

BIANCA SILVA TAVARES

Planejamento em empreendimento de agricultura irrigada visando à
otimização do retorno financeiro e uso da água

RECIFE

2010

BIANCA SILVA TAVARES

Planejamento em empreendimento de agricultura irrigada visando à
otimização do retorno financeiro e uso da água

Dissertação apresentada a
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte integrante do
Programa de Pós-Graduação para
obtenção do título de mestre em
Engenharia Agrícola

Orientador:

João Carlos Ferreira Borges Júnior

Conselheiros:

Marcus Metri Correa

Antonio Celso Dantas Antonino

RECIFE

2010

Ficha catalográfica

T231p Tavares, Bianca Silva

Planejamento em empreendimento de agricultura irrigada
visando à otimização do retorno financeiro e uso da água /

Bianca Silva Tavares – 2010.

124 f. : il.

Orientador: João Carlos Ferreira Borges Júnior

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –

Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento
de Tecnologia Rural, Recife, 2010.

Referências

1. Modelagem 2. Requerimento de irrigação 3. Simulação
de risco 4. Produtividade relativa 5. Programação linear
I. Borges Júnior, João Carlos Ferreira, orientador II. Título

CDD 631.7

BIANCA SILVA TAVARES

Planejamento em empreendimento de agricultura irrigada visando à
otimização do retorno financeiro e uso da água

Examinadores

Marcus Metri Correa, D. Sc

José Romualdo de Souza Lima, D. Sc

José Dantas Neto, D. Sc

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Rui Tavares Pereira e
minha mãe Maria Angélica Silva Tavares

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente por toda a força que tem me dado em todos os momentos da minha vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de cursar o Mestrado.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo fomento ao presente trabalho.

Ao professor Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior, pela orientação, confiança, ensinamentos e exemplo de profissional.

Ao professor Dr. Antônio Celso Dantas Antonino do Departamento de Energia Nuclear da UFPE, pela disponibilização do laboratório de Física do Solo.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia agrícola, que contribuíram significativamente a minha formação acadêmica.

À Cássio José da Silva e Willames de Albuquerque Soares, pelo auxílio nas análises de solo.

Aos amigos que eu fiz em Recife que de alguma forma ajudaram a diminuir a saudade de casa, em especial: Waldirene, Leila, Adriana, Ingrid, Laise, Lúcio, Feliz, George, Gledson, Matheus, Janice, Raquele e Jânio.

Aos amigos da Pós – Graduação que de alguma forma me auxiliou em mais uma fase da minha vida: Tafnes, José Roberto, Antônio, Manoel, Tichiano, Valdenir Júnior, Eduardo.

À Rômulo Vinícius, pelo companheirismo e apoio durante o Mestrado.

Aos meus pais Rui Tavares Pereira e Maria Angélica Silva Tavares que sempre me apoiaram em todas as decisões que tomo.

A minha família, Argélia, Evelyn, Birmânia, Bergson, e tios que das mais diversas formas sempre esteve torcendo pelas minhas vitórias, me dando força e tendo orgulho das minhas conquistas.

À minha querida amiga Daniela, que mesmo distante sempre esteve presente na minha vida.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| CAPÍTULO I | |
| Simulação do requerimento hídrico e produtividade de culturas perenes e anuais da microrregião de Garanhuns - PE | 12 |
| LISTA DE FIGURAS | 13 |
| LISTA DE TABELAS | 14 |
| RESUMO | 16 |
| ABSTRACT | 18 |
| 2. Introdução | 19 |
| 3. Revisão de literatura | 20 |
| 3.1. Agricultura irrigada | 20 |
| 3.2. Demanda hídrica na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental | 21 |
| 3.3. Modelos de simulação na agricultura irrigada | 22 |
| 3.3.1. Exemplos de modelos de simulação | 23 |
| 3.4. Modelo Computacional para Suporte à Decisão em Irrigação e Drenagem - MCID 24 | |
| 4. Material e métodos | 27 |
| 4.1. Local | 27 |
| 4.2. Dados | 28 |
| 4.2.1. Dados climáticos | 28 |
| 4.2.2. Dados de solo | 29 |
| 4.2.3. Dados de cultura | 32 |
| 4.2.4. Dados financeiros | 36 |
| 4.3. Simulações com o modelo MCID | 37 |
| 4.3.1. Dados de entrada do modelo | 38 |

| | |
|---|----|
| 5. Resultados e Discussão | 42 |
| 5.1. Dados climáticos | 42 |
| 5.2. Parâmetros físico-hídricos de solo | 43 |
| 5.3. Resultados das simulações | 45 |
| 5.3.1. Evapotranspiração potencial e evapotranspiração real | 45 |
| 5.3.2. Irrigação real necessária | 47 |
| 5.3.3. Produtividade das culturas anuais e perenes | 49 |
| 5.3.4. Percolação | 52 |
| 5.3.5. Irrigação total necessária | 54 |
| 6. Conclusões | 60 |
| REFERÊNCIAS | 61 |
| CAPÍTULO II | |
| Planejamento em nível de fazenda para agricultura irrigada e de sequeiro | 66 |
| LISTA DE FIGURAS | 67 |
| LISTA DE TABELAS | 68 |
| RESUMO | 70 |
| ABSTRACT | 72 |
| 8. Introdução | 73 |
| 9. Revisão de literatura | 75 |
| 9.1. Risco na agricultura irrigada | 75 |
| 9.2. Planejamento em empreendimentos de agricultura irrigada | 76 |
| 9.3. Programação matemática | 77 |
| 9.4. Programação linear | 78 |
| 9.5. Análise de Risco | 80 |
| 9.5.1. Simulação de risco | 81 |
| 9.5.2. Análise de sensibilidade | 82 |
| 9.6. Análise econômica de projetos | 83 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 9.6.1. | Valor presente líquido (VPL) | 84 |
| 9.6.2. | Relação benefício/custo | 85 |
| 9.6.3. | Taxa interna de retorno (TIR) | 86 |
| 10. | Materiais e métodos | 87 |
| 10.1. | Otimização do padrão de cultivo | 87 |
| 10.1.1. | Restrições | 88 |
| 10.1.2. | Função objetivo | 90 |
| 10.2. | Análise de Sensibilidade | 92 |
| 10.3. | Análise de Risco | 92 |
| 11. | Resultados e discussão | 96 |
| 11.1. | Otimização do valor presente líquido total | 96 |
| 11.2. | Análise de sensibilidade | 102 |
| 11.2.1. | Coeficientes técnicos da função objetivo | 102 |
| 11.2.2. | Restrições atuantes no modelo de programação linear | 105 |
| 11.2.2.1. | Padrão de cultivo 1 | 105 |
| 11.2.2.2. | Padrão de cultivo 2 | 109 |
| 11.3. | Análise de risco | 111 |
| 12. | Conclusões | 119 |
| | REFERÊNCIAS | 120 |
| 13. | Conclusão Geral | 125 |

1. INTRODUÇÃO

O sucesso econômico do empreendimento é meta da maioria dos empresários rurais, mas alguns produtores não alcançam este objetivo devido a fatores econômicos, de manejo fitossanitário, instabilidade da quantidade e frequência da precipitação ou até mesmo da falta de organização da propriedade.

O planejamento da atividade agrícola, em nível de fazenda, visa estabelecer a melhor alternativa de estratégia de produção que alcance o maior retorno financeiro. Para um planejamento eficiente é necessário conhecer todos os fatores que estão relacionados aos sistemas agrícolas. Os modelos de simulação podem auxiliar no entendimento do sistema agrícola e também permitir a análise de cenários visando a obtenção da máxima receita líquida.

Com o intuito de êxito econômico é necessário o planejamento dos recursos que serão empregados na produção. Em muitos casos, os agricultores possuem recursos financeiros e naturais em quantidades que restringem a expressão máxima da rentabilidade de seu empreendimento. Dessa forma, o planejamento deve ser feito visando obter o máximo retorno financeiro, respeitando as restrições existentes na propriedade. Além de planejar o uso dos recursos limitados da propriedade, é necessário se fazer avaliação do risco econômico ao qual o empreendimento está exposto (Marques, 2005).

Visando diminuir a possibilidade de fracasso econômico, alguns agricultores fazem uso da técnica de irrigação, o que diminui consideravelmente o risco de redução na produtividade das culturas devido à deficiência hídrica. A adoção da irrigação no empreendimento deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica do projeto, obtida por meio da análise detalhada dos fatores climáticos, agronômicos e econômicos envolvidos. Para o estabelecimento de um sistema irrigado economicamente eficaz, faz-se necessário determinar o planejamento e manejo de irrigação que proporcionem maior receita líquida ao invés de definir a quantidade de água para a máxima produção.

A utilização da água na agricultura deve ser otimizada, possibilitando, sem maiores riscos, aumentar a utilização dos demais fatores de produção e, por consequência, obter maiores produtividades com uma melhor combinação dos insumos empregados.

Essa dissertação está apresentada na forma de dois capítulos e teve como objetivo geral verificar a viabilidade de um empreendimento de agricultura irrigada em um cenário típico do Agreste Meridional Pernambucano, orientado-se na otimização do retorno financeiro e uso da água e aplicando-se base de dados locais e modelagem ao planejamento de atividades.

CAPÍTULO I

Simulação do requerimento hídrico e produtividade de culturas perenes e anuais da microrregião de Garanhuns - PE

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental. | 21 |
| Figura 2. Demanda de recursos hídricos na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental e na Unidade Hidrográfica do Mundaú. | 22 |
| Figura 3. Localização do Município de Garanhuns..... | 27 |
| Figura 4. Foto da área da propriedade usada no estudo..... | 29 |
| Figura 5. Ferramenta Solver na planilha eletrônica do Excel. | 31 |
| Figura 6. Esquema de entrada e saída de dados do modelo | 38 |
| Figura 7. Planilha para a entrada de dados de precipitação. | 39 |
| Figura 8. Planilha para a entrada de dados de Evapotranspiração de Referência...39 | |
| Figura 9. Dados de solo. | 40 |
| Figura 10. Dados de cultura. | 40 |
| Figura 11. Dados com relação ao dimensionamento da irrigação..... | 41 |
| Figura 12. Dados financeiros..... | 41 |
| Figura 13. Médias dos valores acumulados mensal de precipitação e evapotranspiração de referência..... | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Duração dos estádios e dos ciclos das culturas consideradas nos estudos | 33 |
| Tabela 2. Valores do fator de resposta (K_y) dos estádios e dos ciclos das culturas consideradas | 33 |
| Tabela 3. Valores de produtividade potencial (Y_p) das culturas | 34 |
| Tabela 4. Valores do fator de disponibilidade de água (f) considerados no estudo... .. | 34 |
| Tabela 5. Valores de profundidade efetiva do sistema radicular ($profr$) utilizados no estudo | 35 |
| Tabela 6. Coeficientes de cultura (K_c) utilizados nos estudos | 35 |
| Tabela 7. Média das séries históricas dos preços de venda corrigidos pelo IPCA, no município de Garanhuns-PE | 36 |
| Tabela 8. Custo de produção das culturas relacionadas no estudo | 36 |
| Tabela 9. Época de plantio e método de irrigação, quando for o caso, das culturas estudadas..... | 37 |
| Tabela 10. Estratégias de manejo de irrigação utilizado nos estudos | 37 |
| Tabela 11. Parâmetros do modelo de Van Genuchten, textura e densidade dos locais de estudo | 44 |
| Tabela 12. Resultados de evapotranspiração real (ET_r) e evapotranspiração potencial (ET_p) das culturas nas diferentes áreas de estudo | 46 |
| Tabela 13. Irrigação real necessária para as culturas na Área 1 (média, desvio padrão e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade) | 48 |
| Tabela 14. Irrigação real necessária para as culturas na Área 2 (média, desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade) | 48 |
| Tabela 15. Irrigação real necessária para as culturas da Área 3 (média, desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade) | 49 |
| Tabela 16. Produtividade relativa, YRT (% , desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade), produtividade potencial (Y_p) e produtividade total (Y_r) na Área 1 | 50 |

| | |
|---|----|
| Tabela 17. Produtividade relativa, YRT (% , desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade), produtividade potencial (Yp) e produtividade total (Yr) na Área 2..... | 50 |
| Tabela 18. Produtividade relativa, YRT (% , desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade), produtividade potencial (Yp) e produtividade total (Yr) na Área 3..... | 51 |
| Tabela 19. Percolação (média e desvio padrão) nas três áreas de estudo para os cultivos..... | 53 |
| Tabela 20. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura da banana durante o primeiro ano de ciclo | 55 |
| Tabela 21. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura da banana durante o segundo e terceiro ano do ciclo..... | 55 |
| Tabela 22. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do feijão, nas diferentes datas de plantio..... | 56 |
| Tabela 23. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do maracujá durante o primeiro ano de ciclo..... | 56 |
| Tabela 24. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do maracujá durante o segundo ano de cultivo | 57 |
| Tabela 25. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do maracujá durante o terceiro ano de cultivo. | 57 |
| Tabela 26. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do milho.. | 58 |
| Tabela 27. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do pimentão..... | 58 |
| Tabela 28. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do repolho | 58 |
| Tabela 29. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do Tomate | 59 |

Planejamento em empreendimento de agricultura irrigada visando à otimização do retorno financeiro e uso da água. Capítulo I - Simulação do requerimento hídrico e produtividade de culturas perenes e anuais da microrregião de Garanhuns - PE

RESUMO

Na bacia hidrográfica do Rio Mundaú onde o município de Garanhuns-PE está inserido, verificam-se conflitos de ordem quantitativa relacionados aos recursos hídricos, com demandas potenciais acima das disponibilidades. Este fato torna relevante a necessidade de planejamento adequado da utilização dos recursos hídricos, principalmente com relação à agricultura irrigada. Nos últimos anos tem aumentado o desenvolvimento e a utilização de modelos de simulação do balanço hídrico voltados às atividades agrícolas visando auxiliar no planejamento agrícola. O objetivo deste trabalho foi determinar a produtividade relativa e o balanço hídrico de cultivos irrigados e de sequeiro na microrregião de Garanhuns, utilizando modelagem, para posterior emprego destas informações no planejamento agrícola. O estudo foi realizado no município de Garanhuns - PE, considerando-se dados de uma propriedade rural. O Modelo Computacional para Suporte e Decisão em Irrigação e Drenagem (MCID) foi utilizado para determinar o requerimento de irrigação (RIT) e a produtividade relativa (YRT) em resposta a diferentes estratégias de manejo de irrigação, levando-se em consideração informações técnicas e econômicas de duas culturas perenes e seis anuais, séries históricas de dados de clima, dados de solo, coeficientes técnicos dos custos de produção, diferentes manejos de irrigação e alguns cultivos de sequeiro. A partir das simulações, verificou-se que os métodos e manejos de irrigação empregados foram eficazes em evitar o déficit hídrico, nas culturas irrigadas, o que favoreceu a expressão máxima de produtividade das culturas e tornou nulo o risco com relação a este aspecto. Em termos de produtividade relativa, os cultivos irrigados de banana, feijão, maracujá, milho, pimentão, repolho e tomate foram otimizados. Os cultivos de sequeiro tiveram severa redução da produtividade devido ao déficit hídrico. Maiores valores de desvio padrão foram observados nestes cultivos, evidenciando as incertezas inerentes aos cultivos de sequeiro. Com relação à produtividade relativa dos cultivos de sequeiro apenas o feijão foi viável financeiramente.

Palavras – chave: modelagem, demanda hídrica, requerimento de irrigação, produtividade relativa.

Planning in enterprise of irrigated agriculture in order to optimize the financial return and use of water. Chapter I - Simulation of water requirement and yield of perennial and annual crops in micro-region of Garanhuns - PE

ABSTRACT

In the basin where the city of Garanhuns-PE is inserted, there are quantitative conflicts related to water resources, with potential claims over the availability. This fact makes relevant the need for proper planning of water use, especially with respect to irrigated agriculture. In recent years has increased the development and use of simulation models of water balance turned to agriculture to assist in the agricultural planning. The objective of this study was to determine the relative productivity and water balance of irrigated and rainfed conditions in micro-region of Garanhuns, using modeling, for later use this information in agricultural planning. The study was conducted in the municipality of Garanhuns - PE, considering data from a rural property. The Computational Model for Decision Support and on Irrigation and Drainage (MCID) was used to determine the irrigation requirement (RIT) and relative productivity (YRT) in response to different management strategies for irrigation, taking into account technical and economic information of two perennial and six annual crops, time series of climate data, soil data, technical coefficients of production costs, different management of irrigation and of some rainfed crops. From the simulations it was found that the methods and irrigation management strategies used were effective in preventing drought in irrigated crops, which maximized the expression of crop yields and made null the risk related to this aspect. In terms of relative yield, irrigated crops banana, beans, passion fruit, corn, peppers, cabbage and tomato were optimized. The dryland crops had severe yield reduction due to water deficit. Higher values of standard deviation were observed in these crops, highlighting the uncertainties inherent in rainfed crops. Regarding the relative productivity of rainfed crops only the beans was financially viable.

Keywords: modeling, water demand, water requirement, relative yield.

2. Introdução

A irrigação é uma das técnicas de considerável importância na produção agrícola, a qual, em conjunto com outros manejos agrônômicos, possibilita incrementos na produtividade de culturas. A principal vantagem está relacionada com a maior segurança em relação à disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura, o que possibilita maior estabilidade da produção agrícola e permite o cultivo em zonas áridas e semiáridas.

Com relação aos usos múltiplos da água, a atividade que requer maior demanda hídrica é a agricultura irrigada. Cada vez mais, a necessidade de se obter maiores produções, como também a utilização da maior quantidade possível de solos agricultáveis, tem impulsionado o uso da irrigação na agricultura (CARVALHO, 2003). O expressivo requerimento hídrico da irrigação mostra a importância de práticas racionais de manejo, que devem ser aliadas à adequação do planejamento de sistemas agrícolas (BORGES JÚNIOR et al., 2009).

Na bacia hidrográfica os recursos hídricos são utilizados por diferentes usuários para diversas finalidades e nem sempre a oferta hídrica é suficiente para suprir a demanda. Na região hidrográfica do rio Mundaú, onde o município de Garanhuns está inserido, a demanda de água para os diversos usos é notavelmente elevada, chegando a ultrapassar 100% da disponibilidade hídrica, evidenciando a necessidade de planejamento adequado da utilização dos recursos hídricos, principalmente com relação à agricultura irrigada.

Modelos computacionais têm se tornado importantes ferramentas para planejamento e manejo de sistemas de irrigação. O emprego dessa tecnologia tem o objetivo de auxiliar os produtores a definir manejos e delinear sistemas de irrigação mais eficientes às condições da propriedade rural. A simulação através do uso da modelagem é uma técnica que cada vez mais tem tomado espaço na agricultura, visando estimar respostas das culturas a diferentes variáveis no sistema solo-planta-atmosfera.

Objetivou-se, com esse trabalho, determinar, por meio do emprego do modelo computacional MCID, o requerimento de irrigação de culturas anuais e perenes e a produtividade relativa de cultivos irrigados e de sequeiro, na microrregião de Garanhuns, para posterior aplicação destas informações no planejamento agrícola em nível de propriedade rural.

3. Revisão de literatura

3.1. Agricultura irrigada

Cerca de 1,54 bilhões de hectares de solos estão em produção agrícola no Planeta, dos quais aproximadamente 277 milhões sob o domínio de infra-estrutura hídrica de irrigação. A área de 18% sob cultivo irrigado produz cerca de 44% da produção total agrícola, enquanto a agricultura de sequeiro responde pelo restante. A superfície irrigada no Brasil em 2006 foi estimada em 4,6 milhões de hectares (CHRISTOFIDIS, 2006; ANA, 2009).

O conjunto de fatores que influenciam a viabilidade da agricultura irrigada exige, atualmente, técnicas cada vez mais eficientes e adequadas a cada contexto. Isso implica em projetos de irrigação otimizados para poderem se viabilizar num cenário de escassez de recursos naturais, considerando também a importância na conservação do ambiente (BRITO, 2008).

A irrigação é uma prática que beneficia o aumento da produção de alimentos, fixa o homem na zona rural, gera empregos diretos e indiretos e contribui para o crescimento econômico. Por outro lado, quando não praticada corretamente ocasiona prejuízos ao ambiente, dentre os quais se destacam a salinização dos solos, captação excessiva de água de mananciais, percolação profunda, lixiviação de nutrientes, etc (LUCAS, 2007).

3.2. Demanda hídrica na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental

O município de Garanhuns está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, circunscrita na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental (Figura 1) e limítrofe à Região Hidrográfica do São Francisco.



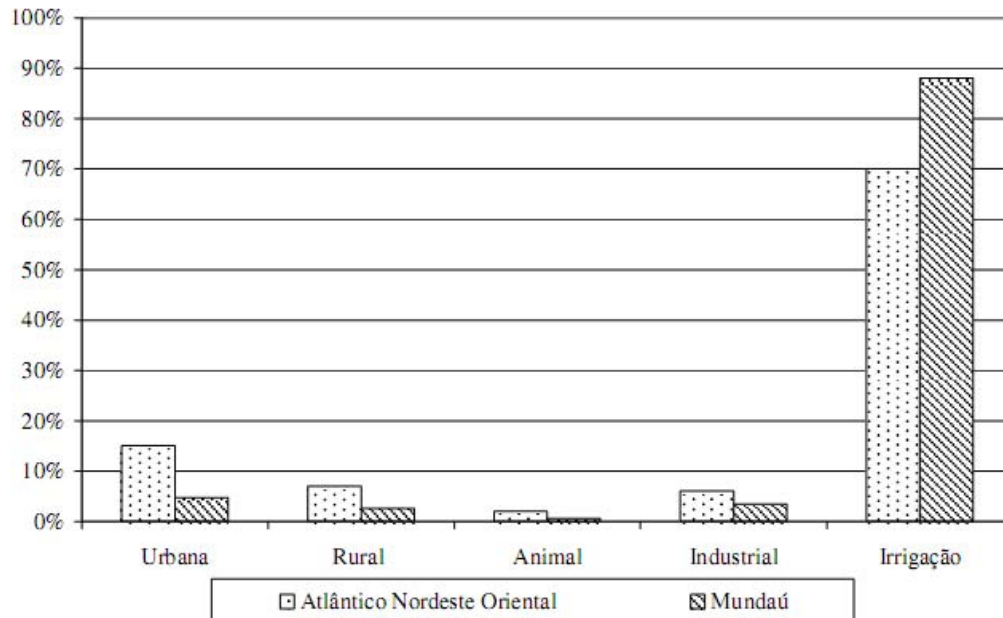
Fonte: ANA

Figura 1. Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental.

A Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental (Figura 1) tem uma área de 286.802 km², equivalente a 3,4% do território brasileiro. Abrange as seguintes unidades da federação: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. A maior parte de sua área pertencente à região do semiárido nordestino, caracterizada por apresentar períodos críticos de prolongadas estiagens, resultado de baixa pluviosidade e alta evapotranspiração. As bacias hidrográficas que compõem a região Atlântico Nordeste Oriental são pequenas bacias costeiras que se caracterizam por possuírem rios de pequena extensão e com baixa vazão (ANA, 2009).

Com relação às águas superficiais (Figura 2), na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, verificamos que a irrigação é a atividade que requer maior demanda. Nesta mesma região é comum a ocorrência de águas subterrâneas com

elevados teores de sais, o que restringe o uso para abastecimento humano, animal, irrigação e industrial.



Fonte: PNRH, 2003

Figura 2. Demanda de recursos hídricos na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental e na Unidade Hidrográfica do Mundaú.

3.3. Modelos de simulação na agricultura irrigada

Nos últimos anos tem aumentado o desenvolvimento e a utilização de modelos de simulação do balanço hídrico voltados às atividades agrícolas. Com o avanço da informática, algumas dificuldades operacionais, como a solução de equações complexas e a utilização de grande seqüência de dados, deixaram de serem obstáculos. O avanço da modelagem se deve também ao surgimento de linguagens de programação mais acessíveis e à evolução de técnicas de programação, associadas ao aumento da capacidade de processamento dos computadores pessoais (SOUZA e GOMES, 2008).

Há décadas o desenvolvimento de modelos, como ferramentas de apoio a tomada de decisão, tem tido como incentivo a complexidade inerente ao planejamento e manejo de sistemas de irrigação e, ou drenagem. Esta

complexidade é decorrente do grande número de variáveis e processos envolvidos no sistema solo-água-planta-atmosfera. Poderiam ser considerados modelos de simulação como aqueles que abrangem, de forma contínua, os efeitos e as interações dos processos que governam os estados deste sistema (BORGES JÚNIOR, 2004).

Dependendo da forma como são delimitados, sistemas agrícolas podem conter um grande número de componentes que se inter-relacionam e são afetados por fatores internos e externos a eles, o que os tornam complexos e de difícil controle. Modelos de simulação podem auxiliar no entendimento desse tipo de sistema e também permitir a análise de cenários em que se modificam os fatores e se avaliam os elementos do sistema e o seu produto final (ANDRADE et al., 2008).

A necessidade de um modelo de balanço hídrico com maior ou menor complexidade e precisão é função do tipo de trabalho e, ou atividade que está se desenvolvendo ou monitorando. Alguns modelos de simulação são complexos, o que exige grande número de variáveis que caracterizem o sistema solo-planta-atmosfera, enquanto outros são simplificados adotando-se premissas no intuito de reduzir custo, tempo, mão-de-obra, entre outros (SOUZA, 2001).

A utilização de modelos computacionais de simulação propicia ganhos em termos de tempo e economia de recursos materiais e financeiros podendo ser, também, eficazes instrumentos de difusão de agrotecnologias (BORGES JÚNIOR et al., 2008).

Respostas como produtividade das culturas podem ser obtidas a partir de simulações através de modelos computacionais. Alguns modelos realizam as simulações em resposta a déficits hídricos, salinidade e excesso de água na zona radicular, resultantes de diferentes estratégias de manejo de irrigação e configurações de sistemas de irrigação ou drenagem (GARCIA et al., 1995).

3.3.1. Exemplos de modelos de simulação

Existem modelos que são utilizados para auxiliar na definição de estratégias de irrigações, como, por exemplo, o CROPWAT (FAO, 2009).

Modelos mecanísticos como o DSSAT e o CROPSYST simulam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas para genótipos específicos, levando em consideração fatores como: disponibilidade de água no

solo, clima e dinâmica do nitrogênio no solo e na cultura (TARJUELO e JUAN, 1999).

Entre os modelos desenvolvidos no Brasil, podemos citar o IRRIGA (MANTOVANI et al., 2003), o MCID (BORGES JÚNIOR, 2004) e o IrrigaLS (CARVALHO, 2003), que são ferramentas potenciais de auxílio à tomada de decisão na agricultura irrigada. Pode-se, também, mencionar modelos que auxiliam no dimensionamento de sistemas de drenagem como o SISDRENA (MIRANDA, 1997) e o PRODREN (BORGES JÚNIOR, 2000).

3.4. Modelo Computacional para Suporte à Decisão em Irrigação e Drenagem - MCID

O Modelo Computacional para Suporte à Decisão em Irrigação e Drenagem (MCID) foi desenvolvido em Delphi (Borland Software Corporation), sendo aplicável em nível de unidade de produção. Nas simulações realizadas com o modelo, tem-se, como variáveis de saída, a produtividade da cultura, uso da água (requerimento de irrigação e perdas por percolação), componentes do balanço hídrico e, ou de sais na zona radicular, descarga nos drenos e variação da profundidade freática (quando for o caso) e retorno financeiro em resposta a diferentes manejos de irrigação e configurações da rede de drenagem (BORGES JÚNIOR et al., 2008).

O MCID é um programa computacional cuja aplicação é uma seqüência de entrada de dados, processamento de cálculos e acesso aos resultados. A entrada de dados é feita diretamente nos formulários do programa ou por arquivos texto criados a partir de planilhas eletrônicas (Excel, QuatroPro, Lotus, dentre outras). O acesso aos resultados é feito por meio dos formulários do programa ou arquivos de resultados (BORGES JÚNIOR et al., 2008).

São utilizados dois esquemas relativos ao balanço hídrico na zona radicular, nas simulações procedidas com o MCID. No primeiro esquema, considera-se a existência de drenos laterais subterrâneos. Já no segundo, considera-se o lençol freático a uma profundidade suficientemente grande para que o fluxo ascendente na região não saturada, oriundo do lençol, seja desprezível, não sendo considerada também a existência de uma rede de drenos subterrâneos. As rotinas que processam o balanço de sais são ligadas às rotinas do balanço hídrico, havendo

procedimentos específicos para o primeiro e segundo esquema (BORGES JÚNIOR et al., 2008).

No cálculo da parcela da precipitação que infiltra, leva-se em consideração o escoamento superficial obtido pelo método do número da curva (Soil Conservation Service, 1972) e/ou com base na lâmina de água que excede a capacidade de armazenamento superficial (Borges Júnior, 2004).

A lâmina e o intervalo de irrigação podem ser considerados variáveis de entrada ou variáveis a serem calculadas, com base no balanço hídrico e de sais na zona radicular e conforme parâmetros fornecidos pelo usuário, como o déficit de água em relação à capacidade de água disponível do solo para indicar o momento de irrigar, a eficiência potencial de aplicação e a eficiência de distribuição de projeto (Keller & Bliesner, 1990; Borges Júnior & Mantovani, 2001).

A estimativa da produtividade relativa das culturas é efetuada para cada ano de simulação, sendo que até três cultivos anuais poderão ser considerados.

Médias e desvios padrão são calculados para as variáveis de saída totalizadas anualmente e em cada período de cultivo no ano. Com esses parâmetros, são definidas funções de densidade de probabilidade (FDPs) com distribuição normal; o usuário poderá, então, verificar o valor das variáveis de saída a diferentes níveis de probabilidade. Essas informações poderão ser posteriormente empregadas em estudos de otimização de padrão de cultivo em nível de propriedade agrícola, quanto ao retorno financeiro e ao uso da água, associados à análise de risco com base em simulações (BORGES JÚNIOR et al., 2008).

Andrade et al. (2008), na avaliação de estratégias de produção em agricultura irrigada no perímetro de irrigação do Gortuba, MG, utilizou o MCID para determinar o requerimento de irrigação (RIT) e a produtividade relativa (YRT) em resposta a diferentes estratégias de manejo de irrigação, levando em consideração informações técnicas e econômicas de cinco culturas perenes e quinze anuais, séries históricas de dados de clima, dados de solo e coeficientes técnicos dos custos de produção. O requerimento de irrigação e a produtividade relativa foram então empregados nos estudos de otimização de padrão de cultivo e estratégias de produção, associados à análise de risco, na definição de coeficientes técnicos relativos à função objetivo e equações de restrição do modelo de programação linear.

Os resultados dos testes e da aplicação ao perímetro de irrigação do Jaíba também indicaram a potencialidade do MCID como ferramenta de apoio à tomada de decisão em projetos de irrigação e/ou drenagem (FERREIRA et al., 2006).

4. Material e métodos

4.1. Local

O estudo foi realizado no município de Garanhuns (Figura 3), no estado de Pernambuco, considerando dados de uma propriedade rural cuja imagem é apresentada na Figura 4. A microrregião de Garanhuns, localizada ao sul da mesorregião do Agreste Pernambucano, abrange a parte alta da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, circunscrita na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental e limítrofe à Região Hidrográfica do São Francisco. O clima é tropical chuvoso com verão seco, sendo, predominantemente na área, do tipo As', segundo a classificação de Koeppen.

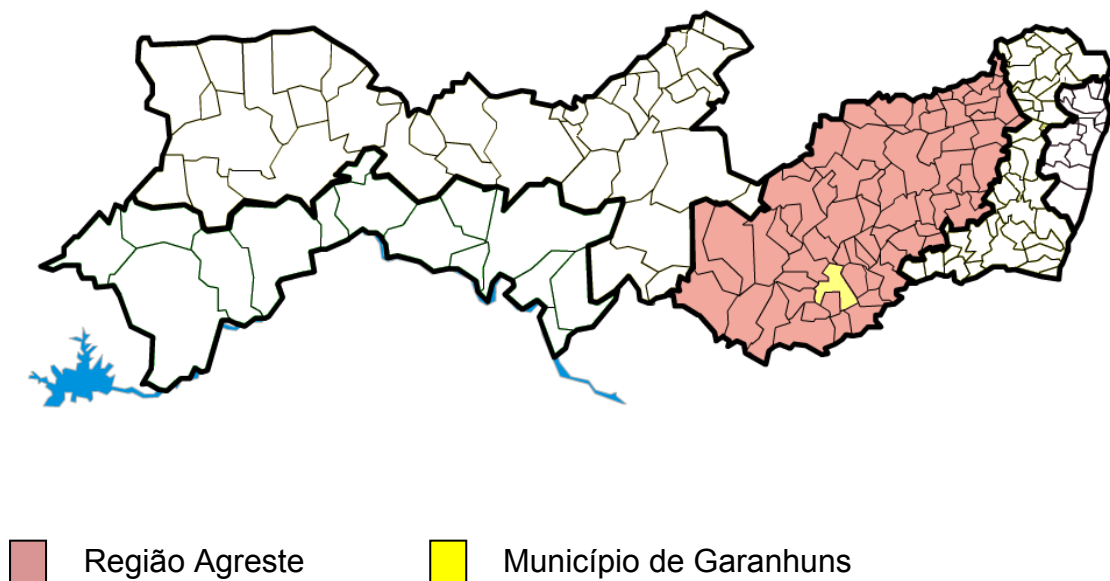


Figura 3. Localização do Município de Garanhuns.

4.2. Dados

Para a aplicação da modelagem usando o MCID foi necessária a obtenção de base de dados, descrita a seguir.

4.2.1. Dados climáticos

Os dados meteorológicos foram obtidos em base diária de uma estação meteorológica convencional do INMET (3º Distrito de Meteorologia), localizada no município de Garanhuns, na latitude 8° 53' Sul, longitude 36° 31' ° Oeste e altitude de 822,8 m. A série histórica utilizada abrangeu os anos de 1986 a 2008. Os dados considerados foram: temperaturas máxima, média e mínima, horas de insolação por dia, velocidade do vento, umidade relativa do ar e precipitação. Foi realizada uma análise de consistência, procurando-se identificar valores discrepantes de dados climáticos e descartando os mesmos quando encontrados. Em planilha eletrônica, identificaram-se esporádicas inconsistências nos valores dos dados climáticos, o que pode ocorrer, por exemplo, no procedimento de preenchimento manual de planilhas nas estações convencionais ou durante a digitalização dos dados. Devido a grandes sequências de falhas de dados de alguns elementos, foram descartados os anos de 1987 e de 1990 a 1993.

Os dados climáticos requeridos pelo modelo MCID foram precipitação e evapotranspiração de referência. Os dados de precipitação foram obtidos diretamente das planilhas fornecidas pelo INMET. A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi realizada a partir dos dados do INMET, utilizando-se a metodologia padrão FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Para isso, empregou-se o programa computacional REF-ET (ALLEN, 2000).

Nos anos bissextos foi realizada uma adaptação dos dados diários de precipitação e evapotranspiração de referência, para que todos os anos tivessem 365 dias de dados. Identificou-se o dia 29 de fevereiro e metade dos valores encontrados neste dia foram repassados para o dia anterior e a outra metade para o dia posterior, sendo este dia apagado da planilha.

4.2.2. Dados de solo

A coleta das amostras de solo foi realizada em uma propriedade rural, localizada no município de Garanhuns. Essa propriedade foi dividida em três grandes áreas, com base na topografia do solo (Figura 4).



Fonte: Google Earth, 2009

Figura 4. Foto da área da propriedade usada no estudo.

Em cada área foram escolhidos dois locais para que as amostras fossem retiradas. Em cada local foram retiradas amostras em três intervalos de profundidades: 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm. As amostras retiradas foram empregadas para a determinação da densidade do solo, textura e curva característica.

Foram retiradas amostras indeformadas para a determinação da curva característica, sendo três repetições em cada profundidade, utilizando um trado similar ao do tipo Uhland.

Para a densidade do solo, coletaram-se amostras de solo através de um anel de aço com volume definido, com 5,15cm de diâmetro e 5,50 cm de altura. Para a textura fez-se coleta de amostras deformadas.

As determinações dos dados de solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de

Pernambuco, em Recife, PE. Utilizou-se o método do anel volumétrico para a determinação da densidade do solo, segundo Embrapa (1997). Para a determinação da textura, foi utilizado o método do densímetro.

Na determinação dos dados para a obtenção da curva característica utilizou-se de dois métodos: funil de Büchner, cujas pressões variavam de 2,13 kPa a 21,99 kPa, e o extrator de Richards, com variação de pressão de 39,99 kPa a 799,77 kPa.

Após a obtenção dos valores da curva de retenção de água no solo, no laboratório, foram determinados os parâmetros do modelo de Van Genuchten (1980):

$$\theta(\psi_m) = \theta_r + \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha\psi_m)^n]^m} \right) \quad (1)$$

em que:

$\theta(\Psi_m)$ = relação funcional entre o teor de água (θ), em base volume, e o potencial matricial (Ψ_m), m.

θ_s = teor de água do solo na saturação, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

θ_r = teor de água residual, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

α = parâmetro com dimensão igual ao inverso da dimensão do potencial em m^{-1} .

m, n = parâmetros adimensionais.

Onde, $m = 1 - 1/n$ (Mualem, 1976).

Para a determinação dos parâmetros θ_r , α e n , do modelo de Genutchen, foi utilizada a metodologia dos mínimos quadrados conforme Andrade et al. (2008) através da ferramenta Solver (Figura 5) na planilha eletrônica Excel

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the Solver tool open. The Solver Parameters dialog box is configured as follows:

- Definir célula de destino:** \$G\$27
- Igual a:** Mx. Min. Valor de: 0
- Células variáveis:** \$B\$11:\$B\$13
- Submeter às restrições:**
 - \$B\$11 >= 0
 - \$B\$14 <= 1
 - \$B\$14 >= 0

The spreadsheet data is as follows:

| Curva de retenção de solo L1P10A | | Valores iniciais dos parâmetros VG | | | |
|----------------------------------|-------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| Número de pontos: | 14 | teta r | 0.2 | | |
| Variância (teta medido): | 3.3199E-02 | Alfa | 2 | | |
| | | n | 1.1 | | |
| parâmetros VG | | Medições | | van Genuchten | |
| teta s | 0.43944342 | Pot. | t | t | Desvio |
| teta r | 0 | kPa | cm ³ /cm ³ | cm ³ /cm ³ | Quadrado |
| Alfa (1/kPa) | 0.056227872 | Medido | Medido | Estimado | |
| n | 2.894554327 | 0 | 0.43944342 | 0.4394 | 0.000E+00 |
| Solução | 0.023210063 | 2.132466467 | 0.41235529 | 0.4388 | 7.006E-04 |
| r2 | 0.9601 | 3.465258008 | 0.390684786 | 0.4369 | 2.139E-03 |
| | | 5.597724475 | 0.369014282 | 0.4296 | 3.670E-03 |
| Teta cc | 0.3924 | 8.263307558 | 0.352761404 | 0.4107 | 3.361E-03 |
| Teta pm | 0.0001 | 11.0621698 | 0.336508525 | 0.3791 | 1.817E-03 |
| Teta PD | 0.4275 | 16.52661512 | 0.314838021 | 0.2982 | 2.780E-04 |
| Alfa (1/cm) | 0.56228 | 21.99106044 | 0.298585143 | 0.2215 | 5.946E-03 |
| | | 39.98815749 | 0.022889308 | 0.0892 | 4.380E-03 |
| | | 59.98223624 | 0.019227421 | 0.0431 | 5.692E-04 |
| | | 79.97631498 | 0.016510503 | 0.0253 | 7.640E-05 |
| | | 99.97039373 | 0.014420566 | 0.0166 | 4.800E-06 |
| | | 399.8815749 | 0.012330629 | 0.0012 | 1.237E-04 |
| | | 799.7631498 | 0.012330629 | 0.0003 | 1.441E-04 |
| | | | soma | | 2.321E-02 |

Figura 5. Ferramenta Solver na planilha eletrônica do Excel.

No local de estudo existem diferenças quanto à topografia. Na Área 1 a declividade foi considerada nula. Já nas áreas 2 e 3, com declividades expressivas, considerou-se o escoamento superficial.

A metodologia utilizada para quantificar o escoamento superficial foi a do número da curva (SCS-USDA). O método foi desenvolvido pelo Soil Conservation Service (1972), vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA) e permite estimar a lâmina de escoamento superficial a partir de dados de precipitação e outros parâmetros da bacia.

4.2.3. Dados de cultura

Foram consideradas oito culturas nos estudos, sendo duas perenes e seis anuais. As culturas perenes foram: banana e maracujá; e as anuais: feijão, mandioca, milho, pimentão, repolho e tomate para indústria.

Com relação a essas culturas, foi levantada uma base de dados a partir da literatura especializada. Os coeficientes levantados das culturas foram: duração de cada estágio fenológico e total do ciclo, fator de resposta, profundidade efetiva do sistema radicular, fator de disponibilidade de água, coeficiente de cultura (todos esses parâmetros relacionados aos estágios fenológicos) e produtividade. Os dados das culturas são apresentados nas tabelas 1 a 6.

Ajustes foram feitos em alguns dados visando à adequação a realidade da região. Isso foi necessário devido à dificuldade de se encontrar coeficientes técnicos destas culturas para a região estudada, mostrando, desta forma, a necessidade de pesquisas na região para obtenção dos mesmos. A cultura da graviola foi excluída do estudo pela falta de literatura que evidenciasse esses coeficientes técnicos.

Tabela 1. Duração dos estádios e dos ciclos das culturas consideradas nos estudos

| Cultura | Duração (dias) Estádios | | | | | Fonte e observações |
|--------------|-------------------------|----|-----|-----|-------|---|
| | I | II | III | IV | Ciclo | |
| Banana prata | 120 | 90 | 120 | 34 | 364 | FAO 56 ¹ ajustado para 364 dias |
| Feijão | 20 | 30 | 30 | 10 | 90 | Cropwat ² |
| Mandioca | 187 | 50 | 138 | 75 | 450 | Embrapa-CNPTIA (ajuste segundo dados da FAO 56 para 15 meses segundo a Embrapa) |
| Maracujá | 243 | 61 | 244 | 154 | 702 | Embrapa – CNPTIA (com modificações) |
| Milho | 20 | 34 | 40 | 26 | 120 | www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho |
| Pimentão | 30 | 40 | 110 | 30 | 210 | Fao 56 ¹ |
| Repolho | 25 | 35 | 25 | 15 | 100 | Cropwat ² |
| Tomate | 15 | 30 | 40 | 30 | 115 | Embrapa - CNPTIA |

¹Allen et al. (1998); ²Programa computacional desenvolvido pela Land and Water Development Division-FAO.

Tabela 2. Valores do fator de resposta (Ky) dos estádios e dos ciclos das culturas consideradas

| Cultura | Ky- Estádios | | | | | Ciclo | Fonte e observações |
|------------------|--------------|-----|-----|-----|------|-------|----------------------|
| | I | II | III | IV | | | |
| Banana prata | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | Cropwat ¹ |
| Feijão | 0,2 | 0,6 | 1,0 | 0,4 | 1,15 | 1,15 | Cropwat ¹ |
| Mandioca | | | | | 1,0 | 1,0 | Sem fonte |
| Maracujá | | | | | 1,0 | 1,0 | Sem fonte |
| Milho | 0,4 | 0,4 | 1,3 | 0,5 | 1,25 | 1,25 | Cropwat ¹ |
| Pimentão | | | | | 1,1 | 1,1 | FAO 33 ² |
| Repolho | | | | | 0,95 | 0,95 | FAO 56 ³ |
| Tomate indústria | 0,5 | 0,6 | 1,1 | 0,8 | 1,05 | 1,05 | FAO 56 ³ |

¹Programa computacional desenvolvido pela Land na Water Development Division-FAO; ²Doorenbos & Kassam (1979); ³Allen et al. (1998)

Tabela 3. Valores de produtividade potencial (Y_p) das culturas

| Cultura | Produtividade Potencial (t/ha) |
|-------------------------|--------------------------------|
| Banana prata ano 1 | 0,0 |
| Banana prata anos 2 e 3 | 17,5 |
| Feijão sequeiro | 0,9 |
| Feijão irrigado | 1,5 |
| Mandioca | 15,0 |
| Maracujá ano 1 | 8,1 |
| Maracujá ano 2 | 16,2 |
| Maracujá ano 3 | 2,7 |
| Milho irrigado | 4,0 |
| Milho sequeiro | 2,8 |
| Pimentão | 30,0 |
| Repolho | 30,0 |
| Tomate indústria | 55,0 |

Valores adaptados dos obtidos no IBGE e com o Banco do Brasil

Tabela 4. Valores do fator de disponibilidade de água (f) considerados no estudo

| Cultura | f – Estádios | | | | | Ciclo | Fonte e observações |
|------------------|--------------|-----|------|------|-----|-------|----------------------|
| | I | II | III | IV | | | |
| Banana prata | 0,35 | | 0,35 | 0,35 | | | Cropwat ¹ |
| Feijão | 0,45 | | 0,45 | 0,6 | | | Cropwat ¹ |
| Mandioca | | | | | 0,5 | | Sem fonte |
| Maracujá | | | | | 0,5 | | Sem fonte |
| Milho | 0,5 | | 0,5 | 0,8 | | | Cropwat ¹ |
| Pimentão | | | | | 0,5 | | Sem fonte |
| Repolho | 0,4 | | 0,4 | 0,4 | | | Cropwat ¹ |
| Tomate indústria | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | | FAO 56 ² |

¹Programa computacional desenvolvido pela Land and Water Development Division-FAO; ²Allen et al. (1998).

Tabela 5. Valores de profundidade efetiva do sistema radicular (profr) utilizados no estudo

| Cultura | profr (m) - Estádios | | | | Fonte e observações |
|------------------|----------------------|-----|------|-----|--|
| | I | II | III | IV | |
| Banana prata | 0,2 | | 0,6 | 0,6 | SISDA ¹ e FAO 56 |
| Feijão | 0,15 | | 0,4 | 0,4 | SISDA ¹ |
| Mandioca | 0,15 | | 0,5 | | FAO 56 ² |
| Maracujá | 0,2 | | 0,6 | 0,6 | SISDA ¹ |
| Milho | 0,15 | | 0,5 | 0,5 | www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho |
| Pimentão | 0,1 | | 0,45 | | Marouelli et al., 2008 |
| Repolho | | 0,2 | 0,3 | 0,3 | Marouelli et al., 2008 |
| Tomate indústria | 0,2 | | 0,4 | 0,4 | Doc 69 ³ |

¹Mantovani et al, 2003; ²Allen et al. (1998); ³Borges Júnior et al., 2008.

Tabela 6. Coeficientes de cultura (Kc) utilizados nos estudos

| Cultura | Kc - Estádios | | | Fonte e observações |
|-------------------------|---------------|---------------|-------|--|
| | Inicial | Intermediário | Final | |
| Banana prata ano 1 | 0,5 | 1,1 | 1,0 | Com base no FAO 56 ¹ e no programa SISDA ² |
| Banana prata anos 2 e 3 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | MCID ³ |
| Feijão | 0,4 | 1,15 | 0,35 | Cropwat ⁴ |
| Mandioca | 0,3 | 1,1 | 0,5 | Fao 56 ¹ |
| Maracujá ano 1 | 0,65 | 1,2 | 0,8 | Irriga-I ⁵ (com adaptações) |
| Maracujá ano 2 | 0,8 | 1,2 | 1,2 | Irriga-I ⁵ (com adaptações) |
| Maracujá ano 3 | 1,2 | | | Irriga-I ⁵ (com adaptações) |
| Milho | 0,3 | 1,2 | 0,5 | Cropwat ⁴ |
| Pimentão | 0,5 | 1,15 | 0,9 | Marouelli et al., 2008 |
| Repolho | 0,7 | 1,1 | 0,95 | Marouelli et al., 2008 |
| Tomate indústria | 0,55 | 1,05 | 0,65 | Doc 69 ⁶ |

¹Allen et al, (1998); ²Mantovani et al, 2003; ³Borges Júnior, 2004; ⁴Programa computacional desenvolvido pela Land na Water Development Division-FAO; ⁵IRRIGA-L Grupo de Discussão destinado à todos os profissionais e estudantes interessados em assuntos ligados à irrigação e/ou agricultura irrigada; ⁶Borges Júnior et al., 2008.

4.2.4. Dados financeiros

Levantou-se uma base de dados econômicos com relação às culturas estudadas. Esses dados, apresentados nas tabelas 7 e 8, foram: série histórica de preço e a discriminação do custo de implantação de cada lavoura.

Os dados econômicos foram obtidos junto à agência do Banco do Brasil do município de Garanhuns. A série histórica de preço foi corrigida segundo o IPCA (Índice de Preço ao Consumidor Amplo), para janeiro de 2009. Logo após obteve-se as médias corrigidas desses valores, conforme apresentado na Tabela 7, para posteriormente serem utilizadas na modelagem com o MCID.

Nas simulações não foi levado em consideração a compra de equipamentos para o sistema de irrigação, ou seja, o custo de investimento no sistema de irrigação foi nulo.

Tabela 7. Média das séries históricas dos preços de venda corrigidos pelo IPCA, no município de Garanhuns-PE

| Cultura | Média (R\$/kg) | Desvio Padrão (R\$/kg) | Coefficiente de Variação (%) |
|--------------|----------------|------------------------|------------------------------|
| Banana Prata | 0,43 | 0,214 | 49,9 |
| Feijão | 1,47 | 0,606 | 41,2 |
| Maracujá | 1,32 | 0,339 | 25,7 |
| Milho | 0,46 | 0,081 | 17,6 |
| Pimentão | 1,32 | 0,339 | 25,7 |
| Repolho | 0,44 | 0,152 | 34,6 |
| Tomate | 0,44 | 0,184 | 41,39 |
| Mandioca | 0,17 | 51,20 | 30,5 |

Fonte: Banco do Brasil

Tabela 8. Custo de produção das culturas relacionadas no estudo

| Cultura | Custo de produção (R\$/ha) |
|--------------|----------------------------|
| Banana Prata | 7.100,94 |
| Feijão | 1.311,93 |
| Mandioca | 1.184,84 |
| Maracujá | 4.608,67 |
| Milho | 1.007,63 |
| Pimentão | 8.995,15 |
| Repolho | 7.897,38 |
| Tomate | 11.865,57 |

Fonte: Banco do Brasil

4.3. Simulações com o modelo MCID

Foi utilizado o Modelo Computacional para Suporte a Decisão em Irrigação de Drenagem (BORGES JÚNIOR et al., 2008) para simular componentes do balanço hídrico e o requerimento de irrigação das diferentes culturas. Esse modelo possui uma interface gráfica, de modo a interagir com o usuário, o que facilita a entrada de dados e acesso aos resultados.

As datas de plantio (Tabela 9) e as estratégias de manejo de irrigação empregadas nos estudos (Tabela 10) foram definidas após uma busca na literatura especializada e relacionados com dados fornecidos pelo Banco do Brasil. As simulações com o modelo foram realizadas durante um ciclo de produção para cada cultura.

Tabela 9. Época de plantio e método de irrigação, quando for o caso, das culturas estudadas

| Cultura | Mês de plantio | Método de irrigação |
|----------|-------------------------|---------------------|
| Banana | Janeiro (anos 1, 2 e 3) | Microaspersão |
| Feijão 1 | Janeiro | Aspersão |
| Feijão 2 | Março | Sequeiro |
| Feijão 3 | Outubro | Aspersão |
| Feijão 4 | Março | Aspersão |
| Milho 1 | Janeiro | Aspersão |
| Milho 2 | Abril | - |
| Mandioca | Abril (anos 2 e 3) | - |
| Maracujá | Março (anos 1, 2 e 3) | Gotejamento |
| Pimentão | Outubro (anos 2 e 3) | Gotejamento |
| Repolho | Setembro | Gotejamento |
| Tomate | Setembro | Gotejamento |

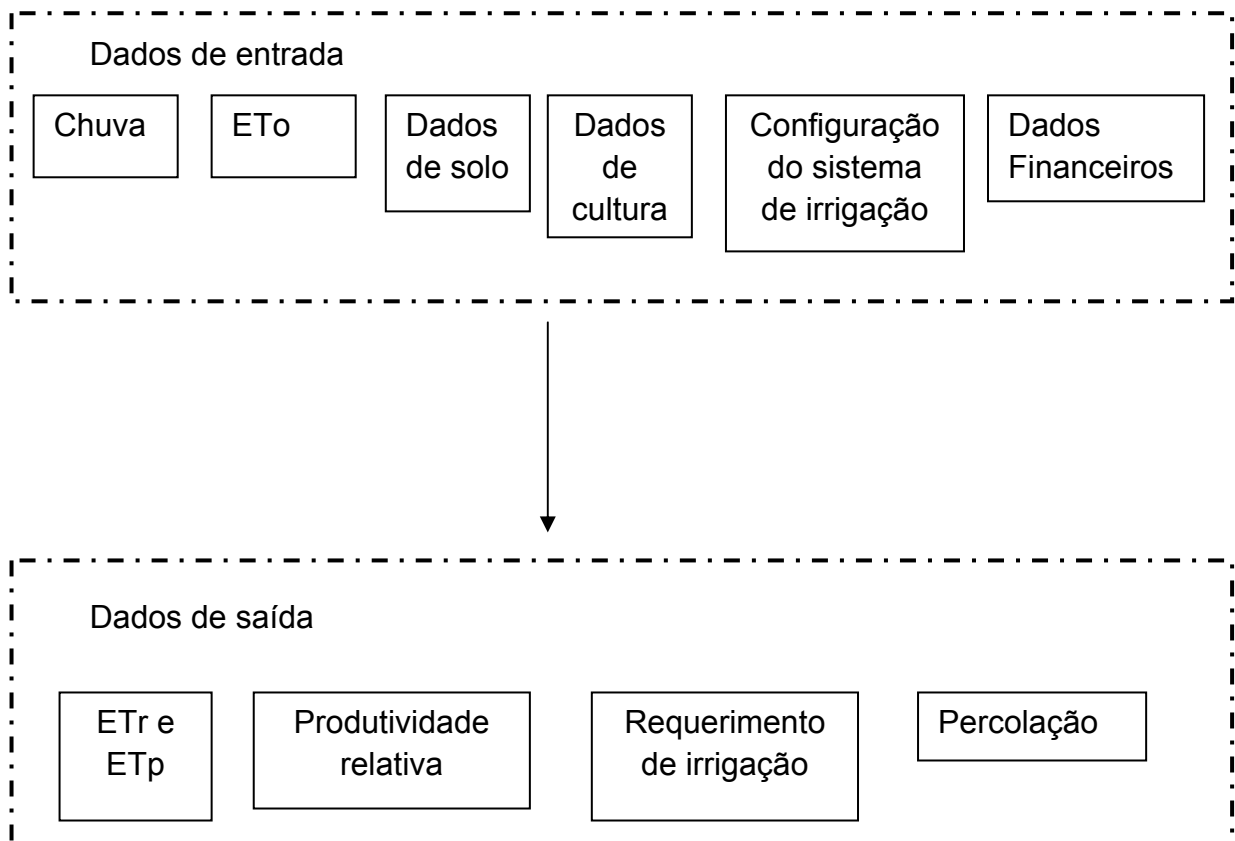
Tabela 10. Estratégias de manejo de irrigação utilizado nos estudos

| Cultura | Manejo de irrigação |
|----------|---|
| Banana | Turno de rega de dois dias |
| Feijão 1 | Conforme a demanda, suspender uma semana antes da colheita |
| Feijão 3 | Conforme a demanda, suspender uma semana antes da colheita |
| Feijão 4 | Conforme a demanda, suspender uma semana antes da colheita |
| Milho 1 | Turno de rega de sete dias, suspender sete dias antes da colheita |
| Maracujá | Conforme a depleção de água na zona radicular |
| Pimentão | Intervalo de dias fixos de um dia |
| Repolho | Variar conforme a demanda |
| Tomate | Variar conforme a demanda, parar 20 dias antes da colheita |

4.3.1. Dados de entrada do modelo

Nas simulações considerou-se a ausência de rede de drenos e o lençol freático a uma profundidade suficientemente grande para que seja insignificante o valor do fluxo ascendente de água na região não saturada, oriundo do lençol.

Os dados de entrada e de saída para esta situação são esquematizados na Figura 6. A entrada de dados no modelo MCID é ilustrada com as figuras 7 a 12.



ET_o: Evapotranspiração da cultura de referência; ET_r evapotranspiração real da cultura; ET_p: evapotranspiração potencial da cultura.

Figura6. Esquema de entrada e saída de dados do modelo

Dados de chuva

Número de anos: 17

Primeiro mês: jan

Abzir arquivo

Salvar arquivo

Opção: Dados diários

Arquivo aberto: C:\Program Files\MCID-beta_pt\garanhuns\chuva.t

OK

Limpar

| Dados de chuva (mm) | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| Ano: | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 |
| Dia: | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| 1 | 0.8 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 1.6 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.2 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 8.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 7.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 6.2 |
| 15 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 7. Planilha para a entrada de dados de precipitação

Evapotranspiração de referência

Número de anos: 17

Abzir arquivo

Salvar arquivo

Opções: Dados diários

Arquivo aberto: C:\Program Files\MCID-beta_pt\garanhuns\Eto.tx

OK

Limpar

| Evapotranspiração de referência (mm) | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|----|
| Ano: | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1: |
| Dia: | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | |
| 1 | 4.06 | 4.22 | 4.95 | 5.02 | 6.04 | 5.63 | 4. |
| 2 | 4.65 | 4.06 | 4.68 | 5.12 | 5 | 5.9 | 4. |
| 3 | 5.59 | 5.09 | 5.35 | 5.33 | 4.77 | 5.35 | 5. |
| 4 | 5.61 | 4.88 | 4.9 | 3.68 | 5.11 | 5.67 | 5. |
| 5 | 5.6 | 4.8 | 3.08 | 2.82 | 2.89 | 4.47 | 5. |
| 6 | 5.84 | 4.97 | 3.69 | 4.73 | 4.28 | 4.78 | 5. |
| 7 | 5.5 | 5.15 | 4.43 | 2.19 | 4.9 | 4.68 | 5. |
| 8 | 5.13 | 4.78 | 5.44 | 5.01 | 5.43 | 5.44 | 6. |
| 9 | 3.31 | 5.18 | 4.66 | 5.1 | 5.03 | 4.86 | 5. |
| 10 | 3.06 | 2.02 | 5.98 | 4.89 | 5.15 | 5.64 | 5. |
| 11 | 5.29 | 4.48 | 5.7 | 4.17 | 5.77 | 5.2 | 4. |
| 12 | 5.58 | 4.21 | 5.12 | 4.68 | 4.67 | 4.92 | 5. |
| 13 | 4.82 | 3.2 | 5.08 | 5.04 | 4.42 | 4.14 | 4. |
| 14 | 4.52 | 4.8 | 3.67 | 5.09 | 2.82 | 6.2 | 3. |
| 15 | 4.55 | 4.71 | 3.6 | 5.56 | 2.82 | 5.26 | 5. |
| 16 | 5.28 | 4.78 | 4.85 | 5.02 | 2.81 | 5.8 | 5. |
| 17 | 5.01 | 4.91 | 5.27 | 5.57 | 3.47 | 3.92 | 5. |

Figura 8. Planilha para a entrada de dados de evapotranspiração de referência

Dados de solo

Arquivo aberto: C:\Program Files\MCID-beta_pt\garanhuns\2\solo-a2.sol

Número de camadas: 3 Profundidade da camada impermeável (m): 5

Camada 1 | Camada 2 | Camada 3

Classe textural: media Profundidade inicial (m): 0
Profundidade final (m): 0.2

| Dados de solo | | Parâmetros de van Genuchten | |
|---------------|-------|---|--------|
| TetaS | 0.368 | n | 6.338 |
| TetaPd | 0.368 | <input checked="" type="checkbox"/> m=1-1/n | 0.8422 |
| TetaCC | 0.367 | Alpha | 0.395 |
| TetaPMP | 0.071 | Teta residual | 0.058 |
| Teta0 | 0.367 | l | 0.5 |
| Khs | 1.2 | Kvs | 1.2 |

Khs constante Khs: 1.2

Capacidade de armazenamento superficial

Cálculo do fluxo ascendente máximo:
 Not available
 Constante - relacionada à profundidade do contorno
 Usar profundidade crítica limitante

Profundidade do contorno superior: 0.15
Profundidade crítica (m):

Parâmetros:
 - Teta = teor de água do solo [m³/m³]; - Alpha [1/cm];
 - Dci = profundidade da camada impermeável [m]; - n [-];
 - Khs = condutividade hidráulica horizontal do solo saturado [m/dia];
 - Kvs = condutividade hidráulica vertical do solo saturado [m/dia];
 Fluxo ascendente máximo

Limpar OK Calcular Editar Ver tabela

Figura 9. Dados de solo

Dados de cultura

Número de culturas: 1

Profundidade da camada superficial (cm): 10

Kc - coeficiente de cultura:
 Kc - coeficiente único
 Kcb - coeficiente dual

Ksd - coeficiente de estresse:
 FAO 56
 Logarítmico

f - fator de disponibilidade:
 Variável em cada estágio
 Valor único

few

Tabela: profundidade radicular

Profundidade radicular (cm):

Day (cm):

| | |
|----|-------|
| 1 | 20.00 |
| 2 | 20.19 |
| 3 | 20.38 |
| 4 | 20.57 |
| 5 | 20.76 |
| 6 | 20.95 |
| 7 | 21.14 |
| 8 | 21.33 |
| 9 | 21.52 |
| 10 | 21.71 |
| 11 | 21.90 |
| 12 | 22.10 |
| 13 | 22.29 |
| 14 | 22.48 |
| 15 | 22.67 |
| 16 | 22.86 |

Cultivo 1

Arquivo aberto: C:\Program Files\MCID-beta_pt\garanhuns\1\banana-ano1

Cultura: banana ano1

Kc ini: 0.5 Kc inter: 1.1 Kc final: 1

| Total | Stage I | Stage II | Stage III | Stage IV |
|-----------|---------|----------|-----------|----------|
| Ky: 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| f: 0.35 | 0.35 | [...] | 0.35 | 0.35 |
| Dias: 364 | 120 | 90 | 120 | 34 |
| fc: 0.1 | 0.5 | 1 | 1 | |
| fw: 0.8 | | | | |

Cálculo da produtividade (YRDS):
Mínima produtividade - estádios e e

Interpolação

OK

Dia / Mês / Dia Juliano

| | | | |
|-----------|----|----|-----|
| Plantio: | 1 | 1 | 1 |
| Colheita: | 31 | 12 | 365 |

Profundidade radicular inicial: 20
Profundidade radicular final (estádios III e IV): 60

Figura 10. Dados de cultura

Irrigação - critérios de manejo

Abrir arquivo Salvar arquivo Padrão OK

Open file
C:\Program Files\MCID-beta_pt\garanhuns\1\banana-ano1.irr

Sem irrigação (agricultura de sequeiro)

Intervalo entre irrigações

Irigar em intervalos fixos (dias)

Irigar quando ocorrer depleção de água na zona radicular equivalente a % da CRA
Irigar quando ocorrer depleção de água na zona radicular equivalente a % da CTA
Irigar quando ocorrer determinada depleção da zona radicular (mm)

Irigar em intervalos fixos (dias)

Irigar em intervalos variáveis com lâminas variáveis (definidos pelo usuário)

Lâminas fixas (mm)

100 (mm) Irrigar somente se depleção > 0

Programação Também irrigar em outras datas

Número de culturas 1

Início **Fim**
Número de dias Número de dias
após o plantio antes da colheita

0 Cultivo 1 1

Figura 11. Dados com relação ao dimensionamento da irrigação

Embora a análise financeira seja enfocada no Capítulo II, dados financeiros também foram empregados no preenchimento de formulários específicos do MCID (Figura 11).

Dados financeiros

Arquivo aberto
C:\Program Files\MCID-beta_pt\garanhuns\2

Abrir arquivo Salvar arquivo

Vida útil dos sistemas (anos) 10
Taxa de desconto anual (%) 12.00
Área total (ha) 1.000

Moeda
Real - R\$

Cultivo 1

Produtividade potencial (t/ha) 15.0000
Preço de venda (\$/t) 167.80
Custo de produção (\$/ha) 1779.41
Outros custos (\$/t) 0.00

Irrigação | Drenagem

Custo da água de irrigação (\$/1000 m3) 0.00
Custo da energia (\$/kWh ou litro de combustível) 0.2000
Consumo específico de energia (kWh ou litro de combustível/1000 m3) 173.00
Outros custos variáveis (\$/m3/ha) 0.00000
Custo do sistema de irrigação (\$/ha) 0.00
Outros custos fixos por unidade de área (\$/(ano/ha)) 0.00

Clear OK

Figura 12. Dados financeiros

5. Resultados e Discussão

5.1. Dados climáticos

Na Figura 13 estão representadas as médias dos valores mensais dos dados de precipitação pluvial e de evapotranspiração de referência, ETo, obtidos a partir das séries históricas de dados climáticos. Entre os meses de janeiro a abril e setembro a dezembro, as médias mensais de ETo são superiores às de precipitação, indicando provável déficit hídrico em cultivos de sequeiro nestes períodos.

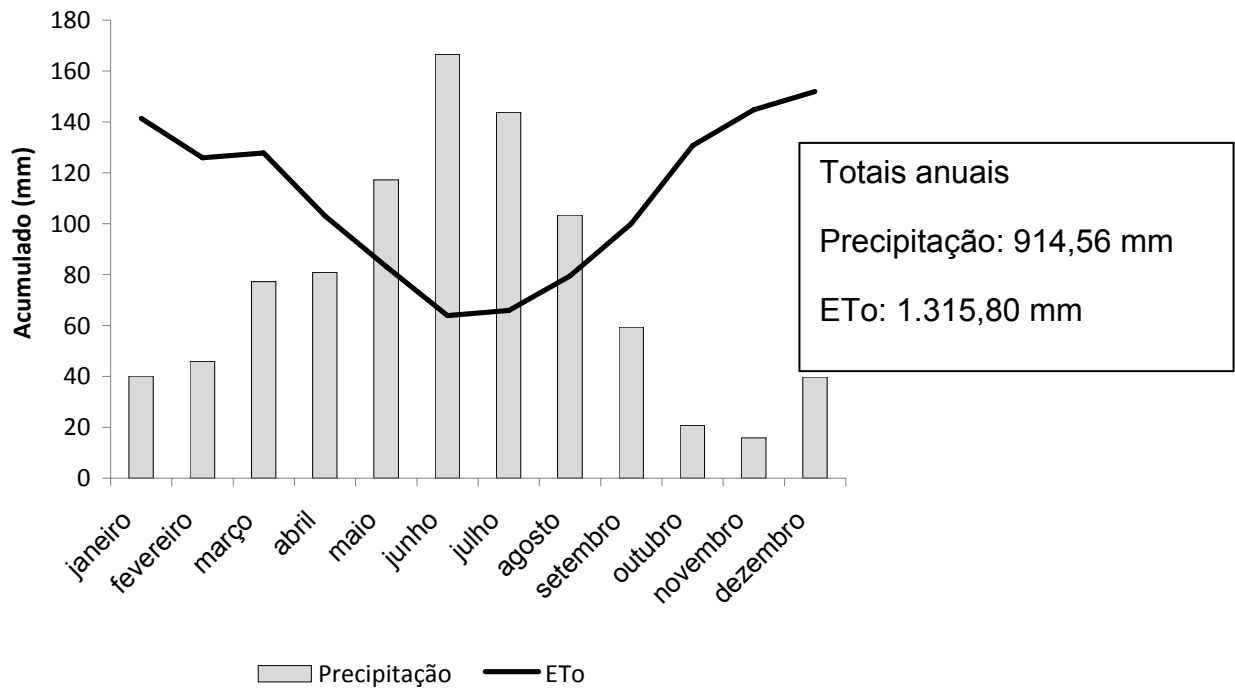


Figura 13. Médias dos valores acumulados mensal de precipitação pluvial e evapotranspiração de referência (ETo).

5.2. Parâmetros físico-hídricos de solo

Na Tabela 11 são apresentados os parâmetros do modelo de Van Genuchten (1980) da curva característica, obtidos para os solos nos diferentes locais de amostragens, os quais foram utilizados nas simulações com o MCID.

Os maiores valores de disponibilidade total de água, DTA, foram encontrados na Área 1. Nota-se que os menores valores estão presentes na Área 2, exceto para a profundidade de 50 cm.

Tabela 11. Parâmetros do modelo de Van Genuchten, textura e densidade dos locais de estudo

| Local | θ_s | θ_r | N | θ_{cc} (mm.mm ⁻¹) | θ_{PM} (mm.mm ⁻¹) | α (cm ⁻¹) | DTA (mm.mm ⁻¹) | Densidade (g cm ⁻³) | Textura |
|-------------------------|------------|------------|-------|---|---|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| A₁P10 | 0,411 | 0,000 | 2,895 | 0,395 | 0,012 | 0,562 | 0,383 | 1,559 | Franco Arenosa |
| A₁P30 | 0,399 | 0,013 | 2,895 | 0,399 | 0,012 | 0,372 | 0,387 | 1,513 | Franco Arenosa |
| A₁P50 | 0,333 | 0,000 | 9,992 | 0,314 | 0,008 | 0,574 | 0,306 | 1,619 | Franco Arenosa |
| A₂P10 | 0,368 | 0,058 | 2,765 | 0,367 | 0,071 | 0,395 | 0,296 | 1,321 | Franco Argila Arenosa |
| A₂P30 | 0,387 | 0,081 | 6,338 | 0,384 | 0,097 | 0,406 | 0,287 | 1,493 | Argila Arenosa |
| A₂P50 | 0,414 | 0,069 | 5,183 | 0,402 | 0,085 | 0,394 | 0,317 | 1,287 | Argila Arenosa |
| A₃P10 | 0,400 | 0,023 | 6,368 | 0,399 | 0,030 | 0,413 | 0,369 | 1,588 | Franco Argila Arenosa |
| A₃P30 | 0,370 | 0,024 | 5,171 | 0,336 | 0,014 | 0,369 | 0,322 | 1,656 | Franco Argila Arenosa |
| A₃P50 | 0,317 | 0,018 | 9,206 | 0,311 | 0,019 | 0,429 | 0,292 | 1,505 | Argila Arenosa |

A1P10: área 1 profundidade 10 cm, A1P30: área 1 profundidade 30 cm, A1P50: área 1 profundidade 50 cm, A2P10: área 2 profundidade 10 cm, A2P30: área 2 profundidade 30 cm, A2P50: área 1 profundidade 50 cm, A3P10: área 3 profundidade 10 cm, A3P30: área 3 profundidade 30 cm, A3P50: área 3 profundidade 50 cm.

5.3. Resultados das simulações

5.3.1. Evapotranspiração potencial e evapotranspiração real

Verifica-se na Tabela 12 que o volume de água da irrigação aplicado foi eficaz para evitar o déficit hídrico, pois os quocientes entre evapotranspiração real e da cultura, E_{Tr}/E_{Tc} , foram iguais à unidade.

A evapotranspiração real se iguala a evapotranspiração potencial quando o solo está úmido o bastante para que a planta consiga extrair água numa taxa suficiente para suprir a demanda atmosférica (ALLEN et al., 1998). Nesta situação, o coeficiente de estresse, K_s , é igual a um.

Considerou-se uma situação de deficiência hídrica severa quando o quociente entre evapotranspiração real e a da cultura fosse menor que 0,6. Seguindo este critério, os cultivos para os quais se constatou a condição de deficiência hídrica severa durante o ciclo foram: mandioca ano 1 plantada na Área 2, mandioca ano 2 em todas as áreas de plantio e o milho 2 em todas as áreas de plantio. Para o Feijão 2, cujo cultivo é de sequeiro, não verificou-se deficiência hídrica severa, com base no critério considerado.

Com relação aos cultivos de sequeiro, verificamos que a Área 2 apresentou menor valor no quociente E_{Tr}/E_{Tp} em relação às demais áreas, evidenciando que as culturas estavam sob uma condição de maior deficiência hídrica. Esse resultado deve ter ocorrido devido à menor disponibilidade total de água (Tabela 11), DTA, encontrada nesta área. Outro fator relevante é a topografia do terreno, implicando em perda de parte da precipitação por escoamento superficial.

Observa-se que, por se tratar de resultados obtidos por simulação através de modelagem, não cabe a aplicação de testes de significância de comparação de médias.

Tabela 12. Resultados de evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração potencial (ETp) das culturas nas diferentes áreas de estudo

| Cultura | Área 1 | | | Área 2 | | | Área 3 | | |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------|
| | ETr (média mm) | ETc (média mm) | ETr/ ETc | ETr (média mm) | ETc (média mm) | ETr/ ETc | ETr (média mm) | ETp (média mm) | ETr/ ETc |
| Banana ano 1 | 1076,78 | 1076,78 | 1,00 | 1076,53 | 1076,78 | 1,00 | 1076,78 | 1076,78 | 1,00 |
| Banana ano 2 e 3 | 1380,33 | 1380,33 | 1,00 | 1380,33 | 1380,33 | 1,00 | 1380,33 | 1380,33 | 1,00 |
| Feijão 1 | 322,99 | 323,00 | 1,00 | 322,98 | 323,00 | 1,00 | 322,99 | 323,00 | 1,00 |
| Feijão 2 | 182,5 | 240,41 | 0,76 | 178,08 | 240,41 | 0,74 | 185,2 | 240,41 | 0,77 |
| Feijão 3 | 352,88 | 353,03 | 1,00 | 352,79 | 353,03 | 1,00 | 352,81 | 353,03 | 1,00 |
| Feijão 4 | 240,41 | 240,41 | 1,00 | 240,41 | 240,41 | 1,00 | 240,41 | 240,41 | 1,00 |
| Mandioca ano 1 | 349,4 | 518,7 | 0,67 | 297,88 | 518,7 | 0,57 | 334,9 | 518,7 | 0,64 |
| Mandioca ano 2 | 304,37 | 640,53 | 0,47 | 273,02 | 640,53 | 0,42 | 308,92 | 640,53 | 0,48 |
| Maracujá ano 1 | 1022,31 | 1022,31 | 1,00 | 1022,31 | 1022,31 | 1,00 | 1022,31 | 1022,31 | 1,00 |
| Maracujá ano 2 | 1382,27 | 1382,27 | 1,00 | 1382,27 | 1382,27 | 1,00 | 1382,27 | 1382,27 | 1,00 |
| Maracujá ano 3 | 174,69 | 174,69 | 1,00 | 174,69 | 174,69 | 1,00 | 174,69 | 174,69 | 1,00 |
| Milho 1 | 419,54 | 419,54 | 1,00 | 418,84 | 419,54 | 1,00 | 419,54 | 419,54 | 1,00 |
| Milho 2 | 205,08 | 419,54 | 0,49 | 172,74 | 419,54 | 0,41 | 206,43 | 419,54 | 0,49 |
| Pimentão | 908,62 | 908,62 | 1,00 | 908,62 | 908,62 | 1,00 | 908,62 | 908,62 | 1,00 |
| Repolho | 403,03 | 403,03 | 1,00 | 403,03 | 403,03 | 1,00 | 403,03 | 403,03 | 1,00 |
| Tomate | 442,62 | 443,7 | 0,99 | 439,06 | 443,7 | 1,00 | 441,55 | 443,7 | 0,99 |

5.3.2. Irrigação real necessária

O modelo MCID foi eficiente em simular as lâminas de irrigação para as várias culturas nas diferentes épocas de plantio.

Nas tabelas 13 a 15 podemos observar os valores de irrigação real necessária, IRN, encontrados nas três áreas de estudo.

Pode-se observar que houve diferenças de IRN entre as áreas estudadas, devido principalmente à topografia, que implicou na consideração ou não do escoamento superficial, e à disponibilidade total de água, DTA.

No plantio de feijão, o menor valor de IRN foi obtido no cultivo com plantio em março (Feijão 4). Observando-se o gráfico de médias de precipitação (Figura 13), percebe-se que parte do ciclo estava no período chuvoso e no momento do plantio o valor da evapotranspiração de referência estava decrescendo. O maior valor da IRN para o feijão foi observado no cultivo 3, onde a data de plantio foi justamente no período que diminuía a precipitação e aumentava a evapotranspiração.

Na Área 1 verificou-se maiores valores de IRN para os cultivos de Maracujá ano 1 e 3, Milho, Pimentão e Repolho.

Maiores valores de IRN foram encontrados na Área 2 para as culturas de Banana ano 1 e Feijão nos cultivos 1, 3 e 4.

Já na Área 3, maiores valores de IRN foram observados no cultivo de Maracujá ano 2.

Para Banana, anos 2 e 3, obteve-se valores iguais de IRN nas diferentes áreas de estudo.

Tabela 13. Irrigação real necessária para as culturas na Área 1 (média, desvio padrão e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade)

| Cultura | Área 1 | | | |
|----------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| | IRN média (mm) | Desv. Pad. (mm) | Per = 5% (mm) | Per = 95% (mm) |
| Banana ano 1 | 793,76 | 78,01 | 665,45 | 922,07 |
| Banana ano 2 | 949,38 | 106,74 | 773,81 | 1124,96 |
| Banana ano 3 | 949,38 | 106,74 | 773,81 | 1124,96 |
| Feijão 1 | 258,80 | 86,10 | 117,18 | 400,42 |
| Feijão 3 | 317,64 | 54,02 | 228,79 | 406,49 |
| Feijão 4 | 103,06 | 67,04 | 0,00 | 213,32 |
| Maracujá ano 1 | 727,35 | 73,87 | 605,84 | 848,86 |
| Maracujá ano 2 | 854,61 | 87,55 | 710,60 | 998,61 |
| Maracujá ano 3 | 854,61 | 87,55 | 710,60 | 998,61 |
| Milho 1 | 442,91 | 90,73 | 293,67 | 592,15 |
| Pimentão | 401,55 | 45,46 | 326,78 | 476,32 |
| Repolho | 337,01 | 42,56 | 267,00 | 407,02 |
| Tomate | 307,31 | 39,28 | 242,70 | 371,92 |

Tabela 14. Irrigação real necessária para as culturas na Área 2 (média, desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade)

| Cultura | Área 2 | | | |
|----------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| | IRN média (mm) | Desv. Pad. (mm) | Per = 5% (mm) | Per = 95% (mm) |
| Banana ano 1 | 795,28 | 78,36 | 666,39 | 924,17 |
| Banana ano 2 | 949,38 | 106,74 | 773,81 | 1124,96 |
| Banana ano 3 | 949,38 | 106,74 | 773,81 | 1124,96 |
| Feijão 1 | 264,16 | 80,54 | 131,69 | 396,63 |
| Feijão 3 | 332,18 | 52,96 | 245,07 | 419,29 |
| Feijão 4 | 106,56 | 64,11 | 1,10 | 212,01 |
| Maracujá ano 1 | 716,22 | 72,04 | 597,72 | 834,72 |
| Maracujá ano 2 | 854,61 | 87,55 | 710,60 | 998,61 |
| Maracujá ano 3 | 291,41 | 59,44 | 193,64 | 389,19 |
| Milho 1 | 440,46 | 89,24 | 293,67 | 587,25 |
| Pimentão | 400,35 | 45,03 | 326,28 | 474,41 |
| Repolho | 336,78 | 42,53 | 266,83 | 406,73 |
| Tomate | 308,18 | 39,33 | 243,49 | 372,88 |

Tabela 15. Irrigação real necessária para as culturas da Área 3 (média, desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade)

| Cultura | Área 3 | | | |
|----------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| | IRN média (mm) | Desv. Pad. (mm) | Per = 5% (mm) | Per = 95% (mm) |
| Banana ano 1 | 780,23 | 77,82 | 652,24 | 908,23 |
| Banana ano 2 | 949,38 | 106,74 | 773,81 | 1124,96 |
| Banana ano 3 | 949,38 | 106,74 | 773,81 | 1124,96 |
| Feijão 1 | 234,64 | 80,03 | 103,00 | 366,28 |
| Feijão 3 | 306,69 | 63,13 | 202,85 | 410,54 |
| Feijão 4 | 97,37 | 71,03 | 0,00 | 214,21 |
| Maracujá ano 1 | 715,50 | 73,57 | 594,50 | 836,51 |
| Maracujá ano 2 | 902,27 | 92,99 | 749,30 | 1055,23 |
| Maracujá ano 3 | 282,76 | 65,05 | 175,76 | 389,76 |
| Milho 1 | 422,25 | 89,56 | 274,93 | 569,57 |
| Pimentão | 395,64 | 45,38 | 320,99 | 470,29 |
| Repolho | 336,60 | 42,52 | 266,66 | 406,54 |
| Tomate | 306,77 | 39,21 | 242,28 | 371,27 |

5.3.3. Produtividade das culturas anuais e perenes

Valores médios de produtividade relativa, YTR, desvios padrão e valores relativos aos percentis 5 e 95%, encontrados nas simulações, são apresentados nas tabelas 16 a 18.

A partir dos dados simulados verificou-se que, nos cultivos irrigados, o valor da produtividade relativa, quando não foi igual a 100%, foi muito próximo a este valor, e que o valor de desvio padrão foi praticamente nulo. Isto evidencia que o manejo da irrigação empregado foi adequado para evitar que as culturas tivessem perdas de produção devido ao déficit hídrico. O teor de água no solo, mantido por meio de diferentes manejos de irrigação, favoreceu a expressão máxima de produtividade das culturas e tornou nulo o risco com relação à variação de produtividade das culturas.

Tabela 16. Produtividade relativa, YRT (%), desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade), produtividade potencial (Yp) e produtividade total (Yr) na Área 1

| Cultura | Área 1 | | | | | |
|----------------|---------|------------|---------|------------|-----------|-----------|
| | YRT (%) | Desv. Pad. | Per =5% | Per = 9 5% | Yp (t/ha) | Yr (t/ha) |
| Banana ano 2 | 100 | 0 | 100 | 100 | 17,5 | 17,5 |
| Banana ano 3 | 100 | 0 | 100 | 100 | 17,5 | 17,5 |
| Feijão 1 | 100 | 0,01 | 99,97 | 100 | 1,5 | 1,5 |
| Feijão 2 | 73,20 | 27,75 | 27,55 | 100 | 0,9 | 0,66 |
| Feijão 3 | 99,84 | 0,45 | 99,11 | 100 | 1,5 | 1,49 |
| Feijão 4 | 100 | 0 | 100 | 100 | 1,5 | 1,5 |
| Mandioca ano 2 | 48,94 | 20,84 | 14,65 | 83,22 | 15,0 | 7,34 |
| Maracujá ano 1 | 100 | 0 | 100 | 100 | 8,1 | 8,1 |
| Maracujá ano 2 | 100 | 0 | 100 | 100 | 16,2 | 16,2 |
| Maracujá ano 3 | 100 | 0 | 100 | 100 | 2,7 | 2,7 |
| Milho 1 | 100 | 0 | 100 | 100 | 4,0 | 4,0 |
| Milho 2 | 26,81 | 25,44 | 0 | 68,65 | 2,8 | 0,75 |
| Pimentão | 100 | 0 | 100 | 100 | 30,0 | 30,00 |
| Repolho | 100 | 0 | 100 | 100 | 30,0 | 30,00 |
| Tomate | 99,38 | 0,76 | 98,13 | 100 | 55,0 | 55,00 |

Tabela 17. Produtividade relativa, YRT (%), desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade), produtividade potencial (Yp) e produtividade total (Yr) na Área 2

| Cultura | Área 2 | | | | | |
|----------------|---------|------------|---------|----------|-----------|-----------|
| | YRT (%) | Desv. Pad. | Per =5% | Per =95% | Yp (t/ha) | Yr (t/ha) |
| Banana ano 2 | 100 | 0 | 100 | 100 | 17,5 | 17,5 |
| Banana ano 3 | 100 | 0 | 100 | 100 | 17,5 | 17,5 |
| Feijão 1 | 100 | 0 | 100 | 100 | 1,5 | 1,5 |
| Feijão 2 | 70,85 | 26,56 | 27,16 | 100 | 0,9 | 0,64 |
| Feijão 3 | 99,75 | 0,6 | 98,77 | 100 | 1,5 | 1,5 |
| Feijão 4 | 100 | 0 | 100 | 100 | 1,5 | 1,5 |
| Mandioca ano 2 | 44,00 | 19,89 | 11,28 | 76,72 | 15,0 | 6,6 |
| Maracujá ano 1 | 100 | 0 | 100 | 100 | 8,1 | 8,1 |
| Maracujá ano 2 | 100 | 0 | 100 | 100 | 16,2 | 16,2 |
| Maracujá ano 3 | 100 | 0 | 100 | 100 | 2,7 | 2,7 |
| Milho 1 | 99,76 | 0,15 | 99,51 | 100 | 4,0 | 4,0 |
| Milho 2 | 19,46 | 21,24 | 0 | 54,40 | 2,8 | 0,54 |
| Pimentão | 100 | 0 | 100 | 100 | 30,0 | 30,0 |
| Repolho | 100 | 0 | 100 | 100 | 30,0 | 30,0 |
| Tomate | 97,28 | 1,95 | 94,06 | 100 | 55,0 | 53,5 |

Tabela 18. Produtividade relativa, YRT (%), desvio padrão, e valores equivalentes a 5% e 95% de probabilidade), produtividade potencial (Yp) e produtividade total (Yr) na Área 3

| Cultura | Área 3 | | | | | |
|----------------|---------|------------|---------|----------|-----------|-----------|
| | YRT (%) | Desv. Pad. | Per =5% | Per =95% | Yp (t/ha) | Yr (t/ha) |
| Banana ano 2 | 100 | 0 | 100 | 100 | 17,5 | 17,5 |
| Banana ano 3 | 100 | 0 | 100 | 100 | 17,5 | 17,5 |
| Feijão 1 | 100 | 0,02 | 99,96 | 100 | 1,5 | 1,5 |
| Feijão 2 | 74,36 | 27,05 | 29,87 | 100 | 0,9 | 0,67 |
| Feijão 3 | 99,78 | 0,39 | 99,14 | 100 | 1,5 | 1,5 |
| Feijão 4 | 100 | 0 | 100 | 100 | 1,5 | 1,5 |
| Mandioca ano 2 | 49,62 | 20,44 | 16,01 | 83,23 | 15,0 | 7,44 |
| Maracujá ano 1 | 100 | 0 | 100 | 100 | 8,1 | 8,1 |
| Maracujá ano 2 | 100 | 0 | 100 | 100 | 16,2 | 16,2 |
| Maracujá ano 3 | 100 | 0 | 100 | 100 | 2,7 | 2,7 |
| Milho 1 | 100 | 0 | 100 | 100 | 4,0 | 4,0 |
| Milho 2 | 26,64 | 25,33 | 0 | 68,31 | 2,8 | 0,74 |
| Pimentão | 100 | 0 | 100 | 100 | 30,0 | 30,0 |
| Repolho | 100 | 0 | 100 | 100 | 30,0 | 30,0 |
| Tomate | 98,75 | 1,19 | 96,80 | 100 | 55,0 | 54,31 |

Pode-se observar na Figura 13 que a precipitação pode prover, parcialmente, a demanda hídrica da cultura de feijão no cultivo 2, de sequeiro, com uma YRT média superior a 70% (Tabelas 16 a 18). Entretanto, quando observamos o desvio padrão, percebe-se que o risco com relação à variação da produtividade é grande, o que demonstra que a precipitação não é eficiente em garantir a cultura de feijão de sequeiro segurança quanto à variação da produtividade.

Demais cultivos de sequeiro tiveram severa redução da produtividade devido ao déficit hídrico. A quantidade de água proveniente da precipitação (Figura 12) não foi suficiente para prover a demanda hídrica; adicionado a este fato, verificam-se elevadas demandas evapotranspirométricas às quais os cultivos estavam expostos. Maiores valores de desvio padrão foram observados nestes cultivos, evidenciando as incertezas inerentes aos cultivos de sequeiro.

O cultivo mais sensível à baixa disponibilidade hídrica no solo foi o milho, que apresentou uma grande redução na produtividade relativa em todos os locais.

Observa-se que a resposta da produtividade a déficits de evapotranspiração é diferenciada conforme a cultura e estágio fenológico, o que pode ser modelado com base no fator de resposta, K_y (ALLEN et al., 1998).

Com relação aos locais estudados, a Área 2 foi a que apresentou maior redução da produtividade relativa das culturas de sequeiro. Isso ocorreu principalmente devido a menores valores de DTA (Tabela 11) observados nesta área. Conjuntamente a este fator, observa-se que a topografia favorecia a perda de parte da água ocorrida por precipitação por escoamento superficial. Embora na Área 3 também tenha se considerado o escoamento superficial no balanço hídrico, esta apresentou, nas camadas superficiais, valores maiores de DTA do que os verificados a Área 2, implicando em menores déficits hídricos.

Os valores de produtividade simulada com o modelo, produtividade total, apresentados nas tabelas 16 a 18, serão utilizados no Capítulo II, onde será feito um planejamento efetivo de exploração da área agricultável considerada, visando à maximização do retorno econômico e a otimização do uso dos recursos hídricos.

5.3.4. Percolação

Segundo Agrawal et al. (2004), a percolação depende da intensidade da chuva, propriedades do solo e da capacidade de armazenamento superficial.

Observando-se os valores da percolação na Tabela 19, verifica-se que no cultivo de banana houve diferença nos valores de lâmina de percolação entre o primeiro e o segundo ano de plantio. No segundo ano de cultivo, a evapotranspiração potencial foi maior. Já no primeiro ano de cultivo, abrangendo fases de desenvolvimento menos avançadas, com menores profundidades do sistema radicular e menor evapotranspiração potencial, observou-se que parcela mais significativa da água fornecida foi perdida por

percolação. Com relação às áreas estudadas, valores superiores de lâmina foram encontrados na Área 1.

Tabela 19. Percolação (média e desvio padrão) nas três áreas de estudo para os cultivos

| Cultura | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
|----------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| | Percolação média (mm) | Desv. Pad. (mm) | Percolação média (mm) | Desv. Pad. (mm) | Percolação média (mm) | Desv. Pad. (mm) |
| Banana ano 1 | 758,18 | 193,52 | 733,54 | 178,39 | 732,46 | 178,24 |
| Banana ano 2 | 717,92 | 179,39 | 694,29 | 163,34 | 694,29 | 163,35 |
| Banana ano 3 | 717,92 | 179,39 | 694,29 | 163,35 | 694,29 | 163,35 |
| Feijão 1 | 88,89 | 74,67 | 84,48 | 65,8 | 59,45 | 72,73 |
| Feijão 2 | 48,19 | 71,04 | 51,88 | 67,69 | 49,21 | 68,26 |
| Feijão 3 | 50,46 | 30,95 | 51,53 | 29,7 | 44,52 | 22,83 |
| Feijão 4 | 96,57 | 90,17 | 100,25 | 82,07 | 95,07 | 84,17 |
| Mandioca ano 1 | 514,89 | 170,65 | 503,74 | 158,56 | 506,52 | 160,45 |
| Mandioca ano 2 | 50,36 | 67,05 | 66,37 | 66,19 | 53,95 | 58,71 |
| Maracujá ano 1 | 703,71 | 161,56 | 681,21 | 147,19 | 681,65 | 147,14 |
| Maracujá ano 2 | 749,81 | 179,96 | 726,29 | 164,42 | 730,8 | 162,34 |
| Maracujá ano 3 | 64,35 | 39,46 | 59,62 | 36,42 | 59,62 | 36,39 |
| Milho 1 | 170,08 | 80,42 | 161,95 | 73,28 | 161,71 | 73,7 |
| Milho 2 | 22,42 | 54,07 | 21,59 | 51,37 | 20,73 | 48,96 |
| Pimentão | 300,97 | 90,34 | 289,41 | 79,32 | 288,51 | 79,34 |
| Repolho | 108,41 | 31,94 | 106,06 | 29,29 | 106,15 | 29,29 |
| Tomate | 109,05 | 39,04 | 106,25 | 36,04 | 106,52 | 36,15 |

Para os cultivos de feijão 1, 3 e 4 constatou-se uma menor perda de água por percolação na Área 3. No cultivo de feijão 2, o menor valor de lâmina de percolação foi observado na Área 1.

Para a cultura de mandioca, verificou-se uma diferença muito grande entre os valores de percolação nos dois anos de cultivo, sendo mais elevados no primeiro ano. Isso pode ser explicado com base em alguns fatores, como menor evapotranspiração potencial (Tabela 12), semelhantemente ao que

ocorre para o cultivo da banana no ano 1. Outro fator relevante foi a profundidade efetiva do sistema radicular (Tabela 5), que teve seu desenvolvimento pleno no segundo ano. Para essa cultura, uma menor lâmina de percolação foi observado na Área 1 durante o segundo ano de plantio.

Em relação aos cultivos simulados de maracujá, o maior valor de lâmina de percolação foi encontrado na Área 1.

Diferenças expressivas nos valores de lâminas de percolação foram verificadas entre os cultivos de sequeiro e irrigado de milho. Em relação às diferentes áreas, não foram observadas diferenças relevantes nas lâminas de percolação nas áreas 2 e 3. Lâminas ligeiramente superiores foram verificadas para a Área 1.

Para as culturas de pimentão, repolho e tomate foram observados maiores valores de lâmina de percolação na Área 1.

5.3.5. Irrigação total necessária

Na tabelas 20 a 29 são apresentados os valores de irrigação total necessária, ITN, obtidos a partir das simulações para as culturas estudadas.

Analisando todos os cultivos nas áreas 2 e 3, nota-se que na maioria dos meses, logo após o plantio, maiores valores de ITN são encontrados na Área 2. Esse resultado se deve ao fato de que menores disponibilidades totais de água, DTA (Tabela 11), nos dois estratos superficiais, foram verificadas nesta área. Assim, a menor capacidade de retenção observada na segunda área de estudo implica, em princípio, em maiores perdas por percolação e, conseqüentemente, maiores requerimentos de irrigação, especialmente nas fases iniciais do plantio.

Observa-se, para os cultivos de banana, maracujá, milho, pimentão, repolho e tomate, que os valores de ITN se tornaram iguais em todas as áreas, a partir de fases de desenvolvimento mais avançadas, o que decorre de maiores profundidades radiculares e, conseqüentemente, maiores capacidades totais de água do solo, CTA.

Tabela 20. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura da banana durante o primeiro ano de ciclo

| Banana Ano 1 | | | | | | |
|---------------------|---|--|---|--|---|--|
| Meses | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) |
| Janeiro | 608,49 | 167,66 | 613,39 | 168,66 | 593,34 | 164,16 |
| Fevereiro | 448,97 | 89,43 | 452,58 | 89,9 | 438,32 | 87,59 |
| Março | 434,04 | 116,87 | 437,19 | 117,38 | 425,01 | 114,72 |
| Abril | 976,02 | 115,22 | 955,6 | 115,8 | 863,79 | 114,65 |
| Mai | 202,47 | 91,96 | 213,77 | 96,81 | 208,04 | 94,36 |
| Junho | 147,56 | 94,19 | 153,97 | 98,58 | 150,7 | 96,37 |
| Julho | 189,41 | 85,32 | 195,68 | 88,36 | 192,51 | 86,81 |
| Agosto | 425,15 | 120,69 | 425,15 | 120,69 | 425,15 | 120,69 |
| Setembro | 760,34 | 226,38 | 760,34 | 226,38 | 760,34 | 226,38 |
| Outubro | 1.152,95 | 176,48 | 1.152,95 | 176,48 | 1.152,95 | 176,48 |
| Novembro | 1.326,84 | 158,44 | 1.326,84 | 158,44 | 1.326,84 | 158,44 |
| Dezembro | 1.265,34 | 229,04 | 1.265,34 | 229,04 | 1.265,34 | 229,04 |
| Total | 7.937,58 | 1.671,68 | 7.952,8 | 1.686,52 | 7.802,33 | 1.669,69 |

Tabela 21. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura da banana durante o segundo e terceiro ano do ciclo

| Banana Ano 2 | | | | | | |
|---------------------|---|--|---|--|---|--|
| Meses | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) |
| Janeiro | 1180,27 | 303,45 | 1180,27 | 303,45 | 1180,27 | 303,45 |
| Fevereiro | 937,19 | 171,57 | 937,19 | 171,57 | 937,19 | 171,57 |
| Março | 907,76 | 225,28 | 907,76 | 225,28 | 907,76 | 225,28 |
| Abril | 650,03 | 212,49 | 650,03 | 212,49 | 650,03 | 212,49 |
| Mai | 432,12 | 169,87 | 432,12 | 169,87 | 432,12 | 169,87 |
| Junho | 231,77 | 143,14 | 231,77 | 143,14 | 231,77 | 143,14 |
| Julho | 224,07 | 98,98 | 224,07 | 98,98 | 224,07 | 98,98 |
| Agosto | 425,15 | 120,69 | 425,15 | 120,69 | 425,15 | 120,69 |
| Setembro | 760,34 | 226,38 | 760,34 | 226,38 | 760,34 | 226,38 |
| Outubro | 1.152,95 | 176,48 | 1.152,95 | 176,48 | 1.152,95 | 176,48 |
| Novembro | 1.326,84 | 158,44 | 1.326,84 | 158,44 | 1.326,84 | 158,44 |
| Dezembro | 1.265,34 | 229,04 | 1.265,34 | 229,04 | 1.265,34 | 229,04 |
| Total | 9.493,83 | 2.235,81 | 9.493,83 | 2.235,81 | 9.493,83 | 2.235,81 |

Dentre os valores de ITN, para a cultura de feijão (Tabela 22), o menor valor foi encontrado no cultivo de Feijão 4. Em virtude da época de plantio para este cultivo, nota-se que a evapotranspiração de referência (Figura 12) estava

decrecendo e o valor da precipitação estava aumentando; dessa forma, parte da água requerida pela cultura foi suprida pela precipitação.

Tabela 22. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do feijão, nas diferentes datas de plantio

| Meses | Feijão | | | | | |
|------------------|--|---|--|---|--|---|
| | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) |
| Feijão 1 | | | | | | |
| Janeiro | 989,08 | 534,75 | 900,85 | 446,18 | 854,64 | 464,42 |
| Fevereiro | 1.066,00 | 476,30 | 1.239,23 | 371,65 | 963,75 | 421,75 |
| Março | 989,66 | 620,49 | 967,66 | 620,26 | 942,09 | 505,77 |
| Total | 3.044,74 | 1.631,54 | 3.107,74 | 1.438,09 | 2.760,48 | 1.391,94 |
| Feijão 4 | | | | | | |
| Março | 598,27 | 476,09 | 541,11 | 363,40 | 558,27 | 438,46 |
| Abril | 466,32 | 492,22 | 485,64 | 473,28 | 409,97 | 436,92 |
| Mai | 147,83 | 329,23 | 226,88 | 316,75 | 177,27 | 329,53 |
| Total | 1.212,42 | | | | | |
| Feijão 3 | | | | | | |
| Outubro | 782,20 | 342,75 | 835,59 | 325,05 | 729,35 | 365,76 |
| Novembro | 1.688,52 | 487,49 | 1.675,57 | 339,85 | 1569,82 | 291,48 |
| Dezembro | 1.266,24 | 462,28 | 1.396,85 | 412,18 | 1.308,98 | 436,57 |
| Total | 3.736,96 | | | | | |

Tabela 23. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do maracujá durante o primeiro ano de ciclo

| Meses | Maracujá Ano 1 | | | | | |
|-----------------|--|---|--|---|--|---|
| | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) |
| Março | 986,54 | 271,28 | 891,99 | 239,09 | 967,73 | 266,06 |
| Abril | 370,12 | 112,02 | 373,89 | 112,55 | 368,96 | 111,85 |
| Mai | 842,09 | 102,91 | 821,61 | 103,34 | 743,6 | 102,8 |
| Junho | 158,87 | 86,8 | 158,87 | 86,8 | 158,87 | 86,8 |
| Julho | 228,36 | 81,06 | 228,36 | 81,06 | 228,36 | 81,06 |
| Agosto | 434,31 | 107,84 | 434,31 | 107,84 | 434,31 | 107,84 |
| Setembro | 747,45 | 203,89 | 747,45 | 203,89 | 747,45 | 203,89 |
| Outubro | 1.152,76 | 168,32 | 1.152,76 | 168,32 | 1.152,76 | 168,32 |
| Novembro | 1.283,93 | 145,69 | 1.283,93 | 145,7 | 1.283,93 | 145,69 |
| Dezembro | 1.069,05 | 175,83 | 1.069,05 | 175,83 | 1.069,05 | 175,83 |
| Total | 7.273,48 | 1.455,64 | 7.162,22 | 1.424,42 | 7.155,02 | 1.450,14 |

Tabela 24. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do maracujá durante o segundo ano de cultivo

| Maracujá Ano 2 | | | | | | |
|----------------|--|---|--|---|--|---|
| Meses | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) |
| Janeiro | 828,43 | 198,83 | 828,43 | 198,83 | 828,43 | 198,83 |
| Fevereiro | 675,14 | 114,72 | 675,14 | 114,72 | 675,14 | 114,72 |
| Março | 665,67 | 161,89 | 665,67 | 161,89 | 665,67 | 161,89 |
| Abril | 463,63 | 135,58 | 463,63 | 135,58 | 463,63 | 135,58 |
| Mai | 478,83 | 172,97 | 478,83 | 172,97 | 478,83 | 172,97 |
| Junho | 268,85 | 140,01 | 268,85 | 140,01 | 268,85 | 140,01 |
| Julho | 264,72 | 89,21 | 264,72 | 89,21 | 264,72 | 89,21 |
| Agosto | 434,31 | 107,84 | 434,31 | 107,84 | 434,31 | 107,84 |
| Setembro | 747,45 | 203,89 | 747,45 | 203,89 | 747,45 | 203,89 |
| Outubro | 1.152,76 | 168,32 | 1.152,76 | 168,32 | 1.152,76 | 168,32 |
| Novembro | 1.283,93 | 145,69 | 1.283,93 | 145,7 | 1.283,93 | 145,69 |
| Dezembro | 1.282,35 | 203,59 | 1.282,35 | 203,59 | 1.282,35 | 203,59 |
| Total | 8.546,07 | 2.010,86 | 8.546,07 | 2.010,86 | 8.546,07 | 2.010,86 |

Para o único mês de cultivo do maracujá no terceiro ano (Tabela 25) os valores da lâmina de irrigação foram considerados iguais aos valores do mês de janeiro do segundo ano de cultivo. Essa adaptação foi necessária devido à falha do modelo em simular apenas um mês de cultivo desta cultura; o valor encontrado foi discrepante em relação aos encontrados nos dois anos de cultivo. Essa falha evidenciou a necessidade de ajuste do código computacional para a simulação de culturas perenes em curtos períodos remanescentes de tempo.

Tabela 25. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do maracujá durante o terceiro ano de cultivo.

| Maracujá Ano 3 | | | | | | |
|----------------|--|---|--|---|--|---|
| Mês | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) | ITN (média) (m ³ ha ⁻¹) | Desv. Pad. (m ³ ha ⁻¹) |
| Janeiro | 828,43 | 198,83 | 828,43 | 198,83 | 828,43 | 198,83 |

Tabela 26. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do milho

| Milho 1 | | | | | | |
|------------------|---|--|---|--|---|--|
| Meses | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) |
| Janeiro | 952,43 | 399,41 | 867,99 | 336,03 | 864,33 | 374,23 |
| Fevereiro | 2.052,2 | 213,48 | 2.107,79 | 224,47 | 1.897,26 | 214,94 |
| Março | 1.410,58 | 475,04 | 1.410,58 | 475,04 | 1.410,58 | 475,04 |
| Abril | 795,53 | 441,78 | 795,53 | 441,78 | 795,53 | 441,78 |
| Total | 5.210,74 | 1.529,71 | 5.181,89 | 1.477,32 | 4.967,7 | 1.505,99 |

Tabela 27. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do pimentão

| Pimentão | | | | | | |
|------------------|---|--|---|--|---|--|
| Meses | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) |
| Outubro | 335,35 | 71,42 | 327,87 | 63,46 | 333,44 | 70,2 |
| Novembro | 466,74 | 57,8 | 472,42 | 57,95 | 465,00 | 57,74 |
| Dezembro | 1.049,47 | 104,3 | 1.039,27 | 104,35 | 994,01 | 104,3 |
| Janeiro | 647,3 | 163,67 | 647,3 | 163,67 | 647,3 | 163,67 |
| Fevereiro | 634,33 | 101,6 | 634,33 | 101,6 | 634,33 | 101,6 |
| Março | 558,66 | 113,66 | 558,66 | 113,66 | 558,66 | 113,66 |
| Abril | 323,64 | 93,85 | 323,64 | 93,85 | 323,64 | 93,85 |
| Total | 4.015,49 | 706,3 | 4.003,49 | 698,24 | 3.956,38 | 705,02 |

Tabela 28. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do repolho

| Repolho | | | | | | |
|-----------------|---|--|---|--|---|--|
| Meses | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) |
| Setembro | 622,00 | 189,15 | 615,4 | 185,68 | 619,19 | 188,26 |
| Outubro | 1.033,83 | 152,44 | 1.038,02 | 152,6 | 1.032,54 | 152,39 |
| Novembro | 1.332,57 | 153,98 | 1.332,69 | 153,98 | 1.332,53 | 153,98 |
| Dezembro | 381,7 | 80,87 | 381,7 | 80,87 | 381,7 | 80,87 |
| Total | 3.370,1 | 576,44 | 3.367,81 | 573,13 | 3.365,96 | 575,5 |

Tabela 29. Irrigação total necessária (média e desvio padrão) da cultura do Tomate

| Tomate | | | | | | |
|-----------------|---|--|---|--|---|--|
| Meses | Área 1 | | Área 2 | | Área 3 | |
| | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) | ITN (média) (m³ha⁻¹) | Desv. Pad. (m³ha⁻¹) |
| Setembro | 522,47 | 160,25 | 526,59 | 158,59 | 518,5 | 158,96 |
| Outubro | 1.090,25 | 161,77 | 1.094,83 | 162,02 | 1088,84 | 161,69 |
| Novembro | 1.266,3 | 147,81 | 1.266,3 | 147,81 | 1266,3 | 147,81 |
| Dezembro | 194,09 | 55,31 | 194,09 | 55,31 | 194,09 | 55,31 |
| Total | 3.073,11 | 525,14 | 3.081,81 | 523,73 | 3.068,54 | 523,77 |

6. Conclusões

Com as simulações procedidas com o modelo MCID, foi possível verificar a viabilidade de cultivos irrigados e de sequeiro, em relação à produtividade obtida, além de mensurar, por meio do balanço hídrico, perdas por percolação para diferentes cultivos, tipos de solo e manejo de irrigação ou sequeiro, constituindo-se, assim, uma base de informações a ser empregada em estudos de planejamento em nível de propriedade rural, com base no retorno financeiro e uso da água, conforme apresentado no Capítulo II.

Os sistemas de irrigação utilizados foram eficientes em minimizar o risco de variação da produção das culturas relacionadas nos estudos. Os volumes de água aplicados pelos sistemas de irrigação foram suficientes para suprir a demanda hídrica das culturas irrigadas e proporcionar a máxima produtividade das culturas de banana, maracujá, feijão, milho, pimentão, repolho e tomate

Constatou-se que os cultivos de sequeiro foram expostos a elevado risco de variação da produção. Considerando a produtividade relativa, apenas o cultivo de feijão sequeiro foi viável.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, M. K.; M. ASCE, S. N. P.; PANIGRAHI, B. Modeling Water Balance Parameters for Rainfed Rice. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 130. n. 2. p 129-139, apr. 2004.
- ALLEN. R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: F.A.O., 1998. 300 p. (Paper. 56).
- ALLEN, R.G. REF-ET Reference evapotranspiration software. Kimberly: University of Idaho, 2000. Disponível em: <<http://www.kimberly.uidaho.edu/refet/>>. Acesso em: 26 de março de 2009.
- ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, 2009. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 de maio de 2009.
- ANDRADE, C. L. T; BORGES JÚNIOR, J. C. F; COUTO, L. Características físico-hídricas e dinâmica de água no solo. In:Albuquerque, P. E. P. e Durães, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa, 2008. Cap. 2, p. 71-143.
- ANDRADE. C. L. T. et al. **Avaliação de Estratégias de Produção em Agricultura Irrigada no Perímetro de Irrigação do Gorutuba**. Embrapa Milho e Sorgo. 2008. p. 151. (Documento 73). Disponível em:< http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2008/documento/Doc_73.pdf>. Acesso em 30 de outubro de 2008.
- BORGES JÚNIOR. J. C. F. **Modelo computacional para a dimensionamento e manejo de sistemas de drenagem agrícola**. 2000. 124f. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BORGES JÚNIOR. J. C. F. **Modelo computacional para a tomada de decisão em agricultura irrigada.** 2004. 250f. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BORGES JÚNIOR. J. C. F.; HEDDEN-DUNKHORST. B.; FERREIRA. P. **A decision support based on bio-economic simulations for irrigated agriculture.** Deutscher Tropentag – Technological and institutional innovations for sustainable rural development. Disponível em: <<http://www.tropentag.de/2003/abstracts/full/224.pdf>. 2003. 11Jun. 2007.>. Acesso em junho de 2008.

BORGES JÚNIOR. J. C. F. et al. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v 12, n.1, p. 3-11, 2008.

BORGES JÚNIOR. J. C. F. et al. . **Avaliação de Estratégias de Produção em Agricultura Irrigada no Perímetro de Irrigação de Jaíba.** Embrapa Milho e Sorgo. 2008. p. 72. (Documentos 69). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2007/documento/Doc_69.pdf>

BORGES JÚNIOR, J. C. F. et al. Modelagem aplicada a cultivos no Agreste Meridional Pernambucano. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2009, 38., Juazeiro. **Anais.** [s.n]. 4 p.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; MANTOVANI, E. C. Desenvolvimento de um programa para a avaliação da irrigação por sistemas pressurizados. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, 2001, Araguari. **Anais...** Araguari: UFV, 2001. p.42-48.

BRITO, R. A. L. **Avaliação do Desempenho de sistemas e projetos de irrigação.** In:Albuquerque, P. E. P. e Durães, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação.** Brasília, DF: Embrapa, 2008. Cap. 8, p. 401-419.

CARVALHO, M. A. **Sistema de suporte a decisão para a alocação de água em projetos de irrigação.** 2003. 193f. Tese (Doutorado em). Universidade de São Paulo, São Paulo.

CHRISTOFIDIS. D. **ÁGUA: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no brasil.** Brasília, 2006. p 18. Disponível em: <<http://www.pt.genderandwater.org/page/2762>>. Acesso em 13 de maio de 2009.

DOORENBOS, J. e KASSAM. A. H. **Yield response to water.** Rome:FAO, 1979. 193 p. (Paper. 33).

EMBRAPA, **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA. 1997. 212 p.

FAO **CROPWAT:** Ferramenta de apoio de decisão desenvolvido pela Água e Terra Divisão de Desenvolvimento da FAO. Roma, 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html>. Acesso em 12 de abril de 2009.

FERREIRA, P. A. et al. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte II: Teste e aplicações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.4, p. 783-791, 2006.

GARCIA, L. A. ; MANGUERRA. H. B.; GATES. T. K. Irrigation-drainage desing and management model: development. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, v.121, n.1, p. 71-82. 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.
Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>

ITABORAHY. C. R. et al. **Agricultura irrigada e o uso racional da água**. Brasília: Agência Nacional de Águas. 2004. 30 p. Disponível em < http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_imgs/Agricultura_Irigada_e_o_Uso_Racional_da_Agua.pdf >. Acesso em 28 de junho de 2009.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Avibook, 1990, 649p.

LUCAS, A. A. T. **Impacto da irrigação na bacia hidrográfica do ribeirão dos Marins**. 2007.101 f. Tese (Doutorado em). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba

MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; MUDRIK, A. Irrigação do cafeeiro: em que condições a irrigação é necessária e como irrigá-lo nestas condições. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: UVF, 2003. p. 279-318.

MARQUES, P. A. A. **Modelo computacional para a determinação do risco econômico em culturas irrigadas**. 2005. 168f. Tese (Doutorado em). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**. Embrapa. Brasília. 2008.

MIRANDA, J. H. **Modelo para simulação da dinâmica da água em sistemas de drenagem subterrânea e cálculo de espaçamento econômico entre drenos**. 1997. 108f. Dissertação (mestrado em agronomia). Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resource Research**, Washington, v. 12, [s.n], p.513-522, 1976.

PNRH – Plano Nacional dos Recursos Hídricos. Documento de base de referência, novembro de 2003. ANA – Agência Nacional de Águas. Disponível em: www.ana.gov.br

SOIL CONSERVATION SERVICE. National engineering handbook. [s.l.], 1972. n. p. (Section 4: hidrology).

SOUZA, J. L. M e GOMES, S. Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decendial em função da capacidade de água disponível no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 30, n. 2, p. 153-163, 2008.

SOUZA, J. L. M., **Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. 2001. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TARJUELO, J. M. e JUAN, J. A. Crop water managenent. In: Van LIER, H. N.; PEREIRA, L. S.; STEINER, F. R. (Ed.). **CIGR handbook of agricultural engineering: land and water engineering**. St. Joseph: American Society Engineers. 1999. p. 380-429.

Van GENUTCHEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, [s.n.], p. 892-898, 1980.

CAPÍTULO II

Planejamento em nível de fazenda para agricultura irrigada e de sequeiro

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Foto aérea da propriedade usada no estudo..... | 88 |
| Figura 2. Variáveis de entrada e saída da simulação de risco. | 93 |
| Figura 3. Variação do valor presente líquido total com relação à restrição mensal de água para irrigação..... | 101 |
| Figura 4. Curvas de distribuição de probabilidade acumulada do valor presente líquido total (VPLt) para os padrões de cultivo 1 (PC1) e 2 (PC2). | 116 |
| Figura 5. Curvas de distribuição de probabilidade acumulada da irrigação total necessária, ITN, para os padrões de cultivo 1 (PC1) e 2 (PC2), no ano de maior requerimento hídrico (ano 2). | 117 |
| Figura 6. Mês de maior requerimento de irrigação nos dois padrões de cultivo | 118 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1. Época de plantio, anos de cultivo e método de irrigação, quando for o caso, das culturas estudadas | 876 |
| Tabela 2. Restrições quanto aos recursos, adotados no modelo de programação linear | 87 |
| Tabela 3. Restrições quanto à produção adotadas no modelo de programação linear, para uma propriedade de 6 ha | 909 |
| Tabela 4. Custo de produção (R\$ ha ⁻¹) sem os custos com a irrigação..... | 90 |
| Tabela 5. Preço de venda (R\$ t ⁻¹)..... | 91 |
| Tabela 6. Padrão de cultivo 1: solução ótima encontrada pelo modelo de programação linear para um volume mensal de água igual a 8500 m ³ | 96 |
| Tabela 7. Padrão de cultivo 2: solução ótima encontrada pelo modelo de programação linear para um volume mensal de água igual a 4000 m ³ | 97 |
| Tabela 8. Produções das atividades encontradas na solução ótima do modelo de programação linear | 100 |
| Tabela 9. Comparação entre o valor presente líquido total e disponibilidade de água para irrigação nos dois padrões de cultivo | 100 |
| Tabela 10. Custo reduzido (R\$ ha ⁻¹), coeficiente da função objetivo (R\$ ha ⁻¹), acréscimos e decréscimos permissíveis (R\$ ha ⁻¹), para o padrão de cultivo 103 | |
| Tabela 11. Custo reduzido (R\$ ha ⁻¹), coeficiente da função objetivo (R\$ ha ⁻¹), acréscimos e decréscimos permissíveis (R\$ ha ⁻¹), para o padrão de cultivo 2..... | 104 |
| Tabela 12. Restrições atuantes no modelo de programação linear com maximização do valor presente líquido total para o padrão de cultivo 1, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis | 106 |
| Tabela 13. Restrições atuantes no modelo de programação linear com maximização do valor presente líquido total para o padrão de cultivo 2, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis | 109 |

Tabela 14. Resultados das simulações de risco para as variáveis de saída: valor presente líquido total (VPLt), requerimento total de irrigação (ITNt), requerimento anual de irrigação (ITN) para os anos 1 a 3, requerimento mensal de irrigação (ITN) nos meses de novembro e dezembro nos três anos de planejamento para o modelo de programação linear relativo ao máximo valor presente líquido total do padrão de cultivo um 111

Tabela 15. Resultados das simulações de risco para as variáveis de saída: valor presente líquido total (VPLt), requerimento total de irrigação (ITNt), requerimento anual de irrigação para os anos 1 a 3, requerimento mensal de irrigação nos meses de novembro e dezembro nos três anos de planejamento para o modelo de programação linear relativo ao máximo valor presente líquido total do padrão de cultivo dois 112

Planejamento em empreendimento de agricultura irrigada visando à otimização do retorno financeiro e uso da água. Capítulo II - Planejamento em nível de fazenda para agricultura irrigada e de sequeiro

Resumo

O uso da irrigação pode minimizar o risco aos agricultores, no que se refere às produções a serem alcançadas. Entretanto, não elimina a possibilidade de prejuízos financeiros. O planejamento na fazenda envolve a otimização de variáveis de interesse do produtor, geralmente, o retorno financeiro. Este trabalho teve como objetivo analisar padrões de cultivo, em uma propriedade rural, visando à otimização do uso de recursos hídricos e maximização do retorno financeiro, para um estudo de caso no Agreste Meridional Pernambucano. Com intuito de otimizar o padrão de cultivo, foi utilizado um modelo de programação linear com horizonte de planejamento de 3 anos, implementado na planilha do MSExcel[®] e resolvido com a ferramenta padrão do Excel, denominada Solver. O modelo visou à maximização do valor presente líquido total do empreendimento (VPLt, R\$), sendo este o critério de avaliação econômica de projetos utilizado no estudo. Para a análise de risco, foram utilizadas duas técnicas complementares: a simulação de risco e análise de sensibilidade. No primeiro padrão de cultivo, com restrição hídrica mensal para irrigação de 8.500 m³, o máximo valor presente líquido total, VPLt (R\$), foi de R\$ 8.771,10 (ha ano)⁻¹, o que representa o lucro corrigido pela taxa de desconto. No segundo padrão de cultivo, com restrição hídrica mensal irrigação de 4.000 m³, o valor presente líquido apontado como ótimo foi de R\$ 8.228,77 (ha ano)⁻¹. As restrições de mão-de-obra, terra e produção foram atuantes no modelo de programação linear nos dois padrões de cultivo. A restrição hídrica foi atuante somente no segundo padrão de cultivo. Na análise de risco, observou-se que os valores encontrados do valor presente líquido total, no período de planejamento de 3 anos, resultantes das simulações, foram positivos nos dois padrões de disponibilidade hídrica, evidenciando a não expectativa de fracasso financeiro do empreendimento.

Palavras-chave: programação linear, simulação de risco, valor presente líquido, irrigação total necessária.

Planning in enterprise of irrigated agriculture in order to optimize the financial return and use of water. Chapter II - Planning the farm level for irrigated and rainfed agriculture

Abstract

The use of irrigation can minimize the risk to farmers, as regards the crop yield to be achieved. However, it does not eliminate the possibility of financial losses. Planning on the farm involves the optimization of variables of interest to the producer, generally, the financial return. This study aimed to analyze cropping patterns on a farm in order to optimize the use of water resources and maximize the financial return to a case study in South Agreste Pernambucano. In order to optimize the cropping pattern, we used a linear programming model with a planning horizon of 3 years, implemented in a spreadsheet MSExcel® and resolved with the standard tool of Excel called Solver. The model aimed to maximize the total net present value of the enterprise (VPLt, R \$), which is the criterion for economic evaluation of projects used in the study. For risk analysis, we used two complementary techniques: the simulation of risk and sensitivity analysis. In the first cropping pattern, with monthly water restriction for irrigation of 8,500 m³, the maximum total net present value, VPLt (R\$), was R\$ 8.771,10 (ha year)⁻¹, which represents the profit adjusted for the discount rate. In the second cropping pattern, with monthly irrigation water restriction of 4,000 m³, the net present value indicated as great was R\$ 8.228,77 (ha yr)⁻¹. The restrictions of the labor force, land and production were active in the linear programming model in two cropping patterns. Water restriction was active only in the second cropping pattern. In risk analysis, it was observed that the values of the total net present value, in the planning period of 3 years as a result of the simulations, were positive in two patterns of water availability, evidencing the non expectation of financial failure of the enterprise.

Key words: linear programming, risk simulation, net present value, total irrigation requirement.

8. Introdução

A agricultura é uma atividade cercada de vários riscos. A utilização de métodos de irrigação faz com que alguns riscos sejam minimizados, como a variação de produtividade das culturas frente à incerteza da frequência e quantidade da precipitação. Mas o risco econômico continua inerente à atividade.

Para que o sucesso seja alcançado no empreendimento agrícola, é necessário o planejamento dos recursos que serão utilizados na produção. Muitas vezes, os agricultores possuem recursos naturais e financeiros em quantidades que limitam a expressão máxima da produção de seu empreendimento. Então, o planejamento deve ser feito visando obter o máximo retorno financeiro, respeitando as restrições existentes na propriedade. Além de planejar o uso dos recursos limitados da propriedade, é necessário se fazer avaliação do risco econômico ao qual o empreendimento está exposto.

O agricultor, ao procurar maximizar o retorno financeiro, deve escolher, dentre as alternativas de produção disponíveis, aquela que satisfaça certos objetivos preestabelecidos e a mais eficiente na utilização dos recursos produtivos. Em situações onde a tomada de decisão está relacionada à alocação de recursos limitados, esta alocação é função da decisão e da racionalidade do agricultor que depende, por sua vez, de métodos eficientes que o auxiliem na otimização da sua decisão (CARVALHO et al., 2000).

A demanda de recursos hídricos necessário para o estabelecimento de cultivos irrigados é bastante elevada, sendo de suma importância no planejamento do empreendimento que seja maximizado o lucro da propriedade considerando-se a otimização dos recursos hídricos.

No manejo racional de qualquer projeto de irrigação, devem-se procurar maximizar a produtividade e a eficiência do uso da água e minimizar os custos, quer de mão-de-obra, quer de capital, mantendo as condições favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada (BERNARDO et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi analisar padrões de cultivo, com vistas à maximização do retorno financeiro e à otimização do uso dos recursos hídricos para a agricultura familiar, num estudo de caso no Agreste Meridional Pernambucano, através da utilização da programação linear, além de avaliar o risco financeiro e quanto à escassez hídrica ao qual o empreendimento está exposto.

9. Revisão de literatura

9.1. Risco na agricultura irrigada

No ciclo produtivo das culturas podem ocorrer eventualidades devido a diversos fatores como: econômicos, climáticos, biológicos e administrativos. Assim, é difícil estabelecer uma estimativa precisa do comprometimento econômico que estas eventualidades representam ao projeto, como também a sua ocorrência (SOUZA & FRIZZONE, 2001).

O uso da irrigação pode minimizar o risco dos agricultores no que se refere às produções a serem alcançadas. Entretanto, não impede que ocorram riscos financeiros. Para o agricultor, a irrigação é uma prática que além de incrementar a produtividade pode proporcionar a obtenção de um produto diferenciado, de melhor qualidade e garantia de bons preços no mercado (SOUZA, 2001).

O risco é algo inerente à própria vida do projeto, ou seja, é impossível eliminá-lo das ações a serem implementadas, devido à impossibilidade de prever todas as informações relevantes ao projeto. As atividades agrícolas, mesmo irrigadas, estão sujeitas a um nível significativo de risco, tanto climático, biológico, como econômico (WOILER & MATHIAS, 1994; BISERRA, 1994).

Os termos risco e incerteza podem ser definidos de várias maneiras. Uma discriminação comum consiste em definir que o risco é o conhecimento imperfeito, onde as probabilidades de possíveis resultados são conhecidas. Já incerteza ocorre quando essas probabilidades não são conhecidas. Esta definição é pouco conveniente, pois casos onde probabilidades são objetivamente conhecidas são a exceção em situações de tomada de decisão. De maneira geral, a incerteza é definida como o conhecimento imperfeito e risco como consequências incertas, particularmente exposição a consequências desfavoráveis. Assumir o risco, então, é expor si próprio a uma chance significativa de injúria ou perda. Para muitas decisões do dia-a-dia, o risco é usualmente sem importância quando a possibilidade de perda é

pequena ou a probabilidade de sofrimento dessa perda é julgada ser baixa (HARDAKER et al., 2004).

Existem mecanismos de proteção aos riscos de mercado e agrícola. O risco agrícola pode ser amenizado com a adoção de tecnologias e sistemas produtivos que geram maiores níveis de produtividade, desde que os benefícios econômicos oriundos pela elevação da produtividade sejam maiores que os custos de produção inerentes a esses sistemas (ARÊDES & PEREIRA, 2008).

A maioria dos modelos matemáticos elaborados para estudos de plano de produção que visem aumentar a rentabilidade das unidades de produção agropecuária devem incluir o risco na sua formulação, devido ao elevado risco ao qual a atividade está sujeita (SILVA NETO & STULP, 2000; PIZZOL, 2002).

9.2. Planejamento em empreendimentos de agricultura irrigada

Em regiões onde a água é escassa, as funções de produção agrícola são importantes às análises de produção agrícola, sendo essas relevantes no planejamento e operação de projetos de irrigação, auxiliando na tomada de decisão acerca de planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica com base na água disponível (SOUZA & FRIZZONE, 2003).

O planejamento efetivo de áreas irrigadas deve estar relacionado com as informações de clima, solo, como também com as funções de resposta das culturas em relação à lâmina de água aplicada. Outros fatores importantes são recursos de capital, de trabalho e de tecnologia agrícola (BOWMAN et al., 1991).

O planejamento em nível de propriedade, inicial ou periódico, envolve a otimização de variáveis de interesse do produtor, o qual é o tomador de decisão neste nível. Geralmente, a variável de interesse é o retorno financeiro, o qual deve ser maximizado (BORGES JÚNIOR, 2004).

O agricultor, ao procurar estabelecer um planejamento no seu empreendimento deve selecionar, dentre as alternativas de produção

disponíveis, a mais eficiente na utilização dos recursos produtivos e a que satisfaz a certos objetivos preestabelecidos. Em situações onde a tomada de decisão está relacionada à alocação de recursos limitados, esta alocação é função da decisão e da racionalidade do agricultor que depende, por sua vez, de métodos eficientes que o auxiliem na otimização da sua decisão (CARVALHO et al., 2000).

9.3. Programação matemática

Com o objetivo de solucionar os complexos problemas no uso dos recursos hídricos, lança-se mão de técnicas e ferramentas capazes de auxiliar no processo de análise, operação, planejamento e tomada de decisão. Análises são comumente realizadas através de complexas metodologias matemáticas e computacionais, incluindo técnicas de otimização e simulação (VIEIRA, 2007).

A programação matemática é uma técnica utilizada para solucionar determinadas classes de problemas em que se procura alocar, da melhor forma, recursos limitados a atividades ou decisões diversas. Estudos que visam otimizar economicamente a utilização dos fatores de produção são de extrema importância para o desenvolvimento da agricultura brasileira, tendo em vista a escassez desses fatores como também seus elevados custos (SILVA, 2007; DANTAS NETO, 1994).

Os modelos são formulados para encontrar os valores de um conjunto de variáveis de decisão que otimizem (maximizem ou minimizem) uma função objetivo sujeita a restrições. A função objetivo e as restrições são representadas por expressões matemáticas em função das variáveis de decisão. Leva em consideração algum tipo de técnica de programação matemática e são classificados em: programação linear; programação dinâmica; programação não-linear e métodos heurísticos (VIEIRA, 2007).

Os problemas de programação normalmente encarregam-se de alocar recursos escassos, como mão-de-obra, máquinas, matéria-prima e

disponibilidade hídrica, na produção, de tal forma que os produtos obedeçam a certas especificações técnicas (conteúdo de matérias-primas, utilização de certos equipamentos), observem certas restrições (disponibilidade de tempo de máquina, capacidade de aceitação do mercado consumidor, etc.) e, finalmente, tentem maximizar ou minimizar a função objetivo como lucro e custo (SILVA, 2007).

Devido a alguns fatores como a distribuição irregular dos recursos hídricos e a escassez de capital, torna-se necessária a utilização de técnicas de programação matemática para planejamento eficaz da agricultura irrigada (SILVA, 2007).

9.4. Programação linear

Em condições limitantes de água, técnicas de programação linear tem sido um excelente instrumento para a alocação ótima de recursos em áreas irrigadas, onde são plantadas várias culturas em diferentes regimes de irrigação e estas estão competindo por uma quantidade limitada de água. Muitos trabalhos foram desenvolvidos no sentido de selecionar culturas a serem plantadas em determinada área. A utilização desta técnica exige o conhecimento de fatores que possam influenciar o funcionamento do sistema a ser otimizado (DANTAS NETO et al., 1997).

Os problemas de otimização, utilizando a programação linear, são compostos de três elementos básicos: uma função objetivo que se queira minimizar ou maximizar, um conjunto de incógnitas ou variáveis, que afetam o valor da função objetivo, e um conjunto de restrições, que permitem as variáveis assumirem determinados valores e excluírem outros. Os problemas procuram encontrar valores ótimos para as variáveis a fim de minimizarem ou maximizarem a função objetivo, satisfazendo determinadas restrições (STEFFENS, 2005).

Um problema de programação linear envolve a maximização ou a minimização de uma função linear de diversas variáveis, denominada função

objetivo, sujeita a um conjunto de restrições. Todo problema de programação linear é caracterizado por relações lineares. Isso significa que os coeficientes usados expressam um comportamento constante ou representam uma relação linear entre, por exemplo, o fator de produção e o produto final, quando os preços recebidos pelos produtos são constantes (FRIZZONE et al., 2005).

As restrições, expressas por inequações, permitem que não se exija acima do uso integral dos recursos disponíveis e que o nível de qualquer atividade explorada ou produto seja igual ou maior que zero. Dessa forma, assegura-se que a quantidade utilizada de recursos seja menor ou igual à quantidade disponível e que a produção seja maior ou igual a zero (FRIZZONE et al., 2005).

Considerando n variáveis não negativas X_j ($j = 1, 2, \dots, n$) e uma função linear Z dessas variáveis que deve ser maximizada, tendo-se um conjunto de restrições para as variáveis X_j , pode-se definir o problema de programação linear como (FRIZZONE et al., 2005):

$$\text{Maximizar } Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n \quad (1)$$

Sujeito às restrições:

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2 \quad (3)$$

·
·
·

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m \quad (4)$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_n \geq 0 \quad (5)$$

A função a ser maximizada (1) chama-se função objetivo e as funções expressas pelas inequações 2 a 4 chamam-se restrições funcionais e representam o uso total do recurso. As restrições do tipo representado pelas inequações 5 denominam-se restrições de não-negatividade. As variáveis X_j são as de decisão e os coeficientes de entrada a_{ij} , b_i e c_j chamam-se

constantes do modelo e representam os coeficientes técnicos (FRIZZONE et al., 2005).

9.5. Análise de Risco

Os riscos da adoção de uma agricultura irrigada devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando sempre que os rendimentos sejam maiores que os custos (SOUZA, 2001).

Além das análises de retorno, decisões acerca de investimentos são influenciadas por outros fatores relativos ao ambiente de implantação do projeto, dentre eles, a impossibilidade de se prever as condições econômicas e ambientais que o envolvem. Dessa forma, as decisões relativas a investimentos são tomadas considerando certo grau de incerteza e risco (ARÊDES & PEREIRA, 2008).

Análise de sensibilidade e simulação de risco são duas técnicas, dentre outras, para o tratamento de risco em projetos de investimento (FRIZZONE & SILVEIRA, 1996).

O procedimento de análise de sensibilidade é geralmente empregado em análises de pós-otimização de modelos de programação matemática. Baseia-se na aplicação de modificações nos valores de variáveis ou parâmetros de entrada e verificação do efeito nas variáveis de saída. A estabilidade da solução do modelo é avaliada considerando-se o efeito de variações em um único coeficiente, enquanto todos os outros são mantidos constantes. A alteração simultânea de todas as variáveis de entrada de um modelo resultaria um número expressivo de combinações, dificultando a análise (FRIZZONE & SILVEIRA, 1996; HAZELL & NORTON, 1986).

A simulação de risco envolve a variação concomitante das variáveis aleatórias de entrada de um modelo, onde observa-se a distribuição de probabilidade das variáveis de saída, utilizando-se técnicas de amostragem, como Monte Carlo, Hipercubo Latino ou Amostragem Descritiva (SALIBY, 1997; BORGES JÚNIOR et al., 2003; HARDAKER et al., 2004)

Nota-se que as técnicas de simulação de risco e análise de sensibilidade são complementares na análise de risco. Quando se aplica simulação de risco, o enfoque é na variável de saída, buscando-se gerar, com base nas distribuições de probabilidade das variáveis e parâmetros de entrada e em correlações entre essas variáveis e parâmetros, a função de probabilidade acumulada para a variável de saída. Já na análise de sensibilidade, o enfoque é sobre as variáveis e parâmetros de entrada, ou seja, verifica-se o impacto de variações em cada variável ou parâmetro de entrada isoladamente, sobre uma determinada variável de saída (BORGES JÚNIOR et al., 2008).

9.5.1. Simulação de risco

A simulação de dados permite o cálculo de diferentes combinações prováveis de ocorrer. Obtém-se como resultado não um índice de desempenho, mas uma distribuição de frequências do mesmo, sendo o risco traduzido em números pela variância. A grande vantagem da simulação é que ela permite informar adicionalmente que a rentabilidade do projeto poderá variar num certo intervalo, que inclui o valor mais provável, segundo uma distribuição de probabilidades (FRIZZONE et al., 2005).

Um dos métodos mais utilizados na mensuração de riscos de projetos é o método de Monte Carlo. O método de Monte Carlo é um tipo especial de simulação utilizada em modelos envolvendo eventos probabilísticos. Este método permite, essencialmente, simular o comportamento de processos que dependem de fatores aleatórios (ARÊDES & PEREIRA, 2008; HARR, 1987; PALISADE CORPORATION, 2002).

O método Monte Carlo foi criado, originalmente, por Hertz (1964), sendo posteriormente ampliado por técnicos do Banco Mundial. Consiste em construir e simular modelos matemáticos-estatísticos, através de recursos estatísticos e computacionais. O processo de simulação baseia-se no fato de a frequência relativa de ocorrência do acontecimento de certo fenômeno ou indicador (lucro, por exemplo) aproximar-se da probabilidade matemática de ocorrência do

mesmo fenômeno, quando a experiência é repetida um grande número de vezes (HERTZ, 1964 & BISERRA, 1994).

O método de Monte Carlo é uma técnica de gerar informações através de simulações quando os eventos ocorrem de forma aleatória. Consiste em selecionar itens de uma população de forma que cada um tenha a mesma probabilidade de ser selecionado. A técnica emprega números aleatórios que são gerados por computador (FRIZZONE et al., 2005)

9.5.2. Análise de sensibilidade

Além da produtividade, outros elementos que afetam o orçamento possuem probabilidade de variarem, como, por exemplo, os preços dos insumos e produtos. É difícil prever a que níveis estarão os preços um ano ou vários anos mais tarde, bem como estimar os custos de oportunidade de um determinado insumo. Para estimar a amplitude desses preços usamos o método da análise de sensibilidade (PONCIANO et al., 2004).

A análise de sensibilidade consiste em medir em que magnitude uma alteração prefixada em um ou mais fatores do projeto altera o resultado final. Esse procedimento permite avaliar de que forma as alterações de cada uma das variáveis do projeto podem influenciar na rentabilidade dos resultados esperados (BUARQUE, 1991).

Faz-se o teste do modelo de projeção para se determinar quais são os elementos mais relevantes para a decisão de investimento analisada. As principais limitações deste tipo de análise estão em definir com precisão quais as variáveis sujeitas a incerteza e em qual grau de variação devem ser combinadas. Essa técnica é muito utilizada para a análise de projetos de investimento. Na prática, é conveniente escolher algumas variáveis mais sensíveis e analisar a rentabilidade do empreendimento analisando uma de cada vez (FRIZZONE et al., 2005).

O procedimento básico para se fazer uma análise de sensibilidade consiste em escolher o indicador para sensibilizar. Determinar sua expressão em função dos parâmetros e variáveis escolhidos; por meio de um programa de

computação, obtêm-se os resultados a partir da introdução dos valores dos parâmetros na expressão. Faz-se a simulação mediante variações num ou mais parâmetros e verifica-se de que forma e em que proporções essas variáveis afetam os resultados finais em termos de probabilidade (PONCIANO et al., 2004).

9.6. Análise econômica de projetos

A alocação de recursos pelos agricultores é influenciada pelos riscos e incertezas envolvidos. Assim, qualquer avaliação de projeto que não contemple a possibilidade de reduzir os riscos dificilmente produzirá resultados adequados. Uma boa avaliação de um projeto precisa indicar a taxa de rentabilidade esperada, como também fornecer elementos que permitam medir o grau de confiança que se pode associar àquela taxa de retorno. Isso orienta e subsidia a tomada de decisão, tornando-a mais eficiente (PONCIANO et al., 2004).

Uma condição prévia para o desenvolvimento é conseguir maior eficiência econômica na utilização dos recursos. Isso tem uma importância especial nos países em desenvolvimento, onde os recursos fundamentais são escassos e as necessidades de mudanças estruturais são grandes. A análise de projetos permite identificar as possibilidades e selecioná-las, de forma racional, entre as diferentes alternativas. Em consequência, uma condição necessária à avaliação de projetos é que os objetivos do tomador de decisão sejam claramente definidos, já que em outro caso uma decisão racional é impossível. Para isso, há necessidade de métodos modernos de identificação, formulação e avaliação de projetos (FRIZZONE et al., 2005).

Entre as etapas de elaboração de projetos, destacam-se as análises quantitativas e qualitativas que resultam no fluxo de caixa do projeto. A correta construção do fluxo de caixa é de suma importância, uma vez que os indicadores de rentabilidade e risco do projeto são derivados dele (ARÊDES & PEREIRA, 2008).

A análise econômica compara os benefícios e os custos em termos monetários, em uma base de tempo comum. Essa comparação é expressa pela taxa interna de retorno, pela relação benefício/custo e, ou pelo valor presente líquido. O analista pode expor uma delas ou as três, dependendo de sua preferência e de como elas são usadas. Um projeto de irrigação deve ser economicamente justificado onde os benefícios totais devem ser maiores que os custos totais (FRIZZONE et al., 2005).

9.6.1. Valor presente líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) é definido como a diferença entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos. A característica essencial desse critério é que os benefícios e os custos são referenciados ao presente, isto é, os fluxos de caixa esperados durante a vida útil do projeto são descontados para o tempo zero a uma taxa de juros que representa o mínimo retorno para o capital. Assim, consiste em transferir para o instante atual todas as variações de caixa esperadas, descontá-las a uma determinada taxa de juros e somá-las algebricamente (FRIZZONE et al., 2005; PONCIANO et al., 2004).

$$VPL = \sum_{k=0}^n F_k (1+j)^{-k} \quad (6)$$

em que:

F_k = valor do fluxo líquido do projeto no tempo k , R\$;

n = horizonte do projeto;

k = inteiro representando o período de tempo (mês, ano, ...); e

j = taxa de desconto, decimal.

Um projeto é considerado aceitável quando apresenta um VPL positivo, ou seja, o valor corrigido dos benefícios supera o valor corrigido dos custos. Na comparação entre várias alternativas, o projeto que possui o maior VPL é aquele que gera maior riqueza e, portanto, deve ser escolhido (VALENTE 2008).

Segundo Contador (2000), o índice básico adequado para a análise econômica de empreendimentos é o valor presente líquido. Isto não significa que outros parâmetros não sejam utilizados para auxiliar no processo decisório, mas o papel destes parâmetros deve ser apenas complementar.

9.6.2. Relação benefício/custo

Nesse critério, adota-se o quociente entre as somas dos benefícios e dos custos descontados pela taxa de juros adotada, ou seja, é a razão entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos (FRIZZONE et al, 2005). Busca-se verificar se os benefícios são maiores que os custos. Uma expressão frequentemente utilizada para representar a relação benefício/custo é:

$$B / C = \frac{\sum_{k=0}^n B_k (1 + j)^{-k}}{\sum_{k=0}^n C_k (1 + j)^{-k}} \quad (7)$$

em que:

B = valor presente dos benefícios no tempo k, R\$;

C = valor presente dos custos no tempo k, R\$;

n = horizonte do projeto;

k = inteiro representando o período de tempo (mês, ano, ...), e

j = taxa de desconto.

Um projeto economicamente interessante é aquele em que a relação benefício-custo é maior que a unidade, o que significa que o valor atual dos benefícios é maior que o valor atual dos custos, considerando a taxa de juros adotada. Entre varias alternativas, a melhor é a que apresenta maior valor da razão benefício/custo (WOILER & MATHIAS, 1994).

9.6.3. Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) de um projeto é a taxa de juros j^* que torna nulo o valor presente líquido do fluxo de caixa do investimento. É aquela que torna o valor presente dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, caracterizando, assim, a taxa de remuneração do capital investido. É nessa taxa que a soma dos benefícios se torna igual à soma dos custos (FRIZZONE et al., 2005; PONCIANO et al., 2004). Assim:

$$\sum_{k=0}^n F_k (1+j) = 0 \quad (8)$$

em que:

F_k = valor do fluxo líquido do projeto no tempo k , R\$;

n = horizonte do projeto;

k = inteiro representando o período de tempo (mês, ano, ...); e

j = taxa de retorno.

A TIR é a taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa com o investimento inicial. Enquanto o VPL varia de acordo com a taxa de desconto adotada, a TIR é definida no instante em que o VPL do projeto é nulo (VALENTE 2008).

A TIR torna o valor dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, o que caracteriza a taxa de remuneração do capital investido. Essa taxa deve ser comparada com a taxa mínima de atratividade da empresa. O projeto é aceito se apresentar o valor da taxa interna de retorno maior ou igual à taxa mínima de atratividade (FRIZZONE et al., 2005).

Quando a taxa interna de retorno de determinado projeto é igual ou maior que o custo de oportunidade dos recursos para sua implantação, de acordo com o critério adotado, o projeto será considerado viável e deve ser uma alternativa para execução. Quanto maior a TIR, maior a atratividade do projeto. Através da TIR, é possível imaginar um projeto equivalente, tal que os benefícios cresçam a esta mesma taxa (CONTADOR, 2000).

10. Materiais e métodos

10.1. Otimização do padrão de cultivo

Para a otimização do padrão de cultivo, foi utilizado um modelo de programação linear com horizonte de planejamento de 3 anos, implementado na planilha do Excel e resolvido com uma ferramenta padrão do Excel, denominada Solver.

As culturas estudadas, a época de plantio e o método de irrigação são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Época de plantio, anos de cultivo e método de irrigação, quando for o caso, das culturas estudadas

| Cultura | Mês de plantio/semeadura | Método de irrigação |
|----------|--------------------------|---------------------|
| Banana | Janeiro (anos 1,2 e 3) | Microaspersão |
| Feijão 1 | Janeiro | Aspersão |
| Feijão 2 | Março | Sequeiro |
| Feijão 3 | Outubro | Aspersão |
| Feijão 4 | Março | Aspersão |
| Milho 1 | Janeiro | Aspersão |
| Milho 2 | Abril | Sequeiro |
| Mandioca | Abril (anos 2 e 3) | Sequeiro |
| Maracujá | Março (anos 1, 2 e 3) | Gotejamento |
| Pimentão | Outubro (anos 2 e 3) | Gotejamento |
| Repolho | Setembro | Gotejamento |
| Tomate | Setembro | Gotejamento |

Dados para o estabelecimento dos coeficientes da função objetivo foram necessários para a construção da planilha, sendo alguns obtidos no Capítulo I, como: produtividade das culturas em diferentes manejos, requerimento de irrigação mensal das culturas e irrigação total necessária (ITN) no ano de cultivo.

Os dados financeiros, como custo de produção e série histórica de preço obtido pelo produtor, foram obtidos junto ao setor de financiamento de projetos agrícolas no Banco do Brasil na agência de Garanhuns, conforme abordado no Capítulo I.

10.1.1. Restrições

A restrição de terra foi definida estabelecendo que a fazenda foi dividida em três subáreas com 2 ha cada uma (Figura 1), com área total, considerada no planejamento, de 6 ha (Tabela 2).



Figura 1. Foto aérea da propriedade usada no estudo.

O requerimento de irrigação das culturas foi utilizado para preencher a planilha referente às restrições quanto à necessidade hídrica dos cultivos. A soma dos requerimentos hídricos deveria ser menor ou igual à disponibilidade mensal de água para irrigação (Tabela 2).

Tabela 2. Restrições quanto aos recursos, adotados no modelo de programação linear

| Restrição | Unidade | Valor |
|---|----------------|-------|
| Terra (em cada área) | Há | 2 |
| Mão-de-obra (mensal) | dias-homem | 125 |
| Água disponível para a irrigação (mensal) PC1 | m ³ | 8.500 |
| Água disponível para a irrigação (mensal) PC2 | m ³ | 4.000 |

PC1 - padrão de cultivo 1; PC2 - padrão de cultivo 2

Em relação à disponibilidade de terra, observa-se que foram consideradas três áreas de 2 ha cada uma, totalizado 6 ha disponíveis na propriedade.

A disponibilidade mensal de água foi determinada a partir de medidas do espelho d'água do reservatório, vazão afluente ao reservatório e quantidade de água que se deve deixar livre para os produtores a jusante. Foram considerados dois padrões de cultivo quanto à disponibilidade hídrica: o primeiro padrão de cultivo, PC1, com 8.500 m³ de disponibilidade hídrica mensal e o segundo padrão de cultivo, PC2, com disponibilidade mensal de 4.000 m³ (Tabela 2).

As restrições referentes à necessidade de mão-de-obra para cada cultivo em cada mês foi determinada a partir das planilhas de produção obtidas junto à agência bancária do Banco do Brasil no município. A partir das discriminações dos componentes dos custos de produção, foi totalizada a quantidade de mão-de-obra necessária para os cultivos e esses valores foram distribuídos em base mensal a depender do procedimento realizado em cada mês. A quantidade de mão-de-obra que o agricultor tem disponível em sua propriedade está apresentada na Tabela 2.

Nas restrições de produção (Tabela 3) foram considerados valores hipotéticos, seguindo os critérios: diversificar os produtos na propriedade estabelecendo assim uma produção máxima para algumas culturas, simular necessidades de produção mínima para atender contratos pré-estabelecidos e, ou para outras atividades na propriedade, como, por exemplo, a produção de ração animal ou farinha. Representar as capacidades de armazenamento ou processamento e capacidade de mercado.

Tabela 3. Restrições quanto à produção adotadas no modelo de programação linear, para uma propriedade de 6 ha

| Cultura | Unidade | Mínima | Máxima |
|----------|-----------------------|--------|--------|
| Banana | t ano ⁻¹ | 10 | 20 |
| Feijão | t safra ⁻¹ | -- | 3 |
| Mandioca | t safra ⁻¹ | 5 | 10 |
| Maracujá | t ano ⁻¹ | 10 | 30 |
| Milho | t safra ⁻¹ | 1 | 5 |
| Pimentão | t safra ⁻¹ | -- | 70 |
| Repolho | t safra ⁻¹ | -- | 50 |
| Tomate | t safra ⁻¹ | -- | 100 |

10.1.2. Função objetivo

O critério de avaliação econômica de projetos utilizado no estudo foi o valor presente líquido total, VPL_t, que representa o lucro obtido pelo produtor com as atividades que ele irá trabalhar, ou seja, as culturas que ele irá implantar, corrigidos para o tempo presente segundo uma taxa de desconto. Desta maneira, o modelo de programação linear visa à maximização do valor presente líquido total da propriedade. A função objetivo do modelo é:

$$\text{Max } VPL_t = \sum_{t=0}^n \frac{L_t}{(1+i)^{t-0,5}} \quad (9)$$

em que:

VPL_t= valor presente líquido total, \$;

L_t = valor do fluxo líquido do projeto no ano t, \$;

n = horizonte do projeto, igual a 3 anos;

t = tempo, anos;

i = taxa de desconto, decimal.

O expoente t no denominador é diminuído em 0,5 para ajustar ao tempo médio em cada ano.

Os coeficientes da função objetivo foram determinados com os seguintes dados:

- Custo de produção, exceto o de irrigação (Tabela 4);

- Custo da irrigação: foi considerado o custo de energia necessária para fornecer o valor total de ITN aos cultivos. Verificou-se o custo da energia (kW hora) junto à concessionária Celpe, onde foram encontrados dois valores, que variavam de acordo com o horário que seria realizado a irrigação. Fez-se a média entre os valores encontrados para o irrigante no horário de tarifa normal e para o irrigante no horário de desconto (21h30min até 6h) visando uma situação mista de horário de irrigação, onde a irrigação localizada pode ser feita no horário de desconto, já a aspersão é feita durante o dia. Não foi considerada a cobrança pelo uso da água, ainda não implementada na região.
- Preço de venda (Tabela 5): os preços de venda dos diversos produtos foram obtidos junto ao banco do Brasil, conforme abordado no Capítulo I.
- Produtividade: foram obtidas as produtividades em diferentes tipos de manejo das culturas, através do emprego no modelo de simulação MCID, conforme abordado no Capítulo I.
- Taxa de desconto anual: foi considerada a taxa de desconto de 8% ao ano. Esse valor foi obtido pela diferença arredondada entre a taxa Selic anual, para junho de 2007, igual a 12,43 % e a meta de inflação de 2007 do Conselho Monetário Nacional, igual a 4,5 ao ano.

Tabela 4. Custo de produção (R\$ ha⁻¹) sem os custos com a irrigação

| Cultura | Custo (R\$ ha⁻¹) |
|-------------------|------------------------------------|
| Banana ano 1 | 7.100,94 |
| Banana anos 2 e 3 | 6.247,50 |
| Feijão | 1.311,93 |
| Mandioca | 1.184,84 |
| Maracujá ano 1 | 4.608,67 |
| Maracujá ano 2 | 3.239,11 |
| Maracujá ano 3 | 270,00 |
| Milho | 1.007,63 |
| Pimentão | 8.995,15 |
| Repolho | 7.897,38 |
| Tomate | 11.865,57 |

Tabela 5. Preço de venda (R\$ t⁻¹)

| Cultura | Preço de venda (R\$ t⁻¹) |
|----------------|--|
| Banana | 429,06 |
| Feijão | 1.471,43 |
| Mandioca | 167,80 |
| Maracujá | 1.318,02 |
| Milho | 460,88 |
| Pimentão | 1.318,02 |
| Repolho | 439,25 |
| Tomate | 444,53 |

10.2. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade da solução do modelo de programação linear foi realizada a partir do Relatório de Sensibilidade, gerado pela aplicação do Solver. Essa análise consistiu em medir o efeito das variáveis de saída a partir de variação nas variáveis de entrada, avaliando assim a estabilidade da solução encontrada com o modelo de programação linear.

10.3. Análise de Risco

Na análise de risco busca-se obter a função de probabilidade acumulada da variável de saída (Figura 2) com base nas distribuições de probabilidade das variáveis de entrada e correlações entre esses parâmetros (Borges Junior et al., 2008).

A técnica de amostragem para a simulação utilizada foi o método Monte Carlo, que é um tipo especial de simulação usado em modelos envolvendo eventos probabilísticos.

Para processamento dessas simulações foi empregado o programa computacional @RISK (PALISADE CORPORATION, 2002), implementado junto à planilha eletrônica Excel, em que as variáveis de entrada (Figura 2) foram consideradas de forma estocástica. Esta análise foi aplicada utilizando-

se a estrutura do modelo de programação linear. Na simulação, foram feitas 10.000 iterações com o programa.

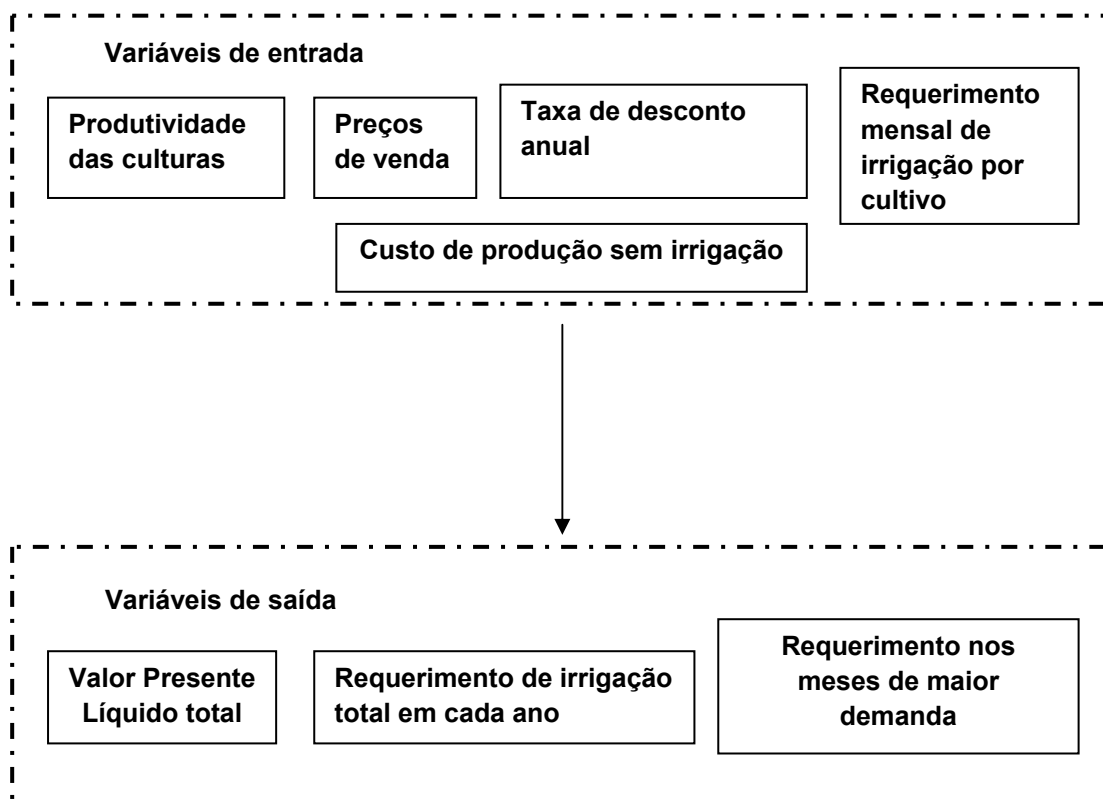


Figura 2. Variáveis de entrada e saída da simulação de risco

As funções de distribuição de probabilidade das variáveis de entrada foram:

- Preço: função de distribuição triangular, com valor mínimo, valor mais provável e valor máximo iguais a 50, 100 e 120%, respectivamente, do valor de preço de venda empregado no modelo de programação linear.
- Produtividade: função de distribuição da probabilidade normal, cujo desvio padrão foi determinado de acordo valores de coeficiente de variação e média, com base na modelagem executada no Capítulo I. Para culturas irrigadas, o coeficiente de variação foi 0,03, devido ao baixo desvio padrão verificados para

estes cultivos, como efeito da mitigação do risco proporcionada pela irrigação. Para cultivos de sequeiro, os coeficientes de variação foram determinados a partir da média de produtividade e do desvio padrão encontrados no Capítulo I.

- Taxa de desconto anual: função de distribuição triangular, com valor mínimo de 7%, valor mais provável de 8% e valor máximo de 10%.
- Custo de produção sem irrigação: função de distribuição triangular, com valor mínimo, valor mais provável e valor máximo iguais a 90, 100 e 120%, respectivamente, do valor do custo de produção empregado no modelo de programação linear.
- Requerimento mensal de irrigação: função de distribuição normal padrão com truncamento nos extremos, em níveis de probabilidade de 5% e 95%. Segundo Borges Júnior (2004), considera-se que o coeficiente de correlação dos requerimentos mensais de irrigação é igual a um. Em cada mês, a partir do procedimento inerente ao Método de Monte Carlo, obtêm um valor para a variável normal padrão e, então, calcula-se os valores para o requerimento mensais de irrigação por meio da equação:

$$w_{r_{jym}} = DP_w \cdot Z + w_{jym} \quad (10)$$

em que,

$w_{r_{jym}}$ – valor realizado para w_{jym} equivalente ao valor realizado de Z , m^3ha^{-1} ;

DP_w - desvio padrão de w_{jym} , m^3ha^{-1}

Z - variável normal padrão.

As funções de distribuição de probabilidade, para as variáveis de entrada preço, taxa de desconto e custo, foram definidas com o objetivo de tornar o modelo mais conservador. As funções triangulares empregadas são assimétricas, no sentido de acarretar menores valores presentes líquidos totais do que se fossem simétricas, pois existe maior probabilidade de haver maiores

valores de taxa de desconto, menores valores do preço de venda dos produtos e maiores valores de custo.

11. Resultados e discussão

11.1. Otimização do valor presente líquido total

O modelo de programação linear proposto resultou em dois padrões de cultivos, apresentados nas tabelas 6 e 7, considerando as restrições de água, mão-de-obra e de terra e satisfazendo as exigências de áreas mínimas e máximas para atendimento das restrições de produção relativas a algumas atividades.

No primeiro padrão de cultivo (PC1), com restrição hídrica mensal para irrigação de 8.500 m³, o valor presente líquido total, VPLt (R\$), apontado como ótimo, foi de R\$ 157.879,73, o que representa o lucro corrigido pela taxa de desconto com período de planejamento de três anos e área total disponível de 6 ha, ou seja, o retorno financeiro foi de R\$ 8.771,096 (ha ano)⁻¹.

Para o segundo padrão de cultivo (PC2), com restrição hídrica mensal irrigação de 4.000 m³, o valor presente líquido apontado como ótimo foi de R\$ 148.117,9, representado R\$ 8.228,77 (ha ano)⁻¹, considerando o mesmo período de planejamento e tamanho da área.

O percentual de ocupação da área agricultável para os três anos de planejamento no padrão de cultivo um foi de 69%, no padrão de cultivo dois foi de 60%.

Andrade et al. (2008) utilizaram a programação linear para estabelecer um padrão de cultivo ótimo visando à maximização do valor presente líquido total em uma propriedade do perímetro irrigado de Gorutuba, MG, com restrição de terra de 200 ha, de mão-de-obra de 6.000 dias homens, disponibilidade mensal de água para a irrigação de 155.000 m³ e horizonte de planejamento de quatro anos. O padrão de cultivo apontado como ótimo em termos de maximização do valor presente líquido total foi de R\$ 2.918.744,05 para os quatro anos de planejamento, representando R\$ 3.648,43 (ha ano)⁻¹, observando-se que este valor não foi corrigido para dezembro de 2008. Portanto, o VPLt obtido por Andrade et al. (2008), por unidade de área e tempo,

foi inferior à metade do encontrado neste trabalho, o que provavelmente é decorrente de restrições mais severas em termos de mão de obra e produção, bem como devido a um efeito mais expressivo da restrição hídrica frente a uma maior demanda de água para irrigação.

Tabela 6. Padrão de Cultivo 1: solução ótima encontrada pelo modelo de programação linear para um volume mensal de água igual a 8500 m³

| Cultivo | Ano 1 (ha) | Ano 2 (ha) | Ano 3 (ha) |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Banana 1 área 1 | 0,42 | 0,42 | 0,42 |
| Banana área 2 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Maracujá área 2 | 1,85 | 1,85 | 1,85 |
| Mandioca área 3 | 0,67 | 0,67 | -- |
| Feijão 1 área 3 | 1,33 | 0,67 | 0,57 |
| Feijão 3 área 3 | 0,95 | 0,96 | 2,00 |
| Feijão 4 área 1 | 1,56 | -- | -- |
| Feijão 4 área 2 | -- | -- | 1,85 |
| Feijão 4 área 3 | 0,42 | 0,03 | 0,15 |
| Milho 1 área 3 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Pimentão área 1 | 1,58 | 1,58 | -- |
| Pimentão área 3 | 0,38 | 0,38 | -- |
| Tomate área 1 | -- | -- | 1,08 |

Tabela 7. Padrão de Cultivo 2: solução ótima encontrada pelo modelo de programação linear para um volume mensal de água igual a 4000 m³

| Cultivo | Ano 1 (ha) | Ano 2 (ha) | Ano 3 (ha) |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Banana 1 área 1 | 0,57 | 0,57 | 0,57 |
| Maracujá área 2 | 0,82 | 0,82 | 0,82 |
| Mandioca área 1 | -- | 0,68 | -- |
| Mandioca área 3 | 0,67 | -- | -- |
| Feijão 1 área 3 | -- | 0,68 | 0,27 |
| Feijão 3 área 3 | 1,64 | 0,08 | 1,20 |
| Feijão 4 área 1 | 0,47 | 0,75 | 0,47 |
| Feijão 4 área 2 | 1,17 | -- | 1,53 |
| Feijão 4 área 3 | 0,36 | -- | -- |
| Milho 1 área 1 | 0,25 | -- | -- |
| Milho 1 área 2 | -- | 0,16 | 0,25 |
| Milho 1 área 3 | -- | 0,08 | -- |
| Pimentão área 2 | 1,01 | 0,22 | -- |
| Pimentão área 3 | 1,24 | -- | -- |
| Tomate área 1 | -- | -- | 1,08 |

Dantas Neto et al. (1997), utilizando modelo de programação linear para estimar a maximização dos lucros da área de colonização do projeto Senador Nilo Coelho em Petrolina-PE, com área total de 7.424 ha , verificaram que o retorno financeiro foi de US\$ 22.634.044,00. Considerando a cotação do dólar para dezembro de 2008, verificou-se que o retorno financeiro foi de R\$ 52.510.982,08, totalizando R\$ 7.073,14 (ha. ano)⁻¹, utilizando-se o seguinte padrão de cultivo: feijão Phaseolus (714 ha), melancia (714 ha), pimentão (714 ha), tomate (4.281 ha), cebola (357 ha) e banana (818 ha). As restrições à função-objetivo foram volume de água mensal, volume de água anual, terra e mercado, sendo que a restrição atuante no modelo foi a disponibilidade anual de água.

Pode-se verificar que nas duas condições de restrição hídrica (PC1 e PC2) foram excluídas da solução ótima as atividades de sequeiro, exceto o cultivo da mandioca, e as atividades de repolho, esta provavelmente devido ao elevado requerimento de mão de obra. O cultivo de mandioca só apareceu na solução devido à restrição de produção mínima. De acordo com Carvalho et al. (2000), utilizando a programação linear para a otimização do uso da água no perímetro irrigado de Gortuba, MG, o fator limitante da otimização, que influenciou o aparecimento ou não de determinadas culturas e épocas de plantio na solução ótima do modelo, foi o próprio coeficiente da função objetivo, correspondente aos dados de preço, produtividade e custo de cada cultura.

Fazendo uso da modelagem através da programação linear, Carvalho et al. (2000) verificaram que a banana prata respondeu, em todos os lotes, como a melhor opção de plantio. No modelo de programação linear utilizado neste trabalho não houve a dominância de cultivos nas diferentes áreas, devido, principalmente, às restrições existentes de produção máximas e mínimas das culturas.

Comparando os dois padrões de cultivo, observa-se que algumas atividades entraram na solução ótima do modelo do padrão 1 e não fizeram parte da solução do padrão 2, como por exemplo a banana na Área 2. Situação inversa também ocorreu, já que atividades foram incluídas na solução do segundo padrão e não estavam presentes no primeiro, como a mandioca Área 1 (ano inicial 2).

Na Tabela 8 são apresentadas as produções obtidas das atividades que entraram na solução ótima do modelo. Percebe-se que nos dois padrões de cultivo as atividades relacionadas ao cultivo de banana, mandioca e milho só apareceram na solução ótima do modelo devido às restrições existentes quanto à produção mínima dessas culturas (Tabela 3). A restrição quanto à produtividade máxima foi limitante para as atividades relacionadas ao cultivo de feijão em ambos os padrões de cultivo. No padrão de cultivo 1, a restrição de produção máxima foi limitante para o cultivo do maracujá.

Tabela 8. Produções das atividades encontradas na solução ótima do modelo de programação linear

| Atividades | Produção PC1 (t) | Produção PC2 (t) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| Banana | 10,00 | 10,00 |
| Feijão 1 ano1 | 1,99 | 2,46 |
| Feijão 1 ano2 | 1,10 | 1,02 |
| Feijão 1 ano3 | 0,84 | 0,41 |
| Feijão 2 ano1 | -- | -- |
| Feijão 2 ano2 | -- | -- |
| Feijão 2 ano3 | -- | -- |
| Feijão 3 ano1 | 1,43 | 0,12 |
| Feijão 3 ano2 | 1,44 | -- |
| Feijão 3 ano3 | 3,00 | 1,79 |
| Feijão 4 ano1 | 3,00 | 3,00 |
| Feijão 4 ano2 | 0,04 | 1,12 |
| Feijão 4 ano3 | 3,00 | 3,00 |
| Mandioca ano2 | 5,00 | 5,00 |
| Mandioca ano3 | 5,00 | 5,00 |
| Maracujá | 30,00 | 13,36 |
| Milho1 ano1 | 1,00 | 1,00 |
| Milho1 ano2 | 1,00 | 1,00 |
| Milho1 ano3 | 1,00 | 1,00 |
| Milho2 ano1 | -- | -- |
| Milho2 ano2 | -- | -- |
| Milho2 ano3 | -- | -- |
| Pimentão ano2 | 58,60 | 67,63 |
| Pimentão ano3 | 58,31 | 66,68 |
| Repolho ano1 | -- | -- |
| Repolho ano2 | -- | -- |
| Repolho ano3 | -- | -- |
| Tomate ano1 | -- | -- |
| Tomate ano2 | -- | -- |
| Tomate ano3 | 59,22 | 59,22 |
| Total | 244,97 | 242,81 |

PC1-padrão de cultivo 1; PC2-padrão de cultivo 2

Na Figura 3 apresenta-se a linha de soluções da programação linear no plano do valor presente líquido total (VPLt) e restrição mensal de água para a irrigação. Observa-se que para valores de restrição mensal maiores que 4000 m³, a curva passa a ter um padrão assintótico, com pequena variação no VPLt até o valor máximo.

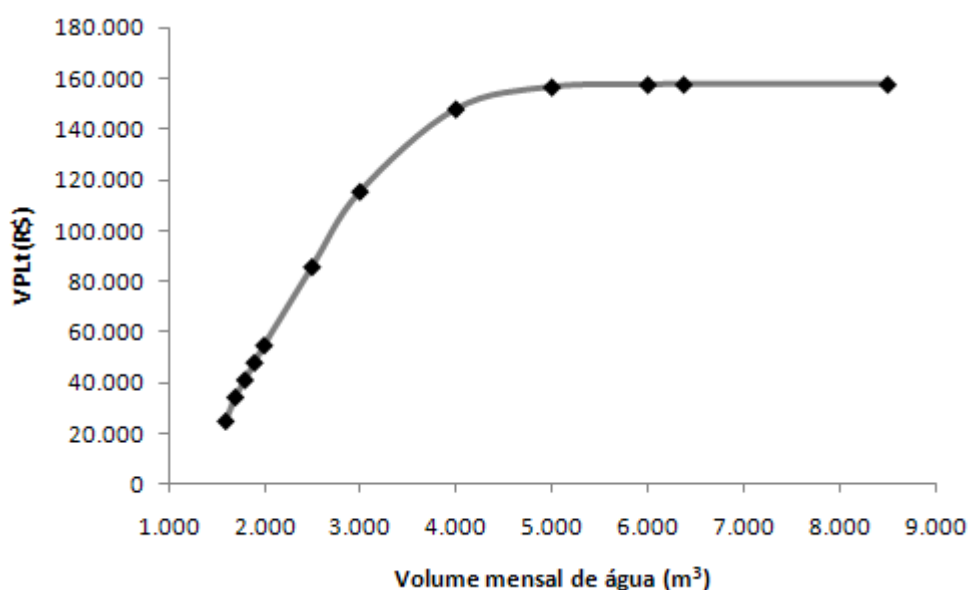


Figura 3. Variação do valor presente líquido total com relação à restrição mensal de água para irrigação.

Analisando a disponibilidade mensal de água nesta propriedade, verifica-se que, para volumes inferiores a 1.500 m³, a solução ótima do modelo de programação linear não foi encontrada. Isto ocorreu devido à impossibilidade de satisfação conjunta das restrições do modelo, principalmente aquelas que limitam a produtividade mínima de algumas culturas.

Na Tabela 9 percebe-se que a diferença no VPLt entre os dois padrões de cultivos é de 6,18%, enquanto a diferença na disponibilidade de água para a irrigação é cerca de 53%. Esses dados evidenciam que através do planejamento dos cultivos que serão implementados na propriedade rural, podem-se estabelecer padrões de cultivo que proporcionem um retorno financeiro próximo ao ótimo com uma considerável economia dos recursos hídricos.

Tabela 9. Comparação entre o valor presente líquido total e disponibilidade de água para irrigação nos dois padrões de cultivo

| Cultivo | VPLt (R\$) | Restrição mensal (m ³) |
|---------------------|------------|------------------------------------|
| Padrão de cultivo 1 | 157.879,73 | 8.500,00 |
| Padrão de cultivo 2 | 148.117,93 | 4.000,00 |
| Diferença | 6,18% | 52,94% |

11.2. Análise de sensibilidade

11.2.1. Coeficientes técnicos da função objetivo

Nas tabelas 10 e 11 são apresentados os custos reduzidos das atividades que não participaram da solução do modelo de programação linear, nos dois padrões de cultivo. Estas são as variáveis não básicas, que possuem valor zero na solução ótima.

O custo reduzido evidencia quanto o valor presente líquido total (função objetivo) diminuiria se uma unidade da correspondente atividade, excluída da solução ótima, fosse considerada no padrão de cultivo, ou seja, fosse forçada a participar da solução (BORGES JÚNIOR, 2004).

As atividades que proporcionariam maior redução do retorno financeiro nos dois padrões de cultivo estão relacionadas às culturas de repolho e tomate. A atividade que provoca maior diminuição do lucro é o tomate área 2 ano 1.

O negativo do custo reduzido é a quantidade pela qual o coeficiente técnico da função objetivo da atividade correspondente teria que ser aumentado, para que a referida atividade entrasse na solução ótima (BORGES JÚNIOR, 2004). Por exemplo, para que a atividade tomate área 2 ano 1 participasse da base da solução ótima o coeficiente da função objetivo teria que ser aumentada em R\$ 20.038,42, no primeiro padrão de cultivo e R\$ 19.777,87 no segundo padrão de cultivo. Vale observar que o cultivo do tomate foi excluído da solução ótima, apesar da alta rentabilidade, devido provavelmente ao elevado requerimento de mão de obra que se mostrou relevante perante à restrição deste recurso.

Tabela 10. Custo reduzido (R\$ ha⁻¹), coeficiente da função objetivo (R\$ ha⁻¹), acréscimos e decréscimos permissíveis (R\$ ha⁻¹), para o padrão de cultivo 1

| Cultivo | Ano inicial | Ano final | Custo Reduzido (R\$.ha ⁻¹) | Coeficiente f. Objetivo (R\$.ha ⁻¹) | Acrésc. Permi. (R\$.ha ⁻¹) | Decrésc. Permis. (R\$.ha ⁻¹) |
|-------------|-------------|-----------|--|---|--|--|
| Banana A3 | 1 | 3 | -3,16 | -6783,16 | 3,16 | 1E+30 |
| Maracujá A3 | 1 | 3 | -45,22 | 23.302,68 | 45,22 | 1E+30 |
| Mandioca A1 | 1 | 2 | -53,97 | 41,74 | 53,97 | 1E+30 |
| Mandioca A2 | 1 | 2 | -153,62 | -68,90 | 153,62 | 1E+30 |
| Mandioca A2 | 2 | 3 | -15,38 | -63,79 | 15,38 | 1E+30 |
| Feijão1 A1 | 2 | 2 | -75,93 | 556,60 | 75,93 | 1E+30 |
| Feijão 1 A2 | 1 | 1 | -20,44 | 595,74 | 20,44 | 1E+30 |
| Feijão 1 A2 | 2 | 2 | -146,76 | 551,61 | 146,76 | 1E+30 |
| Feijão 2 A1 | 1 | 1 | -947,63 | -327,92 | 947,63 | 1E+30 |
| Feijão 2 A1 | 2 | 2 | -1.005,27 | -303,63 | 1.005,27 | 1E+30 |
| Feijão2 A1 | 3 | 3 | -812,44 | -281,14 | 812,44 | 1E+30 |
| Feijão2 A2 | 1 | 1 | -972,42 | -356,24 | 972,42 | 1E+30 |
| Feijão2 A2 | 2 | 2 | -1.028,23 | -329,85 | 1.028,23 | 1E+30 |
| Feijão2 A2 | 3 | 3 | -833,70 | -305,42 | 833,70 | 1E+30 |
| Feijão2 A3 | 1 | 1 | -939,19 | -313,76 | 939,19 | 1E+30 |
| Feijão2 A3 | 2 | 2 | -997,46 | -290,52 | 997,46 | 1E+30 |
| Feijão2 A3 | 3 | 3 | -805,203 | -269,00 | 805,20 | 1E+30 |
| Feijão3 A1 | 3 | 3 | -18,42 | 452,49 | 18,42 | 1E+30 |
| Feijão3 A2 | 1 | 1 | -30,46 | 527,33 | 30,46 | 1E+30 |
| Feijão3 A2 | 3 | 3 | -21,97 | 452,10 | 21,97 | 1E+30 |
| Milho1 A1 | 2 | 2 | -39,73 | 332,28 | 39,73 | 1E+30 |
| Milho1 A1 | 3 | 3 | -36,78 | 307,67 | 36,78 | 1E+30 |
| Milho1 A2 | 1 | 1 | -9,07 | 361,33 | 9,07 | 1E+30 |
| Milho1 A2 | 2 | 2 | -8,40 | 334,56 | 8,40 | 1E+30 |
| Milho1 A2 | 3 | 3 | -36,37 | 309,78 | 36,37 | 1E+30 |
| Milho2 A1 | 1 | 1 | -5,47 | -636,98 | 5,47 | 1E+30 |
| Milho2 A1 | 3 | 3 | -28,57 | -546,11 | 28,57 | 1E+30 |
| Milho2 A2 | 1 | 1 | -262,05 | -730,11 | 262,05 | 1E+30 |
| Milho2 A2 | 2 | 2 | -183,05 | -676,03 | 183,05 | 1E+30 |
| Milho2 A2 | 3 | 3 | -270,79 | -625,96 | 270,79 | 1E+30 |
| Milho2 A3 | 2 | 2 | -46,18 | -593,91 | 46,18 | 1E+30 |
| Pimentão A2 | 2 | 3 | -0,39 | 24905,74 | 0,39 | 1E+30 |
| Repolho A1 | 1 | 1 | -12.412,94 | 4.792,84 | 12.412,95 | 1E+30 |
| Repolho A1 | 2 | 2 | -11.570,46 | 4.437,81 | 11.570,46 | 1E+30 |
| Repolho A1 | 3 | 3 | -757,36 | 4.109,09 | 757,36 | 1E+30 |
| Repolho A2 | 1 | 1 | -12.442,75 | 4.793,03 | 12.442,75 | 1E+30 |
| Repolho A2 | 2 | 2 | -11.569,85 | 4.438,00 | 11.569,85 | 1E+30 |
| Repolho A2 | 3 | 3 | -757,19 | 4.109,26 | 757,19 | 1E+30 |
| Repolho A3 | 1 | 1 | -12.437,77 | 4.793,19 | 12.437,77 | 1E+30 |
| Repolho A3 | 2 | 2 | -11.593,44 | 4.438,14 | 11.593,44 | 1E+30 |
| Repolho A3 | 3 | 3 | -757,06 | 4.109,39 | 757,06 | 1E+30 |
| Tomate A1 | 1 | 1 | -19.366,05 | 11.846,04 | 19.366,05 | 1E+30 |
| Tomate A1 | 2 | 2 | -18.073,17 | 10.968,56 | 18.073,17 | 1E+30 |
| Tomate A2 | 1 | 1 | -20.038,42 | 11.203,67 | 20.038,42 | 1E+30 |
| Tomate A2 | 2 | 2 | -18.667,54 | 10.373,77 | 18.667,54 | 1E+30 |
| Tomate A2 | 3 | 3 | -550,73 | 9.605,34 | 550,73 | 1E+30 |
| Tomate A3 | 1 | 1 | -19.685,91 | 11.551,35 | 19.685,91 | 1E+30 |
| Tomate A3 | 2 | 2 | -18.369,34 | 10.695,70 | 18.369,34 | 1E+30 |
| Tomate A3 | 3 | 3 | -252,65 | 9.903,43 | 252,65 | 1E+30 |

Tabela 11. Custo reduzido (R\$ ha⁻¹), coeficiente da função objetivo (R\$ ha⁻¹), acréscimos e decréscimos permissíveis (R\$ ha⁻¹), para o padrão de cultivo 2

| Cultivo | Ano inicial | Ano final | Custo Reduzido (R\$ ha ⁻¹) | Coeficiente f. Objetivo (R\$ ha ⁻¹) | Acrésc. Permi. (R\$ ha ⁻¹) | Decrésc. Permis. (R\$ ha ⁻¹) |
|-------------|-------------|-----------|--|---|--|--|
| Banana A2 | 1 | 3 | -35,09 | -6.796,03 | 35,09 | 1E+30 |
| Banana A3 | 1 | 3 | -381,94 | -6.783,16 | 381,94 | 1E+30 |
| Maracujá A1 | 1 | 3 | -34,35 | 23.330,27 | 34,35 | 1E+30 |
| Maracujá A3 | 1 | 3 | -428,45 | 23.302,68 | 428,45 | 1E+30 |
| Mandioca A1 | 1 | 2 | -14,04 | 41,74 | 14,04 | 1E+30 |
| Mandioca A2 | 1 | 2 | -92,66 | -68,90 | 92,66 | 1E+30 |
| Mandioca A3 | 2 | 3 | -173,40 | 52,49 | 173,40 | 1E+30 |
| Feijão1 A1 | 1 | 1 | -23,35 | 601,13 | 23,35 | 1E+30 |
| Feijão 1 A2 | 1 | 1 | -47,40 | 595,74 | 47,40 | 1E+30 |
| Feijão 1 A2 | 2 | 2 | -106,25 | 551,61 | 106,25 | 1E+30 |
| Feijão 1 A3 | 2 | 2 | -141,78 | 579,10 | 141,78 | 1E+30 |
| Feijão 2 A1 | 1 | 1 | -327,92 | -327,92 | 327,92 | 1E+30 |
| Feijão 2 A1 | 2 | 2 | -1.005,27 | -303,63 | 1.005,27 | 1E+30 |
| Feijão2 A1 | 3 | 3 | -796,51 | -281,14 | 796,51 | 1E+30 |
| Feijão2 A2 | 1 | 1 | -388,79 | -356,24 | 388,79 | 1E+30 |
| Feijão2 A2 | 2 | 2 | -1.028,23 | -329,85 | 1.028,23 | 1E+30 |
| Feijão2 A2 | 3 | 3 | -817,77 | -305,42 | 817,77 | 1E+30 |
| Feijão2 A3 | 1 | 1 | -344,72 | -313,76 | 344,72 | 1E+30 |
| Feijão2 A3 | 2 | 2 | -997,46 | -290,52 | 997,46 | 1E+30 |
| Feijão2 A3 | 3 | 3 | -789,28 | -269,00 | 789,28 | 1E+30 |
| Feijão3 A1 | 1 | 1 | -10,05 | 527,79 | 10,05 | 1E+30 |
| Feijão3 A1 | 2 | 2 | -9.308,16 | 488,69 | 9.308,16 | 1E+30 |
| Feijão3 A1 | 3 | 3 | -57,42 | 452,49 | 57,42 | 1E+30 |
| Feijão3 A2 | 1 | 1 | -52,58 | 527,33 | 52,58 | 1E+30 |
| Feijão3 A2 | 2 | 2 | -10.310,59 | 488,26 | 10.310,59 | 1E+30 |
| Feijão3 A2 | 3 | 3 | -53,91 | 452,10 | 53,91 | 1E+30 |
| Feijão3 A3 | 2 | 2 | -9.939,57 | 511,99 | 9.939,57 | 1E+30 |
| Milho1 A1 | 3 | 3 | -5,13 | 307,67 | 5,13 | 1E+30 |
| Milho1 A2 | 1 | 1 | -30,08 | 361,33 | 30,08 | 1E+30 |
| Milho1 A3 | 1 | 1 | -10,18 | 379,64 | 10,18 | 1E+30 |
| Milho1 A3 | 3 | 3 | -8,15 | 325,48 | 8,15 | 1E+30 |
| Milho2 A1 | 2 | 2 | -132,91 | -589,80 | 132,91 | 1E+30 |
| Milho2 A2 | 1 | 1 | -271,49 | -730,12 | 271,49 | 1E+30 |
| Milho2 A2 | 2 | 2 | -288,70 | -676,03 | 288,70 | 1E+30 |
| Milho2 A2 | 3 | 3 | -234,35 | -625,96 | 234,35 | 1E+30 |
| Milho2 A3 | 1 | 1 | -12,93 | -641,42 | 12,93 | 1E+30 |
| Milho2 A3 | 3 | 3 | -11,08 | -549,91 | 11,08 | 1E+30 |
| Pimentão A1 | 1 | 2 | -1,95 | 26.897,25 | 1,95 | 1E+30 |
| Pimentão A1 | 2 | 3 | -82,15 | 24.904,86 | 82,15 | 1E+30 |
| Repolho A1 | 1 | 1 | -12.195,02 | 4.792,84 | 12.195,02 | 1E+30 |
| Repolho A1 | 2 | 2 | -9.199,42 | 4.437,81 | 9.199,42 | 1E+30 |
| Repolho A1 | 3 | 3 | -976,55 | 4.109,09 | 976,55 | 1E+30 |
| Repolho A2 | 1 | 1 | -12.194,82 | 4.793,04 | 12.194,82 | 1E+30 |
| Repolho A2 | 2 | 2 | -9.199,24 | 4.437,99 | 9.199,24 | 1E+30 |
| Repolho A2 | 3 | 3 | -976,41 | 4.109,25 | 976,41 | 1E+30 |
| Repolho A3 | 1 | 1 | -12.196,02 | 4.793,19 | 12.196,021 | 1E+30 |
| Repolho A3 | 2 | 2 | -9.525,92 | 4.438,14 | 9.525,92 | 1E+30 |
| Repolho A3 | 3 | 3 | -976,23 | 4.109,39 | 976,23 | 1E+30 |
| Tomate A1 | 1 | 1 | -19.135,50 | 11.846,04 | 19.135,49 | 1E+30 |
| Tomate A1 | 2 | 2 | -10.153,49 | 10.968,56 | 10.153,49 | 1E+30 |
| Tomate A2 | 1 | 1 | -19.777,87 | 11.203,67 | 19.777,87 | 1E+30 |

Tabela 11. Continuação

| Cultivo | Ano inicial | Ano final | Custo Reduzido (R\$ ha⁻¹) | Coefficiente f. Objetivo (R\$ ha⁻¹) | Acrésc. Permi. (R\$ ha⁻¹) | Decrésc. Permis. (R\$ ha⁻¹) |
|----------------|--------------------|------------------|---|---|---|---|
| Tomate A2 | 2 | 2 | -10.748,28 | 10.373,77 | 10.748,28 | 1E+30 |
| Tomate A2 | 3 | 3 | -550,73 | 9.605,34 | 550,73 | 1E+30 |
| Tomate A3 | 1 | 1 | -19.431,53 | 11.551,35 | 19.431,53 | 1E+30 |
| Tomate A3 | 2 | 2 | -10.753,17 | 10.695,70 | 10.753,17 | 1E+30 |
| Tomate A3 | 3 | 3 | -252,65 | 9.903,42 | 252,65 | 1E+30 |

11.2.2. Restrições atuantes no modelo de programação linear

11.2.2.1. Padrão de cultivo 1

A Tabela 12 apresenta as restrições atuantes no modelo de programação linear padrão de cultivo 1.

Para restrições do tipo menor ou igual, o preço sombra representa o quanto o valor presente líquido total aumentaria com a disponibilização de uma unidade adicional na correspondente restrição (HAZELL e NORTON, 1986). O contrário ocorre para restrições do tipo maior ou igual. Assim, preços sombra diferentes de zero ocorrem para restrições críticas ou limitantes, ou seja, aquelas que acarretaram uso máximo ou mínimo do recurso específico da restrição.

Os acréscimos e decréscimos permissíveis indicam o intervalo no qual se pode variar o valor da restrição, mantendo o mesmo valor do preço sombra. Dentro dos limites de acréscimo permissível e decréscimo permissível, apresentados para as restrições, não muda as atividades encontradas na solução ótima; entretanto, mudam as suas respectivas áreas cultivadas (níveis das atividades) (BORGES JÚNIOR, 2004).

Pode-se perceber que a principal restrição atuante no modelo de programação linear foi a disponibilidade de terra para o plantio das culturas, sendo esta alcançada em vários meses no horizonte de planejamento.

O maior valor de preço sombra para a restrição de terra foi encontrado no mês de março, no segundo ano para a segunda área; o aumento de 1 ha resultaria em um incremento de R\$ 698,38 no retorno financeiro do empreendimento.

Tabela 12. Restrições atuantes no modelo de programação linear com maximização do valor presente líquido total para o padrão de cultivo 1, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis

| Tipo de Restrição | Nome e unidade da restrição | Valor da restrição | Preço sombra | Acrés. Permi. | Decrés. Permi. |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|---------------|----------------|
| Água | m ³ | -- | -- | -- | -- |
| Mão-de obra | Out ano1(dias homem) | 125 | 560,25 | 1,34 | 17,23 |
| Mão-de obra | Out ano2 (dias homem) | 125 | 521,34 | 17,83 | 16,80 |
| Mão-de obra | Set ano3(dias homem) | 125 | 105,79 | 2,73 | 103,36 |
| Terra | Mar ano1 - área1 (ha) | 2 | 601,13 | 0,24 | 0 |
| Terra | Abr ano1 - área1 (ha) | 2 | 3,52 | 0 | 0 |
| Terra | Mai ano1- área1 (ha) | 2 | 15,05 | 0 | 0,25 |
| Terra | Dez ano1 - área1(ha) | 2 | 398,23 | 0 | 0 |
| Terra | Fev ano2 - área1 (ha) | 2 | 25,79 | 0 | 0,03 |
| Terra | Mar ano2 - área1 (ha) | 2 | 606,74 | 0 | 0 |
| Terra | Abr ano2 - área1 (ha) | 2 | 94,89 | 0,68 | 0 |
| Terra | Dez ano2 - área1(ha) | 2 | 368,13 | 0 | 0 |
| Terra | Jan ano3 - área1 (ha) | 2 | 16,08 | 0 | 0 |
| Terra | Fev ano3 - área1 (ha) | 2 | 7,19 | 0 | 0,42 |
| Terra | Mar ano3 - área1 (ha) | 2 | 491,49 | 0,15 | 0 |
| Terra | Abr ano3 - área1 (ha) | 2 | 39,80 | 0 | 0,56 |
| Terra | Mar ano1 - área2 (ha) | 2 | 616,18 | 0 | 0 |
| Terra | Dez ano1 - área2 (ha) | 2 | 428,23 | 0 | 0 |
| Terra | Mar ano2 - área2 (ha) | 2 | 698,38 | 0 | 0 |
| Terra | Dez ano2 - área2 (ha) | 2 | 367,70 | 0 | 0 |
| Terra | Jan ano3 - área2 (ha) | 2 | 28,59 | 0 | 0,15 |
| Terra | Mar ano3 - área2 (ha) | 2 | 482,16 | 0,15 | 0 |
| Terra | Abr ano3 - área2 (ha) | 2 | 46,12 | 0 | 0,15 |
| Terra | Mar ano1 - área3 (ha) | 2 | 625,42 | 0,24 | 1,33 |
| Terra | Dez ano1 - área 3 (ha) | 2 | 423,40 | 0 | 0,95 |
| Terra | Mar ano2 - área 3 (ha) | 2 | 579,10 | 0,03 | 0,67 |
| Terra | Abr ano2 - área 3 (ha) | 2 | 127,84 | 0,63 | 0,03 |
| Terra | Dez ano2 -área 3 (ha) | 2 | 391,44 | 0 | 0,96 |
| Terra | Mar ano3 - área 3(ha) | 2 | 536,20 | 0,15 | 0,56 |
| Produção | Maracujá (t ha) | 30 | 453,56 | 0,66 | 6,86 |
| Produção | Feijão 3 ano2 | 3 | 316,05 | 0 | 3,00 |
| Produção | Feijão 3 ano2 | 3 | 92,04 | 0,98 | 0,37 |
| Produção | Feijão 4 ano3 | 3 | 78,91 | 0,84 | 0,22 |
| Produção | Milho 2 ano3 | 1 | -690,44 | 0,51 | 0 |
| Produção | Banana ano2 | 10 | -1901,91 | 0,79 | 2,07 |
| Produção | Mandioca ano2 | 5 | -251,24 | 0,22 | 5,00 |
| Produção | Mandioca ano3 | 5 | -234,31 | 0,22 | 5,00 |
| Produção | Milho 2 ano1 | 1 | -805,34 | 0,59 | 0 |
| Produção | Milho 2 ano2 | 1 | -824,07 | 0 | 0 |
| Produção | Milho ano1 | 1 | -61,45 | 2,62 | 1,00 |
| Produção | Milho ano2 | 1 | -88,85 | 0,12 | 1,00 |
| Produção | Milho ano3 | 1 | -52,68 | 2,25 | 1,00 |

A restrição hídrica não foi limitante para o estabelecimento das culturas.

Já a restrição de mão-de-obra foi atuante nos meses de outubro, ano 1 e 2, devido ao estabelecimento dos cultivos de banana, maracujá, mandioca, feijão³, pimentão e tomate, e no mês de setembro, ano 3, devido aos cultivos de banana e tomate.

De acordo a Ponciano et al. (2004), a importância do custo da mão-de-obra na determinação do resultado financeiro dos sistemas agrícolas é reflexo direto da grande exigência desse fator de produção ao longo do ciclo produtivo das culturas. Em vista disso, além dos aspectos econômicos analisados, o fato da agricultura ser uma atividade que requer alta demanda em mão-de-obra, implica que ela pode gerar também grandes benefícios sociais, mediante criação de empregos.

O aumento de um dia-homem na restrição de mão-de-obra no mês de outubro ano¹ resultaria em um incremento expressivo de R\$ 560,25 no valor no retorno financeiro do empreendimento. Com base nos acréscimos e decréscimos permissíveis, nota-se que o preço sombra teria esse valor no intervalo entre 107,77 e 126,34 dias homem disponibilizados para as atividades na propriedade.

Alguns valores de restrição de produção foram limitantes, como as restrições máximas de produção das culturas de feijão e maracujá e mínimas para as culturas de banana, mandioca e milho.

Com relação às restrições de produção, caso a restrição aumentasse em uma tonelada para a cultura de maracujá, isso seria refletido num aumento de R\$ 453,56 no valor presente líquido total. O valor do preço sombra não alteraria no intervalo entre 23,14 a 30,66 toneladas de maracujá como restrição de produção máxima.

Para as culturas de banana, mandioca e milho, foram encontrados valores negativos de preço sombra. Valores negativos ocorrem quando uma condição de restrição de valor mínimo é limitante, e reflete o decréscimo no retorno financeiro para cada tonelada de incremento no valor da restrição mínima para a produção da cultura correspondente, variando de acordo ao decréscimo e acréscimo permissíveis.

O aumento em uma unidade na restrição mínima de produção da cultura da banana significaria uma redução no valor de R\$ 1.901,91 no valor presente líquido total. Esse preço sombra é mantido no intervalo entre 7,93 a 10,79 toneladas como restrição de produção mínima.

Os dois cultivos de mandioca resultaram em preço sombra negativo; para a mandioca, ano 2, foi encontrado uma redução do retorno financeiro no valor de R\$ 251,24 e para mandioca, ano 3, a redução seria de R\$ 234,31, caso sua restrição de produção mínima fosse aumentada em uma tonelada. Esses valores de preço sombra seriam encontrados no intervalo de produção mínima variando de 0 a 5,22 toneladas de mandioca.

O menor preço sombra do cultivo de milho foi observado no ano 2, onde foi verificado que o lucro teria uma redução de R\$ 88,85, para restrição de produção mínima variando de 0 a 1,12 toneladas de milho.

Com o adequado planejamento, sob certas condições, o produtor pode, no limite de área disponível, poupar mão-de-obra em determinada época e aumentar a disponibilidade deste recurso nos meses de outubro ano 1 e 2 e setembro ano 3, aumentando dessa forma o lucro do empreendimento. O retorno financeiro também seria incrementado se o produtor procurar uma maneira de aumentar o mercado para as culturas de maracujá e feijão.

Observa-se o expressivo impacto do ambiente de produção sobre o planejamento. Em relação às restrições críticas encontradas neste estudo, Andrade et al. (2008), procurando estabelecer um padrão ótimo de cultivo em uma propriedade do perímetro irrigado de Gorutuba, MG, verificaram que foram atingidos os valores críticos das restrições de disponibilidade de água para a irrigação, mão-de-obra e mercado. As restrições relativas à terra não foram atuantes, o que ocorreu devido ao efeito mais expressivo das restrições de água e mão de obra.

11.2.2.2. Padrão de cultivo 2

A tabela 13 apresenta as restrições atuantes no modelo de programação linear para o padrão de cultivo 2. Observa-se que restrições de todos os tipos (água, terra, mão de obra e produção) foram limitantes.

Tabela 13. Restrições atuantes no modelo de programação linear com maximização do valor presente líquido total para o padrão de cultivo 2, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis

| Tipo de restrição | Nome e unidade da restrição | Valor da restrição | Preço sombra | Acrés. Permi. | Decrés. Permi. |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|---------------|----------------|
| Água | Mar ano1(m ³) | 4000 | 1,00 | 349,742 | 460,09 |
| Água | Dez ano2(m ³) | 4000 | 8,0 | 146,58 | 1,44 |
| Mão-de obra | Out ano1(dias homem) | 125 | 562,16 | 3,62 | 0,05 |
| Mão-de obra | Out ano2(dias homem) | 125 | 356,96 | 0,06 | 6,49 |
| Mão-de obra | Set ano3(dias homem) | 125 | 101,81 | 22,75 | 95,61 |
| Terra | Mar ano2 área1 (ha) | 2 | 556,60 | 0,20 | 0,68 |
| Terra | Abr ano2 área1(ha) | 2 | 145,04 | 0,001 | 0,23 |
| Terra | Mar ano3 área1 (ha) | 2 | 515,37 | 0,47 | 0,27 |
| Terra | Mar ano1 área2(ha) | 2 | 32,55 | 0 | 0,75 |
| Terra | Fev ano2 área2 (ha) | 2 | 5,54 | 0 | 0,16 |
| Terra | Mar ano2 área2(ha) | 2 | 652,32 | 0 | 0 |
| Terra | Abr ano2 área2 (ha) | 2 | 46,06 | 0,36 | 0 |
| Terra | Mar ano3 área2 (ha) | 2 | 510,75 | 0,52 | 0 |
| Terra | Abr ano3 área2 (ha) | 2 | 1,60 | 0 | 0,27 |
| Terra | Mar ano1 área3 (ha) | 2 | 30,96 | 0,49 | 0,37 |
| Terra | Dez ano1 área3 (ha) | 2 | 1,35 | 0 | 0,17 |
| Terra | Fev ano2 área3 (ha) | 2 | 13,94 | 0 | 0,08 |
| Terra | Mar ano2 área3 (ha) | 2 | 706,94 | 0 | 0 |
| Terra | Dez ano2 área3 (ha) | 2 | 326,83 | 0 | 0,03 |
| Terra | Fev ano3 área3 (ha) | 2 | 15,93 | 0 | 0 |
| Terra | Mar ano3 área3 (ha) | 2 | 520,27 | 0 | 0 |
| Produção | Feijão4 ano1 | 3 | 253,50 | 2,39 | 0,88 |
| Produção | Feijão4 ano3 | 3 | 89,53 | 0,41 | 0,71 |
| Produção | Milho 2 ano 3 | 1 | -677,50 | 0,25 | 0 |
| Produção | Banana ano 2 | 10 | -2237,15 | 0,019 | 2,56 |
| Produção | Mandioca ano2 | 5 | -196,75 | 1,28 | 0,01 |
| Produção | Mandioca ano3 | 5 | -153,77 | 1,64 | 0,33 |
| Produção | Milho2 ano1 | 1 | -716,51 | 0,49 | 0 |
| Produção | Milho2 ano2 | 1 | -710,24 | 0 | 0 |
| Produção | Milho ano1 | 1 | -132,80 | 1,30 | 0,99 |
| Produção | Milho ano2 | 1 | -92,34 | 0,47 | 0,004 |
| Produção | Milho ano3 | 1 | -50,64 | 1,10 | 1,00 |

Visando maximizar o valor presente líquido total em uma propriedade do perímetro irrigado de Jaíba, Borges Júnior et al. (2007) observaram que no

modelo de programação linear adotado foram atuantes as restrições de disponibilidade de água para a irrigação, mão-de-obra e produção. O valor crítico das restrições relativas à terra não foi atingido, o que ocorreu devido ao efeito mais expressivo das restrições de água e mão de obra.

A restrição hídrica foi limitantes no mês de março, ano 1, devido ao requerimento hídrico das culturas de banana, maracujá, feijão 1 e 4 e milho 1, e no mês de dezembro, ano 2, devido ao requerimento hídrico das culturas de banana, maracujá, feijão 3, pimentão e tomate. O maior preço sombra encontrado para a restrição hídrica foi no mês de dezembro, ano 2, indicando que cada unidade de m^3 disponibilizado para a irrigação neste mês resulta em um aumento de R\$ 8,00 no retorno financeiro da propriedade, no intervalo entre 3.998,56 a 4.146,58 m^3 de água disponibilizado para a irrigação das culturas.

A restrição de mão-de-obra foi limitante nos mesmos meses do padrão de cultivo um, diferenciando nos valores encontrados de preço sombra e nos intervalos de acréscimos e decréscimos permissíveis. Observa-se o maior valor de preço sombra no mês de outubro, ano 1, onde o aumento de uma unidade de diária de trabalhado corresponde ao incremento de R\$ 562,16 no lucro, no intervalo entre 124,95 a 128,62 dias-homem disponibilizados para as operações na propriedade.

A restrição de disponibilidade de terra foi menos atuante neste padrão de cultivo, comparado ao observado para o padrão de cultivo 1. O maior preço sombra encontrado para a disponibilidade de área foi para o mês de março ano 2 área 3, onde o aumento de um hectare resultaria na adição de R\$ 706,94 ao valor presente líquido total. Uma possibilidade para os valores nulos de acréscimo e decréscimo permissíveis seria que estes sejam arredondamentos (valores são próximos de zero e não zero), indicando alta sensibilidade do valor do preço sombra.

Quanto à produção, a restrição máxima foi atuante apenas no cultivo de feijão, mostrando que o aumento da restrição de máxima produção nos cultivos de feijão 4, anos 1 e 3, levaria ao aumento do lucro do empreendimento. Nestes cultivos, o maior valor de preço sombra foi encontrado no cultivo de

feijão 4, ano 1, em que o aumento de uma tonelada na restrição de produção máxima, no intervalo entre 2,12 a 5,39 toneladas, resultaria no incremento de R\$ 253,50 valor presente líquido total.

As restrições de produção mínima foram atuantes, semelhante ao verificado para o padrão de cultivo 1, resultando em preços sombra negativos para as culturas de banana, mandioca e milho, variando os intervalos de acréscimos e decréscimos permissíveis.

O menor preço sombra foi encontrado para o cultivo de banana, implicando em uma diminuição de R\$ 2.237,15 do retorno financeiro por acréscimo unitário de produção mínima; em outras palavras, cada tonelada reduzida da restrição aumentaria o valor de R\$ 2.237,15 no lucro, no intervalo entre 7,44 a 10,019 toneladas de banana de restrição de produção mínima.

Para o cultivo de milho, o menor valor de preço sombra foi observado no ano 2, em que verificou-se que o lucro teria aumento de R\$ 132,80 caso diminuísse uma tonelada a restrição de produção mínima, no intervalo de 0 a 1,12 toneladas de milho.

11.3. Análise de risco

Estão apresentados nas tabelas 14 e 15 os dados de saída da simulação de risco para os dois padrões de cultivo.

Com a análise de risco verifica-se que, para a variável de saída valor presente líquido total, no padrão de cultivo 1, a média de R\$ 130.086,00 foi consideravelmente inferior (diferença de 17,60%) ao valor máximo encontrado no modelo de programação linear R\$ 157.879,00. Para o padrão de cultivo 2 houve uma redução de 17,46% no retorno financeiro: enquanto no modelo de programação linear obteve-se o valor presente líquido total de R\$ 148.117,9, a simulação de risco indicou uma média de R\$ 122.252,80.

Tabela 14. Resultados das simulações de risco para as variáveis de saída valor presente líquido total (VPLt), requerimento total de irrigação (ITNt), requerimento anual de irrigação (ITN) para os anos 1 a 3, requerimento mensal de irrigação (ITN) nos meses de novembro e dezembro nos três anos de planejamento para o modelo de programação linear relativo ao máximo valor presente líquido total do padrão de cultivo um

| | VPLt (R\$) | ITNt (m ³) | ITN ano 1 (m ³) | ITN nov ano1 (m ³) | ITN dez ano1 (m ³) | ITN ano2 (m ³) | ITN nov ano2 (m ³) | ITN dez ano2 (m ³) | ITN ano3 (m ³) | ITN nov ano3 (m ³) | ITN dez ano3 (m ³) |
|------------|---------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Minimo | 81.417,34 | 83.086,19 | 24.373,07 | 3.786,24 | 4.262,96 | 28.776,09 | 3.798,26 | 4.502,60 | 21.380,79 | 3.771,36 | 2.485,75 |
| Máximo | 179.350,00 | 107.875,70 | 41.584,52 | 7.295,09 | 7.692,84 | 42.865,00 | 7.309,47 | 8.249,36 | 32.989,45 | 6.748,97 | 4.614,02 |
| Média | 130.086,20 | 94.750,89 | 32.119,52 | 5.528,07 | 5.979,59 | 35.655,88 | 5.557,19 | 6.373,88 | 26.975,49 | 5.252,81 | 3.551,69 |
| Des.Padrão | 13.737,17 | 3.298,00 | 2.189,09 | 848,11 | 816,95 | 1.851,64 | 853,83 | 897,98 | 1.624,88 | 712,13 | 509,87 |
| 5% | 106.776,20 | 91.993,78 | 28.473,59 | 4.116,69 | 4.619,53 | 32.618,70 | 4.144,29 | 4.902,66 | 24.201,58 | 4.075,00 | 2.711,45 |
| 10% | 111.915,20 | 89.328,43 | 29.272,40 | 4.365,17 | 4.870,10 | 33.211,86 | 4.397,55 | 5.138,66 | 24.289,88 | 4.276,80 | 2.860,47 |
| 15% | 115.409,60 | 90.601,38 | 29.812,88 | 4.569,70 | 5.060,00 | 33.712,12 | 4.586,91 | 5.346,17 | 24.877,68 | 4.442,94 | 2.971,02 |
| 20% | 118.387,00 | 91.362,83 | 30.256,70 | 4.736,82 | 5.216,58 | 34.078,37 | 4.759,04 | 5.520,60 | 25.277,37 | 4.576,33 | 3.078,36 |
| 25% | 120.865,80 | 91.980,67 | 30.625,19 | 4.883,98 | 5.367,16 | 34.360,14 | 4.914,43 | 5.689,12 | 25.596,70 | 4.711,10 | 3.163,95 |
| 30% | 123.120,60 | 92.509,84 | 30.951,96 | 5.024,43 | 5.499,45 | 34.660,57 | 5.050,55 | 5.845,05 | 25.862,67 | 4.834,35 | 3.246,96 |
| 35% | 125.140,60 | 92.965,23 | 31.250,12 | 5.155,55 | 5.615,22 | 34.927,67 | 5.179,42 | 5.976,44 | 26.104,52 | 4.948,06 | 3.323,93 |
| 40% | 127.030,30 | 93.453,29 | 31.565,73 | 5.284,15 | 5.745,04 | 35.189,43 | 5.303,45 | 6.104,25 | 26.335,63 | 5.053,50 | 3.397,57 |
| 45% | 128.756,80 | 93.878,94 | 31.848,38 | 5.413,87 | 5.860,52 | 35.431,35 | 5.423,05 | 6.240,97 | 26.565,43 | 5.154,65 | 3.475,42 |
| 50% | 130.446,10 | 94.291,75 | 32.126,87 | 5.522,91 | 5.975,63 | 35.663,99 | 5.546,60 | 6.371,38 | 26.792,76 | 5.255,47 | 3.551,72 |
| 55% | 132.240,20 | 94.727,30 | 32.415,33 | 5.640,28 | 6.091,16 | 35.901,13 | 5.666,17 | 6.507,73 | 26.994,43 | 5.356,19 | 3.623,45 |
| 60% | 134.085,60 | 95.185,58 | 32.688,45 | 5.765,08 | 6.211,94 | 36.146,95 | 5.804,19 | 6.647,59 | 27.196,66 | 5.454,65 | 3.696,52 |
| 65% | 135.754,80 | 95.609,13 | 32.976,78 | 5.884,95 | 6.335,37 | 36.394,73 | 5.929,81 | 6.774,91 | 27.392,62 | 5.559,35 | 3.769,06 |
| 70% | 137.496,80 | 96.027,81 | 33.285,82 | 6.021,98 | 6.462,71 | 36.660,08 | 6.057,75 | 6.909,14 | 27.606,50 | 5.670,53 | 3.846,30 |
| 75% | 139.697,40 | 96.505,53 | 33.633,06 | 6.163,85 | 6.599,13 | 36.929,87 | 6.201,78 | 7.058,41 | 27.834,62 | 5.792,54 | 3.936,35 |
| 80% | 141.922,50 | 96.981,07 | 33.986,61 | 6.310,34 | 6.734,79 | 37.234,68 | 6.360,95 | 7.221,13 | 28.098,50 | 5.914,85 | 4.025,37 |
| 85% | 144.637,80 | 97.545,38 | 34.407,64 | 6.507,44 | 6.908,09 | 37.591,28 | 6.534,72 | 7.395,28 | 28.374,75 | 6.061,17 | 4.139,22 |
| 90% | 147.477,90 | 98.204,24 | 34.944,50 | 6.700,88 | 7.098,56 | 38.042,27 | 6.736,58 | 7.593,39 | 28.669,34 | 6.223,16 | 4.254,54 |
| 95% | 152.215,30 | 99.067,07 | 35.737,86 | 6.950,69 | 7.335,73 | 38.699,02 | 6.983,32 | 7.859,85 | 29.050,05 | 6.426,10 | 4.403,70 |

Tabela 15. Resultados das simulações de risco para as variáveis de saída valor presente líquido total (VPLt), requerimento total de irrigação (ITNt), requerimento anual de irrigação para os anos 1 a 3, requerimento mensal de irrigação nos meses de novembro e dezembro nos três anos de planejamento para o modelo de programação linear relativo ao máximo valor presente líquido total do padrão de cultivo dois

| | VPLt (R\$) | ITNt (m ³) | ITN ano 1 (m ³) | ITN nov ano1 (m ³) | ITN dez ano1 (m ³) | ITN ano2 (m ³) | ITN nov ano2 (m ³) | ITN dez ano2 (m ³) | ITN ano3 (m ³) | ITN nov ano3 (m ³) | ITN dez ano3 (m ³) |
|------------|---------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Minimo | 73.344,09 | 62.265,13 | 16.727,46 | 2.203,92 | 3.054,04 | 20.839,08 | 2.099,67 | 3.030,95 | 17.847,76 | 2.937,91 | 1.790,34 |
| Máximo | 170.187,00 | 82.429,91 | 28.710,10 | 3.802,58 | 4.946,13 | 30.137,66 | 3.604,76 | 4.968,95 | 28.503,35 | 5.062,98 | 3.205,73 |
| Média | 122.252,80 | 71.902,41 | 23.114,75 | 3.000,07 | 3.997,72 | 25.604,15 | 2.852,77 | 4.006,65 | 23.183,51 | 4.006,47 | 2.499,25 |
| Des.Padrão | 13.782,24 | 2.555,64 | 1.698,11 | 383,93 | 455,48 | 1.329,39 | 359,32 | 464,76 | 1.378,73 | 509,17 | 339,53 |
| 5% | 98.607,05 | 67.707,95 | 20.308,19 | 2.364,98 | 3.237,53 | 23.415,71 | 2.255,05 | 3.235,05 | 20.946,23 | 3.152,92 | 1.933,63 |
| 10% | 103.756,60 | 68.629,51 | 20.899,41 | 2.476,53 | 3.368,57 | 23.891,33 | 2.366,44 | 3.369,64 | 21.424,83 | 3.315,28 | 2.036,17 |
| 15% | 107.479,00 | 69.253,26 | 21.296,97 | 2.568,98 | 3.474,02 | 24.214,52 | 2.454,24 | 3.476,23 | 21.756,54 | 3.431,74 | 2.117,73 |
| 20% | 110.367,40 | 69.738,94 | 21.627,37 | 2.640,51 | 3.567,66 | 24.478,75 | 2.517,60 | 3.566,98 | 21.993,37 | 3.535,11 | 2.181,87 |
| 25% | 112.971,60 | 70.154,29 | 21.911,80 | 2.705,67 | 3.654,21 | 24.691,28 | 2.583,17 | 3.650,36 | 22.233,28 | 3.624,13 | 2.247,36 |
| 30% | 115.362,90 | 70.532,70 | 22.195,97 | 2.766,11 | 3.734,55 | 24.882,68 | 2.638,65 | 3.727,85 | 22.446,08 | 3.703,33 | 2.298,77 |
| 35% | 117.370,60 | 70.902,62 | 22.444,89 | 2.827,30 | 3.805,70 | 25.084,28 | 2.690,67 | 3.801,93 | 22.631,34 | 3.782,63 | 2.349,56 |
| 40% | 119.236,80 | 71.248,16 | 22.676,14 | 2.884,28 | 3.869,16 | 25.259,43 | 2.747,25 | 3.872,66 | 22.818,24 | 3.862,34 | 2.399,82 |
| 45% | 121.096,10 | 71.575,08 | 22.911,87 | 2.944,70 | 3.931,81 | 25.428,74 | 2.798,97 | 3.943,58 | 22.995,76 | 3.933,50 | 2.448,35 |
| 50% | 122.907,30 | 71.897,13 | 23.138,26 | 3.001,07 | 3.993,86 | 25.589,20 | 2.849,80 | 4.008,98 | 23.180,62 | 4.007,94 | 2.495,24 |
| 55% | 124.598,40 | 72.224,03 | 23.354,79 | 3.056,52 | 4.061,09 | 25.757,21 | 2.900,90 | 4.080,79 | 23.352,43 | 4.081,35 | 2.544,97 |
| 60% | 126.369,20 | 72.551,20 | 23.580,32 | 3.111,49 | 4.127,17 | 25.929,96 | 2.949,77 | 4.144,29 | 23.530,11 | 4.155,57 | 2.595,23 |
| 65% | 128.277,70 | 72.882,66 | 23.808,63 | 3.168,64 | 4.193,31 | 26.110,00 | 3.005,35 | 4.213,69 | 23.716,23 | 4.228,18 | 2.645,76 |
| 70% | 130.055,00 | 73.241,15 | 24.040,67 | 3.228,19 | 4.268,44 | 26.303,37 | 3.065,32 | 4.290,94 | 23.908,63 | 4.309,47 | 2.698,09 |
| 75% | 132.002,30 | 73.644,63 | 24.281,70 | 3.293,56 | 4.344,39 | 26.512,17 | 3.126,47 | 4.361,04 | 24.123,77 | 4.387,11 | 2.757,77 |
| 80% | 134.147,20 | 74.101,20 | 24.561,99 | 3.362,02 | 4.425,95 | 26.733,11 | 3.187,45 | 4.443,59 | 24.358,41 | 4.481,39 | 2.820,23 |
| 85% | 136.555,20 | 74.614,83 | 24.896,71 | 3.438,45 | 4.514,45 | 26.987,76 | 3.262,78 | 4.536,24 | 24.631,33 | 4.585,52 | 2.885,67 |
| 90% | 139.511,50 | 75.209,70 | 25.317,65 | 3.521,18 | 4.621,15 | 27.343,93 | 3.345,10 | 4.636,23 | 24.977,35 | 4.715,40 | 2.965,04 |
| 95% | 143.735,60 | 76.114,55 | 25.912,81 | 3.634,60 | 4.752,87 | 27.815,26 | 3.456,49 | 4.766,95 | 25.474,18 | 4.850,95 | 3.064,83 |

A diferença encontrada no retorno econômico para os dois padrões de cultivo, através da análise de risco, é de 6%, semelhante ao que se verifica na comparação da diferença entre os valores maximizados do lucro nos dois padrões de cultivo obtidos com a programação linear (Tabela 9).

A instabilidade quanto ao retorno financeiro é consequência da variabilidade nos preços de produtos agrícolas, custos, produtividades, fatores climáticos, entre outros, sendo representada na análise de risco através das distribuições de probabilidade das variáveis de entrada. A obtenção de menores valores médios do valor presente líquido total com a simulação de risco, em comparação aos obtidos com a programação linear, decorre da assimetria das distribuições de probabilidade das variáveis de entrada: preços dos produtos, custo de produção sem a irrigação e taxa de desconto anual, em concordância com a observação de Andrade et al. (2008).

Por exemplo: a partir da função densidade de probabilidade de distribuição triangular dos preços de venda, foi considerada uma probabilidade maior de que o preço ficasse abaixo do empregado no modelo de programação linear (valor mínimo 50% inferior à moda), em comparação à probabilidade do preço exceder o valor empregado no modelo (valor máximo 20% superior à moda).

De acordo com a distribuição de probabilidade dos valores das taxas de desconto, considerou-se uma probabilidade maior de que a taxa de desconto ficasse acima do empregado no modelo de programação linear (valor máximo de 10%), em comparação à probabilidade de ser menor que o valor empregado no modelo (valor mínimo 7%), o que implica no fortalecimento de preços futuros em detrimento de preços presentes.

A partir da distribuição de probabilidade do custo de produção sem irrigação, foi considerada uma probabilidade maior de que o custo de produção ficasse acima do empregado no modelo de programação linear (valor máximo de 20% superior a moda), em comparação à probabilidade de ser menor que o valor empregado no modelo (valor mínimo 10% inferior a moda).

Através dessas acentuadas assimetrias, encontradas nas respectivas distribuições triangulares de probabilidade, procura-se impor um caráter mais conservador à análise de risco.

Observa-se que todos os valores resultantes das simulações para a variável de saída valor presente líquido total foram positivos. Isto evidencia que, nos dois padrões de cultivo, o empresário rural não está frente a risco de fracasso financeiro, no que se refere a valores presentes totais negativos e considerando a base de dados e premissas empregadas na análise.

Através dos dados de saída da análise de risco, pode-se perceber que no padrão de cultivo 1 existe 95% de probabilidade do retorno financeiro do empreendimento ser maior que R\$ 106.776,20. Já no padrão de cultivo 2, percebe-se que existe 95% de probabilidade do valor presente líquido total ser maior que R\$ 98.607,05, para todo o período de planejamento (três anos).

Para o padrão de cultivo 1, percebe-se também que a probabilidade do lucro ser maior que 152.215,30 é de 5%. Já no padrão de cultivo 2, verificou-se a probabilidade de 5% de se obter valor presente líquido total superior a R\$ 143.735,60.

Essa distribuição de probabilidade do retorno financeiro evidencia a importância da análise de risco no empreendimento agrícola, onde muitas vezes o produtor não tem dimensão do lucro que pode ser gerado, no período de planejamento, como também das incertezas relativas ao retorno financeiro do seu empreendimento.

Na Tabela 14 observa-se que, para a variável de saída ITN (irrigação total necessária), no mês de dezembro no ano 2, no padrão de cultivo 1, obteve-se uma média igual a 6.373,88 m³, valor inferior a restrição hídrica mensal de 8.500 m³. Assim, verificou-se que, para esse padrão de cultivo, a inexistência de risco de escassez hídrica.

Em relação ao padrão de cultivo 2, nota-se, na Tabela 15, para dezembro do ano 2, a obtenção de uma ITN média igual a 4.006,65 m³, superior a restrição hídrica mensal de 4.000 m³, empregada no modelo de programação linear. Isto evidencia que as culturas implantadas neste padrão de cultivo estão frente a risco de deficiência hídrica.

Com relação ao requerimento total de água no período dos três anos de planejamento, observa-se que, no padrão de cultivo 1 existe 95% de probabilidade deste ser maior que 91.993,78 m³; para o padrão de cultivo 2, verificou-se 95% de probabilidade de o requerimento total de água para irrigação ser superior a 67.707,95 m³.

Na Figura 4 são apresentados os gráficos de probabilidade acumulada do valor presente líquido total para os dois padrões de cultivo. Percebemos que existe padrão semelhante das duas curvas, com pequeno deslocamento a direita para o padrão de cultivo 1, conforme esperado, já que este padrão gerou maior valor presente líquido total que o padrão de cultivo 2, mas com pequenas diferenças nos respectivos percentis.

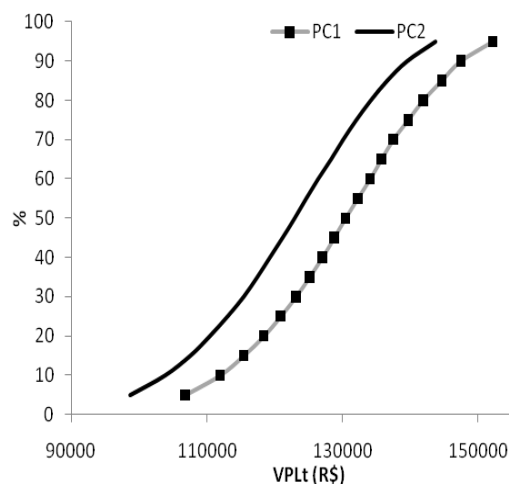


Figura 4. Curvas de distribuição de probabilidade acumulada do valor presente líquido total (VPLt) para os padrões de cultivo 1 (PC1) e 2 (PC2).

Nota-se que o resultado da análise de risco confirma o resultado encontrado com o modelo de programação linear, evidenciando a pequena diferença com relação ao retorno econômico entre os dois cultivos.

Segundo Arêdes e Pereira (2008), a condição necessária para um empreendimento agrícola ser economicamente viável é que o indicador econômico valor presente líquido gerado seja positivo durante o período de planejamento. Dessa forma, analisando-se a Figura 4, a partir da distribuição acumulada de probabilidade do VPLt, verifica-se o baixo risco econômico em

ambos os padrões de cultivo, mostrando que a adoção de qualquer um dos padrões de cultivo é economicamente viável.

Observando-se a Figura 5, percebe-se que existe grande discrepância com relação aos valores de irrigação total necessária, ITN, no ano de maior requerimento hídrico (ano 2), nos dois padrões de cultivo. Percebe-se que para o padrão de cultivo 2 o requerimento de irrigação é consideravelmente menor que o verificado no padrão de cultivo 1.

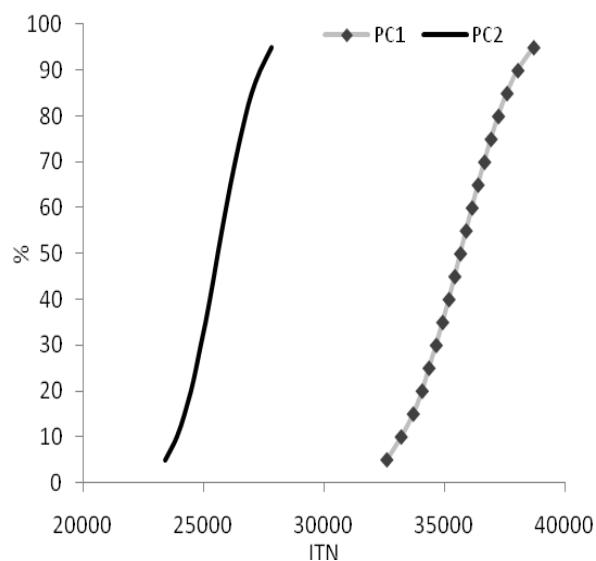


Figura 5. Curvas de distribuição de probabilidade acumulada da irrigação total necessária, ITN, para os padrões de cultivo 1 (PC1) e 2 (PC2), no ano de maior requerimento hídrico (ano 2)

Por meio da Figura 5, nota-se também que a variação da ITN, para os dois padrões de cultivo, é reduzida, dadas as acentuadas inclinações das curvas de distribuição de probabilidade acumulada.

A Figura 6 representa graficamente o requerimento de irrigação no mês de dezembro do ano 2, período de maior requerimento total de irrigação. Nota-se que a quantidade de água necessária para a irrigação no padrão de cultivo 2 é consideravelmente menor que no padrão de cultivo 1.

Ainda na Figura 6, percebe-se que as curvas seguem diferentes inclinações devido às diferentes atividades relacionadas com os dois diferentes

padrões de cultivo no referido período, o que torna diferente também o desvio padrão. Nota-se que a variação da quantidade de água de irrigação, no mês de dezembro, no padrão de cultivo 1 é maior que no padrão de cultivo 2.

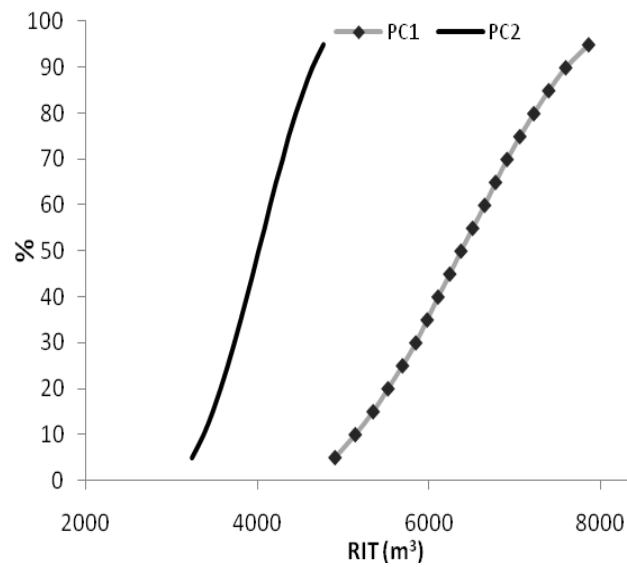


Figura 6. Requerimento de irrigação no mês de dezembro ano 2 nos padrões de cultivo 1 (PC1) e 2 (PC2)

12. Conclusões

Com o modelo de programação linear proposto foi obtido plano ótimo de cultivo para os dois padrões utilizados nos estudos, considerando as restrições existentes na propriedade, de disponibilidade hídrica, terra e mão-de-obra e satisfazendo as exigências de produções máximas e mínimas das culturas. Esse plano ótimo de cultivo em ambos padrões contemplou as culturas de banana, maracujá, mandioca, feijão, milho, pimentão e tomate.

No presente estudo, o valor presente líquido total maximizado do empreendimento foi estimado em R\$ 8.771,10 (ha ano)⁻¹ para o padrão de cultivo 1 (restrição mensal de água igual a 8.500 m³) e em R\$ 8.228,77 (ha ano)⁻¹ para o padrão de cultivo 2 (restrição mensal de água igual a 4.000 m³).

Na análise de risco, observou-se que os valores encontrados do valor presente líquido total, no período de planejamento de 3 anos, resultantes das simulações, foram positivos nos dois padrões de disponibilidade hídrica, evidenciando a não expectativa de fracasso financeiro devido à escassez hídrica no empreendimento, adotando-se qualquer um dos padrões de cultivo.

Observa-se que no padrão de cultivo 2 houve uma pequena redução da estimativa do valor presente líquido total em relação padrão de cultivo 1; entretanto, obteve-se uma expressiva redução do requerimento de irrigação. Considerando a análise financeira e a economia dos recursos hídricos o padrão de cultivo recomendado para essa propriedade de agricultura familiar seria o padrão de cultivo com disponibilidade hídrica de 4000 m³ mensais de água para irrigação.

A análise dos resultados da análise de risco em associação aos resultados da programação linear indica que, com sacrifício pequeno em relação ao valor presente líquido total esperado, pode-se obter grande economia de água, o que aponta para a potencialidade da metodologia na gestão de recursos hídricos, notadamente em regiões em que a relação entre disponibilidade e demanda hídrica é crítica, como no Agreste Meridional Pernambucano.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE. C. L. T. et al. **Avaliação de Estratégias de Produção em Agricultura Irrigada no Perímetro de Irrigação do Gorutuba**. Embrapa Milho e Sorgo. 2008. p. 151. (Documento 73). Disponível em:<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2008/documento/Doc_73.pdf>. Acesso em 30 de outubro de 2008.
- ARÊDES, A.F. L. e PEREIRA, M. W. G. Análise econômica da produção de café arábica: um estudo de caso com simulações de Monte Carlo para sistemas de baixa e alta produtividade. **Informações econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, abr 2008. 12 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação** Viçosa, Ed. UFV, 2006. 625 p.
- BISERRA, J.V. Rentabilidade da irrigação pública no nordeste, sob condições de risco: o caso do perímetro Morada Nova. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 32, n. 3, p 289-303, jul/set. 1994.
- BORGES JÚNIOR. J. C. F.; HEDDEN-DUNKHORST. B.; FERREIRA. P. **A decision support based on bio-economic simulations for irrigated agriculture**. Deutscher Tropentag – Technological and institutional innovations for sustainable rural development. Disponível em: <<http://www.tropentag.de/2003/abstracts/full/224.pdf>. 2003. 11Jun. 2007.>. Acesso em junho de 2008.
- BORGES JÚNIOR. J. C. F. **Modelo computacional para a tomada de decisão em agricultura irrigada**. 2004. 250f. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- BORGES JÚNIOR, J. C. F. et al. . **Avaliação de Estratégias de Produção em Agricultura Irrigada no Perímetro de Irrigação de Jaíba**. Embrapa Milho e Sorgo. 2007. p. 72. (Documentos 69). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2007/documento/Doc_69.pdf>. Acesso em novembro de 2008.
- BORGES JÚNIOR, J. C. F. et al. Computational modeling for irrigated agriculture planning: part II risk analysis. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p. 483-493, jul/set. 2008.
- BOWMAN, J. A.; SIMMONS, F. W. ; KIMPEL, B. C. Irrigation in midwest: lessons from Illinois. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, NewYork, v.117, n.5, p. 700-715, 1991.
- BUARQUE, C. Avaliação econômica de projetos. 6 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991. 266p.
- CARVALHO, D. F. et al. Otimização do uso da água no perímetro irrigado do Gortuba, utilizando-se a técnica da programação linear. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.203-209, 2000
- CONTADOR, C. R. **Projetos sociais: avaliação e prática**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2000. 375 p.
- DANTAS NETO, J. **Modelos de decisão para otimização do padrão de cultivo em áreas irrigadas, baseados nas funções de resposta das culturas à água**. 1994. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

- DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; FRIZZONE, J. A. Uso da programação linear para estimar o padrão de cultura do perímetro irrigado Nilo Coelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. I, [s.n.], p.9-12, 1997.
- FRIZZONE, J. A. e SILVEIRA, S. F. R. **Análise de viabilidade econômica de projetos hidroagrícolas**. Brasília: ABEAS, 1996. 88 p.
- FRIZZONE, J. A. et al. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: Embrapa, 2005, 626 p.
- HARDAKER, J.B. et al. **Coping with risk in agriculture**. 2 ed. London: CABI Publishing, 2004. 352 p.
- HARR, M.E. **Reliability based design in civil engineering**. New York: McGraw-Hill, 1987. 290 p.
- HAZELL, P. B. R. e NORTON, R. D. **Mathematical programming for economic analysis in agriculture**. New York: Macmillan, 1986. 400 p.
- HERTZ, O.B. Risk, analysis in capital investment. **Harvard business review**, Boston, v.42, n.1, p.95-106,1964.
- PALISADE Corporation, @Risk advanced risk analysis for spreadsheets. Newfield: Palisade Corporation, 2002. 499 p.
- PIZZOL, S. J. S. L. **Comportamento de cafeicultores perante o risco: uma análise de três sistemas de produção na região de Marília**. 2002. 150f. Dissertação (Mestrado em) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- PONCIANO, N. J., et al. Análise de viabilidade econômica e de risco da fruticultura na região norte Fluminense. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v.42, n.4, 21f. Out./Dez. 2004

- SALIBY, E. Descriptive sampling: an improvement over Latin Hypercube sampling. In: Andradóttir, S. et al. **Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference**. Atlanta: WSC, 1997. p.230-3.
- SILVA NETO, B. e STULP, V.J. A consideração de tendências na otimização de sistemas de produção agropecuária sob condições de risco. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v.38, n.3, p.61-80, 2000.
- SILVA, W. A. **Modelagem matemática aplicada no planejamento da agricultura irrigada: utilizando informações georreferenciadas**. 2007. 111f. Tese (doutorado em Ciências) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- SOUZA, J. L. M. **Modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. 2001. 253f. Tese (doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- SOUZA, J. L. M. e FRIZZONE, J. A. Simulação da produtividade, em um modelo aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para a cultura do cafeeiro. In: Simpósio Brasileiro De Pesquisa Em Cafeicultura Irrigada, 6., Araguari. **Anais....** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003. p. 34-38.
- STEFFENS, L. M. **Desenvolvimento de uma metodologia integrada para otimização de forma de mecânica de fluido**. 2005. 201f. Dissertação (Mestrado em Matemática) Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- VALENTE, D. N. R., **Decisões de investimentos em condições de incerteza : uma abordagem com opções reais equivalentes**. 2008, 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

VIEIRA, A. S. **Um modelo de simulação, via programação linear seqüencial, para sistema de recursos hídricos.** 2007. 101f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

WOILER, S. e MATHIAS, W. F. **Projetos:** planejamento, elaboração e análise. São Paulo: Atlas, 1994. 294p.

13. Conclusão Geral

Essa dissertação está apresentada na forma de dois capítulos e teve como objetivo geral verificar a viabilidade de um empreendimento de agricultura irrigada em um cenário típico do Agreste Meridional Pernambucano, orientado-se na otimização do retorno financeiro e uso da água e aplicando-se base de dados locais e modelagem ao planejamento de atividades.

Os métodos de irrigação empregados e a lâmina de irrigação simulada para cada cultura pelo modelo MCID foram eficientes em garantir a demanda hídrica e a máxima produtividade, tornando nulo o risco com relação à variação da produtividade.

Os cultivos de sequeiro tiveram expressiva redução da produtividade e alto risco de variação da mesma.

No estudo foram estabelecidos dois padrões de cultivo: o primeiro padrão maximizou o retorno financeiro da propriedade e o segundo padrão otimizou o uso da água disponível para a irrigação. Nas simulações procedidas para a análise de risco financeiro, foi observado que em ambos os padrões de cultivo, durante os três anos de planejamento, os valores da variável valor presente líquido total foram positivos, o que aponta o baixo risco de fracasso financeiro do empreendimento devido à variação da produtividade das culturas em decorrência da deficiência hídrica.

No estudo de planejamento em uma propriedade de agricultura familiar, observou-se que com adequado planejamento do uso dos recursos disponíveis pode-se estabelecer planos de cultivo sustentáveis segundo aspectos financeiros e quanto ao uso da água. No estudo de caso abordado, esse plano ótimo de cultivo contemplou as culturas de banana, maracujá, mandioca feijão, milho, pimentão e tomate.