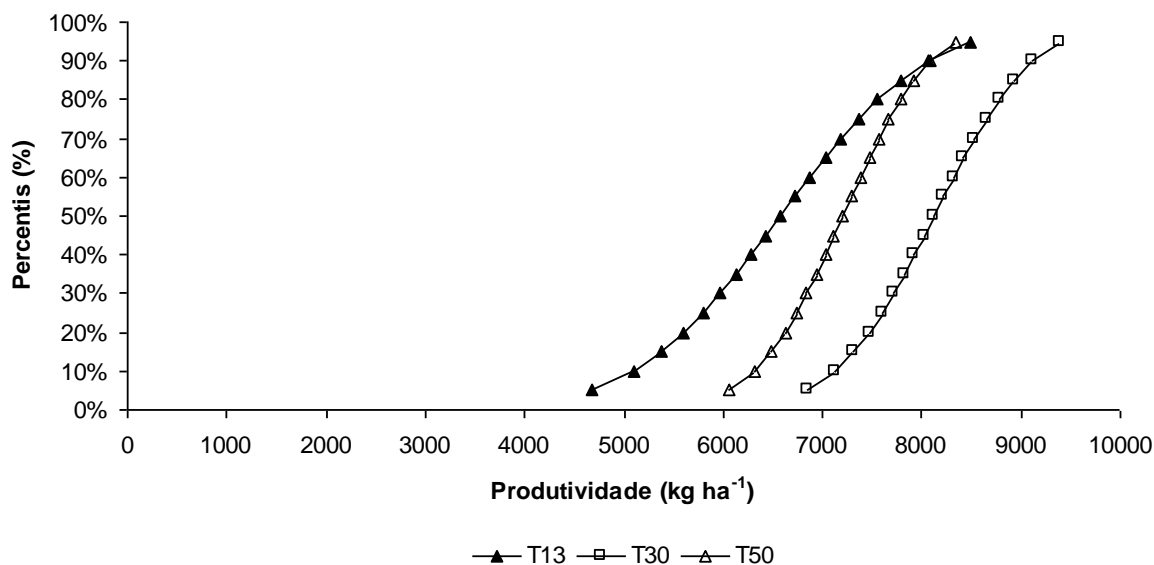
O T-30, semeado em 20 de fevereiro, gerou, segundo a simulação do Ceres-Maize, a melhor produtividade média de grãos para Presidente Olegário. Este tratamento apresentou dominância estocástica perante aos demais avaliados.

O T-13, semeado em 24 de outubro, foi o de menor lâmina de irrigação aplicada e superou o T-50, com a semeadura realizada em 10 de julho, apenas a 90% de probabilidade acumulada. Pode-se afirmar que o T-50, referente ao primeiro que se diferiu estatisticamente ao de maior produtividade média, dominou estocasticamente o T-13.

Tendo como referência a melhor produtividade média de milho fornecido pelo modelo para Presidente Olegário (8.123 kg ha^{-1}), o T-50 possui 10% de probabilidade de superar este valor, enquanto o T-13, 9% de probabilidade. Logo, há baixa probabilidade de ocorrência deste índice de produtividade para os dois tratamentos.

Nenhum dos tratamentos obteve probabilidade de superar a marca de $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de produtividade média de milho (Figura 9).

Figura 9. Função de probabilidade acumulada da produtividade de cultura para três tratamentos na localidade Presidente Olegário.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

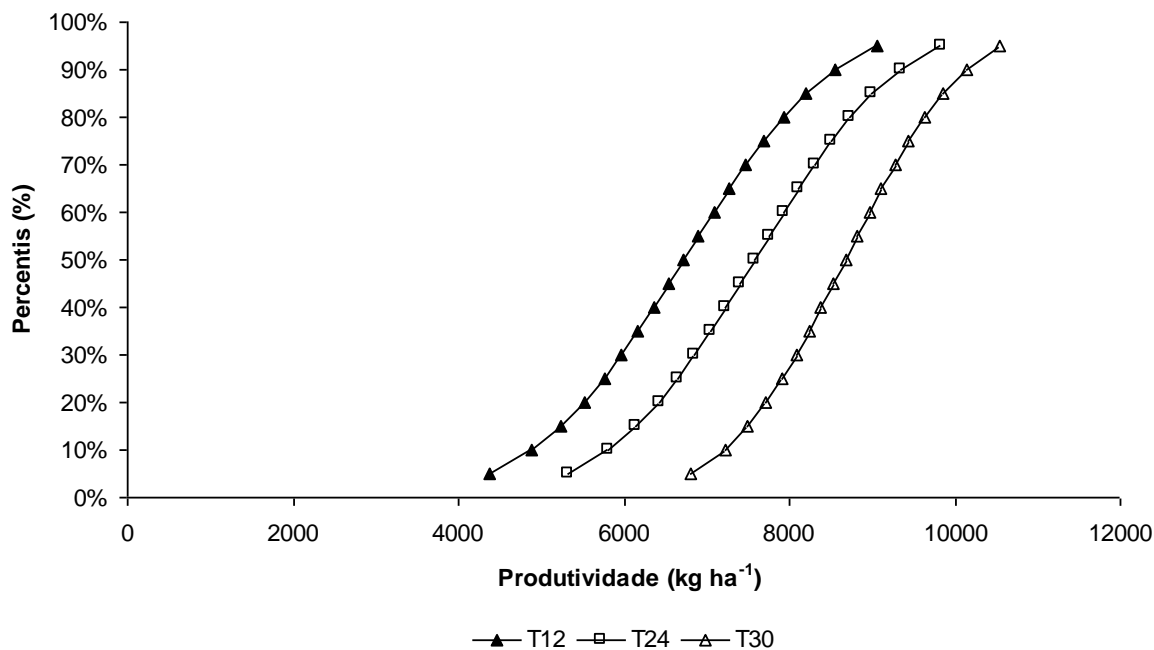
Sete Lagoas

Os tratamentos escolhidos para Sete Lagoas não apresentaram interseções nas curvas de probabilidade acumulada. O T-30, de melhor média de produtividade de grãos e semeado em 20 de fevereiro, foi dominante em relação aos demais. O T-24, semeado em 9 de fevereiro, foi o primeiro a diferir estatisticamente ao T-30 e apresentou dominância em relação ao T-12, referente ao de menor lâmina de irrigação aplicada e semeado em 17 de outubro. O T-12 apresentou índices muito abaixo do esperado para um híbrido simples. Nota-se que a probabilidade do T-12 ultrapassar a marca de 7.000 kg ha⁻¹ é de 44%, enquanto para o T-30 a probabilidade eleva-se para 94%.

Comparando os tratamentos 12 e 24 ao maior valor médio encontrado pelo modelo para Sete Lagoas (8.675 kg ha⁻¹), tem-se que para o primeiro tratamento há apenas 8% de probabilidade de se conquistar uma produtividade igual ou maior, enquanto que segundo tratamento esse valor sobe para 24% de probabilidade.

Para superar uma produtividade média de grãos na região de 10.000 kg ha⁻¹, há uma possibilidade de 12% se a semeadura ocorrer conforme o T-30 (Figura 10).

Figura 10. Função de probabilidade acumulada da produtividade de cultura para três tratamentos na localidade Sete Lagoas.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

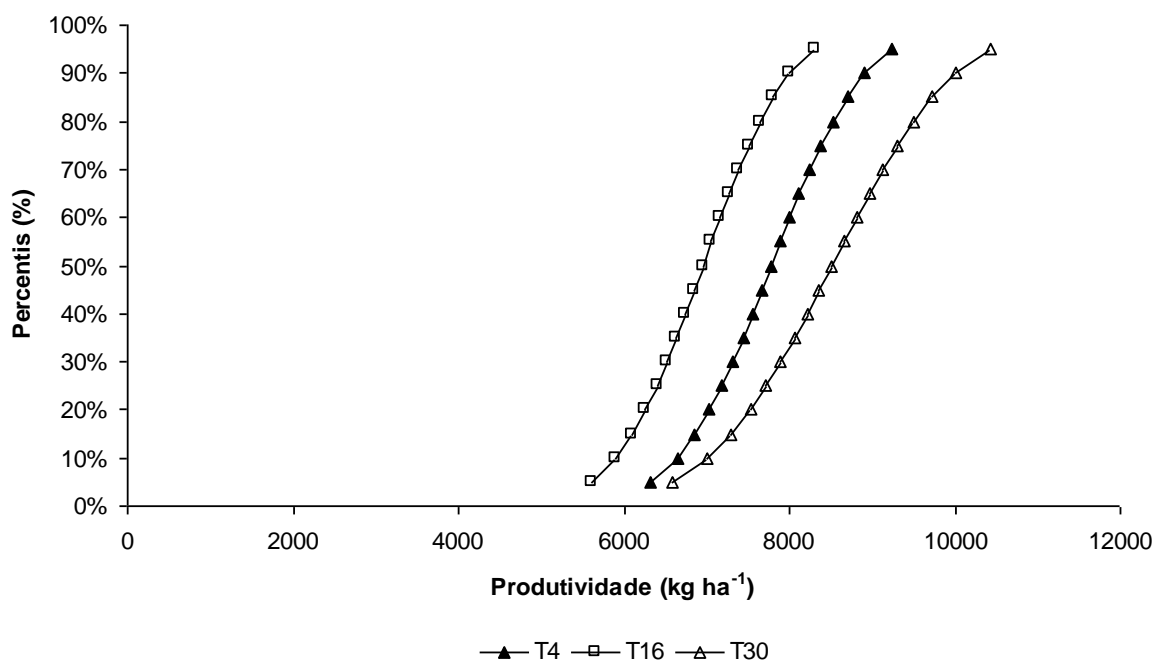
Uberaba

Conforme se observa na Figura 11, os tratamentos 30 e 4, de melhor produtividade média de grãos e o primeiro a se diferenciar estatisticamente e com semeaduras realizadas em 20 de fevereiro e 22 de agosto, respectivamente, apresentaram nos primeiros percentis índices de produtividade próximos. Já a partir de 20% de probabilidade, o T-30 consolidou sua dominância estocástica em relação ao T-4 e conseqüentemente ao T-16. Este último tratamento representado pela semeadura em 14 de novembro e com a menor lâmina de água aplicada foi dominado estocasticamente pelos demais.

A melhor produtividade média para Uberaba foi 8.511 kg ha⁻¹. Para se obter este valor ou superá-lo, há pelo menos 20% de probabilidade para o T-4. Já para o T-16 a curva de probabilidade acumulada não atingiu o valor citado, apresentando no máximo 5% de probabilidade de atingir uma produtividade média de 8.310 kg ha⁻¹.

A marca de produtividade média de 10.000 hg ha⁻¹ de milho para Uberaba é superada apenas para o T-30 e com apenas 10% probabilidade de ocorrência (Figura 11).

Figura 11. Função de probabilidade acumulada da produtividade de cultura para três tratamentos na localidade Uberaba.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

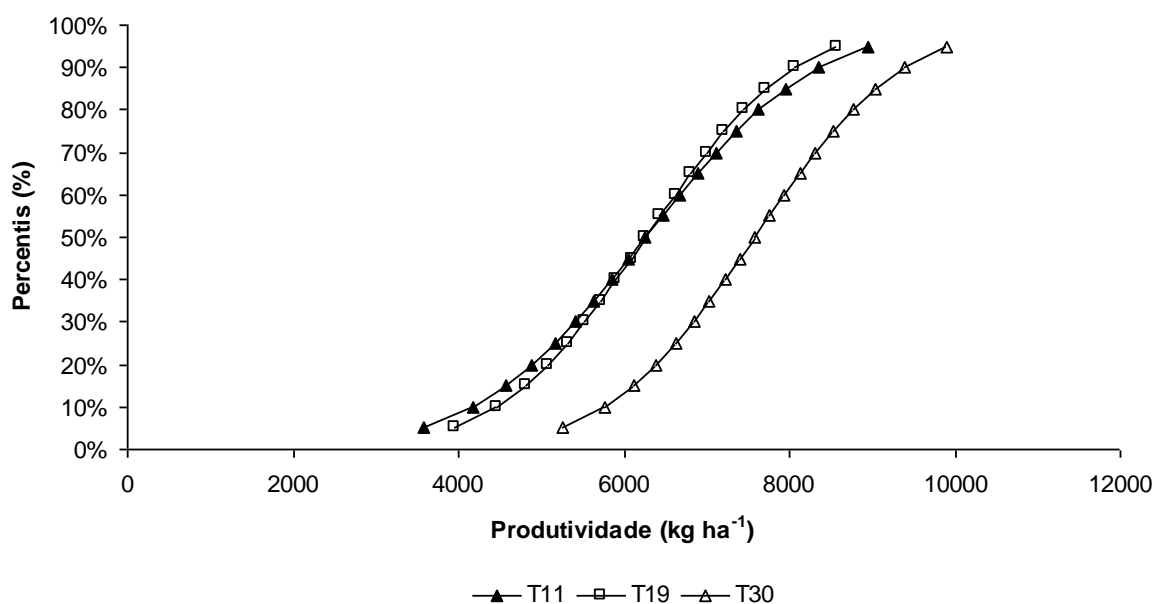
Viçosa

O T-30, de melhor produtividade média de grãos na localidade de Viçosa e semeado em 20 de fevereiro, apresentou absoluta dominância estocástica em relação aos demais. Os outros dois tratamentos, T-11, da menor lâmina de irrigação aplicada com semeadura em 10 de outubro e T-19, o primeiro a se diferenciar estaticamente do T-30, semeado em 05 de dezembro, apresentaram praticamente uma sobreposição. Ainda assim é possível perceber que o T-11 é dominado pelo T-19 até aos 45% de probabilidade acumulada, superando-o logo em seguida.

É pertinente ressaltar os baixos índices de produtividade média de grãos para Viçosa para os tratamentos 11 e 19; até 40% de probabilidade acumulada o valor não ultrapassa 6.000 kg ha⁻¹. Comparando os mesmos tratamentos ao máximo valor médio de produtividade de milho para Viçosa (7.580 kg ha⁻¹), há 24% de probabilidade que o T-11 se iguale ou supere esta marca, enquanto para o tratamento 19 esse valor decaiu para 16%.

Em nenhum dos três tratamentos houve a expectativa de se produzir mais de 10.000 kg ha⁻¹ (Figura 12).

Figura 12. Função de probabilidade acumulada da produtividade de cultura para três tratamentos na localidade Viçosa.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

4.2. Lâmina de Irrigação

O modelo Ceres-Maize estimou valores de lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo de produção do milho em um intervalo onde o menor valor médio foi 2,3 mm em Uberaba. Esta média foi referente ao plantio em 14 de novembro, com duração média do ciclo para este tratamento de 122 dias, sendo a colheita simulada para o começo da segunda quinzena de março. O maior valor médio foi encontrado para a localidade de Janaúba, um montante de 477,1 mm, para o plantio na data de 03 de julho e durante um ciclo com uma média de 117 dias, com colheita indicada pelo modelo para 27 de outubro.

A localidade de Janaúba se destacou por representar os maiores valores médios de lâmina de irrigação aplicada. No tratamento com menor lâmina de irrigação indicada, o T-12 (17 de outubro), utilizou-se uma lâmina de 194,4 mm, valor bem superior ao mínimo das demais localidades avaliadas. As datas de plantio com as menores lâminas médias para todas as localidades seguiram um padrão, ocorrendo entre os tratamentos 11 a 16, período referente ao fim da primeira quinzena de outubro a primeira quinzena de novembro, para os quais o desenvolvimento da cultura acontece durante a temporada de chuvas. Os maiores valores de lâmina de irrigação permearam os tratamentos 36 a 39, período em que a semeadura foi

realizada por todo mês de abril, exceto em Janaúba onde se destacou o tratamento com semeadura em 03 de julho (T-49) (Tabela 20).

Tabela 20. Dois primeiros e últimos tratamentos para lâmina de irrigação aplicada no ciclo de cultivo do milho para as localidades avaliadas e sua a duração média do ciclo.

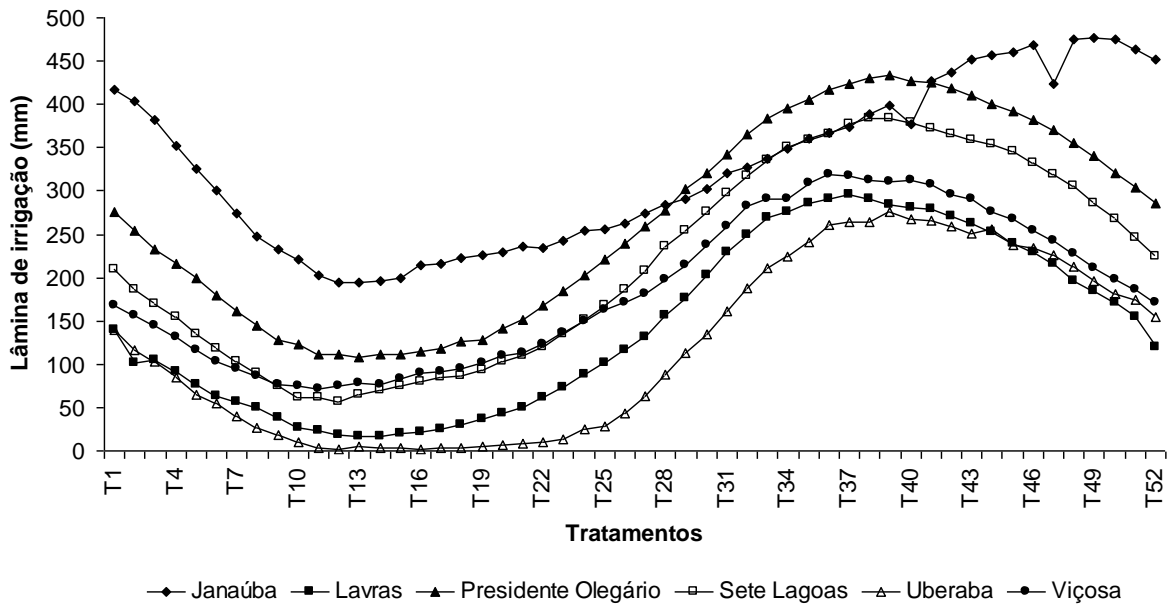
Localidade	Tratamento/ Data De Semeadura	Duração Do Ciclo (dias)	Lâmina De Irrigação (mm)
Janaúba	T-49/03 julho	117	477,1
	T-50/10 julho	115	474,8
	T-13/24 outubro	112	194,7
	T-12/17 outubro	112	194,4
Lavras	T-37/10 abril	173	296,3
	T-38/17 abril	173	291,3
	T-14/31 outubro	133	17,2
	T-13/24 outubro	133	16,5
Presidente Olegário	T-39/24 abril	153	433,8
	T-38/17 abril	153	430,6
	T-12/17 outubro	130	110,9
	T-13/24 outubro	131	108,1
Sete Lagoas	T-38/17 abril	158	383,7
	T-39/29 abril	157	383,3
	T-11/10 outubro	128	60,7
	T-12/17 outubro	127	57,1
Uberaba	T-39/24 abril	148	276,3
	T-40/01 maio	147	268,1
	T-12/17 outubro	123	2,4
	T-16/14 novembro	122	2,3
Viçosa	T-36/03 abril	177	321,7
	T-37/10 abril	178	320,6
	T-10/03 outubro	135	72,7
	T-11/10 outubro	133	70,8

A localidade de Janaúba foi a única onde o modelo não apresentou os maiores índices de irrigação no período de semeadura de abril a setembro, auge do período de estiagem nas demais localidades. É mostrado na Figura 13 a variação média das lâminas para as seis localidades. Percebe-se que Janaúba, além de apresentar superior requerimento de irrigação na maior parte dos tratamentos, o seu perfil se contrasta aos das demais localidades. Uberaba, Lavras, Viçosa, Sete Lagoas e Presidente Olegário aparecem em ordem crescente de lâmina média de irrigação requerida ao longo dos tratamentos e ainda apresentaram um mesmo padrão ao longo dos tratamentos.

Fatores como temperatura e regime pluviométrico diferenciado podem explicar o fato de Janaúba se contrastar frente às demais localidades. Apenas para os tratamentos 29 e 41 da localidade de Presidente Olegário se ultrapassou as lâminas de irrigação de Janaúba.

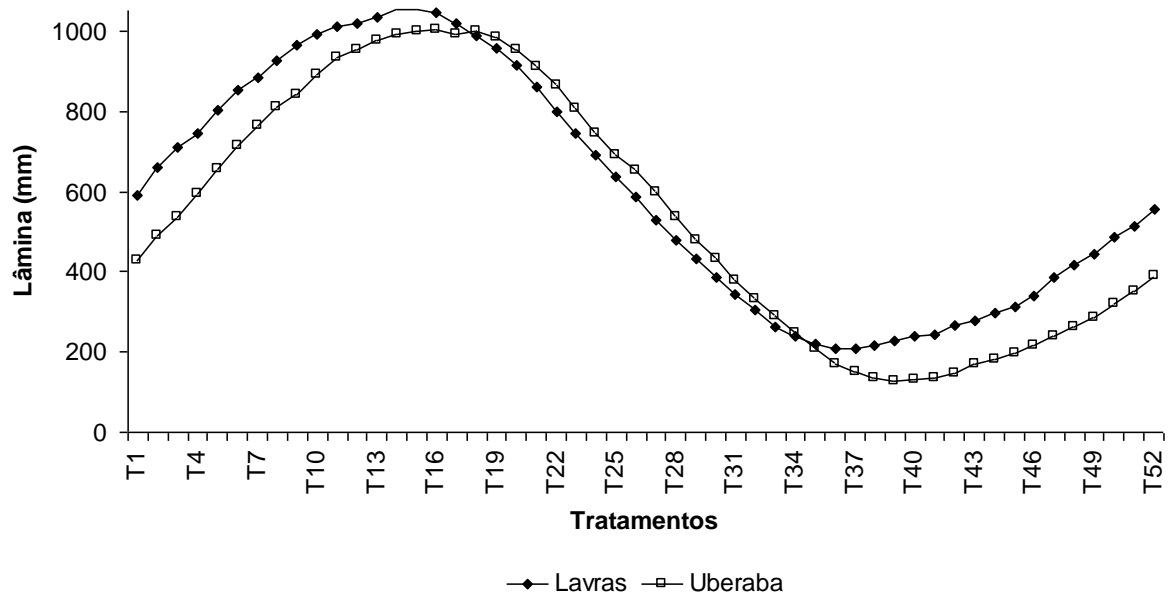
Uberaba possui lâminas médias para o ciclo da cultura abaixo de 50 mm entre os tratamentos 07 e 26, assim como Lavras entre os tratamentos 08 e 20. Um ganho de sete semanas de Uberaba em relação a Lavras na redução de aplicações e quantidade de água de irrigação. Avaliando o universo dos tratamentos 07 a 26 para as duas localidades verifica-se que Uberaba apresenta uma precipitação média relativamente inferior a Lavras até o tratamento 18. Posteriormente apresenta valores superiores, mas muito próximos a Lavras, (Figura 14).

Figura 13. Lâmina média de irrigação simulada pelo modelo Ceres-maize para as seis localidades avaliadas.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Figura 14. Precipitação média para cada tratamento durante a duração do ciclo da cultura para Lavras e Uberaba.

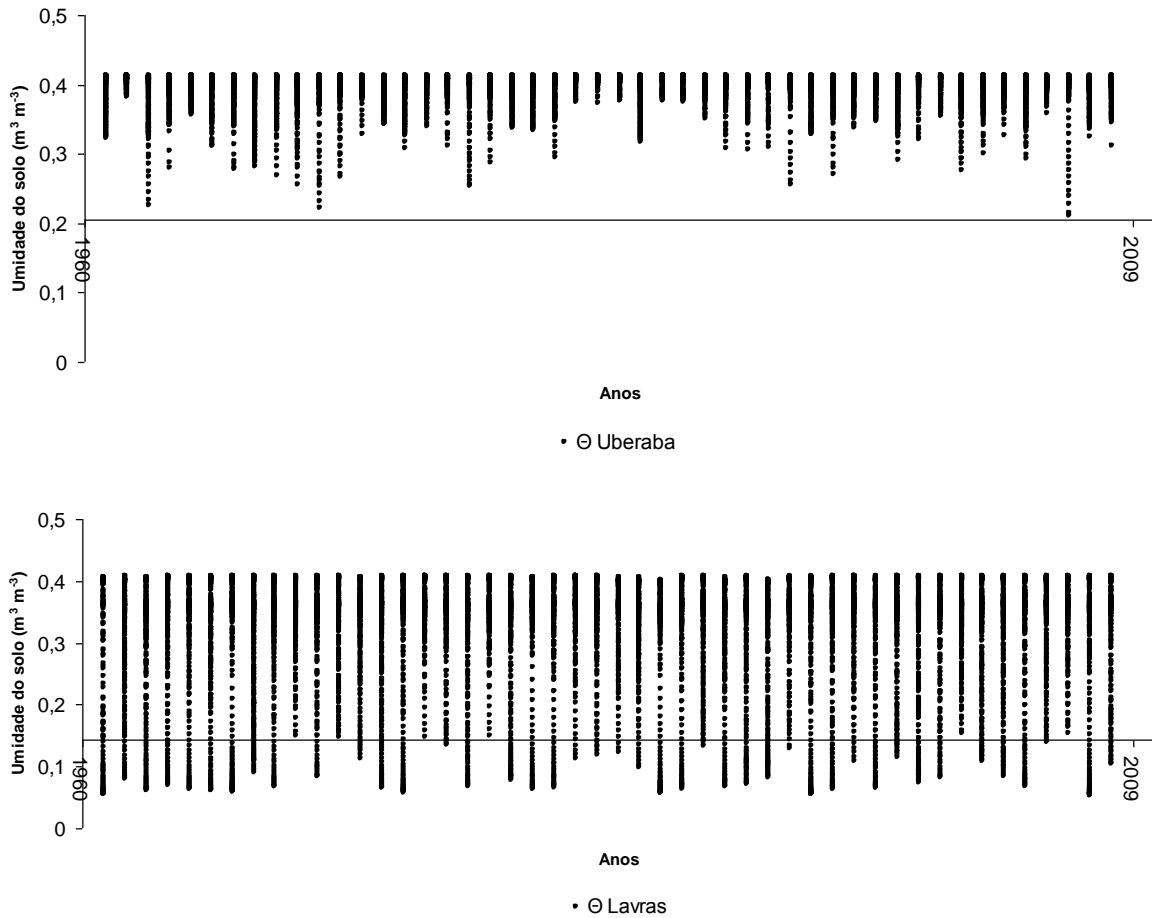


Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

O motivo para as baixas lâminas de irrigação para Uberaba em relação a Lavras pode ser explicado devido às características edáficas de maior retenção da água no solo. O modelo Ceres-Maize simulou o balanço hídrico nas cinco camadas. Tomando como referência o T-18

(28 de novembro), onde as lâminas de precipitação média foram superiores nas duas localidades, temos para Uberaba uma lâmina de precipitação de 1.002 mm e Lavras 1.045 mm para um ciclo de cultura de 122 e 133 dias, respectivamente. É exibido na Figura 15 a disponibilidade hídrica diária na profundidade de referência (5-20 cm) simulada pelo modelo em todos os anos no ciclo do T-18 em Uberaba e Lavras. Se contrastado com o valor de 50% de água disponível do solo (configuração no modelo para decisão de irrigar), representado pelo eixo da abscissa. Em Uberaba, nenhum ano apresentou restrição hídrica no solo ao ponto de se irrigar, mesmo havendo menor precipitação média em relação a Lavras. Percebe-se que em três anos, (1963, 1971 e 2006), houve um forte evento de seca no período chuvoso. Em Lavras ocorreu exatamente o oposto. A referência da metade da capacidade de campo foi ultrapassada em praticamente todos os anos, o modelo calculou baseado nos dados físicos do solo e a precipitação uma maior percolação. A necessidade de irrigação média para este tratamento em Lavras é 30 mm e Uberaba nenhuma lâmina.

Figura 15. Umidade diária (5-20 cm) durante o ciclo de semeadura no tratamento 18 para Uberaba e Lavras entre 1961 e 2008.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

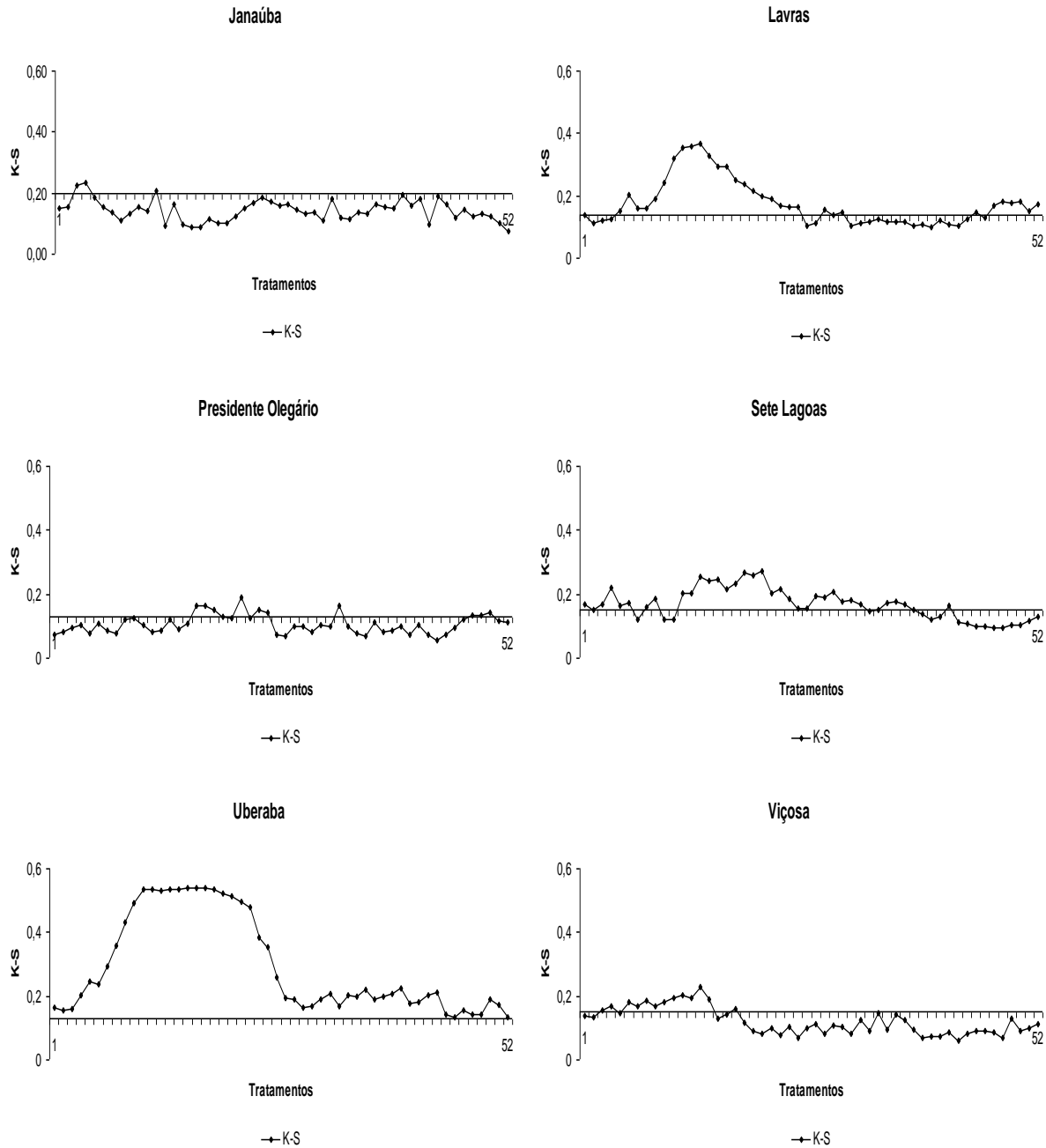
4.2.1. Análise de Aderência

A análise de aderência aplicada para todos os tratamentos de lâmina de irrigação pode ser visualizada na Figura 16. As localidades de Janaúba, Presidente Olegário e Viçosa apresentaram, predominantemente, aderência à função normal ao nível de significância de 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Em Lavras e Sete Lagoas, para a maioria dos tratamentos não houve aderência das distribuições de lâminas de irrigação à função normal. Para Uberaba não se verificou aderência para nenhum tratamento. O tratamento apresenta aderência à função normal quando este apresenta seu valor de K_s menor ou igual que o valor crítico, para 5% de probabilidade ($V_{Cr} 5\%$).

O $V_{Cr} 5\%$ para Janaúba foi de 0,2. Apenas três tratamentos (3, 4 e 12) não tiveram funções de densidade de probabilidade de lâminas de irrigação aderindo-se à função normal.

Presidente Olegário e Viçosa, apresentaram um VCr 5% de 0,13 e 0,15, além de 11 e 13 tratamentos não aderidos, respectivamente.

Figura 16. Análise de aderência para os dados de lâmina de irrigação aplicada fornecidos pelo modelo Ceres-Maize nos 52 tratamentos para as seis localidades avaliadas.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

4.2.2. Análise das Funções de Probabilidade Acumulada

As funções de densidade de probabilidade normal foram representadas em funções de probabilidade acumulada. O critério de seleção dos tratamentos segue o mesmo processo já descrito no item 4.1.3. Foram representados todos os tratamentos mesmo que não tenham aderido à função normal. A estes tratamentos não aderidos se utilizou os dados não ajustados. Para esta análise, deve-se levar em consideração que a dominância estocástica de determinado tratamento não representa um efeito benéfico, pois se desejam menores valores médios de lâmina de irrigação aplicada.

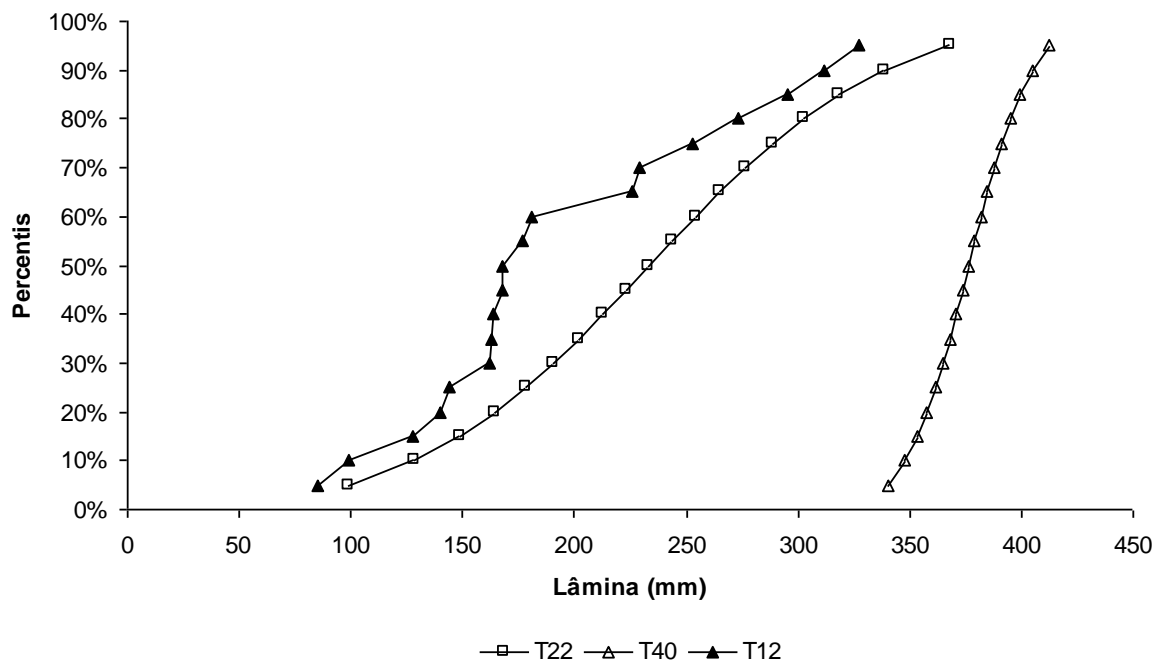
Janaúba

O T-12 (17/10), de menor lâmina de irrigação não aderiu à função normal, portanto foram utilizados os dados de entrada para esta análise, isto é, percentis obtidos diretamente dos resultados das simulações, sem estarem ajustados a uma função densidade de probabilidade. O T-40 (01/05), o primeiro a se diferir estatisticamente em produtividade média de grãos, apresentou dominância estocástica sobre o T-22 (26/12), melhor avaliado (maior produtividade média), em todos os percentis, conforme se observa na Figura 17.

Apesar de se utilizar menores lâminas de irrigação para o T-22 em relação ao T-40, a sua variação das lâminas aplicadas são maiores à medida que se eleva os percentis. Isso pode ser comprovado pela menor inclinação da curva. O T-40 apresentou uma variação de 73 mm de lâmina de irrigação aplicada entre os percentis 5 e 95%, enquanto o T-22 variou para os mesmos percentis, 269 mm.

A menor aplicação média da lâmina de irrigação, para todos os tratamentos, foi 194 mm. Há uma probabilidade de 63% e 70% de se superar esse valor para os tratamentos 12 e 22, respectivamente. O T-40 não apresentou índices abaixo de 340 mm.

Figura 17. Funções de probabilidade acumulada da lâmina de irrigação média para Janaúba.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

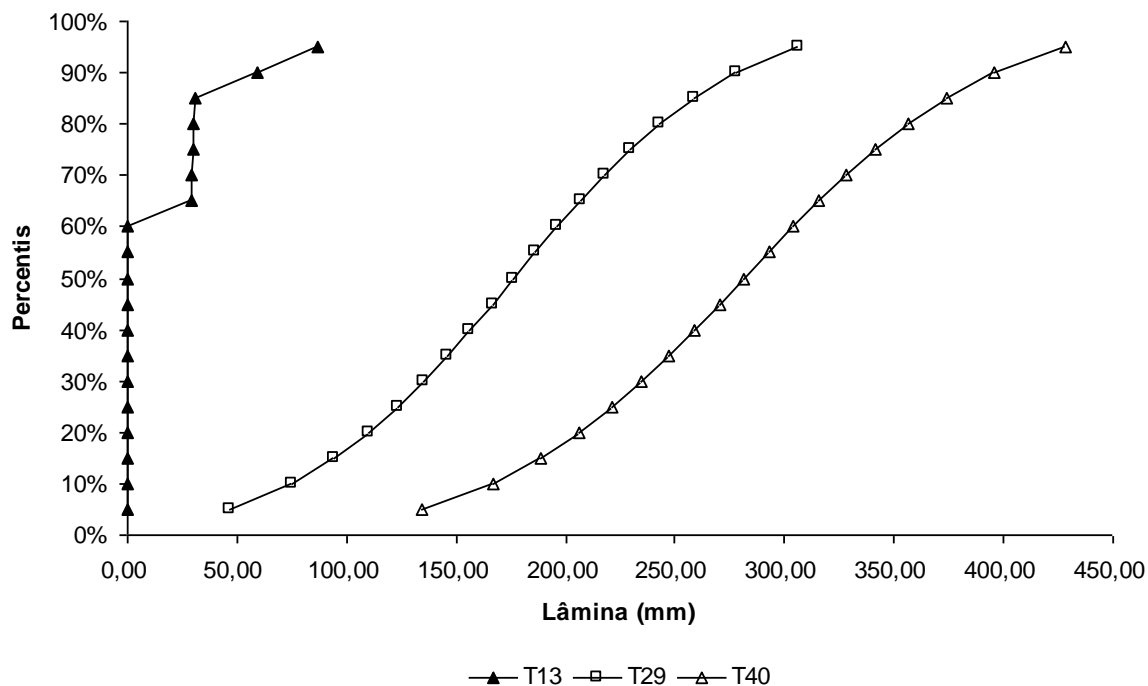
Lavras

Na Figura 18 observa-se que o T-13 (24/10), menor lâmina aplicada, apresentou até 60% de probabilidade de não se irrigar e 11% apenas para aplicação de lâminas acima de 50 mm, valor mínimo para o T-29 (13/02), melhor avaliado em produtividade média de grãos. O T-40 (01/05), primeiro a diferir estatisticamente do melhor avaliado, dominou estocasticamente todos os demais.

O T-13 não se aderiu à função normal, portanto foram utilizados os dados de entrada para o ajuste. Para os demais tratamentos foram consideradas as funções densidade de probabilidade normais ajustadas.

O T-40 apresentou ao percentil de 50% uma lâmina de 282 mm, enquanto o T-29 esse valor cai para 177 mm. O valor estimado da lâmina de irrigação no percentil inicial ao T-40 corresponde à probabilidade de 30% para o T-29.

Figura 18. Funções de probabilidade acumulada da lâmina de irrigação média para Lavras.



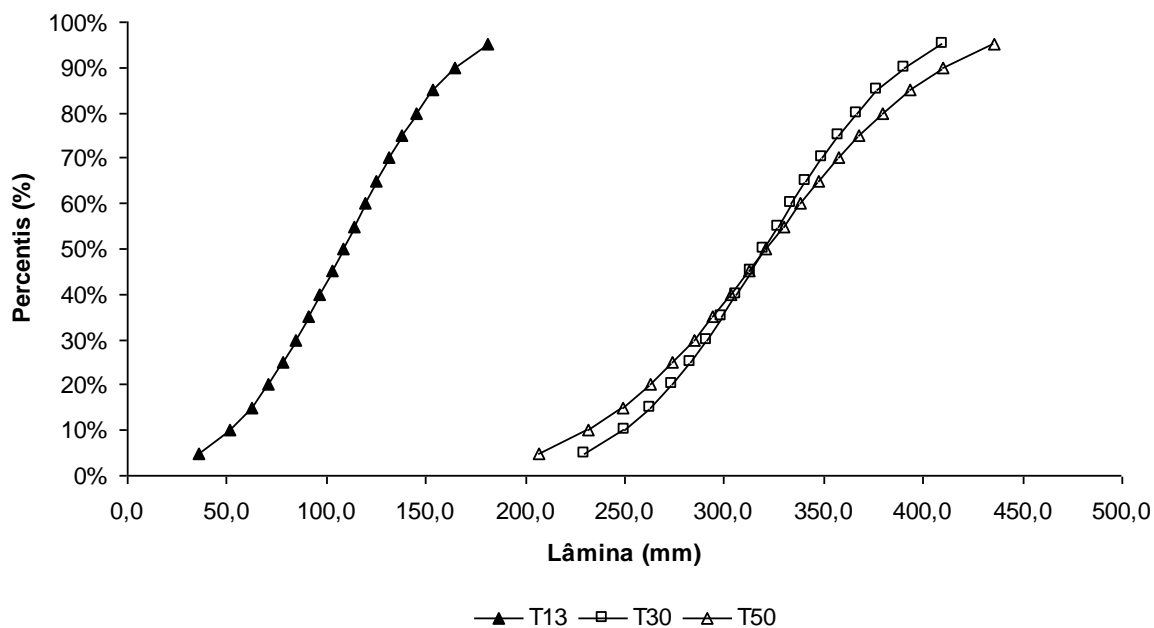
Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Presidente Olegário

O T-13 (24/10), representando o de menor lâmina de irrigação, se destacou por ser completamente dominado estocasticamente e apresentando relativa distância em relação aos demais a avaliados. Não há nenhuma probabilidade de não se utilizar irrigação neste tratamento, já que em todos os percentis verifica-se a necessidade durante o ciclo, ainda que valores pequenos. Os dois outros, T-30 (20/02) e T-50 (10/07), melhor avaliados em produtividade de grãos e seu primeiro equivalente a se a se diferenciar estatisticamente, respectivamente, se sobrepuseram. O T-50 foi dominado pelo T-30 até o percentil 47 e assim em diante a ordem se inverteu, conforme se observa na Figura 19.

Nenhum dos dois tratamentos selecionados pelo critério de produtividade de grãos obteve probabilidades de aplicação de lâmina de irrigação ao valor de 108 mm, valor mínimo médio apresentado para a localidade de Presidente Olegário.

Figura 19. Funções de probabilidade acumulada da lâmina de irrigação média para Presidente Olegário.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Sete Lagoas

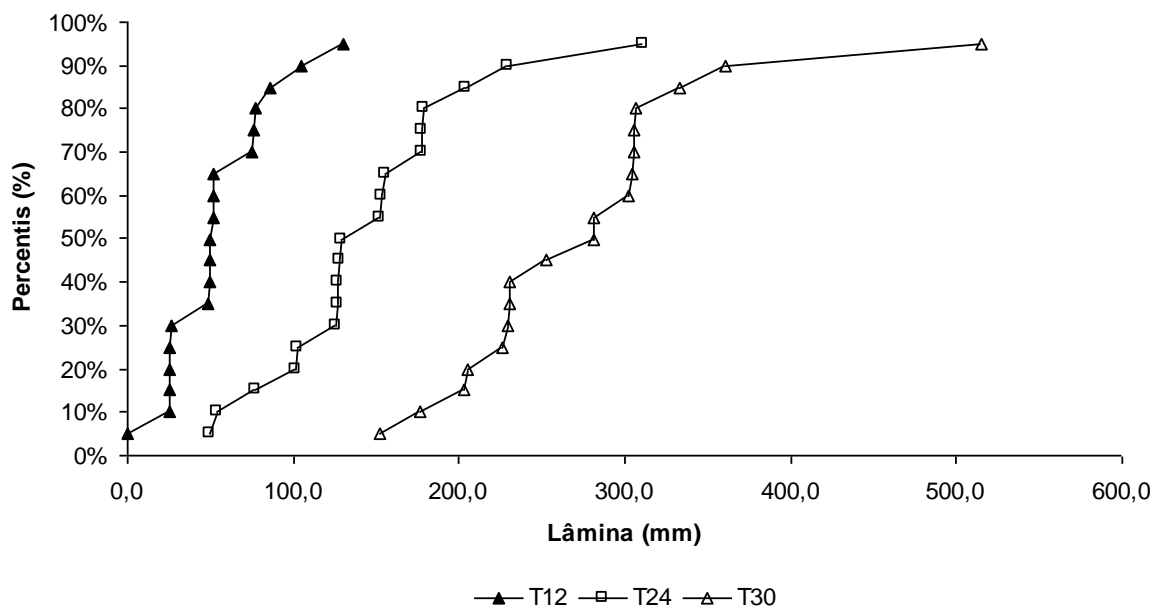
Nenhum dos tratamentos selecionados para análise aderiu à função normal. Todos os dados representados na Figura 20 não foram ajustados a função normal.

O T-30 (20/02), melhor avaliado em produtividade média de grãos, dominou estocasticamente os demais, enquanto o T-24 (09/01), o primeiro a diferir estatisticamente do melhor avaliado, se apresentou em uma dominância intermediária, sendo superior apenas ao T-12 (17/10), onde se aplicou a menor lâmina média de irrigação.

Apesar de pequena a probabilidade de não se irrigar (5%) para o T-12, seus valores permaneceram em patamares baixos, havendo apenas 13% de probabilidade de se irrigar acima de 100 mm durante todo o ciclo da cultura.

Tomando como referência o percentil de 50%, o T-30 apresenta uma lâmina de 281 mm, valor que cai drasticamente para 129 mm em seu tratamento seguidamente dominado, finalizando com 50 mm para o T-12.

Figura 20. Funções de probabilidade acumulada da lâmina de irrigação média para Sete Lagoas.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Uberaba

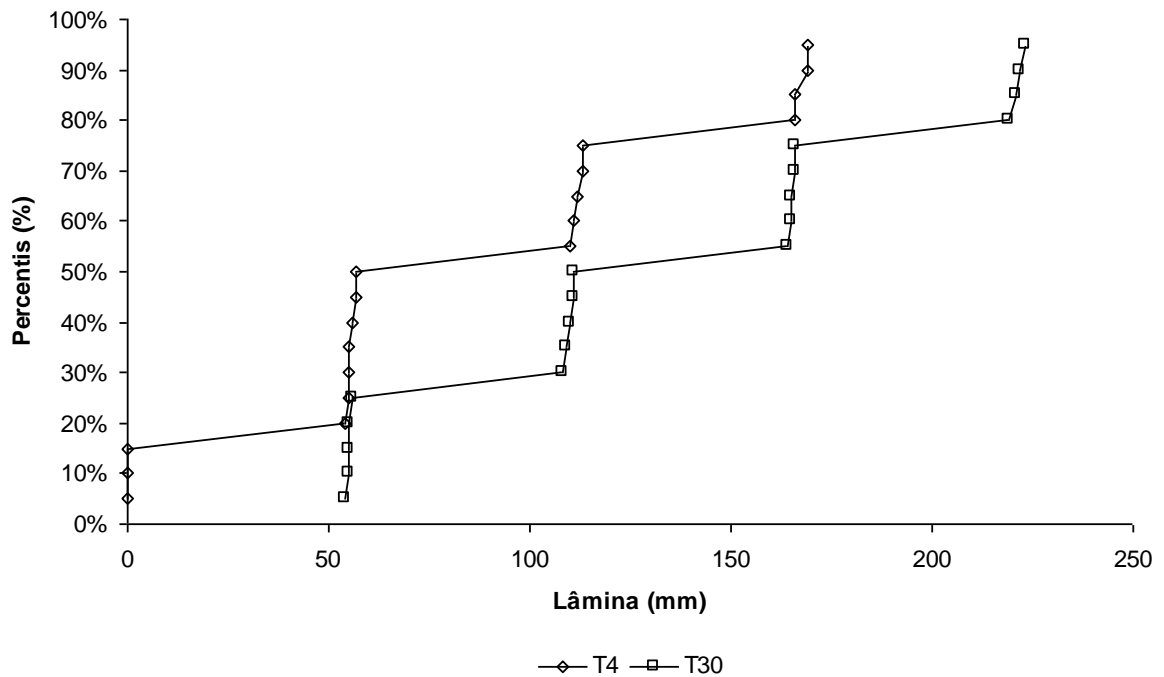
Conforme observado na Figura 21, o T-16 (14/11), menor lâmina aplicada, foi suprimido por não apresentar nenhuma lâmina de irrigação para nenhum dos percentis. O T-30 (20/02), melhor produtividade média de grãos, dominou estocasticamente o T-4 (22/08), o primeiro a diferir estatisticamente do melhor avaliado.

Nenhum dos tratamentos representados aderiu à função normal, portanto não foram utilizados os dados ajustados a esta função. Os valores foram representados pelos dados de entrada para o ajuste (percentis obtidos diretamente dos resultados das simulações, sem estarem ajustados a numa função densidade de probabilidade).

Para o T-4 há uma pequena possibilidade de não ocorrer algum tipo de irrigação durante o ciclo da cultura, uma probabilidade de 15%. Já para o T-30, houve a presença da irrigação para todos os percentis. Os valores de lâmina de irrigação para o percentil 50% foram de 57 e 111 mm para os tratamentos 4 e 30.

O aspecto de escada da curva sugere que as precipitações na localidade de Uberaba ocorrem de forma concentrada em determinados períodos.

Figura 21. Funções de probabilidade acumulada da lâmina de irrigação média para Uberaba



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Viçosa

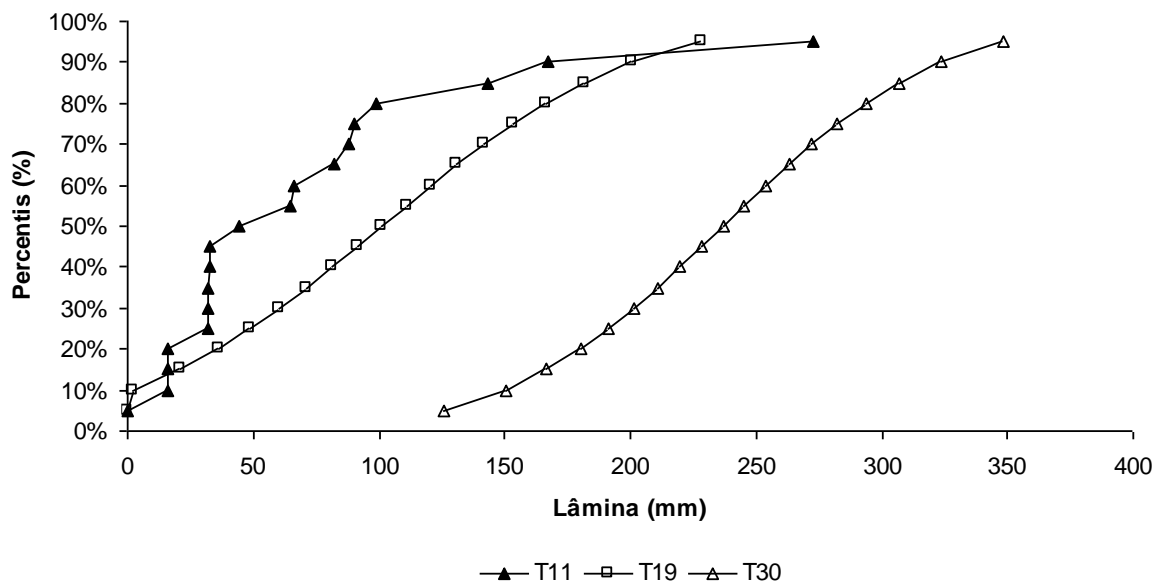
O T-11 (10/10), referente à menor lâmina média irrigada, foi apresentado com os dados não ajustados à função normal por não apresentar aderência a esta função.

Os demais, T-19 (05/12) e T-30 (20/02), representam o primeiro a se diferenciar estatisticamente para produtividade média de grãos e o melhor avaliado neste quesito respectivamente. Tanto o T-11, quanto o T-19 apresentaram a pequena probabilidade de 5% de não se irrigar a cultura durante seu ciclo. Nota-se que o T-11 dominou estocasticamente o T-19 até o nível de 13%. O tratamento 30 dominou estocasticamente ambos e diferentemente não possui a possibilidade de se cultivar sem a utilização de irrigação, conforme se observa na Figura 22.

Os três tratamentos apresentaram uma grande variação ao longo dos percentis, sendo 273 mm para o T-11, 229 mm para o T-19 e 222 mm para o T-30.

Há pelo menos 35% de probabilidade de se utilizar uma quantidade de, pelo menos, 71 mm, referente a menor média mínima de lâmina de irrigação para o T-19. Esta probabilidade aumenta para 63% quando referimos ao T-11. O T-30 não apresentou valores que atingissem esse valor.

Figura 22. Funções de probabilidade acumulada da lâmina de irrigação média para Viçosa.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

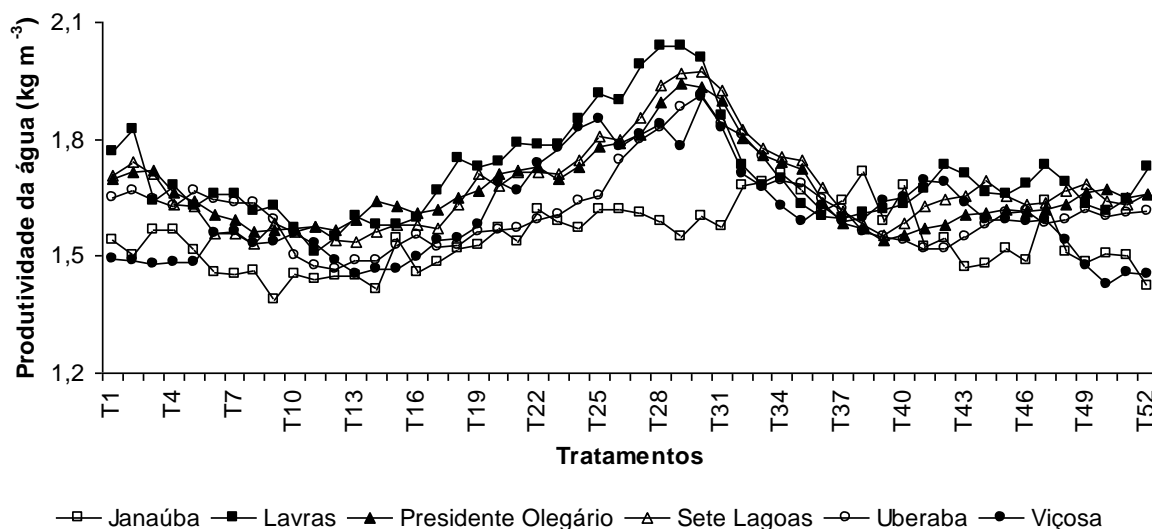
4.3. Produtividade da Água

4.3.1. Produtividade Global da Água

Na Figura 23 se exhibe o perfil da produtividade global da água para as seis localidades para os 52 tratamentos propostos. Nota-se que há pouca variação entre as curvas, exceto os desvios inferiores para os tratamentos 26 ao 31 de Janaúba em relação aos demais locais. Os valores superiores das demais localidades em relação à Janaúba se referem aos tratamentos com as maiores médias de produtividades de grãos. A outra variável que compõe o cálculo, a evapotranspiração da cultura, não apresentou distorções para mesmos tratamentos entre as localidades. Logo a produtividade de grãos foi o fator dominante na oscilação dos valores. A variação da produtividade global da água alcançou o valor mínimo de $1,4 \text{ kg m}^{-3}$ para Janaúba sob o tratamento 9 e o valor máximo em Lavras, durante o tratamento 29, atingindo a cifra de $2,0 \text{ kg m}^{-3}$. Grassini et al. (2011) observaram que a produtividade da água para uma cultura de milho híbrido simples em rotação com a soja, conduzida sob irrigação em pivô central e simulada para 18 locais sob o cinturão do milho nos Estados Unidos, apresentou uma média de $3,5 \text{ kg m}^{-3}$ quando sem revolvimento do solo e $2,8 \text{ kg m}^{-3}$ quando utilizado arado de disco. Em condições brasileiras, Andrade et al. (2006) afirmaram que a produtividade de água para a cultivar BRS 2030, semeada na última semana de março, em condução no campo para Sete

Lagoas e sob condições satisfatórias de irrigação apresentou um índice de $1,65 \text{ kg m}^{-3}$. A análise da produtividade da água de forma segmentada, entre irrigação e precipitação, permitirá observar as particularidades climáticas e de desenvolvimento da cultura para cada local.

Figura 23. Comparativo da produtividade de água global entre os 52 tratamentos para as seis localidades.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

4.3.2. Produtividade da Água – Irrigação

A produtividade de água de irrigação evidenciada para as seis localidades segue a lógica de apresentar maiores índices em tratamentos onde o plantio e período de desenvolvimento da cultura ocorre no período chuvoso e os índices menores naqueles tratamentos representados pelo período de seca, conforme se pode observar na Tabela 21.

Numa visão geral há uma clara divisão destas duas fases: período de seca com uso maior da prática da irrigação e o período chuvoso. A exceção ocorre em Janaúba, onde a variação entre o tratamento de valor médio superior e inferior foi de apenas $2,7 \text{ kg m}^{-3}$. O clima mais árido da localidade e seu regime pluviométrico irregular explicam a reduzida variação de valores ao longo do ano. As demais localidades se encaixam no perfil de segregação de duas fases bem definidas, com variações mais expressivas em localidades como Lavras, Viçosa, Sete Lagoas e Uberaba e com menor expressão em Presidente Olegário para os valores máximos e mínimos de produtividade da água por irrigação. A maior variação média ocorreu em Lavras, alcançando $18,5 \text{ kg m}^{-3}$ (Tabela 21).

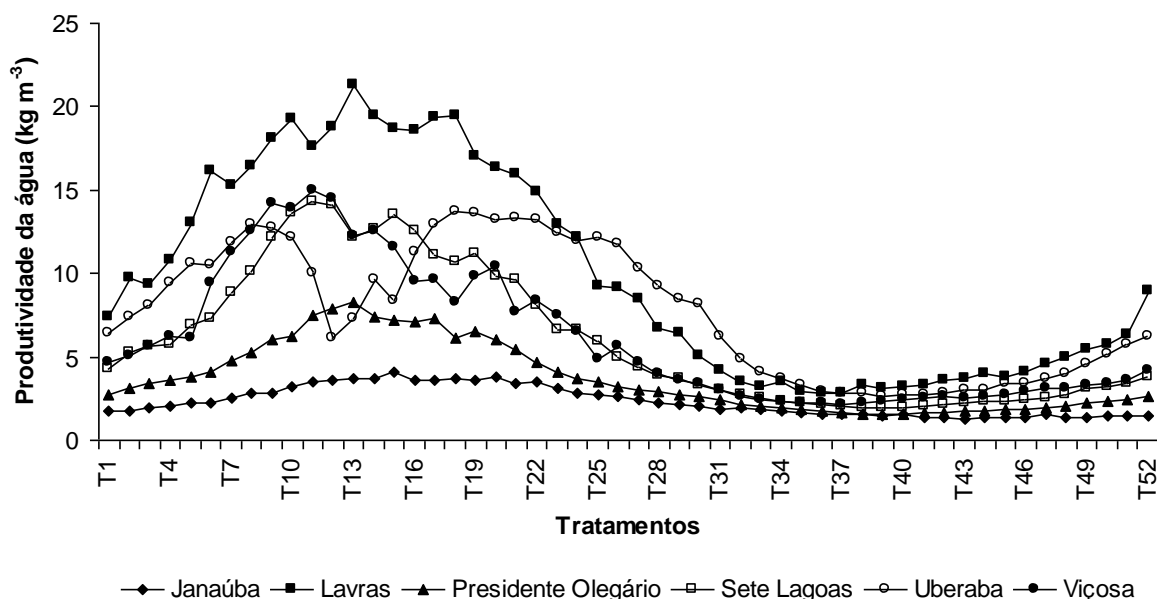
Tabela 21. Valores máximos e mínimos por localidade da produtividade de água da irrigação e seus respectivos tratamentos.

Localidade	Tratamento	Produtividade da Água Irrigação (kg m ⁻³)
Janaúba	T-13	4,1
	T-43	1,3
Lavras	T-13	21,3
	T-37	2,8
Presidente Olegário	T-13	8,3
	T-38	1,6
Sete Lagoas	T-11	14,3
	T-39	1,9
Uberaba	T-18	13,7
	T-39	2,6
Viçosa	T-11	15,0
	T-37	2,2

As localidades de Uberaba e Sete Lagoas apresentaram uma redução no valor de produtividade de água de irrigação em pleno período chuvoso, conforme Figura 24, mais pronunciada na primeira localidade. Entre os tratamentos 11 e 15 para Uberaba houve um abrupto decréscimo, atingindo-se o menor valor médio de 6,1 kg m⁻³ para o tratamento 12, valores estes semelhantes aos tratamentos conduzidos no período de seca. A queda da produtividade média de água por irrigação em Sete Lagoas foi pontual e menos agressiva, para os tratamentos 13 e 14. O período de plantio de incidência do fenômeno de ambas as localidades ocorrem entre 10 de outubro e 07 de novembro.

Utilizando o modelo Ceres-Maize, Andrade et al. (2009) evidenciaram uma relativa queda na produtividade média de milho sequeiro para a região de Sete Lagoas em plantio na segunda quinzena de outubro. A quebra foi decorrente de veranicos verificados na região. Ocorre uma janela de ausência de precipitação em meio ao período chuvoso. O veranico, portanto, pode explicar as reduções de produtividade de água de irrigação para Uberaba e Sete Lagoas, visto que se exige um montante maior de lâmina de irrigação para condução da cultura.

Figura 24. Comparativo da produtividade de água de irrigação entre os 52 tratamentos para as seis localidades.

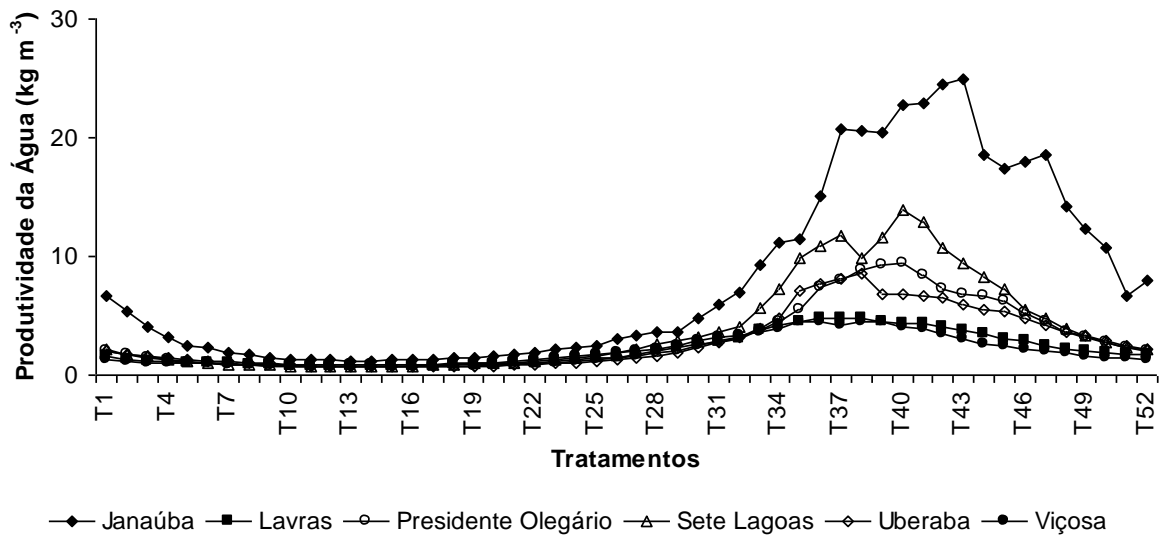


Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

4.3.3. Produtividade da Água – Precipitação

A produtividade de água média da precipitação evidencia Janaúba como o local onde os valores se mostraram superiores em relação às demais localidades. O pico ocorreu no tratamento 43, alcançando um valor de $24,9 \text{ kg m}^{-3}$. Pelo menos 17 tratamentos (T-34 a T-50) em Janaúba obtiveram a produtividade média da água de precipitação em patamares acima de 10 kg m^{-3} . Considerando o mesmo patamar, a localidade de Sete Lagoas apresentou 7 tratamentos consecutivos (T-35 a T-42). Estes valores extremos são consequência do clima mais árido e, ou de precipitações irregulares, onde a estação seca se prolonga em relação às demais localidades. Presidente Olegário e Uberaba também se destacaram com índices de produtividade média da água de precipitação elevados, em patamares entre 5 e 10 kg m^{-3} . A primeira localidade apresentou 12 tratamentos (T-35 a T-43) nesta situação, enquanto a segunda localidade 11 tratamentos (T-35 a T-45). Lavras e Viçosa não apresentaram índices elevados, sendo que nenhum dos tratamentos ultrapassou 5 kg m^{-3} . Este resultado demonstra haver um regime pluviométrico menos irregular e mais prolongado em relação às demais localidades (Figura 25).

Figura 25. Comparativo da produtividade de água de precipitação entre os 52 tratamentos para as seis localidades.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

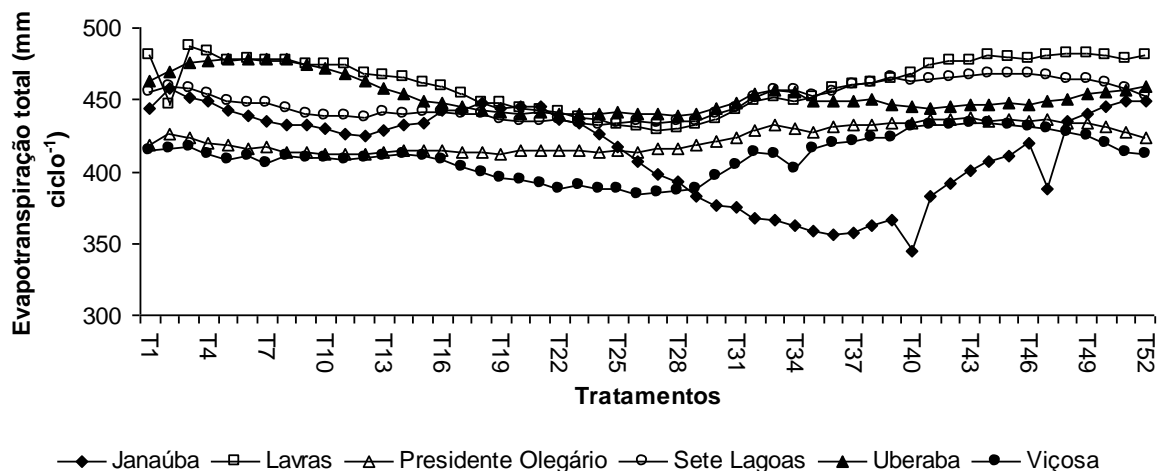
4.4. Evapotranspiração Total

A evapotranspiração total em todas as localidades variou entre 344 mm ciclo⁻¹ para o T-40 na localidade de Janaúba até o valor superior de 486 mm ciclo⁻¹ em Lavras durante o T-2.

A Figura 26 mostra que durante os tratamentos 29 a 48 há um significativo decréscimo na evapotranspiração sazonal para Janaúba, enquanto as demais localidades permanecem a patamares acima de 400 mm ciclo⁻¹. Em Lavras, a evapotranspiração total permaneceu para a grande parte dos tratamentos superior as demais localidades, onde o valor mínimo encontrado foi 429 mm ciclo⁻¹ para o T-29, valor próximo ao índice máximo de Janaúba.

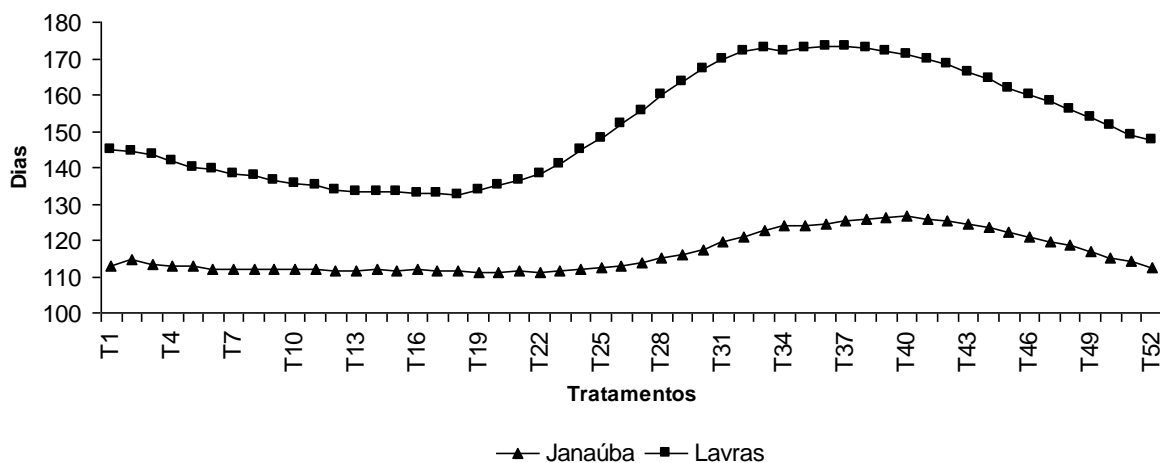
Esta diferença pode ser esclarecida pelo tempo que a cultura permaneceu no campo. A Figura 27 mostra a duração do ciclo da cultura para Janaúba e Lavras. A duração do ciclo em Lavras apresenta larga superioridade em relação à Janaúba. A planta permanece mais tempo no campo, logo sua evapotranspiração total será superior àquela que se desenvolve em tempo menor.

Figura 26. Evapotranspiração total para as seis localidades durante os 52 tratamentos.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Figura 27. Duração do ciclo para as localidades de Janaúba e Lavras durante os 52 tratamentos.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

4.5. Radiação Solar por Período

Os extremos máximos e mínimos diários de radiação solar média global foram verificados, respectivamente, para Uberaba e Viçosa. Pela latitude, Janaúba deveria apresentar maior radiação no período entre os tratamentos 35 e 47. Este período representou as menores radiações mínimas para a localidade, deslocada temporalmente das demais.

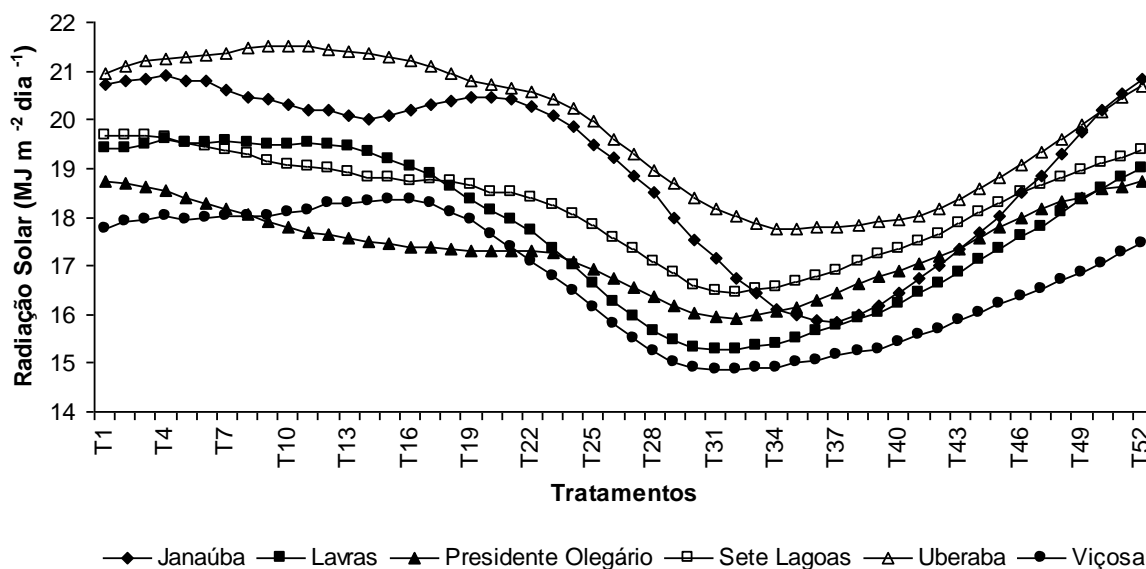
Pertenceu a Uberaba os maiores índices de radiação durante todos os tratamentos. Esta posição não esperada para a localidade requer algumas considerações. Os dados de clima de Uberaba foram os únicos sem falhas; todas as outras localidades tiveram seus anos falhos

retirados. A ausência de alguns anos onde a radiação pode ter sido superior em relação a outros anos pode ter influenciado em sua posição superior. Uma segunda consideração se relaciona a topografia da região, plana, sem qualquer impedimento da incidência de radiação do nascer ao pôr-do-sol. Bert et al. (2007) avaliou a sensibilidade do modelo Ceres-Maize na predição de produtividade aos dados de radiação inseridos, apesar do modelo mitigar grandes erros de radiação inseridos, há uma variação na qualidade dos dados de saída obtidos que pode influenciar negativamente na tomada de decisão.

Presidente Olegário e Sete Lagoas apresentaram um perfil de radiação média semelhante ao longo dos tratamentos, refletindo uma pequena variação, na ordem de $3,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ entre o valor máximo e mínimo. Para as duas localidades os tratamentos 52, 01 e 02 foram os que mais receberam radiação ao longo do ciclo.

Lavras e Viçosa além de apresentarem o mesmo perfil de radiação média para os mesmos tratamentos (há uma ligeira superioridade nos valores para Lavras) são as localidades onde os menores índices médios de radiação foram encontrados para alguns tratamentos. A latitude e maior nebulosidade podem explicar os dados gerados pelo modelo (Figura 28).

Figura 28. Comparativo da radiação solar média durante o ciclo da cultura do milho nos 52 tratamentos das 6 localidades.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

A radiação solar média incidente na cultura do milho reflete diretamente na duração do seu ciclo. O ciclo do híbrido DKB 390 é precoce, segundo o fabricante (Dekalb, 2014). Em

condições irrigadas, para uma cultivar precoce na região Sudeste, a Tabela 22 descreve o perfil médio da duração do ciclo de acordo com a época de plantio. Porém, o Ministério da Agricultura e Abastecimento designou uma nova classificação de ciclo para fins de simulação. Para esta classificação o perfil do híbrido DKB 390 se encaixa no Grupo II com média entre 110 e 145 dias (Cruz et al, 2014).

Tabela 22. Duração média do ciclo do milho precoce irrigado de acordo com o mês de plantio para a região Sudeste do Brasil.

Período de Plantio	Duração (número de dias)
Janeiro-Fevereiro	105
Março/Abril	120
Maio/Junho	130
Julho	120
Agosto	110
Setembro/Outubro	100
Novembro Dezembro	100

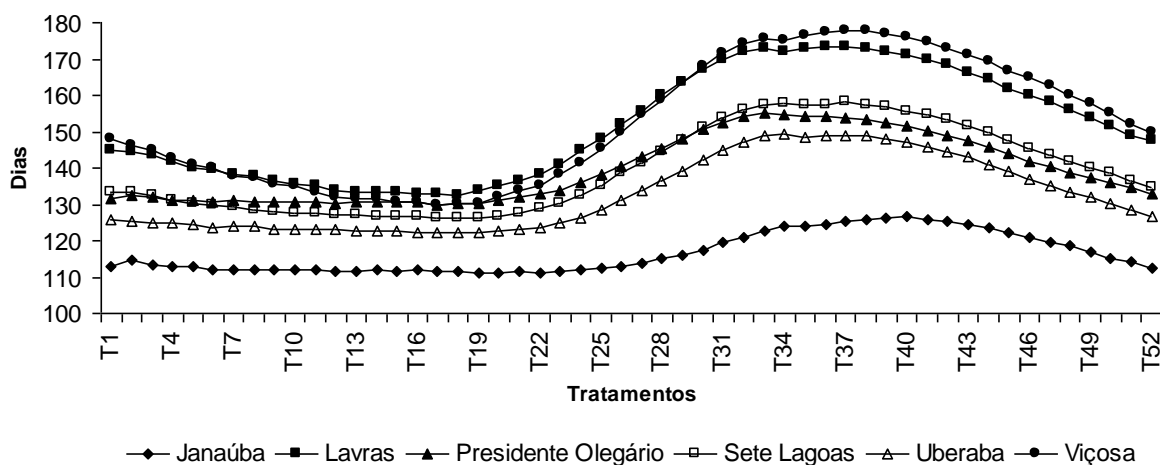
Adaptado (Cruz et al., 2014)

O modelo Ceres-Maize, portanto, superestimou para todas as localidades a duração do ciclo de cultivo do DKB 390 em relação ao período médio de duração do ciclo de uma cultivar precoce no sistema irrigado para região Sudeste. Diversas ações podem mitigar essa distorção, como avanço nas pesquisas de calibrações de coeficientes genéticos para a cultivar em regiões diversas do Estado de Minas Gerais; uso de dados climáticos com maior número de informações possíveis e reduzido número de falhas; e verificações de adequações nos códigos de programação do modelo.

Conforme o esperado, a duração do ciclo da cultura apresentou dois períodos bem distintos ao longo do ano, sendo os tratamentos 28 ao 51 para todas as localidades os mais longos no campo, exceto Janaúba. O efeito da latitude se fez presente, em que cidades mais ao sul, como Lavras e Viçosa, apresentaram maiores ciclos em todos os tratamentos. Janaúba, a cidade mais ao norte avaliada, apresentou as menores médias de número de dias do ciclo de cultivo, além de evidenciar uma variação muito pequena de dias entre o máximo e mínimo, de apenas 15 dias.

Presidente Olegário, Sete Lagoas e Uberaba encontram-se de forma intermediária, tanto nas variações entre o número de dias dos ciclos mais longos e curtos, além da quantidade média de dias do ciclo para cada tratamento (Figura 29).

Figura 29. Comparativo da duração do ciclo em dias para os 52 tratamentos nas 6 localidades.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

A radiação solar é um dos parâmetros de extrema importância para o desenvolvimento da cultura do milho. Sua redução inibe o processo fotossintético e impede que a planta expresse o seu máximo potencial produtivo. Grande parte da matéria seca do milho, cerca de 90%, provém da fixação de CO₂ pelo processo fotossintético (Mundstock¹, 1995 citado por Guarnieri, 2006).

A partição da incidência da radiação solar média em três fases nos permite avaliar de forma mais específica a influência desta variável na produtividade da cultura. A Figura 30 revela a correlação da produtividade e radiação solar média de cada fase em cada ano considerado na simulação.

Em todas as localidades houve forte correlação positiva entre a radiação solar média na Fase 2, referente à antese das planta, e a produtividade de grãos. Os coeficientes de correlação nesta fase foram bem superiores ao das outras duas. Para Janaúba os valores se mantiveram acima de 0,5 com exceção para o ano de 1996. Para Lavras, Presidente Olegário e Sete Lagoas também se obteve, majoritariamente, coeficientes de correlação acima de 0,5. Porém, um número maior de anos apresentou patamares menores que este índice se comparado a Janaúba. Apesar de ainda superior às fases 1 e 3, para Viçosa e Uberaba o

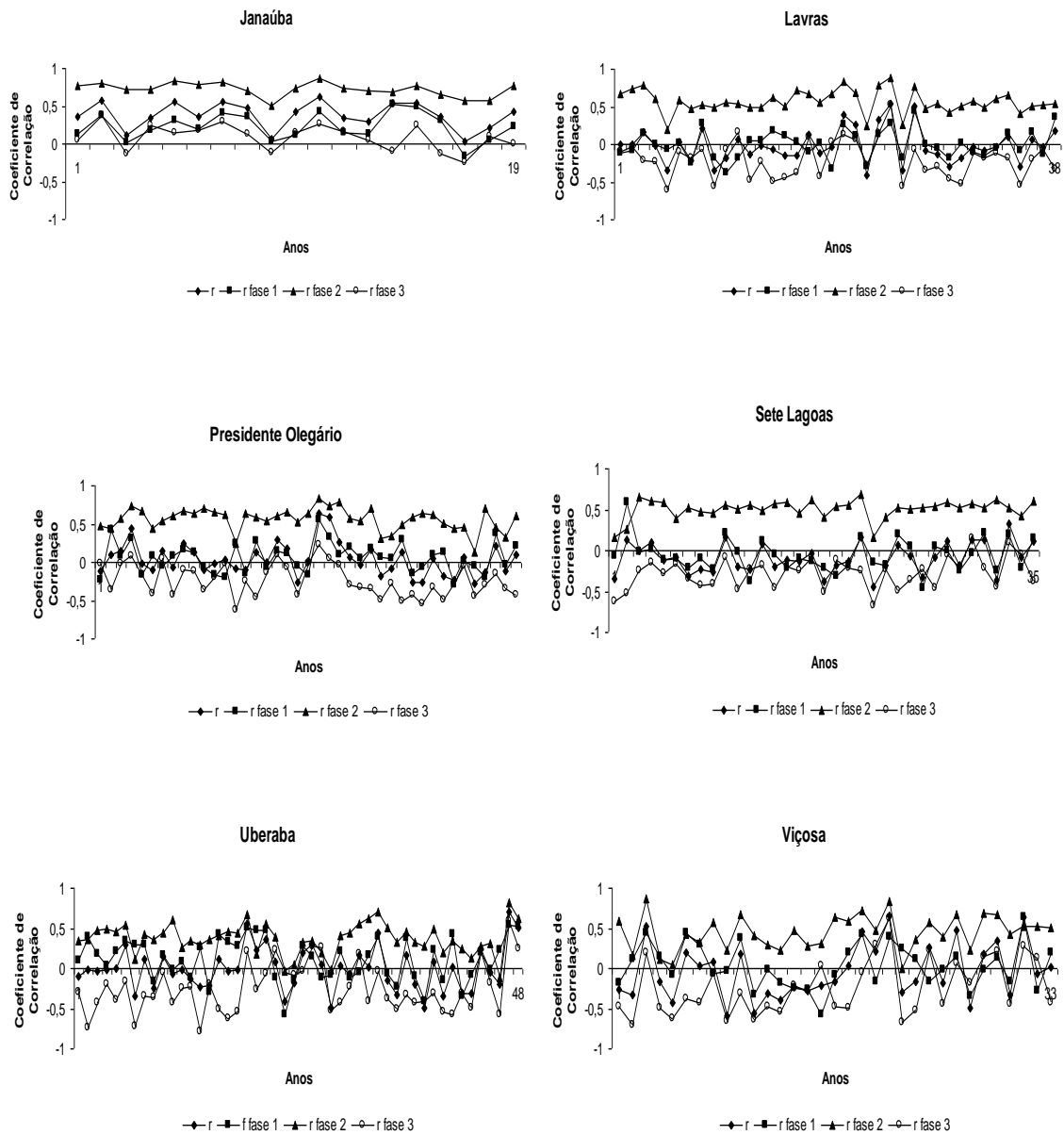
¹MUNDSTOCK, C. M. Aspectos fisiológicos da tolerância do milho ao frio. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 3., 1995, Assis. Resumos... Campinas: Instituto Agrônomo, 1995. p.45-48.

coeficiente de correlação da Fase 2 apresentou valores menores e em alguns casos chegou próximo a zero.

Para Magalhães; Durães (2006), a fase da antese é altamente influenciada pelas condições ambientais, visto que a liberação e viabilidade de um grão de pólen são efêmeras. O autor cita a umidade relativa do ar como principal fator atuante na fertilização dos óvulos. Estudos posteriores da fisiologia do milho podem vislumbrar a influência direta da radiação na antese.

A Fase 3, considerado o período reprodutivo do milho, apresentou coeficientes de correlação extremamente baixos em relação à produtividade dos grãos. Em grande parte dos anos seus índices permaneceram negativos. Apenas em Janaúba ocorreu, para esta fase, mais índices positivos.

Figura 30. Correlação entre produtividade de grãos e radiação solar média (ano) referente a todo ciclo e às três fases de desenvolvimento ao longo de cada ano por localidade.

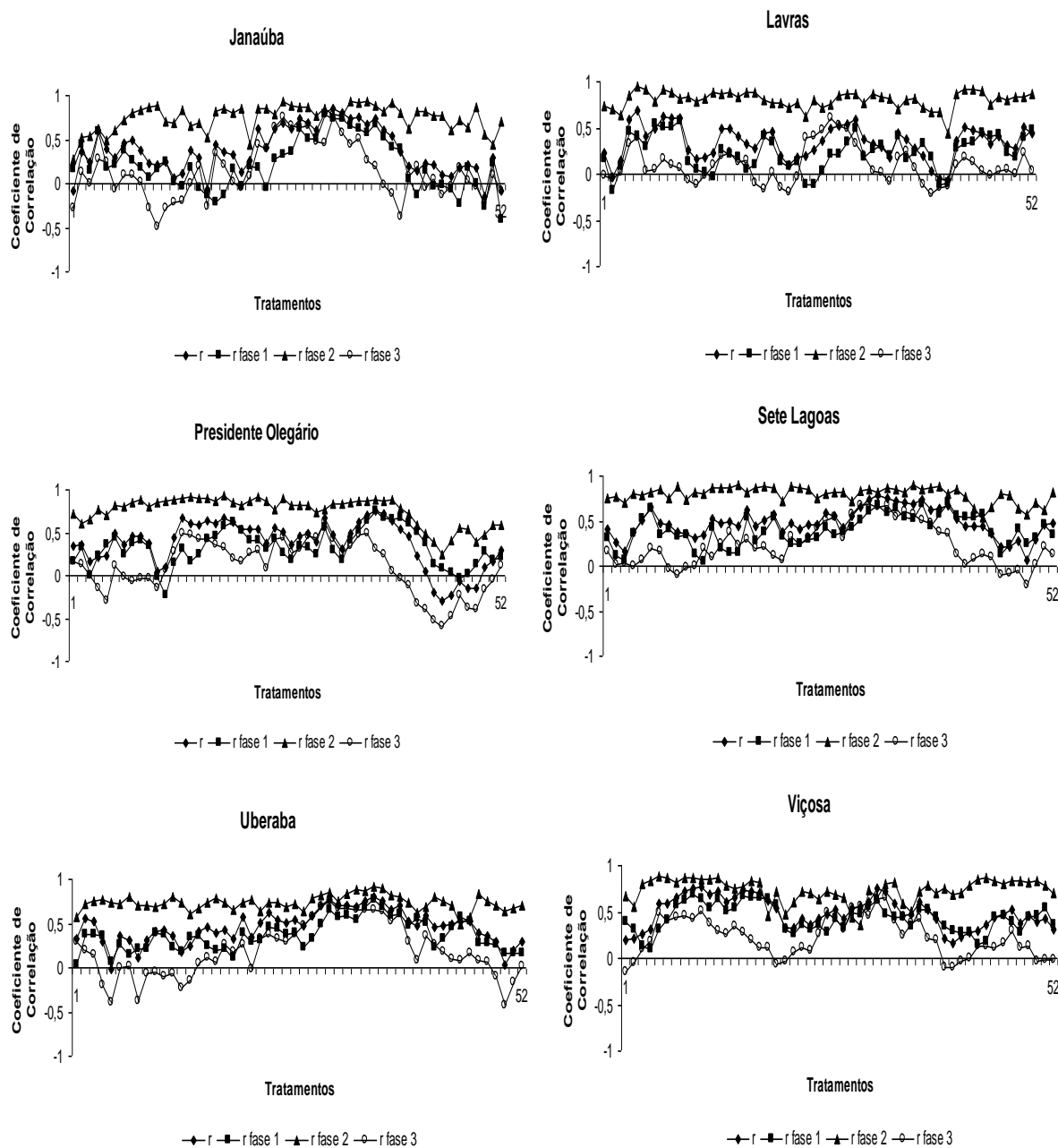


Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Quando se correlaciona a produtividade da cultura e a radiação solar média fracionada em três fases, porém utilizando como matriz da correlação as radiações médias contidas em cada tratamento, verifica-se que ainda a Fase 2 possui um fator de correlação superior e dominante em relação às demais. Na quase totalidade dos tratamentos para todas as

localidades o índice permeou valores entre 0,5 e 1,0. A Fase 3 apresentou um padrão de sazonalidade para Janaúba, Sete Lagoas e Uberaba. Plantios entre a primeira quinzena de janeiro e fim de abril apresentaram média a forte correlação entre a radiação média diária na Fase 3 e a produtividade da cultura. Nas demais datas de plantio o coeficiente de correlação apresentou baixos índices entre valores positivos e negativos próximos de zero (Figura 31).

Figura 31. Correlação entre produtividade de grãos e radiação solar média (tratamento) referente a todo ciclo e às três fases de desenvolvimento ao longo de cada ano por localidade.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

4.6. Análise Financeira

4.6.1. Análise de Sensibilidade

A seleção dos tratamentos para a análise de sensibilidade para cada localidade usou o mesmo critério descrito no item 4.1.3. (Um tratamento representado pela melhor produtividade média do milho e outro sendo o primeiro tratamento que diferiu estatisticamente ao de melhor desempenho e o terceiro tratamento considerado foi aquele em que o modelo calculou a menor lâmina média de irrigação). A Tabela 23 exhibe para cada tratamento selecionado a variação necessária para que a receita líquida seja nula. Nesta tabela não se apresenta sensibilidade em relação ao preço de venda, já que é idêntica à verificada para produtividade da cultura.

Janaúba apresentou alta sensibilidade em todos os tratamentos. Para produtividade, todas as porcentagens de quebra são plausíveis de ocorrer ao mínimo de estresse da cultura, seja biótico ou abiótico. Para Viçosa, os tratamentos 19 e 11, possuem também alta sensibilidade a variação de produtividade. Lavras exhibe uma posição confortável em relação às variações de queda de produtividade, já que os três tratamentos precisam de significativas perdas para que a atividade não seja lucrativa. Podemos afirmar que o tratamento com a melhor média de produtividade simulada pelo modelo possui baixa sensibilidade a fatores de quebra de safra para todas as localidades, exceto Janaúba. Já para o tratamento primeiro a diferir estatisticamente do melhor avaliado quanto à produtividade, apenas as localidades de Lavras, Sete Lagoas e Uberaba apresentaram valores relevantes que asseguram o lucro sob a redução da produtividade. O tratamento com menor lâmina de aplicação só demonstra uma baixa sensibilidade à oscilação da produtividade para Lavras.

Considerando que o custo variável inserido no custo total tem como maior fator de impacto os valores dos insumos, a variação destes acarretará elevado impacto na viabilidade da atividade. Um levantamento realizado destes custos durante o período de 2009 a 2013, corrigidos monetariamente na Fazenda do Riacho, município de Matozinhos, Minas Gerais, resultou um aumento em torno de 2,5% durante o período de cinco anos. A indexação destes valores também ocorre para a prestação de serviços de manutenção e tarifas de energia elétrica. Diante deste panorama é razoável afirmar que os tratamentos 40 e 12 em Janaúba e 19 e 11 em Viçosa, possuem alta sensibilidade a oscilação do custo total, portanto alto risco de prejuízo financeiro.

Tabela 23. Variação necessária para que a produtividade ou custo total resulte em retorno zero nos três tratamentos pré-selecionados de cada localidade.

Localidade	Tratamento	Variação (%)	
		Produtividade	Custo Total
Janaúba	T-22	-14,8	17,4
	T-40	-7,2	6,4
	T-12	-3,6	3,8
Lavras	T-29	-33,0	49,2
	T-40	-20,5	25,8
	T-13	-23,6	30,8
Presidente Olegário	T-30	-24,7	32,8
	T-50	-15,1	17,8
	T-13	-11,5	13,0
Sete Lagoas	T-30	-30,2	40,3
	T-24	-22,4	22,8
	T-12	-14,4	16,9
Uberaba	T-30	-31,2	45,3
	T-4	-25,6	34,6
	T-16	-18,4	22,5
Viçosa	T-30	-20,8	26,3
	T-19	-7,2	7,7
	T-11	-7,9	7,6

4.6.2. Simulação de Risco

A seleção dos tratamentos para a análise de sensibilidade para cada localidade usou o mesmo critério descrito no item 4.1.3.

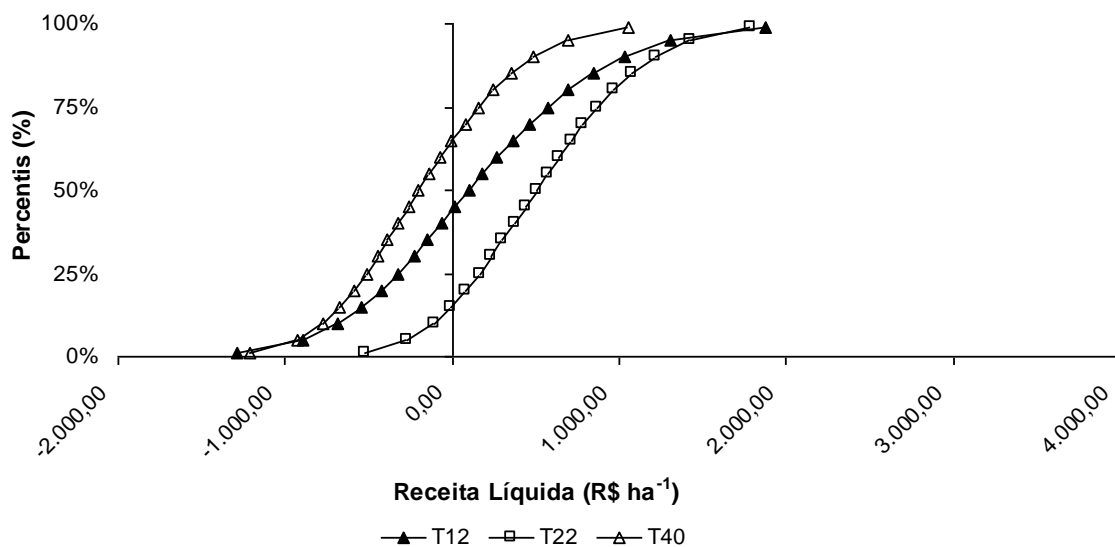
Janaúba

Como apresentado na Figura 32, houve clara dominância estocástica do T-22 (26/12), referente ao de melhor produtividade média de grãos, perante os T-40 (01/05) e T-12 (17/10). Ainda assim há uma pequena, porém existente, probabilidade de 16% de ocorrer um saldo

negativo na atividade. O T-40, o primeiro a se diferenciar estatisticamente do melhor avaliado, apresenta intermediária dominância estocástica e quase metade da probabilidade de possuir uma renda líquida positiva, valor este que cai para 35% no T-12, onde se aplicou a menor lâmina de irrigação média.

O T-22 tem 50% de probabilidade de conquistar uma receita líquida no montante de aproximadamente R\$ 505,00 ha⁻¹. A probabilidade de atingir o patamar de receita líquida de pelo menos R\$ 1.000,00 ha⁻¹ é apenas 18%. Os demais tratamentos apresentam baixíssima probabilidade de atingirem este valor. Pode-se afirmar, portanto, que apenas o T-22 possui uma probabilidade razoável de atingir o patamar de receita líquida igual ou acima de R\$ 1.000 ha⁻¹.

Figura 32. Simulação de risco para os tratamentos 12, 22 e 40 de Janaúba.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

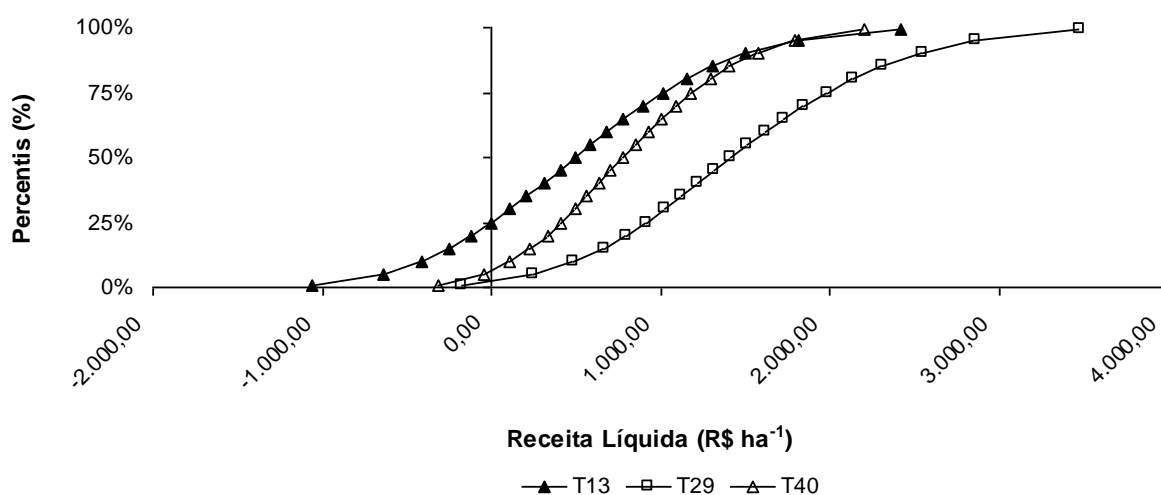
Lavras

Pode-se afirmar que os T-29 (13/02) e T-40 (01/05), sendo o de maior produtividade média de grãos e o primeiro estatisticamente a diferir, respectivamente, não oferecem risco a produzir receitas negativas. Valores muito pequenos são necessários para que ocorra, na ordem de 3 e 5%, respectivamente. Já o T-13 (24/10), com a menor lâmina média de irrigação aplicada possui 25% de probabilidade de prejuízo.

O T-29 dominou estocasticamente dos demais e revelou valores robustos de receita líquida a baixo percentis de probabilidade. Na mediana a renda líquida pode chegar a R\$ 1.421,00 ha⁻¹, valor próximo à média calculada para este tratamento, R\$ 1.431,00 ha⁻¹. No mesmo tratamento há 25% probabilidade de ganhos líquidos mínimos próximos a R\$ 2.000,00 ha⁻¹.

Há 23 e 33% de probabilidade que os tratamentos 13 e 40, respectivamente, atinjam uma receita líquida igual ou acima de R\$ 1.000,00 ha⁻¹ (Figura 33).

Figura 33. Simulação de risco para os tratamentos 13, 29 e 40 de Lavras.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Presidente Olegário

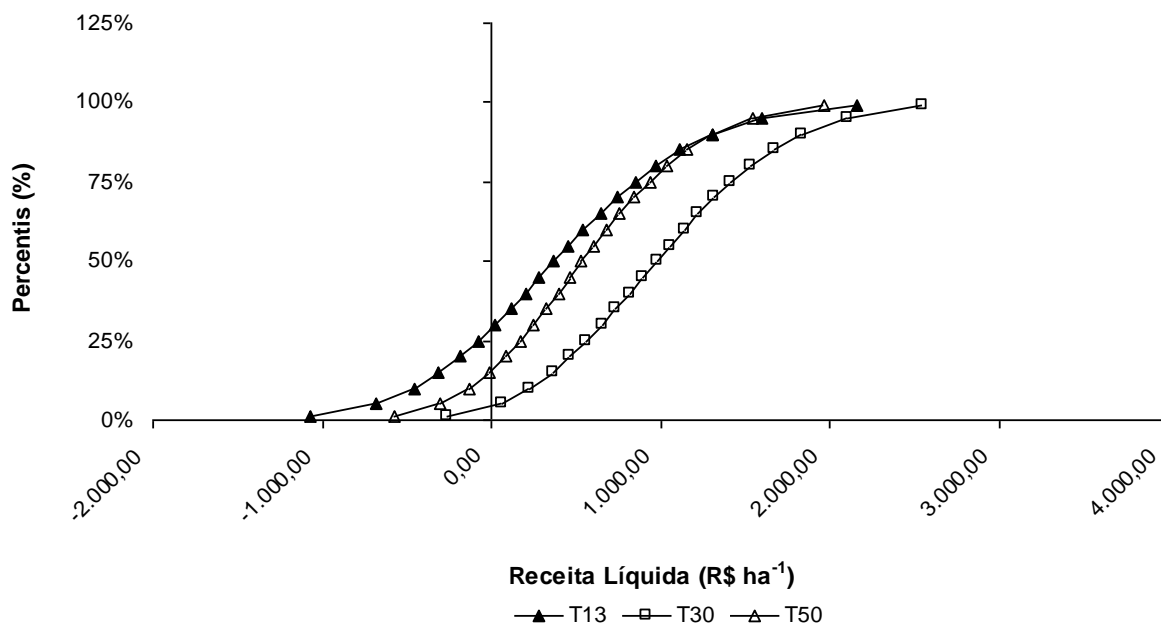
Houve a dominância estocástica dos tratamentos para a localidade de Presidente Olegário evidenciou o T-30 (20/02) superior, seguido dos T-50 (10/07) e T-13 (24/10), não havendo sobreposição entre eles.

O T-30, com a melhor produtividade média de grãos, tem a possibilidade muito baixa de gerar uma receita líquida negativa, cerca de apenas aproximadamente 5%. Possibilidade de ganhos acima de R\$ 2.000,00 ha⁻¹ é baixa, menor que 5%. O percentil de 50% para este tratamento referiu-se à receita líquida de R\$ 984,00 ha⁻¹.

O T-50, o primeiro a diferir estatisticamente do melhor avaliado, tem 15% de probabilidade de ganhos líquidos negativos, enquanto o tratamento 13 dobra esta possibilidade. Constatou-se pequena possibilidade de ganhos líquidos acima de R\$ 1.000,00

ha⁻¹ em ambos os tratamentos, sujeito a apenas 15 e 13%, respectivamente, para os tratamentos 30 e 13 (Figura 34).

Figura 34. Simulação de risco para os tratamentos 13, 30 e 50 de Presidente Olegário.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

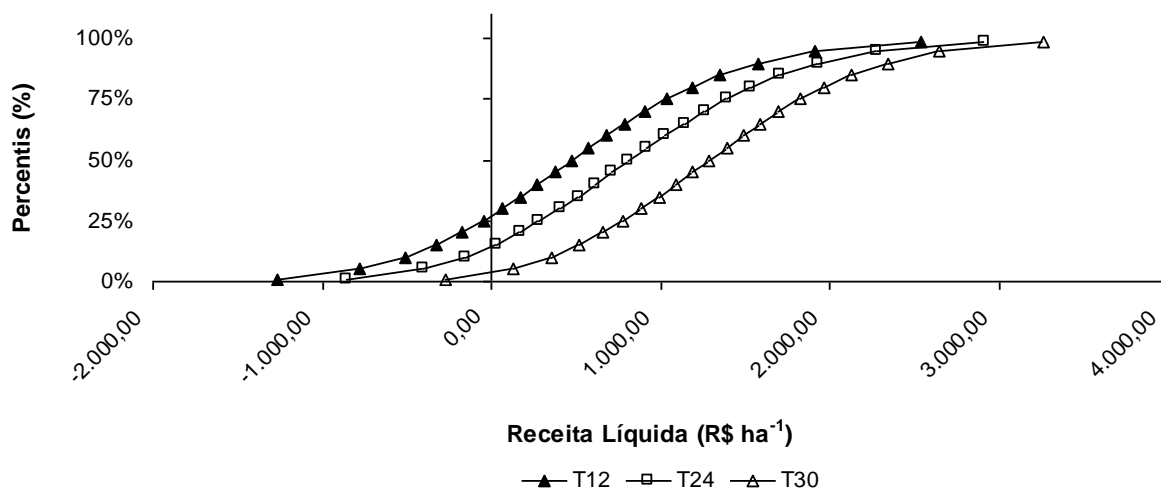
Sete Lagoas

O T-30 (20/02), referente à melhor produtividade média de grãos, dominou estocasticamente os T-24 (09/01) e T-12 (17/10), o primeiro a diferir estatisticamente do melhor avaliado e com a menor lâmina média de irrigação aplicada, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 35. As curvas de todos os tratamentos se apresentaram relativamente pouco inclinadas, demonstrando alta volatilidade da receita líquida para Sete Lagoas. Em relação ao percentil 50%, observam-se que para o T-30 a quantia é aproximadamente R\$ 1.288,00 ha⁻¹, enquanto para os tratamentos 24 e 13 os valores aproximados caem para R\$ 816,00 e 476,00 ha⁻¹, respectivamente.

Há 39% de probabilidade de receitas líquidas iguais ou superiores a R\$ 1.500,00 ha⁻¹ e 16% de probabilidade para ganhos acima de R\$ 2.000,00 ha⁻¹ no T-30. Receitas negativas

podem ser descartadas para o T-30, enquanto as probabilidades são de 15 e 26% nos tratamentos 24 e 12, respectivamente (Figura 35).

Figura 35. Simulação de risco para os tratamentos 12, 24 e 30 de Sete Lagoas.



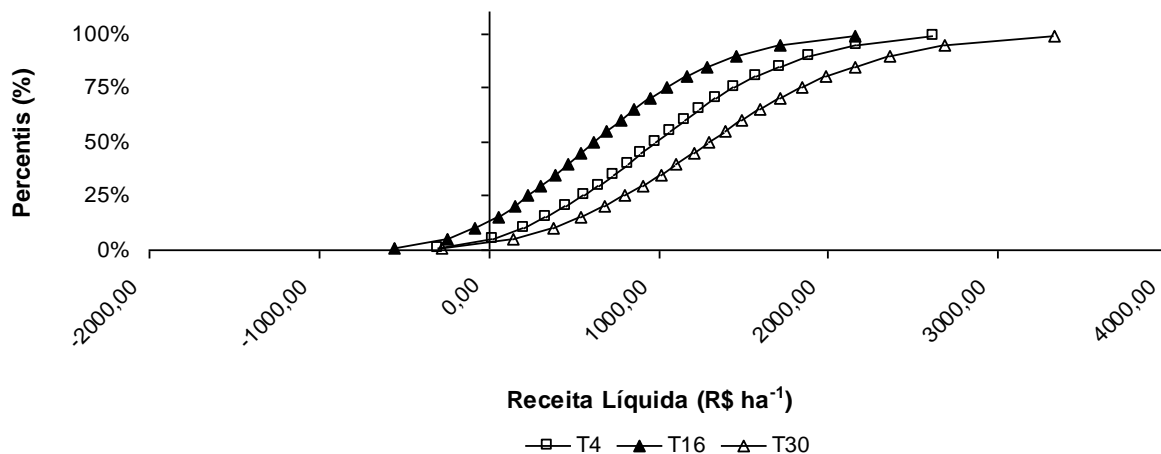
Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

Uberaba

O T-30 (20/02), de melhor produtividade média de grãos, dominou estocasticamente o T-4 (22/08), o primeiro a se diferir estatisticamente do melhor avaliado, e o T-16 (14/11) onde se aplicou a menor lâmina média de irrigação, como indicado pelo posicionamento mais à direita da curva de probabilidade acumulada deste tratamento, ilustrada na Figura 36. As inclinações menos acentuadas das curvas demonstram relativamente altas variabilidades na receita líquida. Receitas líquidas negativas são improváveis de ocorrer para os tratamentos 16 e 30, havendo apenas 14% de probabilidade para o T-16, de acordo com os resultados gerados pelo modelo.

As receitas líquidas presentes ao nível de 50% probabilidade de ocorrência para os tratamentos 4, 16 e 30 são aproximadamente R\$ 618,00, 983,00 e 1.300,00 ha⁻¹, respectivamente. Num contexto geral, a localidade de Uberaba foi a que apresentou menores riscos de ocorrência de receitas líquidas negativas para os três tratamentos propostos (Figura 36).

Figura 36. Simulação de risco para os tratamentos 4, 16 e 30 de Uberaba.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

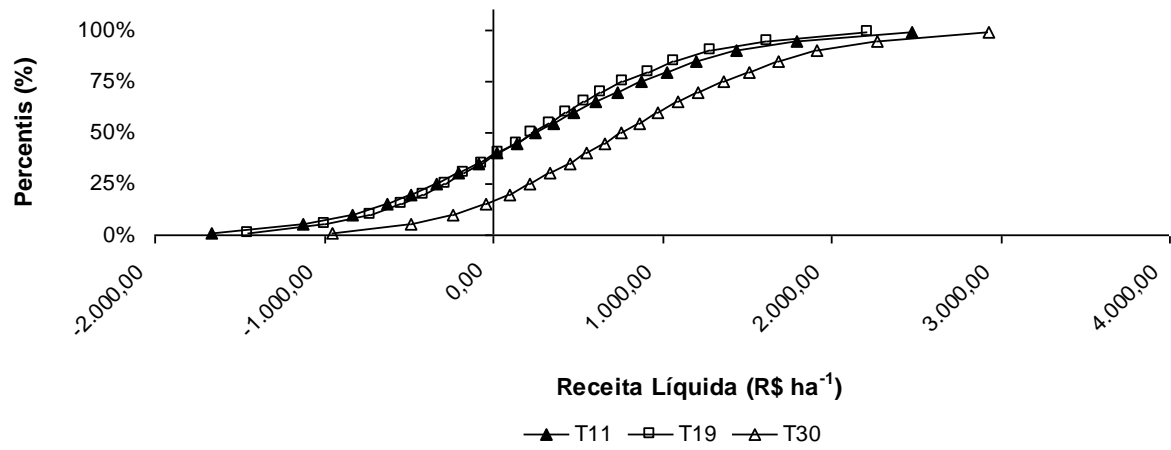
Viçosa

O T-30 (20/02), com a melhor média de produtividade de grãos, possui dominância estocástica perante os demais. Os T-11 (10/10) e T-19 (05/12), que representaram a menor lâmina média de irrigação aplicada e o primeiro a se diferir estaticamente ao melhor avaliado, respectivamente, se sobrepuseram em todos os percentis, como se identifica na Figura 37.

A receita líquida negativa se mostra relevante para Viçosa, sendo que há a probabilidade de aproximadamente 15% de ocorrência para o melhor tratamento. Nos tratamentos 11 e 19, os valores se elevam para aproximadamente 40% em ambos.

Ganhos líquidos iguais ou acima de R\$ 1.000,00 ha⁻¹ também são pouco prováveis. No T-30 a probabilidade de ocorrência é 39% e este valor decresce 22% para os outros dois tratamentos (Figura 37).

Figura 37. Simulação de risco para os tratamentos 11, 19 e 30 de Viçosa.



Fonte: Ivaldo Martins Boggione (2014)

5. CONCLUSÕES

A aplicação do modelo Ceres-Maize para predição das datas de semeadura a atingir as melhores produtividades médias de milho irrigado para cinco localidades, Lavras, Presidente Olegário, Sete Lagoas, Uberaba e Viçosa, apresentaram sincronia temporal. O período de semeadura realizado na segunda quinzena de fevereiro foi considerado ideal. A localidade de Janaúba não apresentou a mesma sincronia. Semeaduras na segunda quinzena de dezembro acarretariam melhores resultados. A diferença é explicada pelas condições climáticas diferenciadas em relação às demais.

A aplicação da análise de aderência à função densidade de probabilidade normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov foi positiva para os dados de produtividade média em todos os locais, para a grande maioria dos tratamentos.

A análise de variância aplicada aos dados de produtividade da cultura apresentou rejeição à hipótese de nulidade entre as médias para todos os locais. A aplicação do teste de Tukey ao nível de 5% de significância demonstrou que apenas Janaúba e Viçosa apresentaram maior uniformidade entre as médias comparando-se aos outros locais; foram apenas 3 e 4 níveis, respectivamente.

Os tratamentos com as melhores médias de produtividade da cultura dominaram estocasticamente os demais avaliados para todas as localidades, inclusive na análise financeira. Já o primeiro tratamento a se diferenciar estatisticamente do melhor avaliado se manteve em posição intermediária de domínio estocástico nas localidades de Presidente Olegário, Sete Lagoas e Uberaba. Janaúba e Lavras demonstraram que o tratamento de menor lâmina aplicada supera o tratamento que representa o primeiro a diferenciar estatisticamente a partir de determinado nível de probabilidade, enquanto em Viçosa os dois tratamentos se sobrepõem durante todos os percentis.

As menores lâminas médias de irrigação requeridas ocorreram durante a semeadura no mês de outubro para todos os locais. O modelo Ceres-Maize demonstrou boa sensibilidade às características físicas do solo para o cálculo do balanço hídrico na zona radicular.

A análise de aderência pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para função normal aplicada às lâminas foi predominantemente positiva apenas para Janaúba, Presidente Olegário e Viçosa.

As funções de probabilidade acumulada para as taxas médias de lâmina de irrigação apresentaram a mesma conformação para todos os locais, sendo o tratamento com a menor lâmina média aplicada fortemente dominado pelos demais. O primeiro tratamento de produtividade média de grãos a se diferenciar estatisticamente permaneceu em posição intermediária e o melhor avaliado em produtividade dominou estocasticamente no montante de aplicação de lâminas de irrigação. A exceção ocorre em Presidente Olegário onde os dois tratamentos se sobrepõem sem dominância relevante.

Janaúba apresentou os menores valores de produtividade global da água e de irrigação, enquanto Lavras situou-se na extremidade oposta. O período com os melhores índices de produtividade global da água encontram-se em semeaduras realizadas nos meses de fevereiro e primeira quinzena de março. Já o período ótimo para produtividade da água de irrigação ocorreu para semeaduras entre os meses de setembro a primeira quinzena de dezembro. Uberaba e Sete Lagoas apresentaram quedas na taxa neste período, reflexo do fenômeno do veranico.

Janaúba e Viçosa apresentaram alta sensibilidade em obter receita líquida negativa na atividade à queda da produtividade para os tratamentos com menor média de lâmina de irrigação requerida e o primeiro a diferir estaticamente do melhor avaliado em produtividade média de grãos. Todos os tratamentos com a melhor produtividade média apresentaram baixa sensibilidade em obter receita líquida negativa à queda de produtividade, exceto Janaúba que apresentou média sensibilidade.

A avaliação da sensibilidade da flutuação do custo total mostrou que Janaúba e Viçosa apresentam alta sensibilidade para os tratamentos com menor média de irrigação lâmina aplicada e o primeiro a diferir estaticamente do melhor avaliado em produtividade média. Os demais tratamentos e localidades possuem baixa sensibilidade à flutuação de preços.

A simulação de risco informa que de acordo com as funções de probabilidade acumulada os tratamentos com as melhores produtividades médias apresentam as maiores probabilidades de apresentar uma receita líquida positiva. Ressalta-se que mesmo assim, em Janaúba e Viçosa este tratamento possui uma possibilidade reduzida de apresentar receitas líquidas negativas.

Já a simulação de risco para o primeiro tratamento a diferir estatisticamente do melhor avaliado evidencia que apenas em Lavras e Uberaba não há probabilidade de ocorrer receita

líquida negativa. Para Presidente Olegário e Sete Lagoas esta probabilidade é pequena e em Janaúba e Viçosa há pelo menos aproximadamente 50% de ocorrer receitas líquidas negativas.

O tratamento com a menor lâmina aplicada apresentou baixa probabilidade de receita líquida negativa apenas em Uberaba. Lavras, Presidente Olegário e Sete Lagoas, obtiveram média probabilidade enquanto Janaúba e Viçosa com altas probabilidades, 65 e 40%, respectivamente, de ocorrer receitas líquidas negativas.

Janaúba apresentou o pior desempenho. A localidade possui uma janela de semeadura ideal para 26 de dezembro, porém com riscos de receitas negativas e com probabilidades das menores receitas líquidas em relação a todas outras avaliadas. Lavras já apresenta duas janelas de semeadura bem sucedidas financeiramente, a de maior ganho ocorre em 13 de fevereiro e a seguinte em 1º de maio, que apresenta em média uma receita líquida por hectare aproximadamente 50% menor, mas ainda assim sem probabilidade de prejuízo. A janela de semeadura de Presidente Olegário e Sete Lagoas se restringem a 20 de fevereiro, sem riscos de prejuízo e com probabilidade de bons ganhos. Uberaba apresentou o melhor desempenho e também apresenta duas janelas seguras de semeadura; 20 de fevereiro apresentou os melhores ganhos em receita líquida, não muito distante da semeadura em 22 de agosto com índices médios inferiores em 20% e sem riscos de receitas líquidas negativas. Viçosa apresentou um desempenho fraco, mesmo na melhor janela de semeadura, em 20 de fevereiro, há riscos de receita líquida negativa e ganhos abaixo das demais localidades, exceto Janaúba.

O trabalho fornece uma metodologia de pós-processamento dos dados de saída do modelo Ceres-Maize e a possibilidade de execução aplicando níveis de déficit de água no sistema simulando um cenário de mudanças climáticas e seus impactos econômicos no cultivo do milho irrigado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROLINK. Disponível em <<http://www.agrolink.com.br/cotacoes/Historico.aspx?e=9832&p=1090&l=11829>> Acessado em 15 de maio de 2014, 2014.

ALVES, M.E.B.; ANDRADE, C.L.T.; RUIZ-CARDENAS, R.; AMARAL, T.A.; SILVA, D.F. Identificação e quantificação do efeito de fatores ambientais na produtividade da cultura do milho na região de Janaúba, MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, nº. 3, p.188- 201, 2011.

AMARAL, T.A.; ANDRADE, C. de L.T. de.; ALVES, M.E.B.; SILVA, D.F. Applying CSM-ceres-maize to define a sowing window for irrigated maize crop – The riacho’s farm case study. **Revista Ambi-Agua**, v. 6, n.2, p. 38-53, 2011.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Agricultura irrigada: estudo técnico preliminar**. Brasília, 2004. 107p.

ANDRADE, C. L. T.; ALVARENGA, R. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COELHO, A. M.; TEIXEIRA, E. G. Dinâmica de água e soluto em um latossolo cultivado com milho irrigado: 1 - Percolação e produtividade da água. Disponível em <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/490240>> Acessado em 25 de junho de 2014. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14., Porto Alegre, 2006. **Anais** Porto Alegre: ABID, 2006.

ANDRADE, C.L.T.; AMARAL, T.A.; SILVA, D.F.; HEINEMANN, A.B.; GARCIA, A.G.; HOOGENBOOM, G.; MAGALHÃES, P.C.; ARAUJO, S.G. de. Utilização do modelo Ceres-Maize como ferramenta na definição de estratégias de semeadura de milho: 1 – Sistema de produção de sequeiro. (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., Belo Horizonte, 2009. **Anais** Belo Horizonte: CBA, 2009.

ANDRADE, C.L.T.; AMARAL, T.A.; BORGES JR., J.C.S.; HEINEMANN, A.B.; GARCIA, A.G.; TOJO-SOLER, C.M.; SILVA, D.F.; HICKMANN, C.; SANTANA, C.B.; MOURA, B.F.; CASTRO, L.A. Modelagem de crescimento de culturas: Aplicações a cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo, documento 91**, 2009.

ANDRIOLI, K. G.; SENTELHAS, P. C. Brazilian maize genotypes sensitivity to water deficit estimated through a simple crop yield model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 653-660, 2009.

BCB, Banco Central do Brasil. Disponível em < <http://www.bcb.gov.br/?COPOM183>> Acessado em 26 de junho de 2014, 2014.

BERT, F.E.; LACIANA, C.E.; PODESTA, G.P.; SATORRE, E.H.; MENENDEZ, A.N. Sensitivity of CERES-Maize simulated yields to uncertainty in soil properties and daily solar radiation. **Agricultural Systems**, v.94, p.141-150, 2007.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A.; HEDEN-DUNKHORST, B.; ANDRADE, C. L. T. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte I: desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n.1, p. 13-11, 2008.

BOWEN, W.T.; JONES J.W.; CARSKY, R.J.; QUINTANA, J.O. Evaluation of the nitrogen submodel of CERES-Maize following legume green manure incorporation. **Agronomy Journal**, Vol. 85, p. 153-159, 1993.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Disponível em < http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/brasil/ArquivosMultimedia/Material_exibido_IVReuniao_intercambio/Painel04_estatistica_irrigacao_albuquerque.pdf> Acessado em 10 de julho de 2014, 2011.

BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em < Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>>. Acessado em 14 de junho de 2014, 2014.

BURKE, E.J; S.J. BROWN; N. CHRISTIDIS. Modelling the recent evolution of global drought and projections for the 21st century with the Hadley Centre climate model. **Journal of Hydrometeorology**, v.7, p.1113-1125, 2006.

CARDOSO, C.O.; FARIA, R.T de.; FOLEGATTI, M.V. Simulação do rendimento e riscos climáticos para o milho safrinha em Londrina - PR, utilizando o modelo CERES-Maize. **Revista Engenharia Agrícola**, v.24, n.2, p.291-300, 2004.

CARDOSO, C.O.; FARIA, R.T de.; FOLEGATTI, M.V. Aplicação do modelo CERES-Maize na análise de estratégias de irrigação para milho “safrinha” em Londrina-PR. **Revista Engenharia Agrícola**, v.24, n.1, p.37-45, 2004.

CEMIG, Companhia Energética do Estado de Minas Gerais. Disponível em < http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx> acessado em 14 de maio de 2014, 2014.

CHRISTOFIDIS, D. **Água na produção de alimentos**: o papel da irrigação no alcance do desenvolvimento sustentável. Brasília: Universidade de Brasília, 2005. 29 p.

CHRISTOFIDIS, D. Recursos Hídricos e Irrigação no Brasil. (compact disc) In: AGRICULTURE AND WATER SCARCITY: A PROGRAMMATIC APPROACH TO WATER USE EFFICIENCY AND AGRICULTURAL PRODUCTIVITY. 20., Roma, 2007. **Anais Brasília**: 1999.

COELHO, E. F. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, vol. 7, n. 1, p. 57-60, set. 2005.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_07_09_09_36_57_10_levantamento de graos julho 2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_07_09_09_36_57_10_levantamento_de_graos_julho_2014.pdf)> Acessado 20 de julho de 2014, 2014.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_03_06_11_55_47_milho-mg-unai_mai_2011.pdf> Acessado em 28 de maio de 2014, 2009.

CRUZ, J.C; PEREIRA FILHO, I.A.; ALVARENGA, R.C.; GONTIJO NETO, M.M.; VIANA, J.H.M.; OLIVEIRA, M.F.; MATRANGOLO, W.J.R.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Cultivo do Milho. Embrapa Milho e Sorgo, Sistema de Produção 1, 2010 (versão eletrônica). Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/manejomilho.htm> Acessado em 16 de junho de 2014.

DEKALB. Disponível em <<http://www.dekalb.com.br/produto/detalhe?id=DKB390>> Acessado em 20 de janeiro de 2014, 2014.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo. 2.ed.** Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FAO, Food and Agriculture Organization. Disponível em <http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html> Acessado 15 de julho de 2014, 2014.

FAO, Food and Agriculture Organization. **The state of food insecurity in the world. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reductions of hunger and malnutrition.** Roma: FAO, 2012. 65p.

FAO, Food and Agriculture Organization. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/003/t0800e/t0800e0a.htm#b6-World%20water%20use>> Acessado em 20 de julho de 2014, 1993.

FOLEGATTI, M.V.; PESSOA, P.C.S.; PAZ, V.P.S. Avaliação de um pivô central de grande porte e baixa pressão. **Revista Scientia Agrícola**, v.55, n.1, 1998.

FORSTHOFER, E. L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A. A. Desempenho agrônômico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 399-407, 2006.

FANCELLI, A.L. Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 1., Piracicaba Disponível em:
<[http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/7ac877864218d46983256c70005790fc/\\$FILE/Anais%20Antonio%20Luiz%20Fancelli.doc](http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/7ac877864218d46983256c70005790fc/$FILE/Anais%20Antonio%20Luiz%20Fancelli.doc)> Acesso em: 15/07/2014. **Anais Piracicaba: IPNI**, 2000.

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

GRASSINI, P.; YANG, H.; IRMAK, S.; THORBURN, J.; BURR, C.; CASSMAN, K.G. High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt: II. Irrigation management and crop water productivity. **Field Crops Research**, v. 120, p.133-141, 2010.

GUARNIERI, A.A. rendimento de grãos de dois híbridos simples de milho em função da redução no espaçamento entre linhas. Pelotas, 2006. 21p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pelotas.

GUIMARAES, D.P.; LANDAU, E.C. Mapeamento das áreas irrigadas por pivôs centrais no estado de Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento** 40. 2011.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTE, C. H.; BOOTE, K. J.; HUNT, L. A.; SINGH, U.; LIZASO, J. L.; WHITE, J. W.; URYASEV, O.; ROYCE, F. S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; TSUJI, G. Y. Decision Support System for Agrotechnology Transfer: version 4.5. Honolulu: University of Hawaii, 2012.

HOOGENBOOM, G.; AHUJA, L.R.; ASCOUGH, J.C.; SASEENDRAN, S.A. Evaluation of the RZWQM-CERES-Maize hybrid model for maize production. **Agricultural Systems**, v.87, p. 274-295, 2006.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTE, C. H.; BOOTE, K. J.; HUNT, L. A.; SINGH, U.; LIZASO, J. L.; WHITE, J. W.; URYASEV, O.; ROYCE, F. S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; TSUJI, G. Y. Decision Support System for Agrotechnology Transfer. Volume 1: Overview. Honolulu: University of Hawaii, 2003.

HURTADO, S.M.C.; PAGLIS, C.M.; VON PINHO, R.G. Eficiência do modelo CERES-Maize na predição da produtividade de milho em áreas com presença de variabilidade espacial. *Ciência Agrotecnica*, v. 29, n. 6, p. 1153-1160, 2005.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201406.pdf> Acessado em 19 julho de 2014, 2014.

IPCC. Intergovernmental Painel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Working Group III. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html>. Acessado em 15 de maio de 2014, 2007.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br/>> Acessado em 15 de maio de 2014, 2014.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RICHTIE, J.T. DSSAT Cropping System Model. **European Journal of Agronomy**, v.18, p.235–265, 2003.

JONES C.A.; KINIRY, J.R. **CERES-Maize: A simulations model of maize growth and development.** Texas University, 1986. 193p.

MAGALHAES, P.C.; DURAES, F.O.M. Fisiologia da produção do milho. **Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica nº 40.** 2006.

MARQUES, P. Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas. Piracicaba, 2005. 141 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MAYA, F.L.A. Produtividade e viabilidade econômica da recria e engorda de bovinos em pastagens adubadas intensamente com e sem o uso da irrigação. Piracicaba, 2003. 83p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

PAGLIS, C.M; VON PINHO, R.G. Simulação de florescimento e da produção de milho através do modelo CERES-Mayze. **Revista Ciência Agrotécnica**, v.33, n.2, p.509-513, 2009.

PALISADE, @risk. Disponível em < <http://www.palisade-br.com/risk/>> Acessado em 20 de março de 2014, 2014.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C.A.; SANCHÉZ-ROMÁN, R.M.; VIEIRA JOSE, J. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário de 2006. **Revista Irriga**, v. 16, n. 2, p. 163-176, 2011.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. **Proc. Roy. Soc. London**, n. 193, p. 120-146, 1948.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera.** Barueri, 2012, 500p.

SILVA, D.F.; ANDRADE, C.L.T.; RESENDE, A.V.; GARCIA Y GARCIA, A.; RODRIGUES, C.C.F.; TEIXEIRA, T.C.; AMARAL, T.A., PAIXAO, J.S. Yield and Nitrate Leaching in a Rainfed Maize Crop Using Swine Manure and Mineral Fertilizer as Nitrogen Sources. In: ASABE Annual International Meeting, Kansas City, 2013.

SOLER, C.M.T.; SENTELHAS, P.C; HOOGENBOOM, G. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. **European Journal of Agronomy**, v.27, p.165- 177, 2007.

SORATTO, R.P.; FERNADES, A.M.; SANTOS, L.A.; JOB, A.L.G. Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I – macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.1027-1042, 2013.

STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v.36, pag.424-433, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre, 2009. 819p.

THORP, K.R.; DEJONGE, K.C.; KALEITA, A.L.; BATCHELOR, W.D.; PAZ, J. O. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. **Computers and electronics in agriculture**, v.64, p.276-285, 2008.

USDA, United States Department of Agriculture. Disponível em < <http://www.ers.usda.gov/data-products/feed-grains-database/feed-grains-yearbook-tables.aspx#26761>>. Acessado em 28 de março de 2014, 2014.

VAREJAO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia (Versão Digital)**. Recife, 2005. 516 p. Disponível em < <http://pt.slideshare.net/lcgrh/varejo-meteorologia-e-climatologia>> Acessado em 17 de julho de 2014.

VASCONCELLOS, M.A.S.; GARCIA, M.E. **Fundamentos de Economia**. São Paulo, 2011. 332p.

VISWANADHAM, Y.; SILVA FILHO, V.P.; ANDRE, R.G.B. The Priestley-Taylor α parameter for the Amazon. **Forest Ecology and Management**, v.38, p. 211-225, 1991.

WAGNER, M.V.; JADOSKI, S.O.; MAGGI, M.F.; SAITO, L.R.; LIMA, A.S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.170–179, 2013

XEVI, E.; GILLEY, J.; FEYEN, J. Comparative study of two crop yield simulation models. **Agricultural Water Management**, v.30, p.155-173, 1996.